



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**

Alexandre Monteiro de Barros

**FRAMEWORK PARA REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO DE PROJETO
DE PRODUTO APLICANDO O PARADIGMA DA ORIENTAÇÃO A OBJETOS**

Tese de Doutorado

Orientador:

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

2º Orientador:

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Porto Alegre

2017

ALEXANDRE MONTEIRO DE BARROS

**Framework para representação do conhecimento de projeto de produto
aplicando o paradigma da orientação a objetos**

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

Orientador:

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

2º Orientador:

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Porto Alegre

2017

Alexandre Monteiro de Barros

**FRAMEWORK PARA REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO DE PROJETO DE
PRODUTO APLICANDO O PARADIGMA DA ORIENTAÇÃO A OBJETOS**

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do Título de Doutor em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, novembro de 2017.

Orientador Professor Doutor Régio Pierre da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

2º Orientador Professor Doutor Fábio Gonçalves Teixeira

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Banca Examinadora:

Professora Doutora Tânia Luisa Koltermann da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Professor Doutor José Luís Farinatti Aymone

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Professor Doutor André Luis Marques da Silveira

Centro Universitário Ritter dos Reis - UNIRITTER

Professor Doutor Vinicius Gadis Ribeiro

Centro Universitário Ritter dos Reis - UNIRITTER

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores, colegas e funcionários do programa de pós-graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Aos professores orientadores Dr. Régio Pierre da Silva e Dr. Fábio Gonçalves Teixeira. Aos professores qualificadores e examinadores. Aos especialistas que participaram do *workshop* e da avaliação da proposta. Ao professor Dr. Benamy Turkienicz. Agradeço também aos familiares e demais amigos que incentivaram e contribuíram para esta jornada, em especial Natália e Antônio.

À CAPES/FAPERGS pelo apoio para a realização deste trabalho através da concessão de bolsa de pesquisa.

RESUMO

BARROS, A. M. de. **Framework para representação do conhecimento de projeto de produto aplicando o paradigma da orientação a objetos**. 2017. 150 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

O projeto de produtos e sistemas técnicos complexos requer a compreensão em nível de sistemas e subsistemas para formular soluções eficientes e integradas ao seu contexto. Para auxiliar esta compreensão, o conhecimento de projeto deve ser representado utilizando níveis adequados de abstração de acordo com a fase do projeto. A fase de projeto conceitual requer tipos de representação capazes de atingir um alto nível de abstração para a exploração de conceitos que conduzam a soluções criativas. O paradigma da orientação a objetos, que é fundamentado pela abstração, faz parte da engenharia de software, mas também pode ser aplicado para o projeto de artefatos físicos porque permite a representação dos elementos do mundo real através de uma linguagem simples, acessível e com alto nível de abstração. Ademais, o paradigma da orientação a objetos permite a reutilização do conhecimento de projeto devido à sua capacidade de estruturar a informação em um formato adequado para isto. O presente trabalho propõe um *framework* para representar o conhecimento de projeto de produto aplicando o paradigma da orientação a objeto. Inicialmente, foram identificados os elementos conceituais da tese e suas relações, para na sequência definir o modelo do *framework* e o seu método de aplicação. O *framework* utiliza uma linguagem de representação diagramática que pode evoluir desde um mapa mental, com elementos diversificados e pouco ordenados, até uma rede estruturada de classes e relacionamentos em um modelo de classes. Um modelo de classes pode concentrar conhecimento sobre o projeto, servindo como uma estrutura geral que conecta e relaciona diferentes blocos de informação associados aos produtos e sistemas que estão sendo elaborados. A verificação da aplicabilidade do *framework* foi realizada por especialistas da área de design mediante o desenvolvimento de um projeto de produto em nível conceitual e do preenchimento de questionário de avaliação.

Palavras-chave: Projeto de Produto; Design Conceitual; Conhecimento em Design; Representação do Conhecimento; Orientação a Objetos.

ABSTRACT

BARROS, A. M. de. **Framework for representing product design knowledge applying the object oriented paradigm.** 2017. 150 f. Thesis (Design PhD) – Design Post Graduate Programme, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2017.

The design of complex technical products requires understanding at the system and subsystem level to formulate efficient and integrated solutions to their context. To support this understanding, the project knowledge can be represented using appropriate levels of abstraction according to the project phase. The conceptual design phase requires types of representation that reach a high level of abstraction for the exploration of concepts that lead to creative solutions. The object-oriented paradigm is based on abstraction and is part of software engineering, but can also be applied to the design of physical artifacts because it allows the representation of real-world elements through simple, accessible and in high-level abstraction language. In addition, the object orientation paradigm supports the reusability of project knowledge due to its capacity to structure the information in patterns. The present work proposes a framework to represent product design knowledge using the object-oriented paradigm. First, the conceptual elements of the thesis and their relationships were identified, after; the framework model and their method of application were constructed. The framework uses a diagrammatic representation language in which a mental map, with diversified and unordered elements, can progress into a structured network of classes and relationships in a class model. A class model can focus knowledge about the project, serving as a general structure that connects and relates different blocks of information associated with the products and systems being developed. The verification of the applicability of the framework was carried out by specialists in the design area through the development of a product design at conceptual level and the answering an evaluation questionnaire.

Keywords: Product Design; Conceptual Design; Design Knowledge; Knowledge Representation; Object-oriented.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de plataforma colaborativa.	13
Figura 2: Iniciativa em design colaborativo.....	14
Figura 3: Modelos digitais para projeto, produção e operação.	15
Figura 4: Disponibilidade de ferramentas computacionais nas fases de design.....	19
Figura 5: Análise do impacto de mudanças em um produto.	23
Figura 6: Processo de Desenvolvimento de Produto.	29
Figura 7: Caminho do design conceitual.	30
Figura 8: Transformações no Espaço de Design.	31
Figura 9: Processo de analogia.	35
Figura 10: Exemplo do processo de analogia.	36
Figura 11: Pentágono do conhecimento.	39
Figura 12: Conhecimento no processo de design.	40
Figura 13: Ciclo do conhecimento precedente de design.	41
Figura 14: Base de conhecimento para geração de conceitos.	43
Figura 15: Produção de um modelo conceitual.	45
Figura 16: Transição entre camadas de representação.....	46
Figura 17: Processo de transformação da informação no design.....	48
Figura 18: Tipos de Representação.	50
Figura 19: Transformação da realidade em um modelo.....	51
Figura 20: Tipos de modelos.	52
Figura 21: Representação sentencial e diagramática.	53
Figura 22: Características do produto e requerimentos funcionais.....	56
Figura 23: Mapeamento de questões de projeto.....	57
Figura 24: Representação SBF.	59
Figura 25: Classes e Relacionamentos.....	62
Figura 26: Abstração de uma classe a partir de dados do mundo real.....	64
Figura 27: Exemplo de estrutura de dados independente em formato de tabela.	65
Figura 28: Objetos instanciados na classe avião.	65
Figura 29: Quadros para o domínio de veículo.	66
Figura 30: Relação de diagramas UML.....	68
Figura 31: Sistemas computacionais e linguagens orientadas a objetos.....	72
Figura 32: Validação do modelo conceitual.....	78
Figura 33: Constructos da tese.....	86
Figura 34: Processo de estruturação da informação para o Design Conceitual.....	87
Figura 35: Modelos de projeto.	88
Figura 36: Processo de representação do conhecimento para o design conceitual.....	89
Figura 37: Elementos básicos de representação em um mapa mental.	90

Figura 38: Elementos básicos de representação em um mapa conceitual.....	90
Figura 39: Elementos básicos de representação em um diagrama de classes.....	91
Figura 40: Exemplo de representações de um domínio de projeto.....	92
Figura 41: Mapa conceitual para conhecimento composicional.....	94
Figura 42: Diagrama de classes para conhecimento composicional.....	94
Figura 43: Mapa conceitual para conhecimento classificador.....	95
Figura 44: Diagrama de classes para conhecimento composicional.....	95
Figura 45: Mapa conceitual para o conhecimento semântico.....	96
Figura 46: Conhecimento semântico em um Diagrama de Classes.....	96
Figura 47: Mapa conceitual para o conhecimento causal.....	97
Figura 48: Conhecimento causal em um modelo de classes.....	97
Figura 49: Mapa conceitual para o conhecimento dos princípios físicos.....	98
Figura 50: Função, comportamento e estrutura associados a um precedente.....	98
Figura 51: Questão, conceito e forma associados a um precedente.....	99
Figura 52: Exemplo de conceitos que determinam uma solução precedente.....	99
Figura 53: Exemplo de uma solução precedente de design.....	100
Figura 54: Conceitos obtidos a partir de uma solução precedente.....	101
Figura 55: Agregação de conceitos de um precedente em um modelo conceitual.....	101
Figura 56: Anexação de conteúdo externo.....	102
Figura 57: Desenho do <i>framework</i> proposto.....	104
Figura 58: Enquadramento do <i>framework</i> proposto no processo de projeto.....	105
Figura 59: Linguagem de representação do <i>framework</i> proposto.....	106
Figura 60: Modelo conceitual para ducha inteligente.....	108
Figura 61: Modelo de classes para ducha inteligente.....	109
Figura 62: Mapeamento dos elementos do espaço do problema de design.....	111
Figura 63: Modelo conceitual elaborado no workshop #1.....	112
Figura 64: Abordagem do problema em duplas de projeto.....	113
Figura 65: Modelo mental elaborado pelos especialistas #4 e #5.....	114
Figura 66: Modelo conceitual elaborado pelos especialistas #4 e #5.....	115
Figura 67: Modelo mental elaborado pelos especialistas #6 e #7.....	116
Figura 68: Modelo conceitual elaborado pelos especialistas #6 e #7.....	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Aplicação da Orientação a Objetos para o Design de Produto.....	21
Quadro 2: Níveis de modelos e respectiva terminologia.....	63
Quadro 3: Orientação a Objetos em domínios correlacionados.....	71
Quadro 4: Metodologia da pesquisa.....	74
Quadro 5: Periódicos e palavras chave.....	76
Quadro 6: Síntese das etapas da pesquisa.....	83
Quadro 7: Critérios para análise linguística.....	93

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Contextualização	12
1.2	Delimitação da Pesquisa	24
1.3	Problema de Pesquisa	25
1.4	Hipótese.....	25
1.5	Objetivos	25
1.5.1	Objetivo Geral	25
1.5.2	Objetivos Específicos	25
1.6	Justificativa	26
1.7	Estrutura da Tese	28
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	29
2.1	Processo de Desenvolvimento de Produto	29
2.1.1	Projeto Conceitual.....	30
2.1.1.1	Espaço de Design.....	31
2.1.1.2	Abstração	33
2.1.1.3	Analogia	34
2.2	Conhecimento em Design	37
2.2.1	Conhecimento Precedente.....	40
2.2.2	Ontologia	44
2.3	Representação do Conhecimento.....	47
2.3.1	Modelos	50
2.3.2	Diagramas	52
2.3.3	Função, Comportamento e Estrutura.....	57
2.4	Paradigma da Orientação a Objetos	60
2.4.1	Modelo de Classes.....	64
2.4.2	Linguagem de Modelagem Unificada.....	67
2.4.3	SysML	69
2.4.4	Capacidades de Orientação a Objetos nos sistemas CAD	70
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	73
3.1	Etapas e Artefatos	73
3.2	Detalhamento das etapas.....	74

3.2.1	Conscientização e Sugestão.....	74
3.2.2	Desenvolvimento.....	77
3.2.3	Avaliação.....	78
3.2.3.1	Workshop de Síntese	80
3.2.3.2	Definição do problema de projeto para o workshop.....	81
3.2.3.3	Questionário de avaliação	81
3.2.4	Conclusão da Pesquisa	83
3.2.5	Síntese das etapas da pesquisa	83
4	DESENVOLVIMENTO.....	84
4.1	Constructos da Tese	84
4.2	Modelo do <i>Framework</i>	87
4.2.1	Mapa Mental.....	90
4.2.2	Mapa Conceitual	90
4.2.3	Diagrama de Classes	91
4.3	Método do <i>Framework</i>	92
4.3.1	Representação do conhecimento de projeto	93
4.3.1.1	Conhecimento Composicional	94
4.3.1.2	Conhecimento Classificador	95
4.3.1.3	Conhecimento Semântico.....	96
4.3.1.4	Conhecimento Causal	97
4.3.1.5	Conhecimento dos Princípios Físicos.....	97
4.3.2	Associação de Conhecimento Precedente	98
4.3.2.1	Exemplo de associação de conhecimento precedente.	99
4.3.3	Anexação de conteúdo externo aos elementos dos modelos	102
4.3.4	Considerações sobre a elaboração de diagramas em meio digital e físico.....	102
4.4	Sistematização do <i>Framework</i>	103
5	AVALIAÇÃO	107
5.1	Aplicação Piloto do <i>Framework</i>	107
5.2	<i>Workshop</i> de Síntese	110
5.2.1	Sumário das respostas das questões objetivas.....	118
5.2.2	Sumário das respostas da questão dissertativa	120
6	DISCUSSÃO.....	124
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	128

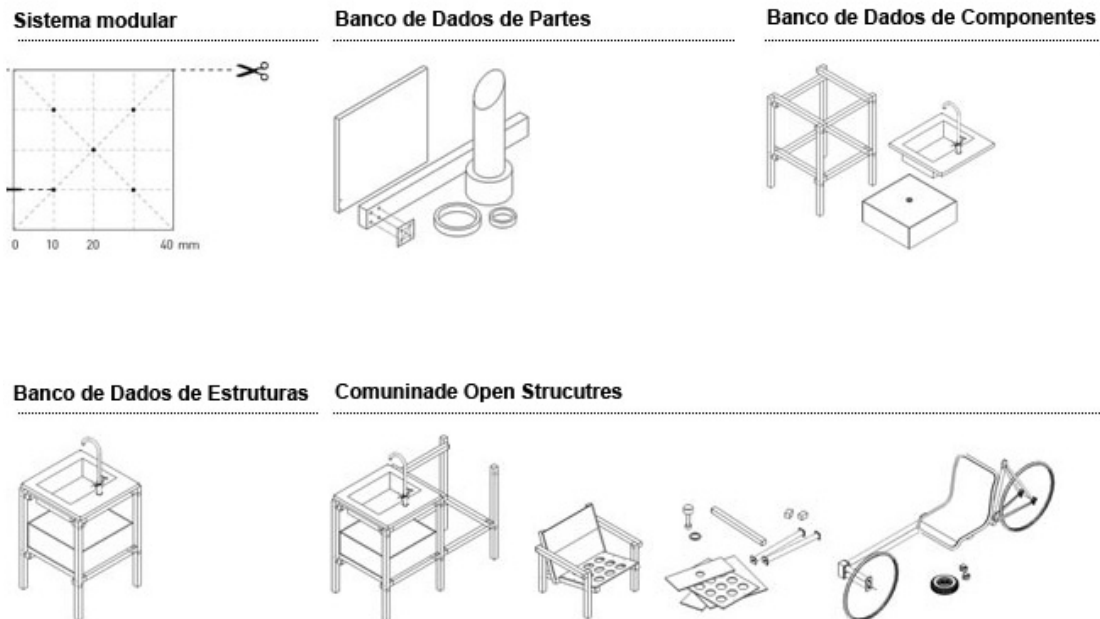
1 INTRODUÇÃO

A introdução apresenta a contextualização da tese para então estabelecer a sua delimitação, o problema de pesquisa, a hipótese, os objetivos e a justificativa.

1.1 Contextualização

O desenvolvimento de produtos e sistemas de modo multidisciplinar necessita de abordagens que favoreçam a colaboração entre as diferentes especialidades envolvidas. Cada especialidade possui competências específicas. Arquitetura, Urbanismo, Engenharias e o Design são macro áreas altamente correlacionadas que estão associadas ao desenvolvimento de novos produtos e sistemas técnicos. Cada macro área trabalha com tipos específicos de representação durante o processo de projeto. Esforços de integração entre as áreas indicam a utilização de modelos digitais unificados que atendam equipes multidisciplinares de projeto e sejam capazes de representar o conhecimento sobre produtos e sistemas técnicos de forma ampla e acessível (REICHWEIN, 2011). Situações complexas de design requerem a colaboração entre as disciplinas acima mencionadas. Para uma efetiva colaboração é necessária uma adequada representação do conhecimento tratado. Uma representação compreensiva dos produtos e sistemas depende da habilidade de formular abstrações conforme uma particular necessidade (ROSENMAN e GERO, 1996). Como exemplo, estes autores citam a modelagem de uma edificação. Enquanto arquitetos direcionam a atenção para qualidades espaciais e ambientais, engenheiros estruturais estão atentos para questões de carregamento e resistência dos materiais, assim como os contratantes estão atentos aos aspectos de custo e tempo de execução. Deste modo, um modelo para a edificação deve ser capaz de acomodar as diferentes ênfases acima mencionadas e evitar a duplicidade dos elementos. Openstructures (2016) é um exemplo de design colaborativo baseado na distribuição do conhecimento sobre componentes, produtos e sistemas através de uma plataforma aberta que utiliza diretrizes de modularidade para assim possibilitar o intercâmbio das partes que compõem os sistemas e produtos gerados (Figura 1).

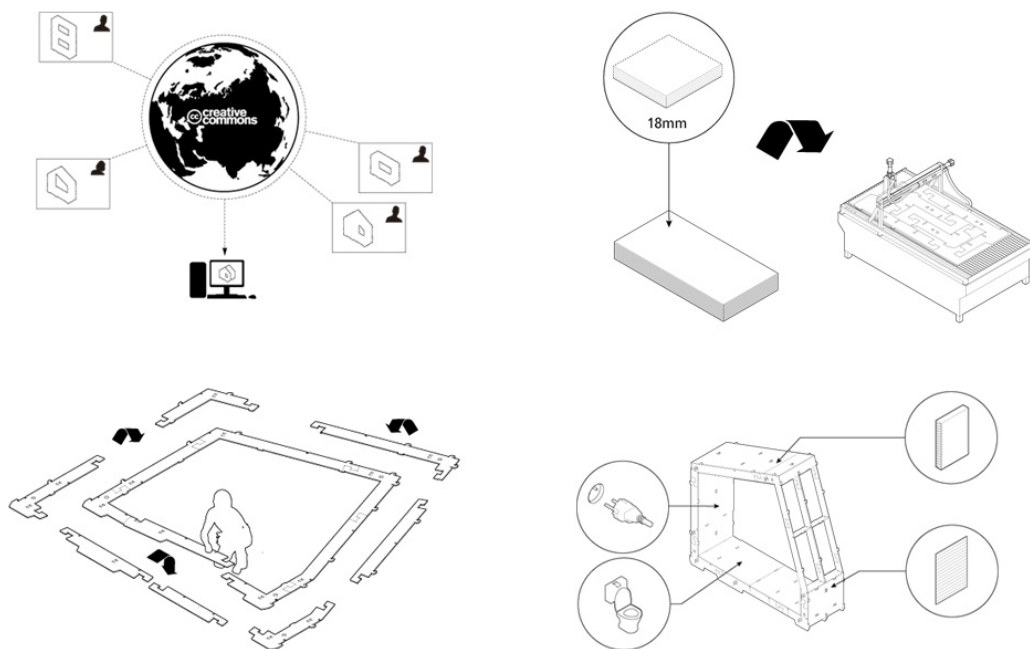
Figura 1: Exemplo de plataforma colaborativa.



Fonte: Openstructures (2016).

Produtos e sistemas modulares favorecem a manutenção e o reuso de suas partes e assim são mais eficientes com relação ao seu ciclo de vida. Outra iniciativa de compartilhamento do conhecimento sobre projeto e produção de produtos é GRABCAD (2016), uma plataforma de compartilhamento de modelos digitais na área da engenharia. Nesta plataforma, além de compartilhar arquivos de desenho assistido por computador (CAD) é possível fazer anotações para indicar melhorias e justificar tomadas de decisão sobre um projeto, possibilitando desenvolver soluções em conjunto com outros profissionais de forma remota. Ifixit (2016) é uma plataforma de compartilhamento do conhecimento voltada para a manutenção de produtos de uso cotidiano, como os eletroeletrônicos em geral, em que são disponibilizadas instruções de desmontagem, reparo e substituição de itens danificados para usuários com ou sem especialização. Wikihouse (2016) é uma plataforma que utiliza um sistema construtivo de fonte aberta que permite a colaboração de designers para a geração de soluções de habitação utilizando modelos digitais e equipamentos de manufatura flexível para produção local e customizada de unidades eficientes e de baixo custo (Figura 2).

Figura 2: Iniciativa em design colaborativo.

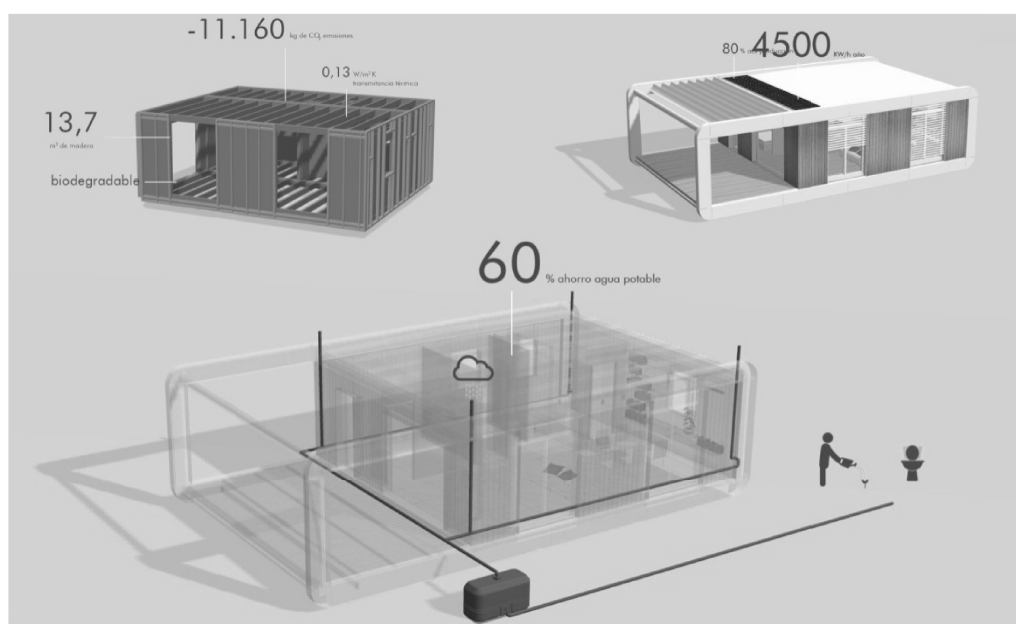


Fonte: Wikihouse (2016).

Atualmente, o conhecimento sobre produtos e sistemas técnicos é em grande parte representado por modelos geométricos tridimensionais, porém estes modelos transmitem pouca informação além da geometria e dos metadados associados a ela. O domínio do problema de design, as características dos usuários e a tomada de decisão envolvida no processo de projeto são elementos importantes que constituem informação não geométrica e são pouco representados. Conforme Geyer (2012) os modelos digitais atuais são insuficientes em representar interdependências multidisciplinares complexas, tendo seu foco nas dependências geométricas. Para Ulrich (2011) o compartilhamento do conhecimento sobre artefatos físicos requer além da comunicação de sua informação geométrica, a comunicação de muitos outros tipos de informação, como a especificação dos seus materiais e dos seus processos de produção. Observa-se que para as iniciativas emergentes compartilharem um maior volume de conhecimento, elas necessitam de representações complementares que permitam lidar com a alta complexidade dos produtos e sistemas técnicos atuais.

Um exemplo do aumento da complexidade em produtos e sistemas técnicos atuais são as unidades de habitação pré-fabricadas. Estes tipos de sistemas estão gradualmente incorporando recursos tecnológicos tanto em seu projeto, como para sua produção e operação. NOEM (2015) é uma empresa de unidades pré-fabricadas que adota uma ampla análise da informação sobre modelos digitais para desenvolver projetos altamente eficientes do ponto de vista ambiental (Figura 3). Modelos digitais também permitem a direta transposição do projeto para a produção através dos recursos da manufatura flexível e das tecnologias de fabricação digital. Além do uso para o projeto e a produção, os modelos digitais são apropriados para a operação dos diversos sistemas inteligentes que estão presentes nestas unidades, como o controle de climatização, de luminosidade, da qualidade do ar e do consumo de água e energia. Reichwein (2011) cita o exemplo dos mecanismos de controle *fly-by-wire*, inicialmente introduzidos em aviões a jatos e que agora estão sendo adotados por questões de segurança em veículos de uso não especializados, como automóveis e caminhões. Para Komoto e Tomiyama (2012) o incremento do número de subsistemas e componentes dentro de um sistema em conjunto com a multidisciplinaridade do conhecimento sobre os mesmos torna complexo o design dos produtos modernos.

Figura 3: Modelos digitais para projeto, produção e operação.



Fonte: NOEM (2015).

Produtos e sistemas técnicos necessitam de múltiplas representações para lidar com o conhecimento associado ao seu desenvolvimento e operação. Oxman (2004) propõe uma abordagem utilizando representação formal e um esquema compartilhado de dados para demonstrar conceitos de design que servem para organizar e estruturar o conhecimento de projeto, além de ser um meio para armazenar e acessar este conhecimento. Com ênfase sobre o processo de aprendizagem para estudantes de design, esta autora observa as seguintes vantagens desta abordagem: permite a criação de conhecimento reutilizável, que pode ser modificado e aprimorado; fornece um ambiente para a construção individual e coletiva deste conhecimento e possibilita sua distribuição de maneira descentralizada.

Para Oxman (2004) conceitos são construções intelectuais que fazem parte da vida cotidiana, informando como entendemos o mundo e como nos comunicamos com ele. Conceitos podem ser utilizados como metáforas ou analogias para a compreensão de uma coisa nos termos de outra. O raciocínio analógico utilizando conceitos é muito útil quando se possui amplo conhecimento sobre diferentes domínios e pouco conhecimento especializado sobre um domínio em particular (problema de projeto). A estruturação de conceitos em uma disposição relacional é uma forma de expressão do conhecimento (OXMAN, 2004).

O conhecimento conceitual é fundamental para o pensamento de design, pois é parte do material de trabalho do designer. Conceitos operam em um nível de ideação. A estruturação do conhecimento está associada ao domínio em que são empregadas, tipologias, regras, ou outras convenções adotadas. Uma forma de adquirir e construir um corpo de conceitos significante é utilizar casos precedentes. Através de uma experiência de aprendizado, um indivíduo, ou um grupo de indivíduos, elabora uma estrutura para se apropriar do conhecimento existente em um precedente. Como parte do processo de design requer obter um conhecimento particular de acordo com o problema abordado, ele também pode ser compreendido como uma experiência de aprendizado sobre um domínio (OXMAN, 2004).

Para Restrepo, Christiaans e Green (2004), uma parte do conhecimento em design é adquirida de exemplos e de experiências concretas. Problemas bem definidos são resolvidos através de regras apropriadas para satisfazer uma condição conhecida, mas para o design criativo, que lida com problemas inicialmente pouco definidos e que não possuem um resultado específico, regras podem não ser aplicáveis ou mesmo não existir para a resolução de determinados problemas. Por isso, grande parte da transferência do conhecimento em design é realizada utilizando casos precedentes para assim fornecer indicações de como resolver um determinado problema.

Os casos precedentes são parte significativa da base de conhecimento dos designers e são utilizados na prática projetual para a interpretação e decomposição do problema, para a geração de novas ideias, para identificar métodos e processos utilizados em um determinado caso e para comparar o design gerado com soluções prévias e assim melhor avaliá-lo (EILOUTI, 2009). A utilização de casos precedentes no processo de design pode contribuir para a exploração do espaço de design (PASMAN, 2003), mas também pode limitar sua exploração caso ocorra o fenômeno de fixação (CRILLY, 2015). Tradicionalmente, a estrutura do conhecimento precedente é baseada em categorias como nome, período histórico, estilo ou localização que servem como um indexador da informação. Entretanto, Oxman (1994) observa a necessidade de a estruturação dos casos precedentes refletirem um determinado modelo cognitivo de design que possibilite a associação entre o problema abordado e os conceitos provenientes dos precedentes.

Pesquisas sobre a representação do conhecimento precedente propõem sua decomposição de forma sistemática e indicam a necessidade de se aplicar a abstração para extrair conceitos e possibilitar sua reaplicação em novos projetos. Representações com alto grau de abstração facilitam a decomposição de soluções existentes e permitem que sejam identificadas soluções análogas. O processo de realizar analogias contribui para a geração de soluções inovadoras no design (HELMS, VATTAM e GOEL, 2008).

Ademais, com a evolução das tecnologias computacionais para o projeto, a produção e a operação de produtos e sistemas técnicos, o compartilhamento de dados, informação e conhecimento está aumentando consideravelmente. O volume de dados computacionais que os designers precisam processar para fazer melhores decisões informadas também aumenta consideravelmente. O processo de converter dados em informação e posteriormente em conhecimento para representar, armazenar e reutilizar este conhecimento é crucial na atividade de projeto (CHANDRASEGARAN et al, 2013).

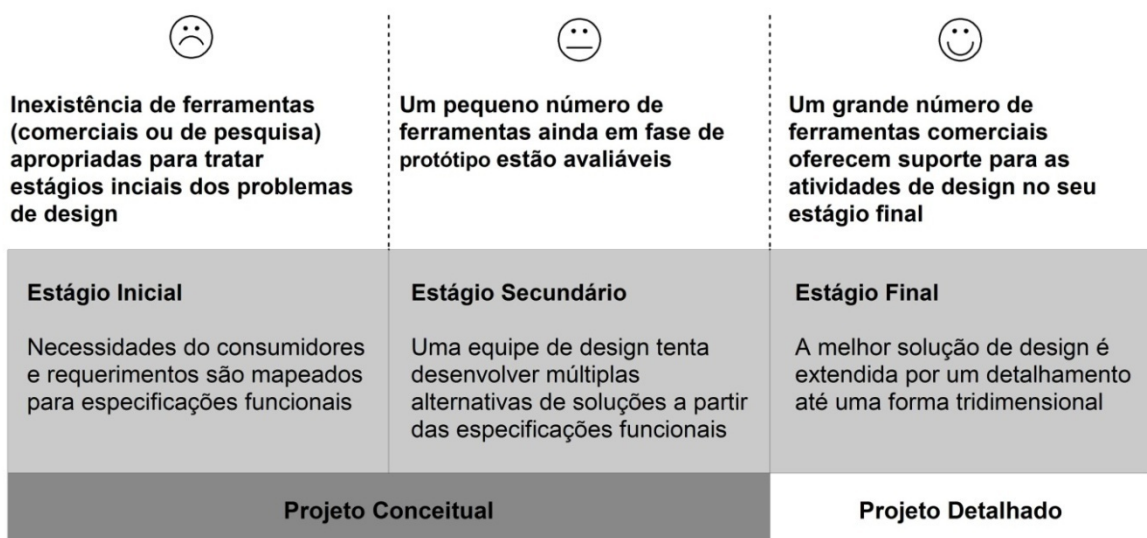
Produtos e sistemas técnicos complexos necessitam de múltiplas representações para lidar com o conhecimento que é utilizado no processo de projeto. Balmelli (2007) observa que nos sistemas computacionais atuais existe uma falta de suporte eficiente para a representação do conhecimento na fase de design conceitual, onde a arquitetura funcional e muitas vezes a arquitetura física de um produto ou sistema é decidida. Na fase de design conceitual as necessidades dos consumidores são transformadas em funções do produto e em casos de uso para, posteriormente, serem desenvolvidos por disciplinas específicas. A falta de representações formais para o design conceitual resulta em habilidades inadequadas para a tomada de decisão em nível de sistemas para o produto, como nos estudos de viabilidade. Igualmente, gera dificuldades de comunicação e interpretação para a equipe de projeto, o que não contribui para uma maior integração e colaboração no processo de design (BALMELLI, 2007).

O design conceitual é uma fase inicial do processo de projeto fundamental para o desenvolvimento de produtos e sistemas novos ou para o redesenho de produtos existentes de forma inovadora. O adequado desenvolvimento conceitual para um produto ou sistema é importante porque as decisões tomadas nesta fase determinam as principais características de um produto ou sistema. O impacto das decisões realizadas nas fases iniciais de projeto é muito alto, gradualmente decaindo ao longo do processo de projeto, ao contrário do seu custo de implementação, que inicialmente é baixo, mas nas fases finais de projeto é elevado quando se é necessário inserir uma modificação no produto (WANG et al., 2002).

Pipes (2007) argumenta que em muitos sistemas de desenho assistido por computador (*Computer Aided Design- CAD*) é necessário que os designers saibam exatamente o que querem fazer antes de utilizar estes softwares. Esta condição pode ser um problema para as fases iniciais de projeto, que envolvem um alto grau de abstração e quando não se possui informações precisas, como ângulos, dimensões e tolerâncias para modelar o produto. Conforme Pipes (2007), o paradoxo é que a maioria dos sistemas atuais precisa de toda a informação do produto acabado antes que o designer possa iniciar a modelagem geométrica.

Conforme Wang (2002) os computadores têm sido extensivamente utilizados para simulações, análise e otimização, porém para o design conceitual existem poucas opções de ferramentas computacionais, pois o conhecimento necessário nesta fase é pouco preciso e fragmentado, o que o torna difícil de ser representado (Figura 4). O conhecimento para o design conceitual normalmente é multidisciplinar, como no caso do design de produto, que envolve consumidores, designers, engenheiros e outros especialistas de acordo com o problema abordado, cada qual com métodos específicos de representação (WANG, 2002).

Figura 4: Disponibilidade de ferramentas computacionais nas fases de design.



Fonte: Adaptado de Wang et al. (2002).

Liverani, Amati e Pellicciari (2008) reforçam a falta de ferramentas de software para o design conceitual, sugerindo que novas abordagens sejam mais focadas em tratar outras formas de conhecimento, ao contrário do que ocorre atualmente, em que os softwares são excessivamente dedicados a geometria. Para Goel *et al.* (2012) o entendimento da perspectiva cognitivista do design está se tornando uma importante área que pode fornecer respostas para guiar a nova geração das ferramentas de suporte computacionais e propõe quatro características para as próximas gerações destes sistemas:

- Foco no design conceitual, especialmente criatividade.
- Ênfase no design criativo, incluindo o design analógico.
- Suporte para o design colaborativo.
- Fundamentação na cognição do design.

Conforme Eastman (2001) cognição no design constitui um amplo campo de pesquisa que estuda como a informação é processada pelo ser humano para a resolução de problemas inicialmente pouco definidos. Akin (2001) observa que os designers utilizam suas capacidades cognitivas para a resolução de problemas de design com as seguintes particularidades: representações variadas, múltiplas estratégias inventivas, esquemas de composição do problema que não são padronizadas e de estratégias para lidar com a complexidade.

Como os recursos cognitivos são limitados pela memória da mente humana, parte da pesquisa sobre cognição no design busca maneiras de complementar as capacidades cognitivas e assim alcançar soluções criativas e satisfatórias (AKIN, 2001). Kilian (2006) observa que designers são treinados para serem receptivos a mudanças contextuais e fazerem dependências cruzadas que impulsionem a criatividade durante o processo de projeto, utilizando técnicas de abstração para a redução da complexidade dos problemas abordados.

Conforme Bürdek (2006), devido à crescente complexidade dos problemas de design, são necessários métodos de representação que possibilitem sua descrição multifacetada e permitam saltos associativos que conduzam a ideias e produtos inovadores. Salustri, Eng e Weerasinghe (2008) sugerem que para o projeto conceitual são necessários tipos de representação que suportem informação não geométrica e qualitativa com alto grau de abstração.

O paradigma da orientação a objetos foi elaborado no domínio da engenharia de software, mas sua aplicação pode ser expandida para outras áreas, pois seus conceitos e suas técnicas permitem a modelagem tanto de soluções digitais como de soluções físicas. Um amplo potencial de aplicação do paradigma da orientação a objetos para o design de produto, a arquitetura e o urbanismo pode ser observado considerando sua capacidade de representar o conhecimento de forma abstrata. Para Schodek (2005) a modelagem orientada a objeto compromete-se a capturar não somente uma determinada geometria, mas também outros tipos de informação sobre o projeto por incluir conteúdo semântico além da representação digital de formas. Além disso, o paradigma da orientação a objetos está diretamente associado com padrões de projeto que permitem a reutilização do conhecimento anteriormente gerado (BOOCH, 2007). Apesar destas capacidades, o paradigma da orientação a objetos ainda é pouco aplicado nas fases iniciais de projeto de produtos e sistemas técnicos pelos profissionais de design (Quadro 1).

Quadro 1: Aplicação da Orientação a Objetos para o Design de Produto.

Fase de Projeto	Grau de aplicação do paradigma da orientação a objetos	Observações
Projeto Informacional	Pouco aplicado	Representação da informação pouca associada com o paradigma da orientação a objetos. Potencial de aplicação para (I) modelar o espaço do problema de design, (II) identificar e analisar casos precedentes e (III) engenharia reversa
Projeto Conceitual	Pouco aplicado	Ênfase na representação geométrica, falta de representação simbólica. Potencial de aplicação para: (I) co-modelar o espaço de problema e o espaço da solução de design e (II) identificar analogia entre modelos.
Projeto Detalhado	Altamente aplicado	Sistemas computacionais já utilizam capacidades de orientação a objetos para representar os modelos nesta fase.

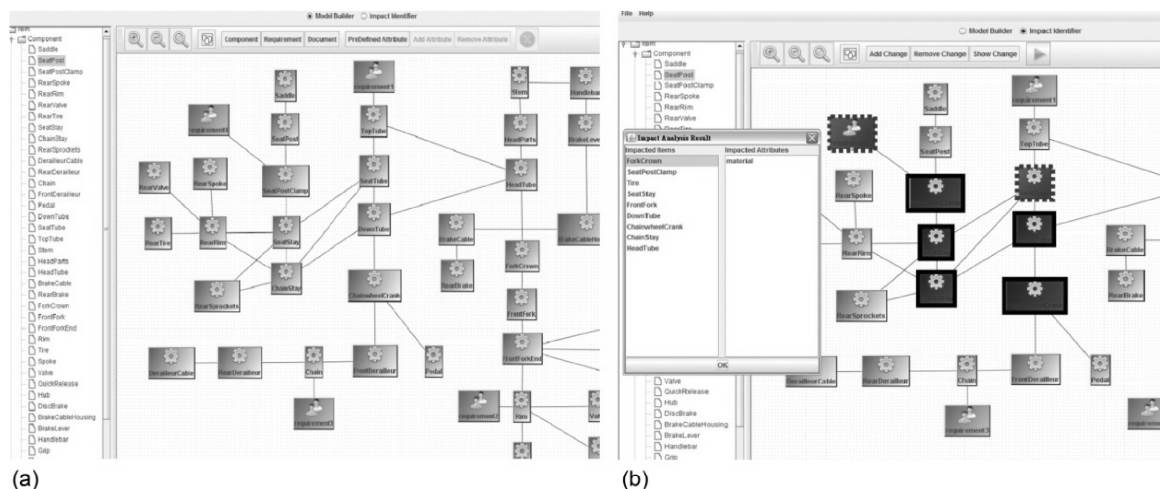
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realizar a modelagem de sistemas orientados a objetos existem diversas linguagens. A linguagem de modelagem unificada (UML) é uma linguagem visual que utiliza representação diagramática para especificar, documentar e avaliar modelos (BOOCH, 2007). Existe uma ampla gama de programas computacionais, tanto comerciais, como livres, que podem ser utilizados para criar representações diagramáticas. Diagramas são instrumentos de representação pictórica ou simbólica que servem para representar modelos com alto nível de abstração e são instrumentos essenciais para o pensamento e a comunicação nas fases iniciais de design (GROSS, 1994). Salustri, Eng e Weerasinghe (2008) sugerem que existe uma grande oportunidade para ampliar a capacidade dos designers de pensarem tanto crítica como criativamente através de diagramas desde as fases iniciais de design e o paradigma da orientação a objetos pode ser apropriado para isto.

Reichwein (2011) propõe em sua tese de doutorado que a UML pode ser utilizada sobre os softwares de modelagem convencionais para estabelecer uma representação holística do produto. Através de um modelo central do produto em UML, este autor propõe a sua aplicação para a integração multidisciplinar da informação, que é especialmente útil para casos onde é necessário o intercâmbio automatizado de dados entre diferentes modelos, como modelos de geometria (CATIA, Solidworks, VRML), de controladores (Simulink), de equações simbólicas (Matlab), de planilhas (Excel) e de sistema multicorpo (SimMechanics).

Chen, Liao e Lin (2015) propõem uma abordagem orientada a objetos para a análise do impacto de mudanças realizadas em um determinado artefato físico. Com esta abordagem é possível identificar o impacto das mudanças realizadas tanto na estrutura como no contexto do produto através da modelagem de seus componentes e dos requisitos associados a eles. Cada componente possui atributos que podem ser ligados a outros componentes e requisitos. Quando uma modificação em um determinado parâmetro é realizada, o sistema computacional a processa e apresenta como esta modificação se propagou para as outras partes do produto, permitindo avaliar o impacto das mudanças no conjunto do produto. A Figura 5 apresenta um diagrama de componentes de um produto antes e depois de uma determinada alteração, com os componentes impactados sendo destacados através de cores diferenciadas.

Figura 5: Análise do impacto de mudanças em um produto.



Fonte: Chen, Liao e Lin (2015).

Gabbar, Suzuki e Shimada (2003) aplicam os conceitos e as ferramentas da orientação a objetos para a modelagem de um sistema físico complexo (uma planta de hidrodessulfurização) que possibilita o entendimento de suas atividades, fornece suporte para a análise das questões de segurança e é útil para o posterior desenvolvimento de um sistema automatizado. Teimouri (2009) aplica a UML para a análise da informação no design industrial. Conforme este autor, diagramas UML possibilitam uma ampla análise das funções de um sistema, de suas atividades e estados, demonstram como diferentes partes de um sistema funcionam em conjunto e como os usuários interagem com o produto final. Estas características tornam a UML útil para auxiliar os designers na coleta e análise de dados para o projeto de produto. Ademais, a representação gráfica permite uma análise visual integrada para a equipe de projeto.

Como a UML é apta para representar elementos do mundo real, o processo de projeto e o conhecimento aplicado ao mesmo podem ser descritos através desta linguagem. Mekhilef (2003) utiliza a UML no âmbito do design para modelar a memória técnica que serve como documentação do conhecimento, particularmente o conhecimento relacionado com a tomada de decisão em relação aos aspectos tecnológicos e a definição da arquitetura de um determinado produto.

Embora a UML contenha um conjunto de elementos de representação que são aptos para a adequada modelagem do projeto, a UML tem como característica ser uma linguagem formal que precisa ser corretamente estruturada. Isto pode limitar sua aplicação nas fases iniciais de projeto, pois nestas fases é necessário lidar primeiramente com informação pouco estruturada, como em sessões de *brainstorming*. Assim, pesquisas indicam a utilização de outras formas de representação deste tipo de informação antes de realizar a modelagem UML. Frisendal (2012) indica que a modelagem inicial de projetos deve ser realizada utilizando mapas conceituais antes de se construir diagramas UML porque os mapas conceituais determinam a estrutura dos modelos UML. Duarte (2014) sugere a elaboração de mapas mentais para gerar modelos conceituais bem fundamentados e Hiranabe (2007) sugere a elaboração de mapas mentais para capturar os requisitos de um sistema de maneira ágil. A partir do contexto até aqui apresentado, será apresentada a delimitação e o problema de pesquisa.

1.2 Delimitação da Pesquisa

Estabeleceu-se delimitar esta pesquisa entre o final da fase de projeto informacional e o início da fase de projeto conceitual, caracterizadas pela identificação e exploração de conceitos de design através do raciocínio cognitivo, formulando as soluções que sejam adequadas aos requisitos estabelecidos para um produto ou sistema. Ela concentra sua atenção sobre a representação simbólica diagramática dos elementos de projeto. Outros tipos de representação são necessários para o desenvolvimento de produtos e sistemas técnicos. Não é proposto que a representação aqui utilizada sobreponha ou substitua os outros tipos de representação associados ao processo de design, mas sim que ela complemente e se some a eles para assim descrever e especificar uma solução de design de maneira mais completa e precisa.

1.3 Problema de Pesquisa

Como representar o conhecimento de projeto de modo a oferecer suporte para este processo desde suas fases iniciais?

1.4 Hipótese

A hipótese desta pesquisa considera que os conceitos da orientação a objetos em conjunto com a linguagem de representação diagramática podem ser utilizados para estruturar e representar parte do conhecimento de projeto de produto utilizando um alto nível de abstração de modo a oferecer suporte para a exploração criativa do espaço de design.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo Geral

Propor um *framework* para representar o conhecimento de projeto de produto adequado para as fases iniciais deste processo.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Compreender o processo de desenvolvimento de produto com ênfase sobre a fase de projeto conceitual
- Compreender o que é conhecimento em design e como ele é adquirido e aplicado na fase de projeto conceitual.
- Identificar os tipos de representação do conhecimento adequados para a fase de projeto conceitual.
- Apresentar os conceitos do paradigma da orientação a objetos e investigar sua aplicação nas áreas de engenharias, arquitetura e design de produto.

- Estabelecer um *framework* para representar o conhecimento de projeto utilizando o paradigma da orientação a objetos e linguagem diagramática.
- Verificar a aplicabilidade do *framework* mediante o desenvolvimento de produtos e sistemas técnicos em nível conceitual.

1.6 Justificativa

A principal contribuição desta pesquisa consiste em preencher uma lacuna identificada no processo de projeto de produtos e sistemas técnicos e apresentada na contextualização desta tese. De um lado, existe um avançado suporte computacional de representação para as fases mais avançadas de projeto, onde já se possui uma definição clara e precisa do produto ou sistema criado. De outro lado, nas fases iniciais de projeto, quando o produto ou sistema encontra-se em um nível altamente abstrato, existe pouco suporte para sua representação. Esta pesquisa procura preencher esta lacuna, estabelecendo um processo em que a informação utilizada durante o projeto conceitual possa ser representada e evoluir mantendo uma correspondência adequada entre os elementos que inicialmente estão pouco precisos e não ordenados para, na medida em que o projeto avance, serem aperfeiçoados até tornarem-se elementos precisos e corretamente ordenados.

Deste modo, é possível estruturar gradativamente a informação de projeto, produzindo conhecimento acerca de um domínio que será levado para as fases posteriores de projeto em um formato compatível com o paradigma da orientação a objetos, ou seja, nos mesmos moldes que as ferramentas computacionais já operam. Além disso, ao adotar o paradigma da orientação a objetos, que já é amplamente aplicado em áreas correlacionadas, mas que ainda é pouco aplicado pelos designers, espera-se obter uma melhor comunicação entre as diferentes especialidades envolvidas no projeto ao adotar uma linguagem unificada de representação.

O *framework* proposto deve oferecer suporte para os designers modelarem e explorarem criativamente o espaço de design porque utiliza uma linguagem de representação simples e capaz de atingir um alto nível de abstração. A abstração é um meio de exploração estruturada que contribui para resultados criativos porque permite a generalização de conceitos que podem ser aplicados em novos contextos (DOGAN e NERSESSIAN, 2010). Ademais, esta pesquisa pode contribuir para o compartilhamento e a reutilização de parte do conhecimento de design no processo de projeto porque o paradigma da orientação a objetos oferece os recursos necessários para isto.

Iniciativas que visam uma distribuição colaborativa e multidisciplinar do conhecimento sobre produtos e sistemas técnicos demonstram que este tipo de abordagem pode favorecer o desenvolvimento de soluções com alto grau de inovação e que tenham impacto positivo sobre aspectos ambientais, sociais e econômicos. Igualmente, uma adequada colaboração deve proporcionar condições para a criação de produtos e sistemas integrados e mais sustentáveis (GEYER, 2012). Em complemento, este *framework* pode contribuir para a tomada de decisões em nível de sistema porque oferece uma representação adequada do espaço de design através de uma abordagem holística. A sua estrutura de dados é tangível e permite a articulação de complexas inter-relações entre os elementos, contribuindo para uma análise apurada do projeto.

Observa-se que a aplicação do paradigma da orientação a objetos para o design de produto já foi previamente investigada pelo autor desta tese durante o mestrado em design e tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Parte do resultado desta investigação foi publicada em um periódico (BARROS, SILVA e TEIXEIRA, 2015), indicando uma possível relevância da temática abordada. Esta tese busca dar continuidade para a investigação citada, estabelecendo uma proposição atual e original que contribua para a área de design e tecnologia.

1.7 Estrutura da Tese

Esta tese é composta por sete capítulos. O primeiro capítulo é a introdução, onde é feita a contextualização da temática da tese para então apresentar a sua delimitação, problema de pesquisa, a hipótese, os objetivos e a justificativa. O segundo capítulo é composto pela fundamentação teórica acerca dos assuntos que fazem parte da pesquisa. Já o terceiro capítulo apresenta a metodologia empregada para o desenvolvimento da tese, descrevendo como foi coletado e como é tratado o material que abastece a fundamentação teórica, além de descrever como foi formulado o *framework* e como foi feita a validação da pesquisa para verificar sua hipótese. O quarto capítulo apresenta o desenvolvimento do *framework* proposto, discorrendo sobre o processo de sua elaboração e detalhando seus instrumentos de aplicação. O quinto capítulo contém a validação do *framework*, descrevendo a aplicação piloto e a avaliação realizada pelos especialistas em design nos *workshops* de projeto de produto. O sexto capítulo apresenta uma discussão sobre o desenvolvimento da pesquisa e seus resultados. Finalmente, o sétimo capítulo é a conclusão da pesquisa, onde é apresentada a proposição de design e os possíveis desdobramentos para a mesma.

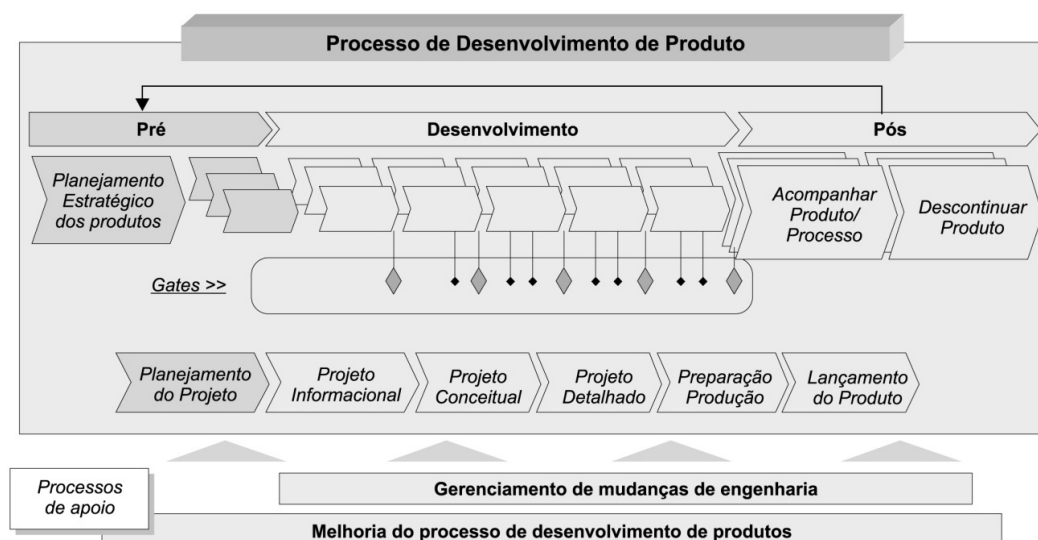
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica apresenta os elementos conceituais da tese que posteriormente serão utilizados para a elaboração do *framework*.

2.1 Processo de Desenvolvimento de Produto

O modelo unificado do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) (ROZENFELD, 2000) indica três fases de projeção quando se desenvolve um produto ou sistema. A primeira fase de projeto no desenvolvimento de um produto ou sistema é denominada de projeto informacional, onde o escopo de um determinado problema é elaborado e os requisitos do futuro produto ou sistema são definidos. A segunda fase é o projeto conceitual, também denominado de design conceitual, onde são desenvolvidas alternativas de solução e a arquitetura básica do produto é definida. A terceira e última fase de projeto no desenvolvimento de um produto é o projeto detalhado, quando se geram as especificações para sua produção e se produzem os protótipos (Figura 6). Dentre estas fases, é no design conceitual que se necessita trabalhar simultaneamente com os elementos constituintes do problema e com os novos elementos responsáveis pela solução de design.

Figura 6: Processo de Desenvolvimento de Produto.



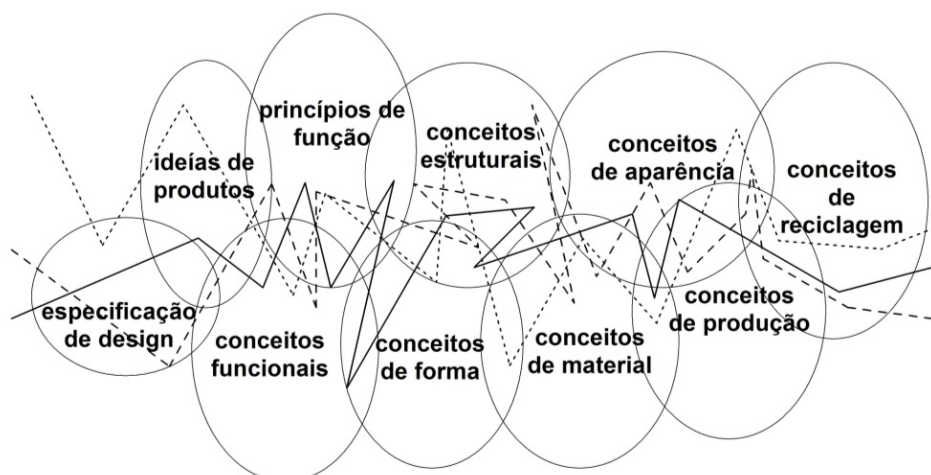
Fonte: Rozenfeld (2000).

2.1.1 Projeto Conceitual

No processo de desenvolvimento de um produto, a fase de projeto informacional deve fornecer seus requisitos e suas especificações para, na fase de projeto conceitual, se estabelecer uma estrutura funcional que servirá de base para seu detalhamento (ROZENFELD, 2000). Horvát (2005) define o projeto conceitual, também denominado design conceitual, como um processo criativo de resolução de problemas que demanda conhecimento, intuição, criatividade e raciocínio humano. Também pode ser compreendido como um processo cognitivo em que ocorre a idealização, externalização, síntese e manipulação de entidades mentais, denominadas conceitos de design. No design conceitual ocorre um processo de busca interativa para obter, gerar, representar, transformar, manipular e comunicar a informação e o conhecimento relacionados aos vários domínios dos conceitos de design (HORVÁTH, 2005).

Horváth (2005) propõe um modelo de caminho exploratório que visa explicar o design conceitual como um processo de agregação e composição de conceitos que depende do designer e do problema de projeto (Figura 7). Esta exploração é realizada através da busca de vários subespaços de conceitos de design e de possíveis composições recorrentes para o produto.

Figura 7: Caminho do design conceitual.



Fonte: Adaptado de Horváth (2005).

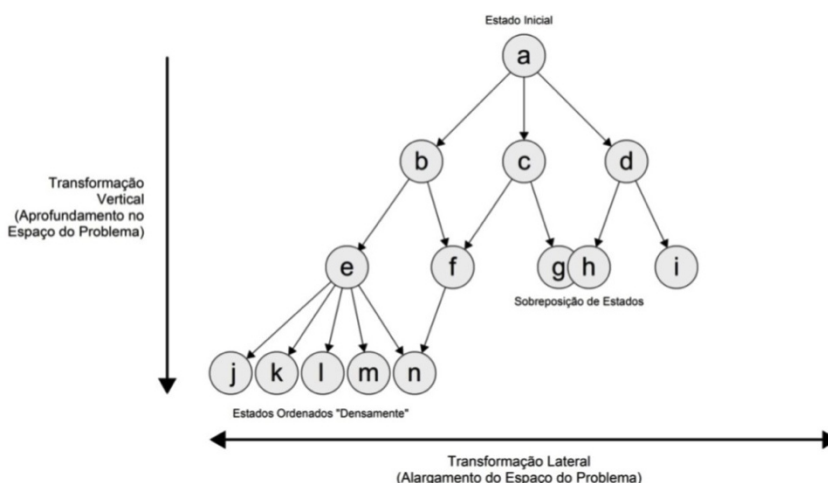
2.1.1.1 Espaço de Design

No projeto conceitual, o espaço de design compreende os elementos do problema de projeto e os elementos de possíveis soluções para o mesmo. Neste espaço, o designer procura por soluções satisfatórias para um determinado problema que inicialmente é pouco definido e que poderá mudar durante este processo (GOEL, 2001). A exploração do espaço de design pode envolver tanto as questões relativas aos componentes do problema, dentro do espaço do problema, como as questões relativas com a sua solução, dentro do espaço da solução de design (DORST e CROSS, 2001).

No desenvolvimento de novos produtos a busca por soluções para um determinado problema de projeto implica em sucessivas transformações a partir de um estado inicial para outros estados subsequentes. Essencialmente, as transformações podem ocorrer de dois modos: (I) transformações verticais e (II) transformações laterais. Nas transformações verticais, um estado é modificado para outro através do aprofundamento das questões relativas a ele. Já nas transformações laterais, são formulados novos estados independentes entre si (GOEL, 2001). A

Figura 8 ilustra como as transformações ocorrem no processo de design. O conjunto das transformações verticais e laterais elaboradas ao longo do processo de projeto determina como o espaço de design é explorado pelo designer.

Figura 8: Transformações no Espaço de Design.



Fonte: Adaptado de Goel (2001).

Conforme Kilian (2006), o acúmulo de informação sobre o problema de design auxilia na formação do espaço de design e a descobrir possíveis abordagens para explorá-lo. A formatação diagramática da informação pode demonstrar um conteúdo particular que outras maneiras de representação não são eficientes. Como um diagrama necessita de um julgamento devido a sua natureza especulativa, ele tem um valor objetivo reduzido, mas que pode ser explorado como uma vantagem pelo design. Na definição de um problema, Kilian (2006) sugere mapear o domínio do problema de modo a estabelecer seus conceitos e suas dependências. A proximidade espacial dos elementos em um diagrama pode equivaler a uma proximidade dos elementos no mundo real ou uma proximidade em termos de função. A linguagem dos diagramas possibilita revelar propriedades e relações relevantes e é um processo de obtenção da informação de maneira visual e espacial.

Kilian (2000) propôs uma abordagem que permite lidar com um alto volume de informação utilizando representação diagramática. Um alto volume da informação possibilita que o espaço de design seja amplo e abrigue conhecimento diversificado. Sua abordagem considera uma linguagem visual diagramática em que a densidade e o conteúdo da informação variam de acordo com a necessidade do projeto. Kilian (2000) implementou computacionalmente este modelo de visualização e o demonstrou mediante sua aplicação. Posteriormente, Kilian (2006) propôs o uso diagramas para a manipulação bidirecional das condicionantes de projeto de modo a controlar a estrutura e o comportamento dos produtos e sistemas gerados, ou seja, explorar múltiplas configurações para um espaço de design.

Para Restrepo e Christiaans (2004) a estruturação de um problema consiste no processo de elaboração sobre conhecimento e informação externa para dar uma estrutura ao espaço de design. Conforme estes autores, designers que orientam o projeto em relação às questões do problema obtêm resultados mais criativos dos que orientam o projeto para sua solução, pois assim exploram um maior número de alternativas e reconfiguram o problema de acordo com a evolução do projeto.

Welling (2007) observa que a característica fundamental da criatividade é a novidade, ou seja, ser criativo significa produzir ou pensar algo diferenciado. Este autor observa que as teorias sobre criatividade indicam o uso de quatro operações mentais para o raciocínio criativo: aplicação, analogia, combinação e abstração. Aplicação consiste em adaptar estruturas conceituais existentes para resolver ocorrências recorrentes e variadas, como as atividades cotidianas. Ler, caminhar ou dirigir requer a aplicação de regras conhecidas em novas situações. Elaborar um artefato manual com uma técnica que produza produtos já conhecidos também requer adaptações constantes durante sua utilização. Analogia implica a transposição de uma estrutura conceitual de um contexto habitual para um novo contexto não usual. Na analogia, determinadas relações abstratas entre os elementos de uma situação são similares aos encontrados em outra situação, permitindo a transposição de conceitos. Combinação é a junção de dois ou mais conceitos em uma nova ideia gerando uma nova estrutura conceitual, diferentemente da analogia. Soluções técnicas são exemplos em que os elementos existentes são arranjados de maneira útil e prática. A descoberta da estrutura química do DNA é um exemplo que demonstra a combinação de elementos construtivos em uma estrutura única. Abstração é a eliminação de detalhes desnecessários para revelar uma ordem, um padrão ou uma estrutura. As relações entre as entidades, um a vez conhecidas, podem ser mais claramente demonstradas através de uma representação simplificada deixando de fora detalhes não relevantes. A abstração empírica permite à organização do mundo externo enquanto a abstração reflexiva organiza conceitos mentais e ações (WELLING, 2007).

2.1.1.2 Abstração

Conforme Horváth (2005), a abstração é uma característica essencial do projeto conceitual. Para Nguyen e Warford (2014), a abstração pode ser compreendida como um conjunto de camadas. Cada camada possui detalhes que são omitidos das outras camadas que estiverem em um nível superior. Para estes autores, a abstração é uma ferramenta de pensamento que pode ser aplicada para entender um sistema, para modelar um problema e para lidar com a complexidade.

Kramer (2007) descreve a abstração sob dois aspectos principais. O primeiro aspecto consiste no processo de remover detalhes para simplificar e focar a atenção em determinadas partes dos objetos complexos. O segundo aspecto é o processo de generalização que serve para identificar um núcleo em comum e formular conceitos gerais das características similares entre exemplos específicos. A abstração como processo de simplificar e generalizar pode ser realizada em diferentes níveis. Um alto grau de abstração pode não transmitir informação suficiente de acordo com o propósito. Já um baixo nível de abstração pode conter detalhes em excesso e comprometer a compreensão do conteúdo. Salingaros (2000) observa que a abstração permite reconhecer padrões quando se observa uma regularidade de um determinado comportamento e assim elaborar linguagens de padrões para adaptar ou modificar o ambiente existente.

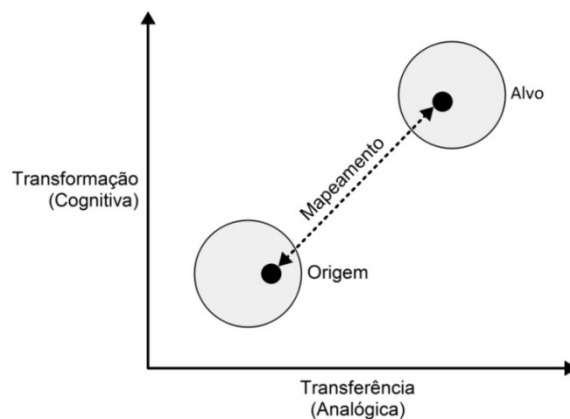
Uma abstração denota as características essenciais de um objeto que o distingue dos demais tipos de objetos e assim proporciona fronteiras conceituais bem definidas sob uma determinada perspectiva do observador (BOOCH, 2007). O conceito de abstração é fundamental para o paradigma da orientação a objetos, pois a engenharia de software lida com um alto grau de complexidade e a abstração é essencial para produzir programas computacionais de qualidade, elencando aspectos críticos do ambiente e requerimentos do sistema enquanto negligencia os de pouca importância. A habilidade de abstrair é essencial para a construção e para a manipulação de modelos (KRAMER, 2007). A abstração também é aplicada para a análise, quando um artefato existente é mapeado para um domínio abstrato a fim de capturar sua semântica.

2.1.1.3 Analogia

Analogia é uma importante técnica de resolução de problemas de design e é caracterizada pelo mapeamento de atributos e relações entre os objetos avaliados utilizando abstração. Para Goldschmidt (2001) a analogia envolve a identificação de pares durante o processo criativo de design. A analogia precisa ser criada através da manipulação e da transformação de imagens. Como processo, a analogia pode ser compreendida como uma operação bidirecional de mapeamento. Um exemplar conhecido pode gerar uma abstração assim como uma abstração pode ser utilizada

para gerar um novo exemplar, envolvendo uma busca dinâmica com transformações imaginárias (cognitivas) e transferências analógicas entre origem e alvo (Figura 9). Deste modo, a analogia requer o uso de representações capazes de suportar um alto grau de abstração para auxiliar o designer a estabelecer relações semânticas entre domínios distintos.

Figura 9: Processo de analogia.

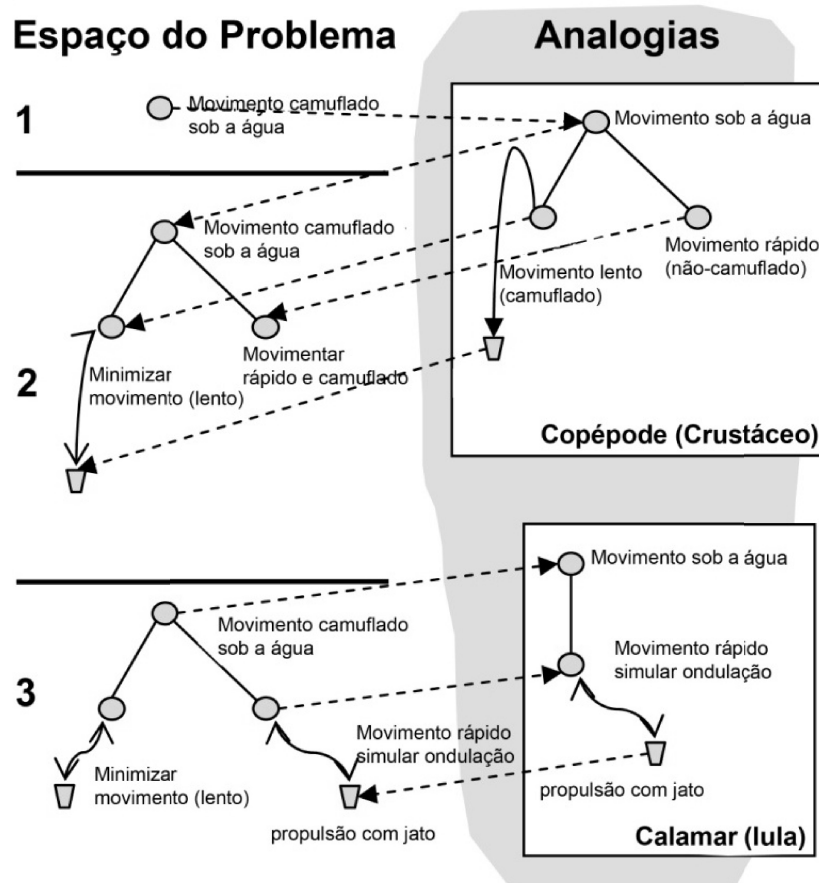


Fonte: Goldschmidt (2001).

Helms, Vattam e Goel (2008) argumentam que novos conceitos de design podem ser gerados a partir da composição de analogias entre domínios distintos, como no caso de sistemas biológicos que fornecem soluções análogas a problemas de design. Para estes autores, o processo de composição de analogias essencialmente é baseado na decomposição do problema e na transferência de conteúdo entre um modelo e outro. Este processo requer representações organizadas em diferentes níveis de abstração e agregação para facilitar a decomposição de soluções existentes e possibilitar uma recuperação satisfatória de modelos análogos. O mapeamento de uma analogia entre o espaço do problema e o espaço da solução de design permite uma transferência de conhecimento bidirecional, ou seja, tanto possíveis questões sobre o problema de design como novas soluções em potencial.

O processo de analogia combinado a decomposição do problema e a transferência analógica conduzem a evolução do espaço de design e a criação de soluções satisfatórias de design (HELMS, VATTAM e GOEL, 2008). A Figura 10 contém um exemplo do processo de composição de analogia para um robô de locomoção aquática que precisa ser camuflado. Deste modo, utiliza as funções similares encontradas em seres aquáticos e as transforma em possíveis funções para o novo produto.

Figura 10: Exemplo do processo de analogia.



Fonte: Adaptado de Helms, Vattam e Goel (2008).

Além das fases e das técnicas acima apresentadas, especificamente para o projeto conceitual, o processo de desenvolvimento de produto requer adquirir, aplicar e representar conhecimento, conforme apresentado a seguir.

2.2 Conhecimento em Design

De acordo com Chandrasegaran et al. (2013), a definição de conhecimento no design de produto depende do contexto em que for elaborada. Diferentes equipes de projeto podem fornecer definições distintas sobre o conhecimento para um mesmo produto, assim como uma mesma equipe pode fornecer definições diferenciadas dependendo do produto analisado. O conhecimento não está diretamente disponível, mas é obtido pela interpretação da informação deduzida através da análise de dados. Dados são disponibilizados de diferentes formas e sua interpretação, abstração ou associação conduz para a geração de informação. O conhecimento é obtido pela experimentação e aprendizado da informação que é colocada em ação.

O conhecimento também pode ser descrito como a experiência, os conceitos, os valores e os modos de trabalho que podem ser compartilhados e comunicados. Em termos de design, o conhecimento é o entendimento de uma informação dada, como seu conteúdo, sua origem e a sua aplicabilidade, observando que não são apenas as regras que o designer utiliza durante o projeto, mas sim o histórico que possibilita entender e rever estas regras (CHANDRASEGARAM et al, 2013).

A classificação do conhecimento é crucial para determinar os modos de sua representação. Conforme Chandrasegaram et al (2013) o conhecimento pode ser classificado como: formal, tácito, de produto, de processo, compilado e dinâmico. O conhecimento formal está embutido em documentos do produto, repositórios, rotinas de resolução de problemas, sistemas técnicos e de gestão, algoritmos computacionais, etc. Isto define uma plataforma intelectual necessária para estruturar e gerar um produto. Do outro lado, o conhecimento tácito significa as experiências, intuições, modelos não articulados ou regras implícitas. O conhecimento tácito é necessário para criar valor em um produto, e é obtido através de um processo de aprendizado e experimentação que é difícil de expressar e compartilhar. O conhecimento de produto inclui várias peças de informação e está associado com vários tipos de relações entre partes e montagens, geometria, funções, comportamentos. O conhecimento de processo pode ser classificado em

conhecimento do processo de design, de manufatura, ou conhecimento de processo de negócio. Conhecimento compilado é essencialmente obtido da experiência que pode ser compilada em regras, planos ou scripts, sendo que as soluções são explícitas. O conhecimento dinâmico codifica um tipo de conhecimento que pode ser usado para gerar estruturas adicionais de informação, e pode ser classificado em qualitativo ou quantitativo (CHANDRASEGARAM et al, 2013).

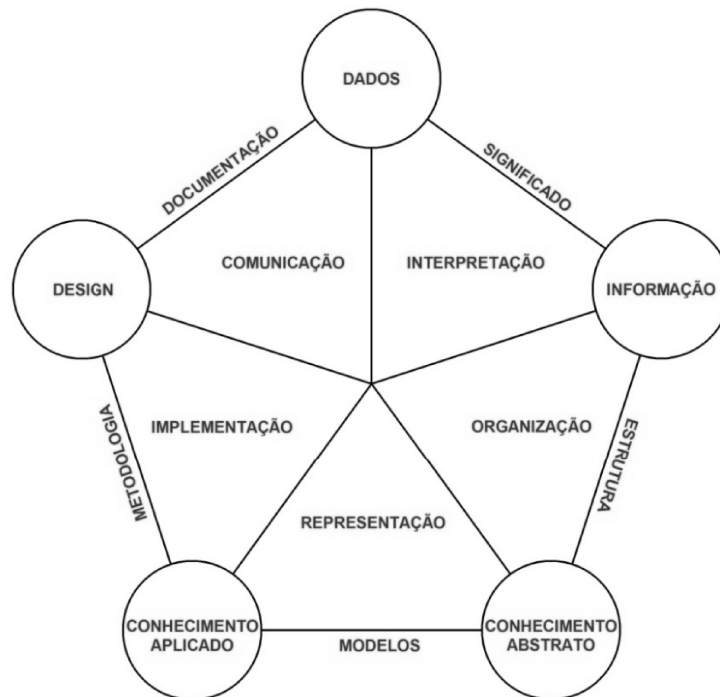
Para Raphael e Smith (2003) o conhecimento de projeto pode ser compreendido como um conjunto de dados que estão correlacionados entre si. Estes autores entendem que dados e conhecimento são subclasses da informação, pois o conhecimento é um tipo de informação em conjunto com os dados. Raphael e Smith (2003) sugerem a seguinte classificação para o conhecimento com respectivos exemplos:

- Conhecimento casual: se a temperatura é 100°C a água ferve.
- Conhecimento classificador: o carro é um tipo de veículo.
- Conhecimento composicional: o prédio faz parte da escola.
- Conhecimento empírico: o estresse estrutural é inter-relatado com o módulo de Young.
- Conhecimento dos princípios físicos: a aceleração gravitacional é 9,81ms² sobre a terra.
- Conhecimento semântico: Paulo é o nome do garoto.
- Conhecimento heurístico: Pontes muito longas são pontes em suspensão.

Para Eilouti (2009) o conhecimento em design pode ser compreendido como um conjunto de dados que evolui até se tornar o projeto de um produto ou sistema. Inicialmente, os dados devem ser processados e interpretados para formar peças de informação com significado. Estas peças de informação devem ser classificadas e organizadas por estruturas claras formando assim novas peças de conhecimento abstrato.

O conhecimento abstrato necessita de representação na forma de protótipos estruturados ou modelos para então ser transformado em um conhecimento possível de ser aplicável. Através de uma metodologia apropriada, o conhecimento aplicável pode então ser utilizado para o projeto de novos artefatos (Figura 11).

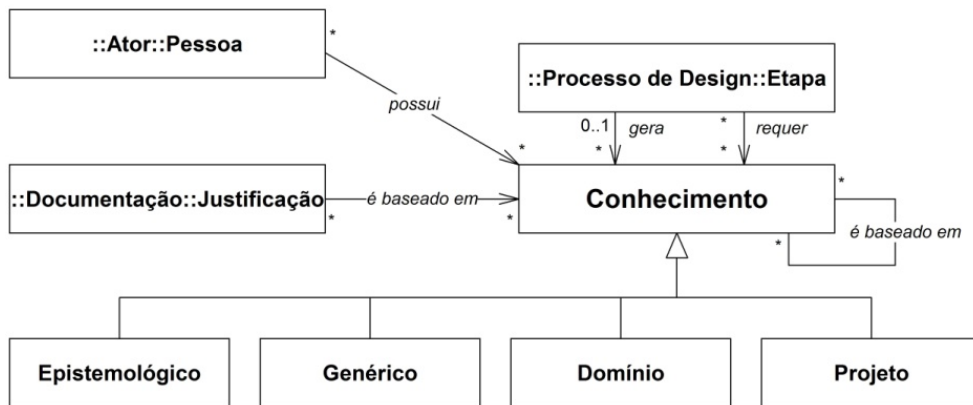
Figura 11: Pentágono do conhecimento.



Fonte: Eilouti (2009).

Mekhilef (2003) sugere que o conhecimento para o design depende de onde ele é aplicado (fase do processo de design), quem o possui (ator e pessoa) e em como está baseado (documentação e justificação). Para este autor, o conhecimento pode ser classificado em: epistemológico, que são as relações gerais entre os conceitos e não dependem da área em que o sistema é usado; genérico, em que a informação é estruturada por uma série de entidades definindo uma ontologia; de domínio, que são os conceitos que caracterizam os objetos pertencentes a áreas específicas e definem uma terminologia; de projeto, que é o conhecimento dos objetos que caracterizam um produto específico, contendo os atributos, as relações e os conceitos estruturados em nível das suas entidades (Figura 12).

Figura 12: Conhecimento no processo de design.



Fonte: Mekhilef (2003).

2.2.1 Conhecimento Precedente

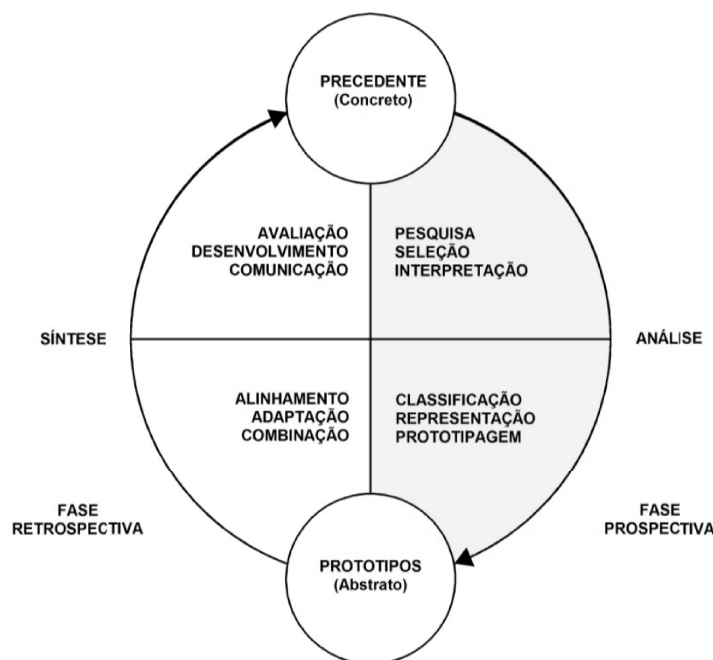
Para cada artefato físico elaborado através de um processo de projeto está atribuído um conhecimento em design. Deste modo, soluções prévias de design podem ser exploradas e servir como fonte de conhecimento para o desenvolvimento de novos produtos e sistemas. Design precedente é um termo associado ao conhecimento que está vinculado a um design existente (PASMAN, 2003). No campo de determinadas engenharias, a utilização de soluções prévias faz parte de técnicas como, por exemplo, a engenharia reversa, onde produtos existentes são desconstruídos e seus aspectos funcionais e estruturais são avaliados (BOOCH, RUMBAUGH e JACOBSON, 2012).

O termo design precedente é empregado para descrever um design específico em que conceitos e ideias definem blocos de conhecimento. O conhecimento depende da estrutura destes blocos de informação e de sua representação. Um problema na representação de soluções prévias de design é a riqueza e a complexidade de seu conteúdo descritivo. Cada design contém muitas peças de informação que são difíceis de descrever ou decompor, e sua representação não engloba toda a informação embarcada. O conhecimento prévio pode ser considerado como uma fonte significativa de conhecimento para o processo criativo de design. Muitas ideias relevantes podem ser extraídas de projetos passados (OXMAN, 1994).

Oxman (1994) sugere que o desenvolvimento de sistemas computacionais que possam auxiliar o designer no processo de projeto utilizando precedentes seja baseado em uma memória organizada. Nestes sistemas, a habilidade de codificar, procurar e extrair um conhecimento relevante de design é extremamente importante. Tradicionalmente, a estrutura organizacional do conhecimento precedente é feita através de categorias como nome, período histórico, estilo ou localização que servem como um indexador da informação. Entretanto, Oxman (1994) observa a necessidade de a memória organizacional refletir um determinado modelo cognitivo de design de modo a possibilitar a associação entre os conceitos do problema abordado e os conceitos provenientes dos precedentes.

Eilouti (2009) define um ciclo para análise e síntese do conhecimento em design que envolve uma pesquisa, seleção e interpretação de casos concretos, sua classificação, representação e prototipagem em modelos abstratos que então são combinados e adaptados para desenvolver novas soluções concretas e assim fechar este ciclo (Figura 13). Eilouti (2009) propõe uma classificação que abrange forma, função, processo, conceitos, cenários, princípios e componentes dos casos existentes para então abastecer uma base de conhecimento reutilizável.

Figura 13: Ciclo do conhecimento precedente de design.

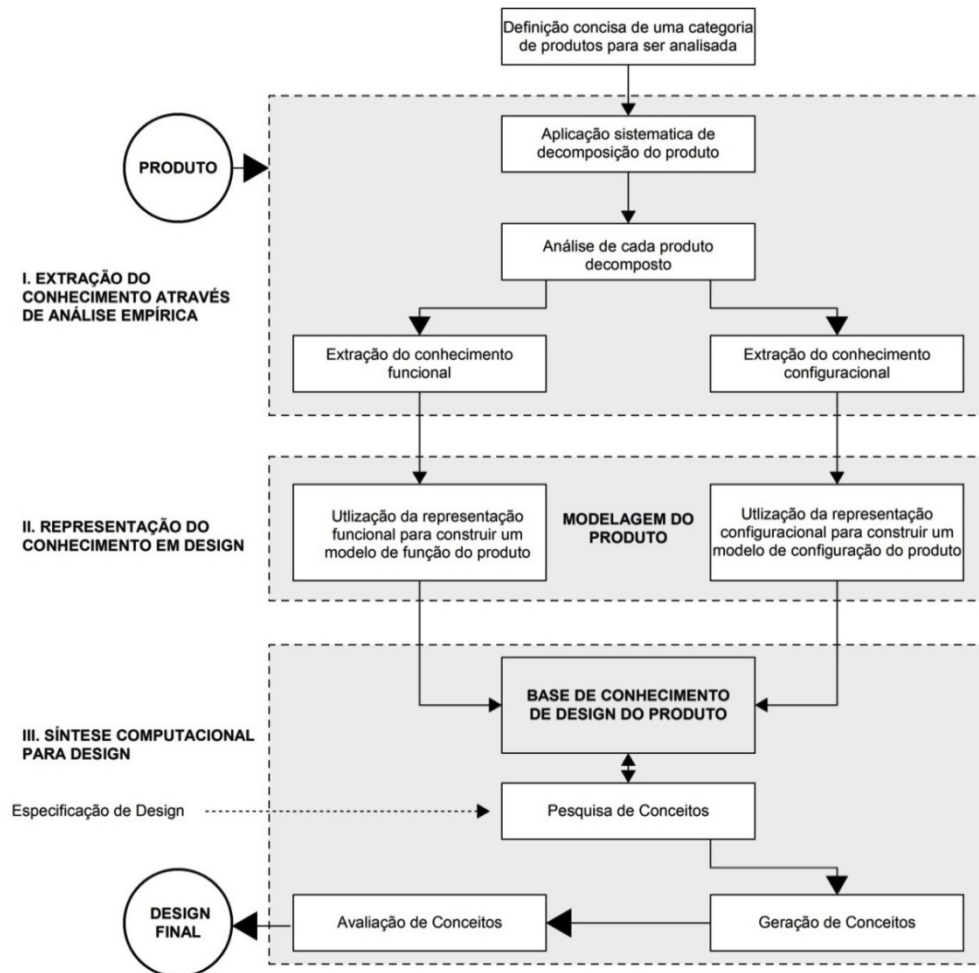


Fonte: Eilouti (2009).

Outra abordagem que possibilita manejar os problemas de representação do conhecimento de design é fazer a decomposição do todo em blocos separados. Uma maneira de decompor o conhecimento em blocos separados e isolados é através do conceito de história, que depende de quebrar a massa de informação de um caso inteiro em pequenos componentes distintos e relevantes. A importância deste método consiste na apresentação de um caso de modo a ensinar uma lição específica particular. A história de design é empregada como um dispositivo para decompor descrições existentes de design precedentes complexos em blocos. Os blocos básicos são: questão, conceito e forma (*Issue, Concept and Form – ICF*). Para cada design precedente, muitas histórias podem ser representadas. Uma história significativa fornece uma ligação explícita entre as questões do problema de design, um conceito de solução particular e sua forma. Estas ligações são essencialmente o conhecimento proveniente dos precedentes (OXMAN, 1994).

Kurtoglu, Campbell e Linsey (2009) descrevem um método para extração do conhecimento sobre um produto através da análise empírica. Iniciando com a definição de uma categoria específica para selecionar um grupo de produtos. Os produtos são analisados mediante sua decomposição para extrair um conhecimento funcional e um conhecimento configuracional. Este conhecimento é então representado através de modelos funcionais e configuracionais que vão abastecer uma base de conhecimento. Uma pesquisa de conceitos nesta base de conhecimento permite então gerar e avaliar uma solução projetual utilizando suporte computacional (Figura 14). Kurtoglu, Campbell e Linsey (2009) utilizam uma estrutura funcional e um gráfico de configuração de produto para representar como os componentes funcionais estão conectados entre si e como eles devem funcionar. Com um algoritmo de busca e seleção, são derivadas regras de combinação e alternativas de design a partir da base de conhecimento explorada.

Figura 14: Base de conhecimento para geração de conceitos.



Fonte: Adaptado de Kurtoglu, Campbell e Linsey (2009).

Bohm et al (2008) propõe um esquema de dados para capturar elementos fundamentais da informação de design em um repositório heterogêneo para então serem reutilizados em novos projetos. Estes elementos são divididos em sete categorias: (I) artefato, (II) função, (III) falha, (IV) configuração física, (V) desempenho, (VI) sensorial e (VII) mídia. Conforme estes autores, estas categorias podem resultar em uma descrição completa do conhecimento fundamental de um design. Estas categorias podem ser recriadas ou especializadas para outras aplicações mantendo o esquema de dados proposto. A versão atual do repositório desenvolvido por Bohm (2008) inclui um esquema de dados, um portal Web e uma aplicação de entrada que visa demonstrar como a informação pode ser arquivada e auxiliar a tarefa de design, além de conter informação de design sobre mais de 100 produtos eletromecânicos.

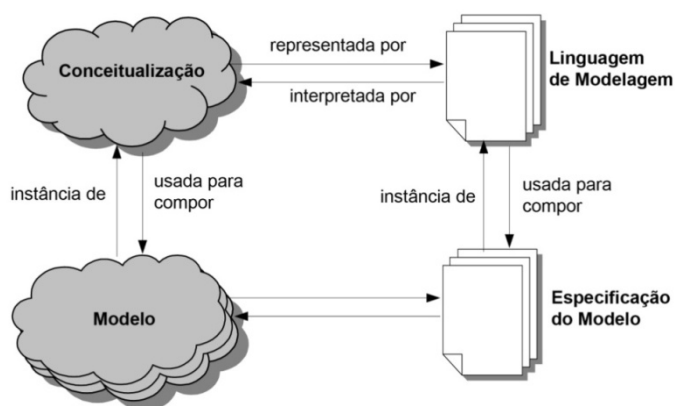
O conhecimento da configuração física de um artefato ou sistema está relacionado com os aspectos de sua forma e é organizado em quatro categorias: informação de manufatura, material, dimensões geométricas delimitadoras e cor. O conhecimento sobre o artefato serve como um ponto central que engloba as demais categorias de dados. Um artefato pode ser desde um produto completo, uma montagem parcial ou apenas uma parte individual. Nesta categoria é possível estabelecer relações de pai e filho e assim obter uma hierarquia do produto, além de associá-lo um determinado sistema. O conhecimento sobre função é utilizado para fornecer porções de modelos funcionais associados a um artefato. A captura do fluxo de material, energia e sinal em um produto requerem a determinação de entradas e saídas entre fluxo e artefato para cada função. A informação das categorias é representada no formato de tabelas de banco de dados. Os dados são tabulados e indica relações entre os elementos das diferentes categorias, o que permite a visualização de maneira integrada de um subconjunto da informação relativa a um aspecto do artefato. As tabelas da base de dados podem armazenar informação sobre o produto de maneira direta ou referenciar informação de maneira indireta proveniente de outras tabelas (BOHM, 2008).

2.2.2 Ontologia

Para Witherell et al (2013) a ontologia é uma abordagem consolidada para auxiliar a interoperabilidade do conhecimento sobre produtos e a gestão do seu ciclo de vida. Conforme Li, Yang e Ramani (2009) uma ontologia pode ser compreendida como a construção de um modelo para representar um determinado domínio utilizando um sistema de conceitos altamente estruturado que abrange processos, objetos, atributos e suas relações. Uma ontologia é a decomposição de um domínio seguindo uma determinada hierarquia de conceitos, também denominados de classes. Dois exemplos de conceitos na área da engenharia são: alumínio (conceito de material) e suporte (conceito de funcionalidade). Cada conceito possui várias propriedades que também são chamadas de atributos, descrevendo o significado e as características de um determinado conceito. A taxonomia é a classificação hierárquica de conceitos em um subdomínio enquanto a ontologia consiste de diversas taxonomias, abrangendo múltiplas relações de conceitos entre domínios distintos (LI, YANG e RAMANI, 2009).

Guizzardi (2005) define três níveis de ontologia de acordo com seu conteúdo. Uma ontologia de alto nível (I) descreve conceitos gerais do mundo real, como o tempo, a matéria, as ações. Neste nível, os conceitos são independentes de um domínio ou problema particular. Uma ontologia de domínio (II) descreve o vocabulário relacionado a um domínio amplo e genérico da realidade, como a medicina ou a aviação. Na ontologia de domínio, os termos de uma ontologia de nível superior são especializados de acordo com a área abordada. Uma ontologia de aplicação (III) descreve os conceitos que dependem de um domínio particular e especializado. Um modelo conceitual pode representar uma ontologia de acordo com os níveis descritos acima. Guizzardi (2005) propõe que a construção de modelos conceituais utilize uma estruturação ontológica para documentar e comunicar o conhecimento sobre determinado domínio. Um modelo conceitual consiste em uma especificação gerada por uma linguagem de modelagem. Uma linguagem de modelagem serve para representar uma conceituação relativa a uma abstração de um domínio em particular (Figura 15).

Figura 15: Produção de um modelo conceitual.

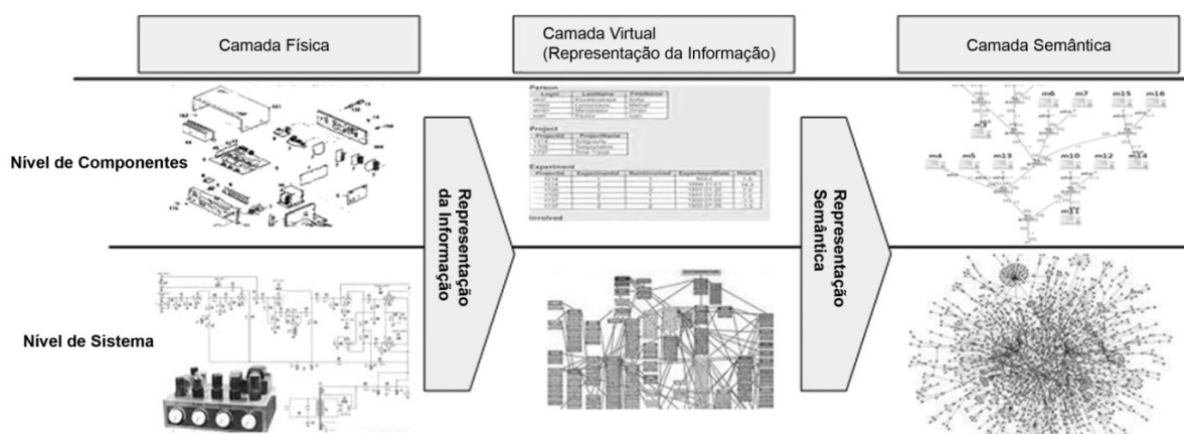


Fonte: Guizzardi (2005).

Witherell et al (2013) propõem técnicas relacionadas com a semântica para ajudar a identificar relações entre artefatos técnicos. O contexto é importante para compreender o que constitui uma interdependência e o que não constitui, pois diferentes especialidades concentram-se em propriedades específicas. Assim, para criar uma consistente ontologia sobre um domínio é necessário estabelecer um conjunto de classes e determinar suas relações que sejam relevantes de acordo com a finalidade do projeto.

Na definição de uma ontologia, uma camada física contém os componentes e os sistemas dos artefatos do mundo real que podem ser representados por uma camada virtual. A camada virtual específica como os objetos físicos podem ser convertidos em entidades de informação e como esta informação pode ser interconectada para criar um sistema. A transição de uma camada virtual para uma camada semântica fornece a estruturação para as relações entre as entidades de informação e possibilita identificar as interdependências relevantes em sistemas amplos e complexos (WITHERELL et al, 2013). Conforme estes autores, a representação de um artefato físico pode ser convertida desde um modelo geométrico, para um modelo informacional e posteriormente para um modelo semântico que permita a identificação de relações interdependentes (Figura 16).

Figura 16: Transição entre camadas de representação.



Fonte: Witherell et al (2013).

De acordo com Raza e Harrison (2011) o uso de ontologias é uma metodologia consolidada para o desenvolvimento de bases de conhecimento que transmitam conteúdo semântico. As bases de conhecimento ontológico combinam uma abordagem orientada a objetos e uma lógica de predicados de primeira ordem. Os objetos do mundo real (produtos, processo e máquinas) são documentados através da definição de instâncias de conceitos em uma ontologia. As relações entre os conceitos são estabelecidas através de uma definição formal e explícita para então ser considerado um modelo da informação correto. Um equipamento pode ser convertido em uma ontologia para obter o conhecimento acerca de sua estrutura e de seu processo de funcionamento e assim verificar como a introdução de mudanças afetará um determinado sistema (RAZA e HARRISON, 2011).

Doboli (2014) investiga a combinação de conceitos no projeto de sistemas eletrônicos embarcados. De acordo com este autor, quando os conceitos são fornecidos em forma de títulos, eles contribuem para a geração de produtos com um maior nível de inovação do que quando se fornece descrições textuais. Isto ocorre porque os conceitos são mais facilmente combinados e relacionados uns com os outros, ao contrário dos conceitos expressos através de textos. Assim, as representações que facilitam a combinação de conceitos são úteis para o processo de projeto.

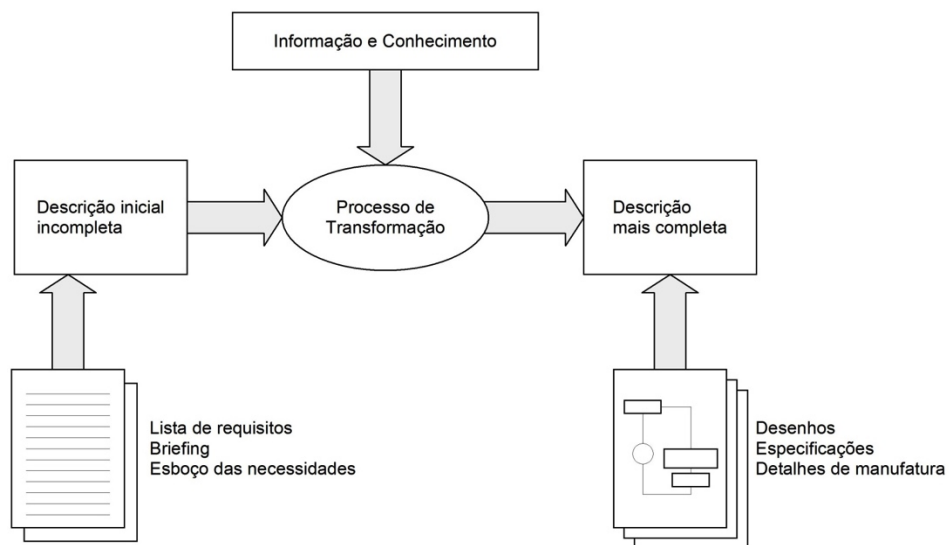
Para Witherell et al (2013) uma ontologia compartilha uma série de características em comum com a orientação a objetos. Deste modo, técnicas da orientação a objetos podem ser utilizadas para representar ontologias. Porém, este autor sustenta que isoladamente a orientação a objetos é focada nas propriedades operacionais dos objetos, isto é, nos métodos de uma determinada classe e por isso deve ser considerada uma prévia estruturação conceitual quando se fizer sua utilização. Uma adequada ontologia permite a correspondência do conhecimento no processo de projeto e pode contribuir para a reutilização deste conhecimento em novos projetos.

2.3 Representação do Conhecimento

No contexto de desenvolvimento de produto, uma representação pode ser definida como a instância de um futuro objeto. A interação com este objeto em evolução através das suas representações contribui de forma ativa no processo colaborativo de projeto (EWENSTEIN & WHYTE, 2009). Visser (2010) observa que sob o ponto de vista cognitivo, o processo de design consiste na construção de representações visando especificar um artefato. O resultado do design são os artefatos produzidos pelos seres humanos, em contraste com os artefatos naturais. Os artefatos podem ser físicos, como automóveis e edificações, ou simbólicos, como por exemplo, os programas computacionais e os serviços. Para Visser (2010) os artefatos também podem ser representados internamente, através de imagens mentais ou externamente através de desenhos e protótipos, constituindo conhecimento de produto.

Conforme Landsdown (1986), sob o ponto de vista da informação e do conhecimento, o design pode ser compreendido como um processo de transformação de um conjunto de representações incompletas (e.g. requisitos de um produto) até um conjunto de representações completas de um produto ou sistema (e.g. documentos de produção) (Figura 17).

Figura 17: Processo de transformação da informação no design.



Fonte: Witherell et al (2013).

Visser observa que no processo de representação do design, três atividades são realizadas pelos projetistas: geração, transformação e avaliação. A geração consiste em interpretar os requisitos e outros dados fornecidos pelo projeto assim como coletar documentos para gerar uma primeira representação do artefato. A transformação depende de uma re-estruturação e da combinação de outras representações de modo a modificar uma determinada proposta. A avaliação é utilizada para selecionar as propostas e pode ser utilizada além dos artefatos para o processo aplicado (VISSER, 2010).

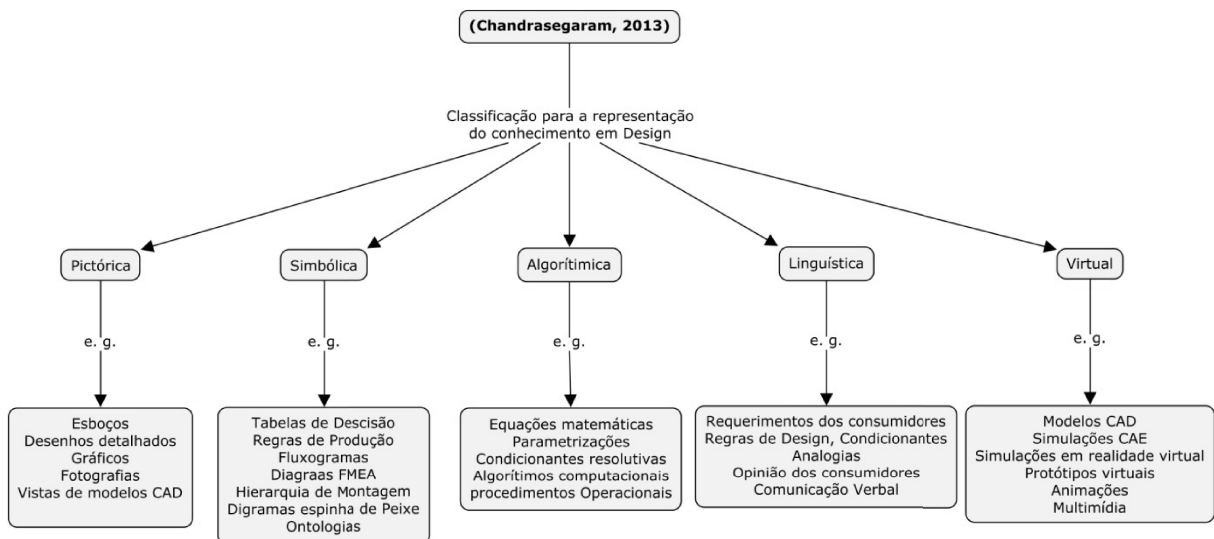
Já Eastman (2001) observa que dois tipos de representações podem ser utilizados por um indivíduo para a resolução de problemas espaciais. Em um extremo, utilizando apenas representações externas de modo a gerar soluções baseadas na manipulação de símbolos previamente definidos. No outro extremo, utilizando apenas representações internas para formular e manipular mentalmente soluções de design e utilizando a representação externa apenas para documentar estas soluções. Entre estes extremos está a utilização das duas técnicas combinadas, com as representações externas oferecendo suporte para os processos mentais de representação interna (EASTMAN, 2001).

Com relação as representações internas, Eastman (2001) indica que Johnson-Laird (1998) reconhece três tipos de imagens mentais distintas. Um tipo de imagem mental é o modelo mental, que é uma forma espacial abstrata e pode possuir diferentes tipos de relações entre si, como topologia, direção, etc. Para este autor, um modelo mental ligeiramente se aproxima de um diagrama. Outro tipo de imagem mental é o modelo tridimensional, que consiste em uma forma completa com três dimensões e de onde vistas bidimensionais podem ser geradas. O terceiro tipo são as imagens bidimensionais, que são figuras com tamanho e resolução fixas. Para o design de produto, a estrutura de representação interna normalmente empregada compreende blocos de conhecimento com múltiplas relações entre si. Visser (2010) considera que a organização do conhecimento é central para a construção de representações e especialmente o design requer tanto um conhecimento geral e abstrato sobre diferentes domínios, como um conhecimento específico e aprofundado sobre determinadas questões contextuais

Observa-se que não existe um limite claro e rígido que demarque os diferentes tipos de representação, pois múltiplas dimensões devem ser consideradas para sua classificação. Uma representação pode utilizar diferentes níveis de abstração, variando desde uma representação abstrata até uma representação concreta da informação. Cada representação está associada a uma linguagem para descrever um determinado modelo da realidade. Diferentes modelos expressam visões complementares sobre um produto ou sistema de acordo com a necessidade do projeto (BOOCH, RUMBAUGH E JACOBSON, 2006).

Para Chandrasegaram et al. (2013) o conhecimento pode ser visto como uma informação em um determinado contexto e sua representação pode ser classificada como: (I) Pictórica e.g. esboços, desenhos detalhados, fotografias, gráficos e vistas de modelos CAD; (II) Simbólica e.g. quadros de decisão, regras de produção, diagramas, árvores de montagem, ontologias; (III) Linguística, e.g. requisitos dos consumidores, regras de design, condicionantes, analogias, comunicação verbal; (IV) Virtual e.g. modelos CAD, simulações CAE, simulações de realidade virtual, protótipos virtuais, animações e multimídia; e (V) Algorítmica e.g. equações matemáticas, parametrizações, algoritmos computacionais e procedimentos operacionais (Figura 18). Várias representações podem ser enquadradas em mais de uma categoria, como no caso dos gráficos de montagem, que podem ser considerados representações algorítmicas ou pictóricas (CHANDRASEGARAM et al, 2013).

Figura 18: Tipos de Representação.

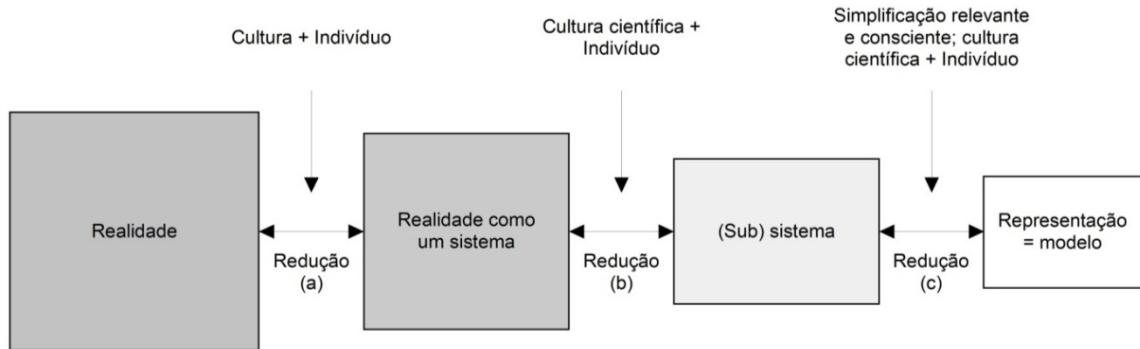


Fonte: Baseado em Chandrasegaram (2013).

2.3.1 Modelos

Para Booch, Rumbaugh e Jacobson (2012) um modelo é uma simplificação da realidade, ou seja, uma abstração de um determinado sistema. Klassen (2002) observa que a formulação de um modelo depende da interpretação consciente da realidade através de sua redução e simplificação direcionada a um determinado propósito (Figura 19).

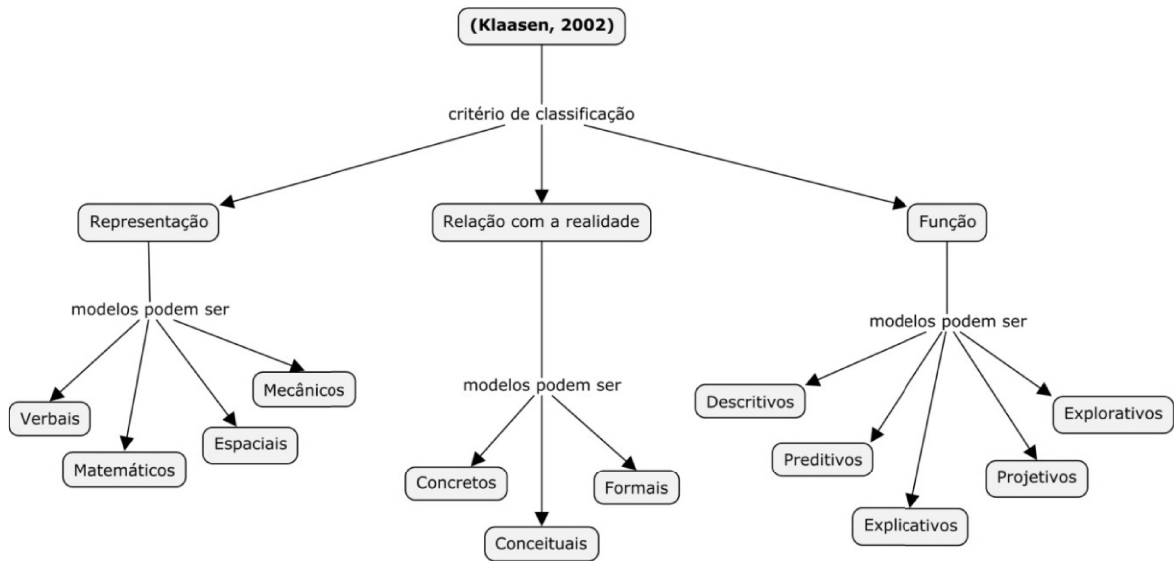
Figura 19: Transformação da realidade em um modelo.



Fonte: Klaasen (2002).

Um mesmo sistema pode ser representado através de diferentes modelos. De acordo com sua representação, modelos podem ser verbais, matemáticos, espaciais e mecânicos. Como exemplo, um sistema ferroviário pode ser simplificado através de um modelo verbal, com uma descrição em palavras de sua estrutura, dos tipos de conexão e da frequência de partidas e chegadas. Também pode ser um modelo mecânico em escala reduzida que funcione da mesma maneira que o original. As posições das linhas da ferrovia e de suas estações podem ser representadas através de modelos espaciais, assim como um calendário para alocação dos empregados pode ser representado por um modelo matemático (KLASSEN, 2002). Os modelos também podem ser classificados quanto sua aproximação da realidade em concreto, abstrato e formal. Modelos concretos são compostos por entidades empíricas que correspondem a uma ideia de matéria, possuindo dimensões espaciais Modelos conceituais são construções mentais que se referem ao passado, presente ou futuro. São compostos por entidades conceituais que visam a uma compreensão da realidade. Modelos formais são conglomerados de equações e algoritmos associados a um fenômeno. Finalmente, os modelos podem ser categorizados conforme sua função em descritivos, preditivos, explicativos, projetivos e explorativos (Figura 20).

Figura 20: Tipos de modelos.

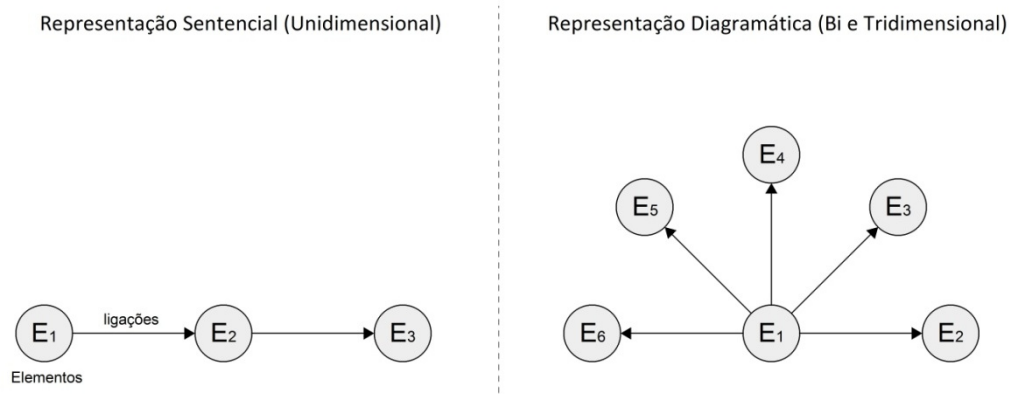


Fonte: Klaasen (2002).

2.3.2 Diagramas

Diagramas são representações externas próximas da estrutura cognitiva utilizada no raciocínio humano para a resolução de problemas. Conforme Larkin e Simon (1987) representações diagramáticas preservam explicitamente a informação sobre as relações geométricas e topológicas entre os componentes do problema, diferentemente das sentenciais, que preservam relações temporais ou lógicas por exemplo. Para compreender as vantagens e a adequada aplicação do uso de diagramas, Larkin e Simon (1987) investigaram representações diagramáticas e representações não diagramáticas em um sistema de processamento da informação. Uma estrutura de dados que se apresenta em uma única sequência é uma representação sentencial. Uma estrutura de dados em que a informação é indexada em duas dimensões é uma representação diagramática. Na representação sentencial, não diagramática, expressões descrevem um problema através de uma linguagem natural que pode ser transferida para uma linguagem formal simples, formada por sentenças e orientada uma a uma. Na representação diagramática, as expressões correspondem aos componentes que descrevem um problema, igualmente orientados um a um. Cada expressão contém sua informação armazenada em um particular ponto do diagrama, incluindo a informação sobre suas relações com outros pontos adjacentes (Figura 21).

Figura 21: Representação sentencial e diagramática.



Fonte: Larkin e Simon (1987).

Por outro lado, em uma estrutura de dados sentencial, a procura por elementos que correspondam com as condições estabelecidas por qualquer regra de inferência requer uma pesquisa linear na estrutura de dados. Em adição, os diversos elementos necessários para corresponder a uma dada regra podem estar amplamente separados em uma lista caso não estejam indexados explicitamente. Em um diagrama um item possui uma localização. Caso seja possível fazer uma inferência sobre uma localização específica ou em sua região próxima não é necessário pesquisar em outras partes da estrutura de dados. Diagramas podem agrupar toda informação que é aplicada para a resolução de um determinado problema em localizações espaciais fornecendo suporte para um amplo número de inferências conclusivas (LARKIN e SIMON, 1987).

Diagramas do tipo nó e ligação utilizam figuras geométricas para itens, atividades e conceitos e ligações através de linhas que estabelecem as relações entre estas entidades. Mapas cognitivos, mapas mentais, mapas conceituais, modelos de relações entre entidades, fluxogramas, mapas argumentativos, redes semânticas, mapas de conhecimento e diagramas UML são exemplos de métodos sistemáticos de representação diagramática que relacionam diferentes itens enquadrados por figuras através de ligações que podem ou não ser rotuladas com regras sequenciais explícitas (EPPLER, 2006).

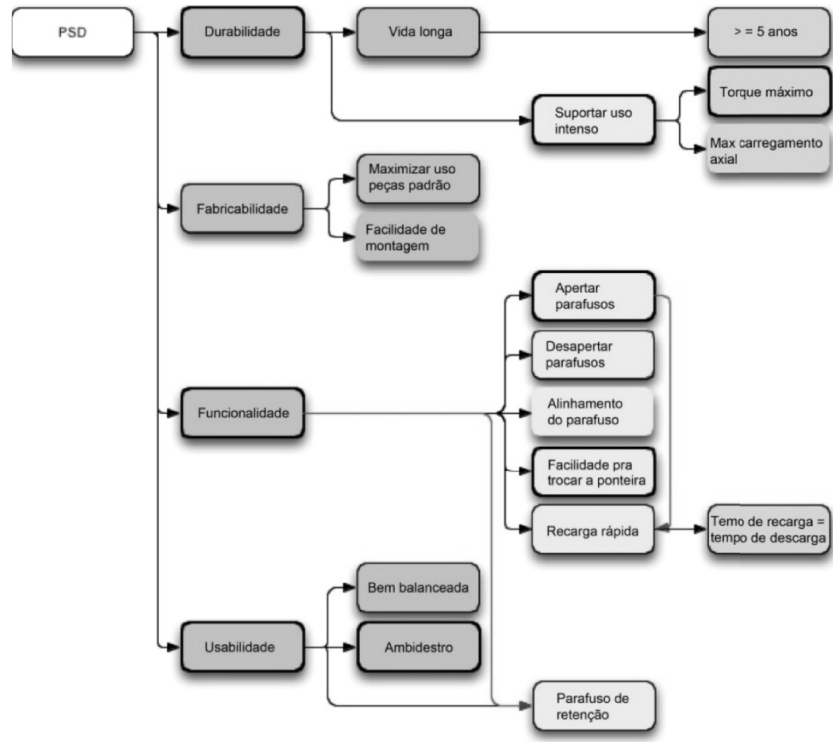
Eppler (2006) descreve quatro tipos fundamentais de métodos visuais para representar a informação: mapas mentais, mapas conceituais, diagramas conceituais e metáforas visuais. Os Mapas mentais são diagramas radiais com múltiplas cores, imagens e texto que representam conexões semânticas hierarquicamente distribuídas entre porções de conteúdo específico. A produção de mapas mentais é amplamente abordada na obra de Buzan (1996). Os mapas conceituais são diagramas hierárquicos demonstrando certas relações entre conceitos, incluindo conexões cruzadas e ligações para conteúdo externo. Mapas conceituais foram amplamente estudados por Novak (1990). Um diagrama conceitual é uma descrição sistemática de um conceito abstrato com categorias predefinidas e relações próprias baseada em modelos ou teorias. Uma metáfora visual é uma estrutura gráfica que utiliza formas e elementos familiares facilmente reconhecíveis e organizam um conteúdo de modo a expressar um determinado significado.

Conforme Segers, De Vries e Achten (2005) designers utilizam diferentes tipos de representação para explicitar suas ideias, como esboços, imagens, marcações e anotações, porém as anotações receberam pouca atenção por parte dos pesquisadores, mas revelam um conteúdo importante para o design. Estes autores desenvolveram uma ferramenta de apoio para as fases iniciais do processo de projeto utilizando um gráfico de palavras interativo denominado Idea Space System (ISS). Segers, De Vries e Achten (2005) propõe estimular o design através de gráficos contendo palavras que possuem associações semânticas. Os experimentos realizados demonstraram que os designers apreciaram o estímulo recebido, criando mais associações entre domínios distintos, embora não tenha sido possível identificar se este recurso tenha contribuído para um aumento da criatividade ou da redução do fenômeno de fixação. O que estes autores denominam como gráfico com palavras também pode ser compreendido como uma espécie de mapa mental interativo que permite gerar conteúdo de maneira automática a partir de uma entrada manual. O mapeamento mental é um tipo de representação diagramática externa mais próxima da estrutura cognitiva dos designers e pode ser considerado como um método fundamental para as fases iniciais de design (BÜRDEK, 2006).

Salustri, Eng e Weerasinghe (2008) reconhecem que os diagramas são representações alternativas de informação que provem perspectivas diferentes e valiosas para os objetos estudados. Os diagramas podem contribuir para tornar visíveis coisas que de outra maneira não são tão facilmente representadas. Existem diversas alternativas de programas computacionais para desenho diagramático, como Visio, SmartDraw, LucidChart, porém estes softwares possuem interfaces especializadas que dificultam a criação de diagramas simplificados e requerem um investimento considerável de tempo de aprendizado (SALUSTRI, ENG e WERASINGHE, 2008).

Conforme Salustri, Eng e Weerasinghe (2008), para o design conceitual linguagens diagramáticas devem ser equilibradas em relação à densidade da informação apresentada e sua usabilidade. Estes autores observam que a UML e SysML são linguagens de representação altamente densas e difíceis de utilizar no início do design conceitual. Por outro lado, mapas mentais são extremamente fáceis de utilizar e amplamente reconhecidos, porém limitados em expressividade (volume da informação). Salustri, Eng e Weerasinghe (2008) propõem uma maneira eficiente de visualizar informação não-geométrica essencial para as fases iniciais de design através de uma ferramenta de representação diagramática denominada CmapTools, uma aplicação em Java que permite edição por múltiplos colaboradores. O uso desta ferramenta foi avaliado mediante o desenvolvimento de produtos técnicos por grupos de estudantes e profissionais. Foram identificados padrões recorrentes entre as representações geradas, como a hierarquia da informação e o agrupamento espacial de elementos que estão diretamente associados (Figura 22).

Figura 22: Características do produto e requerimentos funcionais.

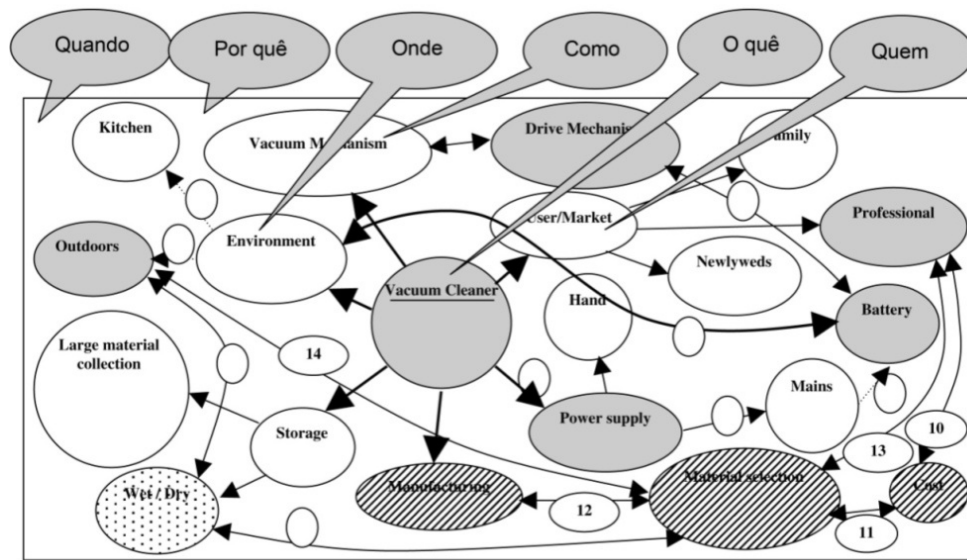


Fonte: Adaptado de Salustri, Eng e Weerasinghe (2008).

Kokotovich (2008) demonstra que os mapas mentais não hierárquicos também são ferramentas úteis para o design, especialmente para as fases iniciais de design, quando é necessário analisar o problema de projeto. Este método contribui significativamente para a compreensão da informação de projeto por parte de estudantes e profissionais, pois permite documentar conhecimento sobre um determinado domínio de maneira visual. Kokotovich (2008) sugere que existe uma clara relação entre o uso de mapas mentais não hierárquicos e a habilidade dos designers de produzirem projetos criativos e bem fundamentados. Isto ocorre porque eles possibilitam uma clara articulação de complexas inter-relações dinâmicas entre as questões de projeto nas fases iniciais do processo. Ademais, a natureza gráfica dos mapas mentais permite a compreensão da natureza e estrutura do problema de projeto e possibilita uma abordagem holística para sua solução. Também é possível integrar informação, ideias e questões novas e antigas, assim como construir um corpo de conhecimento relatado a um determinado domínio, funcionando com um auxílio da memória para os designers (KOKOTOVICH, 2008).

Conforme Kokotovich (2008) o uso de mapas mentais não hierárquicos deve demonstrar associações de diferentes tipos, como associações unidirecionais e bidirecionais e o mapeamento das questões relativas ao espaço de design devem levar em conta os seguintes aspectos: (I) o quê? (II) por quê? (III) quando? (IV) quem? (V) como? (VI) onde? A Figura 23 demonstra um mapa mental não hierárquico elaborado conforme as questões acima descritas.

Figura 23: Mapeamento de questões de projeto.



Fonte: Adaptado de Kokotovich (2008).

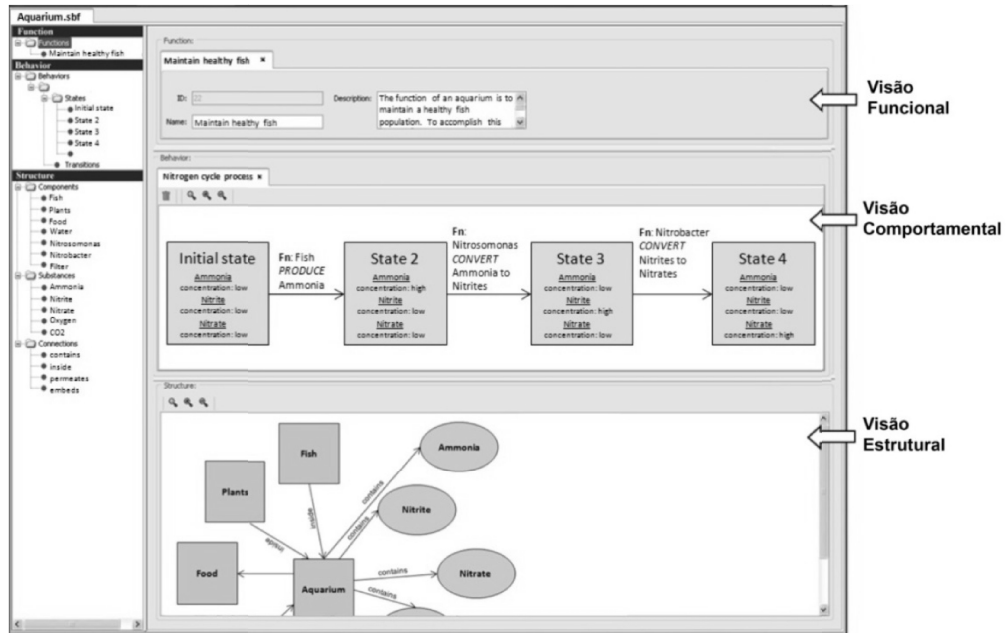
2.3.3 Função, Comportamento e Estrutura

Gero (1990) propõe que o design conceitual, sob o ponto de vista técnico, consiste em transformar uma função em uma descrição projetual de um artefato. O artefato deve ser capaz de produzir a função desejada, ou seja, é uma estrutura que contém os elementos e suas relações de modo que seu comportamento produza esta função. Como não é possível transformar diretamente uma função em sua descrição projetual, durante o processo de design é necessário conhecer a função global do produto para então determinar um comportamento desejado. A partir do comportamento desejado se busca uma estrutura que produza um comportamento semelhante. Os comportamentos são então comparados para avaliar se existe uma correspondência satisfatória entre os mesmos. Caso a estrutura gerada possua o comportamento desejado é feita a descrição projetual do artefato.

Deste modo, Gero (1990) estabelece um esquema de representação do conhecimento de design baseado em três grupos de variáveis: função, comportamento e estrutura (*Function, Behavior and Structure* – FBS). O nível de especificação depende da granularidade e do nível de abstração empregado. Este esquema visa fornecer um conhecimento essencial para a resolução de um problema de design. Gero (1990) argumenta que este esquema é mais completo em relação à generalização proposta por outros autores. De fato, parece haver uma incorporação deste esquema pelos autores que antes utilizavam apenas estrutura e função para generalizar o conhecimento sobre os artefatos, como Goel e Chandrasekaram (1989).

Goel, Rugaber e Vattam (2009) sugerem o esquema de representação do conhecimento baseado em estrutura, comportamento e função (*Structure, Behavior and Function* – SBF) para o entendimento de sistemas complexos. Através de uma linguagem que permite a construção de modelos estruturais, comportamentais e funcionais, possibilita a compreensão de sistemas complexos através de uma representação externa do conhecimento, sendo bastante aplicados em ambientes de aprendizagem (VATTAM et al, 2011). Vattam *et al.* (2011) apresenta uma aplicação computacional que possibilita modelar sistemas complexos utilizando a generalização SBF. Uma visão sobre a estrutura de sistemas complexos contém os elementos e seus relacionamentos. Esta visão pode ser apresentada através de gráficos, semelhantes a mapas conceituais, pois se baseia em diagramas do tipo nó-link e suas ligações são rotuladas. Uma visão comportamental é representada através de gráficos que demonstram a transição entre estados. Cada estado corresponde a uma configuração do sistema em um determinado período temporal. Uma visão funcional possibilita descrever uma ou mais funções e associá-las com comportamentos próprios. Na visão funcional é possível anexar conteúdo externo (hipermídia) para complementar sua descrição. A Figura 24 apresenta uma captura de tela da aplicação computacional desenvolvida por Vattam et al (2011) para representação SBF, apresentado três visões de um determinado sistema complexo.

Figura 24: Representação SBF.



Fonte: Adaptado de VATTAM (2011).

GALLE (2009) propõe duas abordagens sobre o esquema FBS. A abordagem nominalista considera a produção de descrições logicamente interconectadas de vários tipos. Uma descrição deve permitir um fabricante de produzir um artefato que possa ser usado de acordo um propósito originalmente estipulado. Esta abordagem reforça o caráter lógico do design. A abordagem realista considera um raciocínio projetual baseado em conhecimento sobre as estruturas e seus comportamentos, onde parte do conhecimento advém da experiência concreta do mundo real, ou seja, do entendimento dos sistemas existentes. CHEN et al (2015) altera o esquema FBS propondo que o design conceitual possa ser entendido como um processo onde uma necessidade do mundo real seja transformada em uma função. Esta função está relacionada com um princípio abstrato em um mundo semi-objetivo que então é transformado em um modelo de sistema no mundo real que contém estrutura e comportamento. Este entendimento visa agregar e unificar ao esquema FBS outros esquemas, como o esquema que utiliza função, princípio físico e princípio de solução de Pahl e Beitz (2013). Até o momento, esta pesquisa buscou fundamentar as principais características do projeto conceitual, como ocorre a exploração do espaço de design, o que é o conhecimento em design e como ele pode ser representado. A seguir será apresentado o paradigma da orientação a objetos e demonstrada sua relação com o conteúdo até aqui apresentado.

2.4 Paradigma da Orientação a Objetos

Nós vivemos em um mundo de objetos. Estes objetos existem na natureza, em entidades feitas por seres humanos, nos negócios e nos produtos que nós usamos. Eles podem ser categorizados, descritos, organizados, combinados, manipulados e criados. Desta forma, não é surpresa que uma visão orientada a objetos possa ser proposta para a criação de softwares computacionais – uma abstração que nos permite modelar o mundo de maneira que nos ajude a melhor o compreendermos e navegarmos nele (PRESSMAN, 2005).

Gabbar, Suzuki e Shimada (2003) observam que uma abordagem orientada a objetos permite a representação do mundo real de maneira natural, onde os sistemas são representados e analisados a partir de modelos estruturais, comportamentais e funcionais. O paradigma da orientação a objetos consiste em distribuir informação, conhecimento e relações sobre objetos como parte de uma estrutura modular. Design orientado a objetos é um método de projeto que aplica a decomposição do conhecimento sobre um determinado domínio ou sistema utilizando representação de forma abstrata (VAN DER PLOEG, 2013). La Rocca (2012) expõe que nas engenharias os conceitos da orientação a objetos já são amplamente aplicados em abordagens consolidadas, como a engenharia de sistemas baseada em modelos e a engenharia baseada em conhecimento.

Schodek (2005) indica que o design orientado a objetos utiliza um modelo de dados para descrever informação complexa através de componentes discretos, porém inter-relacionados. Estas unidades de dados, os objetos, contêm tanto atributos como métodos. Atributos são propriedades, como por exemplo, a largura de uma determinada porta, e métodos são partes de um código de programação que contém descrições operativas ou comportamentais. Objetos também podem conter um conjunto de mensagens e podem responder a elas. Mensagens são requisições entre objetos para executar um método em particular, como ajustar a espessura de um objeto parede para coincidir com a espessura de um objeto porta. Os objetos que compartilham os mesmos métodos, respondem as mesmas mensagens e possuem os mesmos atributos são agrupados em classes. Um objeto “porta de correr” pode ser uma instância de uma classe denominada “porta”, que por sua vez pode conter outras instâncias, como “porta de abrir”. Estes objetos podem compartilhar certos atributos como “espessura” e “altura” e pode ser diferenciado

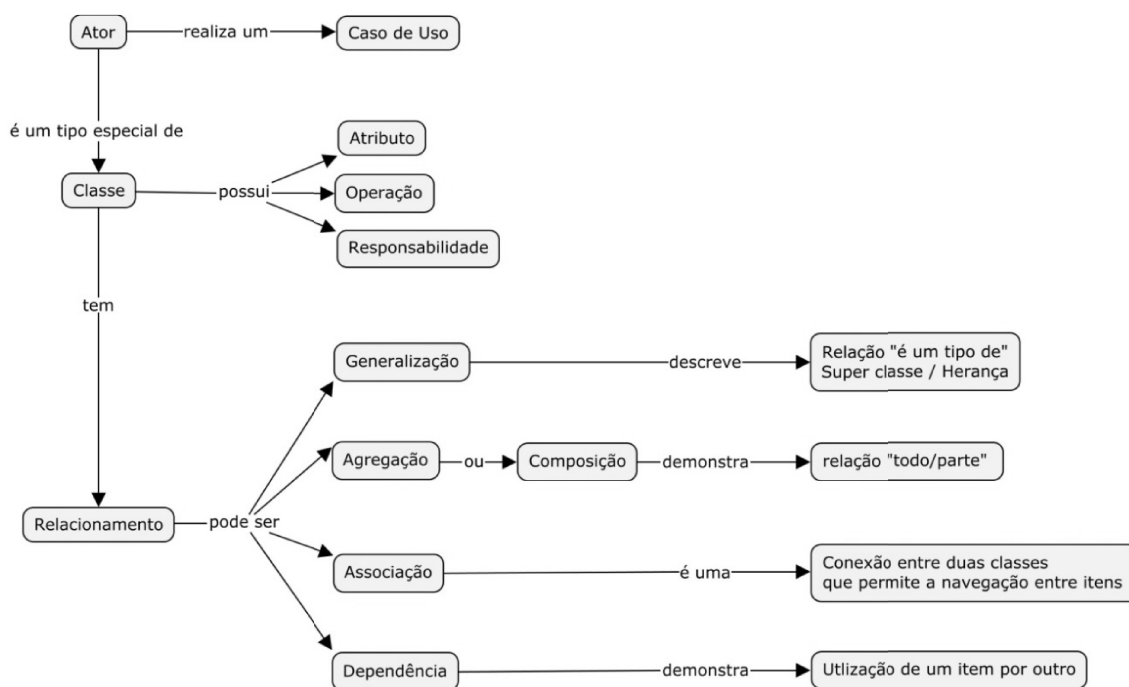
pelos valores destes atributos. O mecanismo de herança consiste na criação de novas classes contendo atributos e métodos de outras classes, o que permite o compartilhamento de informação e a mesma resposta a algoritmos particulares de projeto. Esta estrutura permite que os objetos sejam utilizados de diferentes maneiras pelo sistema ao mesmo tempo em que podem ser modificados ou ampliados sem afetar o modo como os objetos são usados. Os objetos podem ser construídos, reutilizados e refinados ao longo do tempo (SCHODEK, 2005).

Booch (2007) indica quatro conceitos fundamentais para OO: abstração, encapsulamento, modularidade e hierarquia. A abstração é o processo de separar a informação que é importante de acordo com um claro propósito, ou seja, focar a atenção apenas nas características relevantes e fundamentais de um sistema e descartar a informação trivial. O conceito de encapsulamento consiste em agrupar importantes características dos objetos em um único pacote. Tudo que um objeto necessita para funcionar pode estar reunido em um mesmo lugar e o comportamento deste grupo funciona como uma barreira entre seu funcionamento interno e a interação com os outros objetos. O conceito de modularidade sugere que as variadas partes de um objeto devem se comportar como módulos, conectando-se para formar uma estrutura complexa e funcional. A modularidade favorece a reutilização dos componentes de um sistema. O conceito de hierarquia consiste na classificação e na ordenação dos objetos e de suas classes. Classes e objetos são organizados hierarquicamente e herdam relações das classes superiores as quais pertencem.

Na engenharia de software, uma programação orientada a objetos refere-se ao estilo de programação em que as aplicações são baseadas em objetos que interagem entre si. O código é organizado por classes e não por módulos algorítmicos como acontece na programação estruturada. A interação entre os objetos é baseada no envio de mensagens que são respondidas através da invocação de métodos apropriados e o polimorfismo representa a capacidade de objetos de responderem de distintas maneiras quando determinado procedimento é invocado. Booch (2007) descreve a programação orientada a objetos como um método de implementação em que programas são organizados como uma coleção cooperativa de objetos que pertencem a uma determinada classe. Classes e objetos

são úteis para representar informação complexa e encontram aplicação além da programação, como para a representação do conhecimento em design (RAPHAEL e SMITH, 2003). Conforme Gorti et al (1998) classes e relacionamentos são mecanismos de abstração que explicitam a semântica de um modelo e reúnem propriedades em comum. Todo objeto é uma instância de uma classe, herdando todos os atributos (propriedades), relacionamentos, métodos (operações) e condicionantes da classe a qual pertence. Uma generalização de classes é utilizada como um mecanismo de implementação para compartilhar informação com classes especializadas. Classes especializadas podem herdar propriedades de outras classes que estejam em níveis superiores na hierarquia de abstração devido ao conceito de múltipla herança. Booch, Rumbaugh e Jacobson (2012), determinam que uma classe possua atributos, também denominados de propriedades, operações, também denominadas como métodos e responsabilidades. Uma classe pode se relacionar com outra classe através de uma generalização, de uma agregação, associação ou dependência. Um ator é um tipo especial de classe que realiza um caso de uso (Figura 25).

Figura 25: Classes e Relacionamentos.



Fonte: Baseado em Booch, Rumbaugh e Jacobson, 2012.

Conforme Froese (1992) projetos nas áreas de Arquitetura, Engenharias e Construção requerem uma extensa comunicação de grandes blocos de informação e para isso este autor propôs um modelo estandarte de dados orientado a objetos que permite a integração desta informação. Este autor define três níveis para os modelos: (I) um modelo de dados estandarte que é um mecanismo formal para representar a informação em geral, denominado de esquema de representação do conhecimento ou linguagem orientada a objetos; (II) um modelo de domínio que contém a terminologia ou a descrição de como representar os elementos de um determinado domínio no modelo de dados, neste caso a definição das classes de um domínio específico, também entendido como a construção de uma ontologia ou a estruturação de dados; e (III) um modelo de projeto que expressa os dados relativos a um projeto específico, também entendido como um banco de dados ou uma base de conhecimento do projeto. O Quadro 2 relaciona a definição dos conceitos para cada nível de modelo de acordo com a terminologia de áreas de investigação correlacionadas.

Quadro 2: Níveis de modelos e respectiva terminologia.

	Terminologia de Banco de Dados	Terminologia da Engenharia de Software	Terminologia da Programação Orientada a Objetos	Terminologia da Inteligência Artificial
Modelo de Dados	modelo de dados	representação de dados	linguagem orientada a objetos	esquema de representação do conhecimento
Modelo de Domínio	esquema	estrutura de dados	classes	ontologia
Modelo de Projeto	banco de dados	dados	instâncias	base de conhecimento ou afirmações

Fonte: Froese (1992).

2.4.1 Modelo de Classes

Um modelo de classes é uma estrutura estática de representação da realidade visando formalizá-la. Na modelagem orientada a objetos, Starr (2001) utiliza a denominação modelo de classes ao invés de diagrama de classes (que normalmente é empregada na literatura sobre OO), pois um diagrama de classes é apenas uma representação diagramática de um conjunto de classes. Já um modelo de classes é uma estrutura independente de dados que pode ser representada de diferentes formas. Embora seja uma estrutura estática, um eficiente modelo de classes deve permitir a compreensão da dinâmica do sistema. O comportamento, a inteligência e a confiabilidade de um sistema devem responder a uma estrutura clara e não ambígua. Para um modelo de classes ser eficiente, ele deve expressar uma série de condições de um determinado sistema de maneira transparente e precisa, restringindo a uma interpretação unificada (STARR, 2001).

Para iniciar a modelagem de um sistema, Starr (2001) sugere a definição de classes observando as propriedades dos objetos e sua interação com outros objetos do mundo real. Para identificar as propriedades relevantes de uma classe é necessário avaliar um determinado contexto. As propriedades relevantes são determinadas quando se analisa o contexto. Por exemplo: no contexto de tráfego aéreo, todo avião possui um número de cauda; uma altitude, uma velocidade e uma posição. Aplicando a abstração, é possível definir uma classe para a categoria avião, conforme Figura 26.

Figura 26: Abstração de uma classe a partir de dados do mundo real.



Fonte: Adaptado de Starr (2001).

Conforme Starr (2001) classes também podem ser representadas através de uma estrutura de dados independente em formato de tabela, sendo possível realizar operações de ordem matemática e lógica. Uma estrutura de dados tangível permite operações para manipulação dos dados através de relações álgebras bem definidas e que são suportadas por ações da UML. A Figura 27 demonstra uma possível estrutura de dados independente para a classe avião

Figura 27: Exemplo de estrutura de dados independente em formato de tabela.

Avião

Número de Cauda	Velocidade	Altitude	Posição

Fonte: Adaptado de Starr (2001).

Objetos únicos do mundo real com propriedades conhecidas são instâncias das classes que o estruturam. A Figura 28 apresenta uma estrutura de dados em formato de tabela com os objetos instanciados a ela, neste caso dois aviões em situação de voo com suas respectivas propriedades.

Figura 28: Objetos instanciados na classe avião.

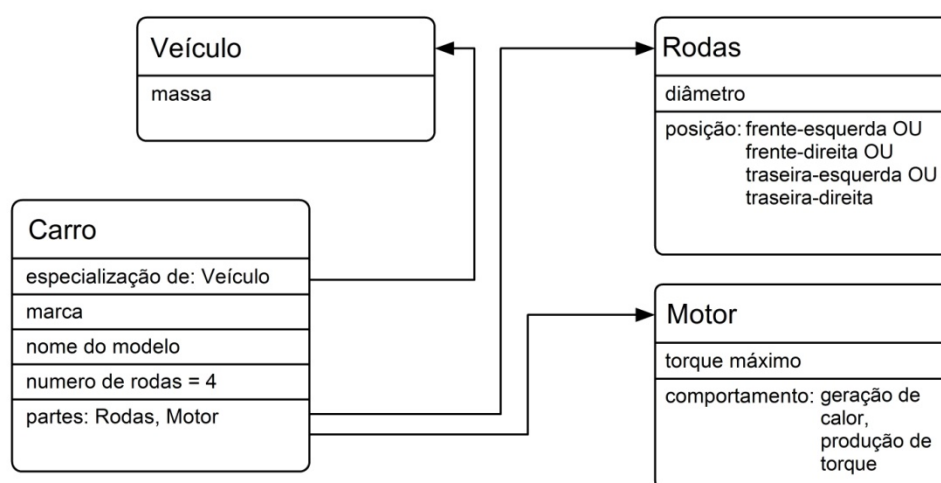
Avião

Número de Cauda	Velocidade	Altitude	Posição
N17846D	8.000ft	135mph	178 deg
N12883Q	12.300ft	240mph	210 deg

Fonte: Adaptado de Starr (2001).

Para estruturar e representar um modelo de classes também é possível utilizar uma linguagem diagramática baseada em quadros. Um quadro pode ser utilizado como uma estrutura principal de classes que permite gerar instâncias, ou seja, os objetos das classes. Um quadro (frame) é um tipo de representação que visa capturar o conhecimento sobre o domínio de um problema utilizando uma estrutura de dados padronizada. Um quadro permite a representação explícita de conexões implícitas da informação e oferece suporte para organizar o conhecimento em unidades mais complexas refletindo a organização dos objetos em um domínio. Um quadro pode ser considerado como a implementação de uma rede semântica que produz um esquema inicial para representar o conhecimento. As características desta abordagem são: a alta expressividade devido à combinação de diferentes tipos de conhecimento que podem ser documentados; a possibilidade de representar objetos complexos com um único quadro ao invés de uma larga estrutura de rede, permitindo uma natural e intuitiva representação; a utilização de heranças, que são hierarquias que permitem representações econômicas das propriedades dos elementos e evitam a repetição dos atributos para cada nível de abstração utilizado; e a possibilidade de utilizar tanto dependências hierárquicas entre os elementos como dependências cruzadas (HELMS, 2012). A Figura 29 apresenta um exemplo de quadro para um domínio em particular.

Figura 29: Quadros para o domínio de veículo.



Fonte: Adaptado Helms (2012).

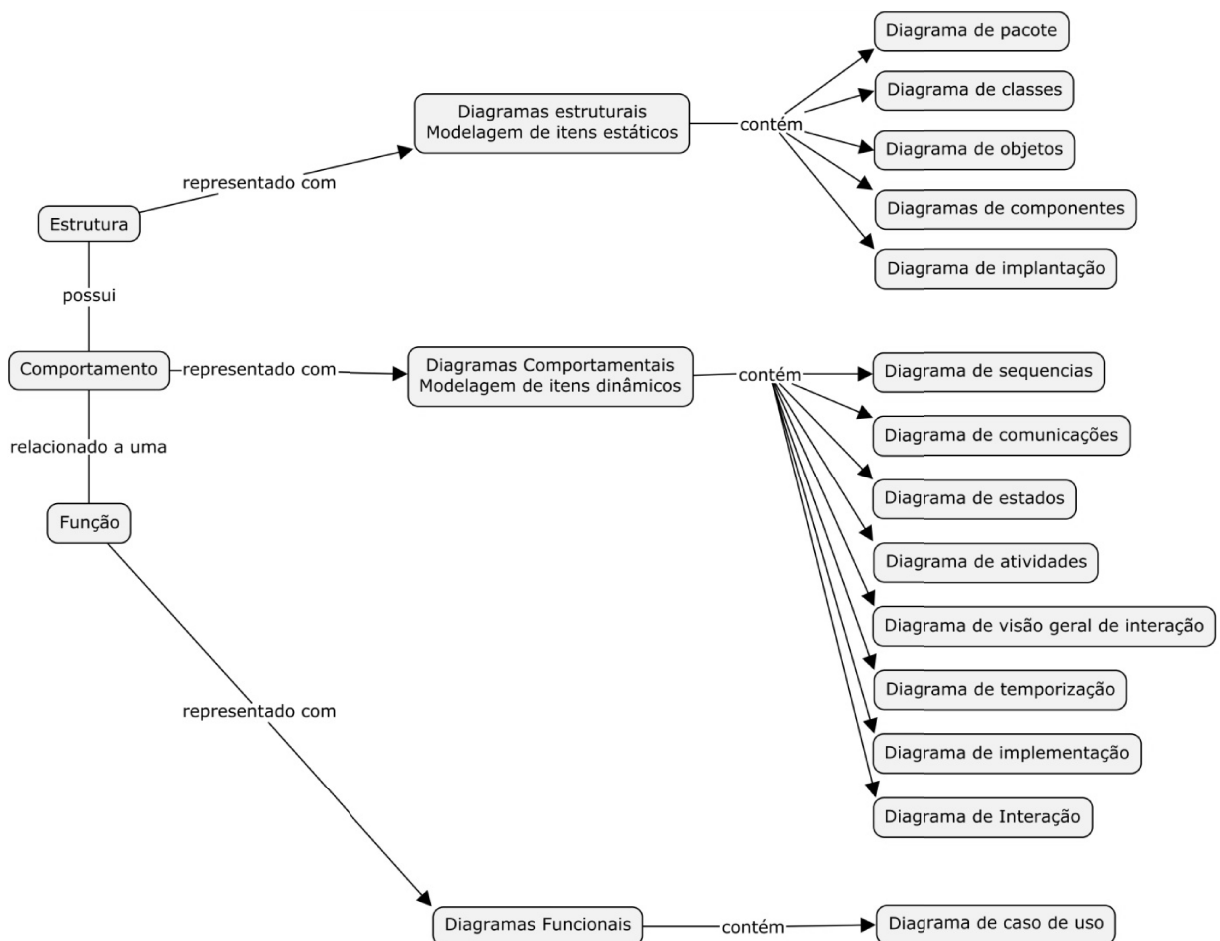
2.4.2 Linguagem de Modelagem Unificada

A linguagem de modelagem unificada foi desenvolvida para especificar, visualizar, construir e documentar sistemas que utilizem conceitos do paradigma da orientação a objetos. Consiste em uma linguagem estandarte amplamente adotada para representar a informação através de diagramas. Conforme Booch, Rumbaugh e Jacobson (2006), a UML é uma linguagem que fornece um vocabulário e as regras para a combinação de palavras desse vocabulário com a finalidade de comunicar algo, aplicada na elaboração de modelos que permitam a compreensão dos sistemas propostos. Ademais, a UML permite a especificação de requisitos e necessidades para um determinado problema de projeto, a construção de sistemas baseada na especificação de seus componentes, a documentação do conhecimento aplicado demonstrando como este sistema foi concebido, projetado, desenvolvido, verificado e validado (DORF, 2006). Em complemento, a UML pode ser transformada em uma linguagem computacional através de recursos oferecidos por softwares de modelagem e programação. Modelos UML podem estar associados com uma implementação computacional, permitindo a realização de simulações e implementações diretas de sistemas complexos (YEBRA, 2005).

Assim como o paradigma da orientação a objetos, a UML não se restringe apenas a área da engenharia de software, mas pode ser aplicada em diversos outros domínios, como na engenharia de sistemas. Dorf (2006) observa que a UML possui a habilidade de poder ser estendida e especializada para diferentes aplicações, pois possui flexibilidade para modelar elementos de um determinado domínio com variados graus de abstração, assim como permite a definição de perfis específicos para os designers estabelecerem terminologias e elementos comuns do domínio abordado. Liverani, Amati e Pellicari (2008) propõem uma transposição da UML para o campo da engenharia mecânica através da definição da UML Funcional, permitindo que os designers construam esquemas funcionais do produto ou parte dele independente do modelo CAD, mas que sejam estritamente conectados ao mesmo. A ênfase desta abordagem é sobre o design conceitual.

Os principais diagramas que compõe a UML podem ser classificados de acordo com as características do sistema que pretendem representar (Figura 30). Os diagramas estruturais demonstram as partes de um determinado sistema, suas relações e outros elementos que interagem com este sistema. Os diagramas comportamentais demonstram o comportamento de um sistema ao longo do tempo mediante ações específicas. Os diagramas funcionais transmitem as intenções de uso do sistema por parte de usuários e outros sistemas. Os conjuntos de representações funcionais, comportamentais e estruturais possibilitam documentar grande parte do conhecimento sobre um determinado sistema que possua tanto componentes virtuais como componentes físicos (GHAZEL, TOGUYÉNI e BIGAND, 2004).

Figura 30: Relação de diagramas UML.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.4.3 SysML

No domínio da engenharia de sistemas são necessários métodos de modelagem e simulação que permitam validar requisitos e avaliar os sistemas propostos. Apresentada em 2003 pelo consórcio Object Management Group (OMG), a linguagem de modelagem para sistemas (Systems Modeling Language - SysML) é uma linguagem de modelagem para representar a arquitetura de sistemas complexos, assim como seus comportamentos e suas funcionalidades, utilizando diagramas específicos de acordo com a necessidade do projeto. SysML é derivada da linguagem de modelagem unificada (Unified Modeling Language - UML). A abordagem baseada em modelos, também referida como engenharia de sistemas baseada em modelos (MBSE), utiliza um conjunto estruturado de modelos para representar e especificar sistemas em vários níveis de granularidade. A modelagem é importante para lidar com a complexidade destes sistemas, pois cada modelo ou diagrama oferece uma visão abstrata e sua definição (FINANCE, 2010).

Balmelli (2007) demonstra a aplicação da SysML na indústria automobilística em um sistema embarcado de um veículo (sensor de chuva). Determinados diagramas da SysML foram diretamente herdados da UML e outros foram adaptados para atender as necessidades de sistemas que são formados tanto por partes físicas, como por partes lógicas. Na SysML, os requisitos de um sistema podem ser representados como elementos de um modelo e ser integrados com a arquitetura geral do produto (BALMELLI, 2007).

Polit-Casillas e Howe (2013) demonstram que a SysML pode ser utilizada em conjunto com BIM para sincronizar as diferentes disciplinas envolvidas e seus respectivos tipos de informação na indústria aeroespacial. Geyer (2011) utiliza a SysML na indústria da construção para modelar dados não geométricos e estabelecer dependências entre requisitos ambientais e econômicos não suportados por modelos tradicionalmente centrados na geometria.

2.4.4 Capacidades de Orientação a Objetos nos sistemas CAD

Diversas tecnologias computacionais que oferecem suporte para o projeto, a produção e a operação de artefatos físicos possuem capacidades de Orientação a Objetos. Os principais programas CAD são estruturados para adquirir, organizar e manipular a informação utilizando a lógica da orientação a objetos, com sua ênfase seja na modelagem geométrica (SCHODEK, 2005).

De acordo com Pipes (2007), o aumento da capacidade de processamento dos computadores proporcionou condições para que gradualmente os sistemas de modelagem sólida tridimensional incorporassem recursos mais amigáveis e inteligentes através da programação orientada a objetos. Na programação orientada a objetos ocorre uma abordagem modular com ênfase nos dados, ao contrário da programação procedural, com ênfase sobre os procedimentos que operam sobre os dados, o que torna esta programação mais simples e com fácil manutenção.

Conforme Pipes (2007), os sistemas CAD orientados a objetos contêm desde elementos simples, como linhas e arcos, até complexas instruções de montagem e funcionamento. Sua principal característica é reunir um conjunto de itens de dados mais todos os procedimentos necessários para manipular e controlar estes dados. Um objeto contém informações que definem sua identidade e o que é capaz de fazer, além do relacionamento que pratica com os outros objetos que interage. Objetos que compartilhem características em comum são agrupados em classes e estas podem ser divididas em subclasses que podem herdar as estruturas de dados e funcionalidades das classes das quais derivam (PIPES, 2007).

As capacidades de orientação a objetos estão relacionadas com linguagens de modelagem específicas para cada domínio, mas que compartilham uma mesma estrutura da informação, permitindo o intercâmbio de dados entre diferentes modelos. O Quadro 3 descreve linguagens de modelagem com capacidades de orientação a objetos nos domínios das engenharias, arquitetura, urbanismo e design de produto.

Quadro 3: Orientação a Objetos em domínios correlacionados.

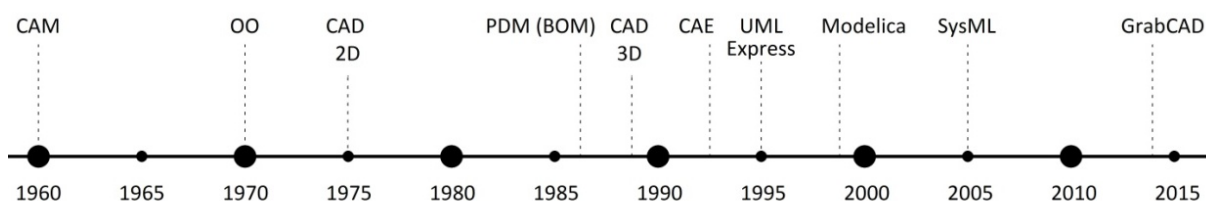
Domínio	Aplicações	Modelagem com capacidades de orientação a objetos
Engenharia de Software	Sistemas Computacionais	UML
Engenharia de Sistemas Físicos Complexos	Sistemas Mecânicos, Elétricos, Hidráulicos e Térmicos	SysML Modelica Simulink
Arquitetura, Engenharia Civil, Urbanismo, Design de Produto	Cidades, Edificações, Equipamentos e Produtos	CAD BIM

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme Schodek (2005) o que pode ser feito ou não por um sistema de design digital é definido pelas capacidades orientadas a objetos que ele possui. A capacidade depende de como o *software* está escrito e estruturado, qual linguagem de programação é usada, e qual o tipo de aplicação de uma base de dados armazena a informação que os usuários inserem durante o processo de design. Estes fatores estão relacionados com o grau das capacidades orientadas ao objeto os softwares possuem ou não. A habilidade para definir classes, criar instâncias de objetos e atribuir comportamentos somente é possível utilizando sofisticadas linguagens de programação orientadas a objetos. Softwares como CATIA, Pro/ENGINEER, SolidWorks, MicroStation e Revit possuem capacidades de orientação a objetos, embora não necessariamente são referidas nestes termos (SCHODEK, 2005).

A Figura 31 apresenta uma breve evolução de sistemas computacionais para o design. Observa-se que a primeira tecnologia computacional desenvolvida foi a de manufatura auxiliada por computador (Computer-Aided Manufacturing – CAM). Apenas recentemente estão surgindo tecnologias que oferecem suporte para as fases iniciais de design. Esta constatação indica um desenvolvimento gradual a partir dos estágios finais em direção aos estágios iniciais de design, pois a informação com um baixo nível de abstração é mais facilmente representada do que a informação altamente abstrata.

Figura 31: Sistemas computacionais e linguagens orientadas a objetos.



Fonte: Baseado em Chandrasegaram et. al (2013).

Para Schodek (2005) um bom sistema orientado a objeto deve permitir a adição de atributos e métodos conforme o projeto avança para a materialização do artefato, agregando informações que não são relevantes nas fases iniciais, mas são essenciais para sua construção. Rosenman e Gero (1996) observam que para modelos CAD serem úteis em ambientes de design colaborativo, como no domínio AEC, eles precisam acomodar múltiplas representações de acordo com a etapa de projeto. Estes autores indicam que a representação das propriedades funcionais é um aspecto essencial da modelagem com múltiplas representações. Múltiplas representações podem ser formuladas através da composição de elementos primitivos. Cada elemento primitivo é o produto de uma particular interpretação, por isso não existe um único modelo para um conjunto de elementos, mas sim diferentes descrições para um mesmo elemento e diferentes subconjuntos destas descrições em diferentes modelos (ROSENMAN e GERO, 1996).

As características do paradigma da orientação a objetos e sua utilização nos sistemas CAD completam o arcabouço teórico que serve para fundamentar a tese. O próximo capítulo descreverá a metodologia utilizada para a elaboração do *framework* que aplica o paradigma da orientação a objetos para representar parte do conhecimento de projeto de produto.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para desenvolver o *framework* que permita uma representação estruturada e formal do conhecimento de projeto de produto apta para a fase conceitual deste processo, esta pesquisa utiliza a sistematização proposta por Lacerda et al. (2013). Esta sistematização foi formulada para a condução de pesquisas científicas em que se pretenda criar e avaliar novos artefatos que conduzam a soluções satisfatórias de problemas práticos na área de design.

3.1 Etapas e Artefatos

Inicialmente, Lacerda et al. (2013) indicam que deve haver uma etapa de conscientização sobre uma determinada problemática, conduzindo assim a uma proposta de pesquisa para um problema específico (Etapa 1). Após esta primeira etapa, segue-se a etapa de sugestão, determinando quais os requisitos devem ser aplicados para a construção de novos artefatos que interfiram sobre o problema identificado (Etapa 2). A etapa seguinte consiste no desenvolvimento dos artefatos aplicando os requisitos estabelecidos na etapa anterior (Etapa 3). Posteriormente, Lacerda et al (2013) indicam que os artefatos propostos devam ser submetidos a uma avaliação com critérios pré-estabelecidos a fim de validar sua aplicação no problema de pesquisa (Etapa 4). Por fim, na etapa de conclusão, deve haver a consolidação dos artefatos mediante o aperfeiçoamento ou reformulação dos pontos críticos observados e o encaminhamento para futuros trabalhos (Etapa 5).

Dresch, Lacerda e Junior (2015) propõem cinco tipos de artefatos que podem ser gerados em sequência na pesquisa científica em design a partir da etapa de desenvolvimento (Etapa 3). Na etapa 3, são elaborados os três primeiros artefatos: (I) constructos, que são os elementos conceituais de uma determinada classe de problemas provenientes da fundamentação teórica; (II) modelo, que é formado por proposições ou afirmações expressando as relações entre os constructos e (III) método, que é o conjunto das etapas para realizar certa tarefa utilizando como entrada parte dos modelos. O quarto artefato consiste na (IV) instanciação, que é a aplicação dos artefatos anteriormente elaborados (constructos,

modelos e métodos) em um ambiente real de uso durante a etapa de validação da pesquisa (Etapa 4). O quinto artefato consiste na (V) proposição de design, que é a generalização de uma solução para uma classe de problemas elaborada na etapa de conclusão da pesquisa (Etapa 5). A proposição de design é a contribuição teórica da pesquisa científica em design que depende da articulação dos demais artefatos para sua efetiva demonstração. O Quadro 4 apresenta as etapas da pesquisa e os respectivos artefatos a serem gerados em cada uma delas.

Quadro 4: Metodologia da pesquisa.

Etapas da Pesquisa	Elementos	
1. Conscientização	Fundamentação Teórica	
2. Sugestão		
3. Desenvolvimento	I. Constructos	Artefatos
	II. Modelo	
	III. Método	
4. Avaliação	IV. Instanciação	
5. Conclusão	V. Proposição de Design	

Fonte: Baseado em Lacerda et al (2013).

3.2 Detalhamento das etapas

3.2.1 Conscientização e Sugestão

As duas primeiras etapas desta pesquisa (conscientização e sugestão) são resultado da revisão sistemática da literatura. A revisão sistemática da literatura possibilitou a construção de uma fundamentação teórica para a elaboração dos artefatos nas próximas etapas da tese. Como ponto de partida da revisão

sistemática da literatura, esta pesquisa buscou compreender como o paradigma da orientação a objetos poderia contribuir para o processo de desenvolvimento de produtos e sistemas técnicos sob a perspectiva do design, pois em áreas correlacionadas verificou-se que sua aplicação já se encontra consolidada. A principal base de pesquisa utilizada para coletar periódicos foi a *Science Direct*. Nesta base, pesquisou-se em periódicos relevantes para a área do design de que forma o paradigma da orientação a objetos era citado. Considerando o periódico *Design Studies* e utilizando o termo “object-oriented”, foram encontradas setenta e quatro ocorrências de artigos, distribuídas regularmente ao longo de vinte e cinco anos, indicando uma regular relação entre o paradigma da orientação a objetos e o design de produto. Foram selecionados os artigos mais relevantes de acordo com a proposta desta pesquisa e suas referências foram analisadas de modo a permitir a pesquisa cruzada, aumentando o número de publicações coletadas. Desta pesquisa inicial, duas constatações são importantes: a relação da orientação a objetos com a representação do conhecimento em design (GROSS et al, 1988) e a possibilidade de aplicação da orientação a objetos para a modelagem de artefatos físicos (GABBAR, SUZUKI e SHIMADA, 2003; JACKSON, 2010).

Posteriormente, ampliou-se a pesquisa para toda a base *ScienceDirect* com o termo “object-oriented” associado a “product design”. Uma grande quantidade de artigos foi apresentada e procedeu-se a aplicação de um filtro de acordo com o nome da publicação. Selecionando o periódico *Computer-Aided Design*, foram encontradas oitenta e quatro ocorrências de artigos relacionados com estes termos. Procedeu-se novamente a seleção dos artigos mais relevantes e a análise de suas referências. Desta revisão, dois artigos orientaram parte da formulação do problema de pesquisa: a necessidade de ampliar o suporte computacional para as fases iniciais do processo de projeto considerando fatores como cognição e colaboração no design (GOEL et al, 2012) e questões sobre representação do conhecimento em sistemas de design de produto (CHANDRASEGARAN et al, 2013). Desta revisão, acrescentaram-se a pesquisa os termos: conhecimento em design, ontologia, representação do conhecimento, diagramas, precedentes em design, abstração, cognição, design colaborativo e design conceitual. Cada um destes termos engloba um amplo campo de investigação com extenso conteúdo e assim buscou-se selecionar os trabalhos mais relevantes de acordo com a temática da tese.

Novamente, a pesquisa destes termos foi realizada no periódico *Design Studies* e posteriormente, através da pesquisa cruzada, outros artigos e teses foram coletados, identificando autores recorrentes entre as publicações. Procedeu-se, então, à busca de publicações associadas aos autores recorrentes com critérios importantes para esta pesquisa, verificando autores que mantêm a atenção sobre um mesmo assunto desde os anos 90 e são referências em suas áreas (AKIN, 1997; AKIN, 2008; GOEL, 1997; GOEL, 2012; OXMAN, 1994; OXMAN 2003). O Quadro 5 apresenta os principais periódicos investigados e as palavras chave que possuem relação direta com a tese. Em conjunto com os periódicos, foram selecionados livros relevantes das áreas das engenharias e do design de produto para compreensão do paradigma da orientação a objetos e da linguagem UML (PRESSMAN, 2005; BOOCH, 2007), dos métodos de design de produto (ALEXANDER, 1977; BÜRDEK, 2006; ULRICH, 2011; PAHL e BEITZ, 2013) e do suporte computacional para projeto e produção de produto (RAPHAEL e SMITH, 2003; SCHODEK, 2005; PIPES, 2007).

Quadro 5: Periódicos e palavras chave.

Periódicos	Número de artigos citados	Principais palavras-chave
<i>Design Studies</i>	14	<i>Design knowledge</i> <i>Knowledge representation</i> <i>Knowledge-based design</i> <i>Knowledge Acquisition</i> <i>Precedents in Design</i>
<i>Computer-Aided Design</i>	5	<i>Case-based design</i> <i>Design precedents</i> <i>Design cognition</i> <i>Conceptual design</i> <i>Creativity</i>
<i>Advanced Engineering Informatics</i>	3	<i>Computer-aided design</i> <i>Ontology</i> <i>Engineering Ontology</i> <i>Semantic relatedness</i>
<i>Journal of Design Research</i>	2	<i>Object-oriented</i> <i>UML</i>
<i>Artificial Intelligence for Engineering Design</i>	2	<i>Product design</i> <i>Engineering design</i>
<i>Computers in Arts and Design</i>	1	<i>Systems design</i> <i>Systems decomposition</i>
<i>Computers in Industry</i>	1	<i>Collaborative design</i> <i>Conceptual map</i>
<i>Information Visualization</i>	1	<i>Mind map</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como resultado da revisão sistemática da literatura, na etapa 2 desta pesquisa verificou-se a oportunidade de elaborar um *framework* aplicando parte dos conceitos do paradigma da orientação a objetos para o projeto de produto: capacidade de representar a informação com alto nível de abstração, estruturação modular e hierárquica da informação e capacidade de encapsular e simplificar objetos complexos. Pretende-se, a partir deste *framework*, abastecer uma futura base de conhecimento em design que possa ser reutilizável em novos projetos. Uma base de conhecimento em design, neste contexto, é o conjunto de múltiplas representações que descrevem, sob diferentes aspectos, problemas de projeto e possíveis soluções para o mesmo, complementando a representação geométrica normalmente utilizada.

3.2.2 Desenvolvimento

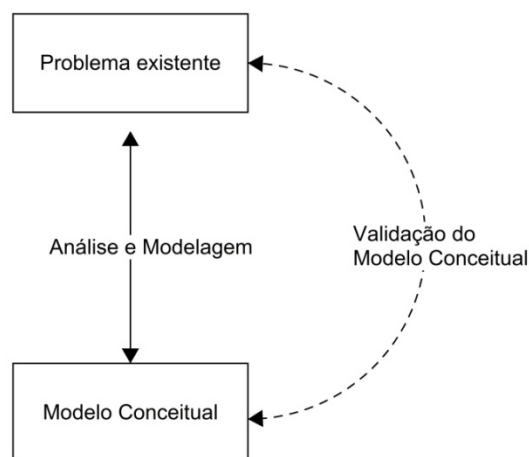
Nesta etapa, os artefatos que compõe o framework são elaborados seguindo uma sequência predeterminada, conforme Dresch, Lacerda e Junior (2015). Os constructos (I) constituem o primeiro artefato elaborado, definindo os elementos conceituais da tese e suas relações. O segundo artefato é um modelo (II) para representar a informação no projeto conceitual, que suporte desde informação pouco estruturada e não formal até uma informação estruturada e formal. O terceiro artefato consiste no método (III) de aquisição e aplicação da informação utilizando o modelo proposto. Deste modo, para o desenvolvimento do *framework* é necessário:

- Estabelecer modelos de projeto, selecionando linguagens de representação apropriadas para cada formato da informação.
- Sistematizar um método para a transformação da informação durante o processo de projeto.
- Relacionar o modelo e o método com os tipos de conhecimento para o projeto e as linguagens de representação selecionadas.

3.2.3 Avaliação

Conforme Dresch, Lacerda e Junior (2015) a avaliação de um artefato para o design pode ser realizada através da instanciação, que é a aplicação dos artefatos anteriormente elaborados (constructos, modelos e métodos) em um ambiente real de uso. Eilouti (2009) utiliza um estudo empírico complementado por uma pesquisa de percepção para avaliar o desempenho de um artefato de design (modelo de análise e síntese para o conhecimento precedente de design). De acordo com Eilouti (2009), o estudo empírico permite identificar as fraquezas e as qualidades de uma determinada proposta, enquanto a pesquisa de percepção permite a discussão sobre tópicos importantes identificados. A partir da sistematização do *framework*, ele foi aplicado em um projeto piloto a fim de validar sua utilização para a construção de um modelo de projeto eficiente. Conforme Sargent (2013) a validação de um modelo conceitual pode ser feita comparando um problema existente com o modelo conceitual produzido a partir da análise e modelagem (Figura 32).

Figura 32: Validação do modelo conceitual.



Fonte: Baseado em Sargent (2013).

Posteriormente, um estudo observacional foi realizado através de *workshops*. O *workshop* pretende simular uma situação real de projeto de produto para permitir a avaliação inicial do *framework* proposto por especialistas da área de design. Foram convidadas pessoas com experiência profissional e acadêmica, atuantes há mais de três anos na área de design de produto, residentes na região sul do Brasil a fim de viabilizar o encontro presencial.

Participaram de sete voluntários. Todos os participantes fizeram parte do *workshop* de síntese e de sua posterior avaliação mediante o preenchimento de um questionário, no mesmo dia e local acordado conforme a disponibilidade dos mesmos. Foram realizadas duas sessões de projeto com duração de duas horas e trinta minutos para facilitar a reunião dos participantes. O convite para a participação da pesquisa foi enviado via correio eletrônico com o encaminhamento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice III).

Os participantes foram solicitados a desenvolver um projeto de um produto/sistema técnico, simulando uma atividade comum na prática do design, para posteriormente responder um questionário de avaliação sobre o *framework* empregado (Apêndice IV). Um risco decorrente desta simulação era uma possível fadiga devido aos esforços mentais e corporais necessários quando se realiza uma atividade de projeto, somado aos esforços para realizar uma avaliação ao final deste processo. Neste sentido, foram propostos intervalos regulares de descanso entre as etapas de *workshop* e de avaliação do *framework* de modo a minimizar este risco, assim como fornecer hidratação adequada durante todo o período estipulado. Outros possíveis riscos para esta pesquisa foram minimizados mediante a adoção das seguintes medidas: (I) não houve custos de participação; (II) assegurou-se o sigilo da identidade do participante; (III) a participação na pesquisa foi facultativa e a desistência poderia ocorrer a qualquer momento sem prejudicar o participante; (IV) as informações obtidas servirão exclusivamente para os fins da pesquisa com publicação em relatório e artigos relacionados, e estão armazenadas por cinco anos e até serem destruídas. Ressalta-se que os procedimentos e os métodos empregados no *workshop* e no questionário de avaliação não são invasivos ou nocivos aos participantes.

A participação na pesquisa contribuiu para o aprimoramento de um modelo e de um método de representação do conhecimento de projeto de produto que é complementar e útil para a fase de design conceitual, permitindo avanços sobre a lacuna encontrada na área da pesquisa. Igualmente, a participação de especialistas auxiliou os pesquisadores a identificar as deficiências e as qualidades da proposta, permitindo obter dados que possam ser utilizados para aperfeiçoá-la, além de gerar conhecimento sobre um determinado domínio.

A aplicação do *framework* no processo de desenvolvimento de produto está limitada a fase de design conceitual e utiliza o método de design denominado *workshop* de síntese, (KUMAR, 2013).

3.2.3.1 *Workshop de Síntese*

Kumar (2013) descreve o *workshop* de síntese como um método de design para gerar soluções em nível de sistemas através de curtas sessões de *brainstorming* estruturado. O *brainstorming* estruturado estabelece um conjunto compreensível de princípios de design para guiar a elaboração de soluções para um problema pouco definido de design. O método *workshop* de síntese foi selecionado porque oferece um conjunto de etapas e procedimentos para o projeto conceitual em nível de sistemas adequado para a instanciação do modelo e do método que fazem parte desta pesquisa. O *workshop* de síntese segue as seguintes etapas em acordo com Kumar (2013):

- Elaboração de conceitos de design.
- Seleção e aprimoramento dos conceitos.
- Revisão dos conceitos.
- Consolidação e organização dos conceitos.
- Síntese das soluções, compilação e entrega das propostas.

As sessões de *workshop* foram realizadas em salas de trabalho e os desenhos produzidos pelos especialistas (folhas em papel sulfite tamanho A3) foram coletados e armazenados pelo pesquisador. Ao final da sessão, uma solução de projeto representada por um modelo conceitual foi entregue por cada equipe de projeto.

3.2.3.2 Definição do problema de projeto para o workshop

Doboli e Doboli (2013) verificaram que a utilização de títulos precisos em comparação com descrições vagas no início do desenvolvimento de sistemas inteligentes contribui para a descoberta de soluções com maior grau de inovação, ou seja, que possuam características de novidade e originalidade. Conforme estes autores, a novidade das soluções está diretamente relacionada com fatores que expressem seu contexto e seu propósito. Documentos descritivos são mais úteis para auxiliar os projetistas a identificar extensões incrementais em um sistema sem modificar seu conceito básico. Assim, Doboli e Doboli (2013) observam que a criatividade é incrementada por soluções bem direcionadas ao invés de propósitos amplos e genéricos. Nesta pesquisa, para o desenvolvimento do *workshop* foi utilizado um enunciado conciso e delimitador para o problema de projeto conforme propõem estes autores. O tema de projeto estabelecido para os *workshops* foi: Mobilidade de pessoas e materiais em um campus universitário de grande porte.

3.2.3.3 Questionário de avaliação

Após a compilação e entrega das propostas, cada participante avaliou a aplicação do *framework* mediante o preenchimento de um questionário. Os seguintes apontamentos foram utilizados para avaliação do *framework*:

- Compatibilidade da estrutura da informação com o processo de projeto de produto.
- Compatibilidade da representação da informação para a fase de projeto conceitual.
- Documentação do conhecimento de projeto de modo a permitir sua reutilização.
- Generalização da aplicação do *framework* para o projeto de produtos.

Cada apontamento foi decomposto em duas perguntas objetivas para uma avaliação mais precisa, conforme sugere Eilouti (2009). Foram aplicadas aos participantes nove questões, sendo oito questões de marcação e uma questão dissertativa. Nas questões de marcação, os participantes foram estimulados a ranquear cada resposta em uma escala de 0 a 5, sendo zero o valor correspondente a nenhuma contribuição e cinco o valor correspondente a uma alta contribuição. Utilizando esta escala, os participantes indicaram em que grau a aplicação do *framework* contribuiu para:

1. Contextualizar o projeto em um alto nível de abstração.
2. Organizar os elementos de projeto em categorias apropriadas.
3. Representar os elementos de projeto.
4. Explorar o espaço de design.
5. Armazenar conhecimento útil para o projeto.
6. Associar conhecimento precedente.
7. Atingir um adequado resultado projetual ao final do processo.
8. Produzir uma solução com potencial de inovação.

Para a questão dissertativa, os participantes descreveram aspectos relevantes observados durante a aplicação do *framework*, manifestando sua opinião sobre possíveis desdobramentos, falhas e correções que estimam ser necessários para uma melhor configuração do mesmo. Os resultados foram tabulados e são apresentados e discutidos. Após esta etapa, foi feita a conclusão da pesquisa, especificada a seguir.

3.2.4 Conclusão da Pesquisa

A conclusão da pesquisa apresenta a proposição em design, que é a generalização de conceitos para uma classe de problemas, em acordo com Lacerda et al. (2013). Adicionalmente, a conclusão aborda questões sobre as limitações encontradas assim como possíveis desdobramentos para a sua continuidade.

3.2.5 Síntese das etapas da pesquisa

O Quadro 6 apresenta a síntese da pesquisa mediante suas etapas e uma breve descrição de seus conteúdos.

Quadro 6: Síntese das etapas da pesquisa.

Etapas da Pesquisa	Especificação
Conscientização	Colaboração multidisciplinar. Complexidade tecnológica dos produtos e sistemas técnicos. Grande volume de informação disponível para o projeto. Suporte computacional escasso para a fase de projeto conceitual. Necessidade de representar o conhecimento com alto grau de abstração.
Sugestão	Estruturar o conhecimento de projeto de produto utilizando os conceitos do paradigma da orientação a objetos e representá-lo com a linguagem de modelagem UML.
Desenvolvimento	Elaboração de um framework para estruturar e representar o conhecimento de projeto de produtos e sistemas que é útil para a etapa conceitual.
Avaliação	Projeto conceitual de um produto técnico utilizando o framework proposto. Avaliação de especialistas.
Conclusão	Proposição de Design. Generalização de conceitos, de um modelo e de um método para uma classe de problemas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta o desenvolvimento do *framework* proposto, discorrendo sobre o processo de sua elaboração e detalhando seus instrumentos de aplicação.

4.1 Constructos da Tese

Os constructos são os elementos conceituais explorados na fundamentação teórica. As relações entre os elementos conceituais da tese explicitaram o problema de pesquisa e orientaram a formulação dos artefatos que compõe o framework.

Design, sob o ponto de vista da informação, é um processo de transformação, desde uma descrição inicial incompleta, como lista de requisitos e programa de necessidades, até uma descrição final completa, como desenhos de manufatura e especificações mediante a aplicação de conhecimento (Landsdown, 1986). O conhecimento em design é um conceito fundamental que pode ser categorizado em uma série de dimensões, conforme proposto por Chandrasegaram (2013). Uma parte do conhecimento em design pode ser obtida mediante a análise e a síntese de casos precedentes. Os casos precedentes fornecem conceitos úteis que podem ser aproveitados no projeto quando se estabelece uma adequada relação entre o problema e solução.

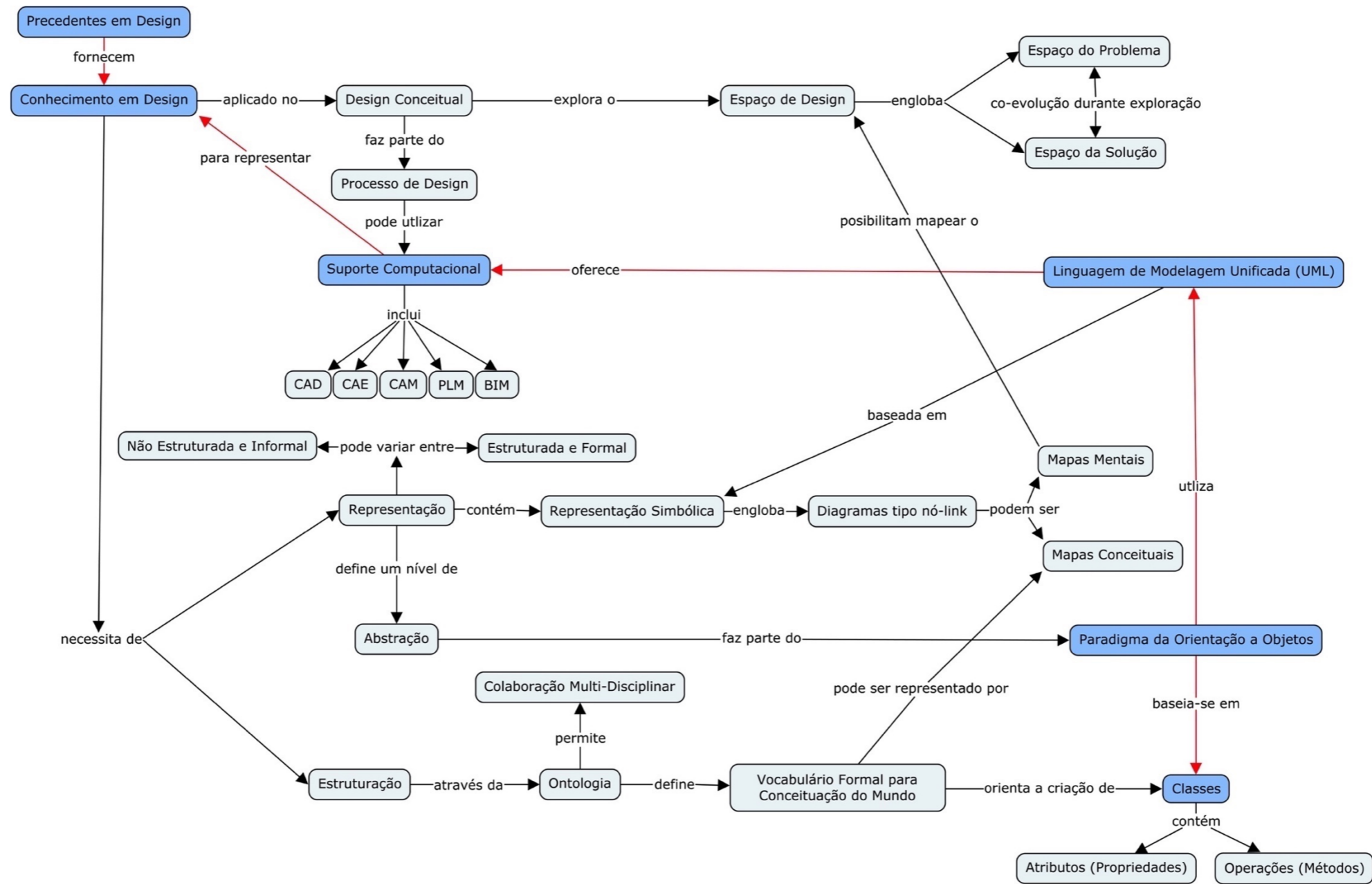
Na etapa de projeto conceitual, o espaço de design engloba tanto os elementos do espaço do problema como do espaço da solução de design. Soluções criativas e eficientes são caracterizadas pela exploração de ambos os espaços. Para o projeto conceitual, a representação do conhecimento em design deve ser capaz de lidar com elementos não formais e pouco estruturados e posteriormente transformá-los em uma estrutura formal e precisa que descreva o projeto.

Durante o projeto conceitual, é necessário empregar altos níveis de abstração e a reapresentação utilizada deve ser capaz de suportar estes níveis. Por isto, a representação simbólica é adequada para ser utilizada durante o projeto conceitual, permitindo manipular elementos altamente abstratos como conceitos e criar relações que indiquem soluções para o problema de projeto tratado. O conhecimento em design pode ser estruturado através da definição de classes e de seus relacionamentos, assim aspectos da ontologia devem ser considerados. A ontologia orienta a formulação de um vocabulário formal para os elementos do mundo real. Uma correta formulação ontológica contribui para a colaboração multidisciplinar, unificando os conceitos e produzindo conhecimento sobre um domínio. A ontologia orienta a definição de classes e suas relações.

O paradigma da orientação a objetos é baseado na utilização de classes e utiliza uma linguagem de representação simbólica para a modelagem dos sistemas. Como a representação simbólica diagramática permite lidar com alto grau de abstração, ela é eficiente para a fase de design conceitual. O paradigma da orientação a objetos já é amplamente presente nas ferramentas de suporte computacional de projeto, mas limitado às fases finais do projeto.

Deste modo, esta tese propõe a aplicação do paradigma da orientação a objetos, desde as fases iniciais do projeto de produto, para estruturar e representar o conhecimento, através de um *framework* composto por um modelo e um método desenvolvidos a seguir. A figura 33 apresenta os constructos da tese e as relações estabelecidas para esta pesquisa.

Figura 33: Constructos da tese.

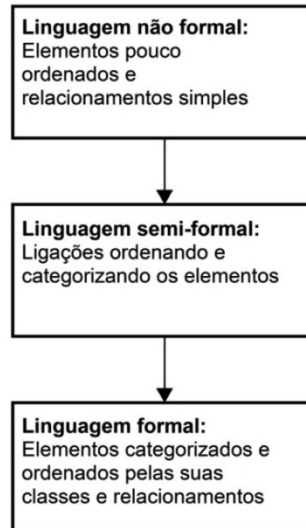


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Modelo do *Framework*

O modelo do *framework* é o conjunto de proposições formuladas a partir dos constructos, em acordo com Lacerda et al. (2013). A primeira proposição consiste em estruturar a informação de projeto, desde elementos pouco ordenados e aprimorá-los até torná-los elementos formalmente ordenados que documentem adequadamente o conhecimento de projeto. A informação fornecida pela etapa de projeto informacional para a etapa de projeto conceitual é pouco precisa e fragmentada. Esta informação pode estar representada através de diferentes linguagens, como textos, tabelas e imagens, e ainda não possui uma estrutura clara e precisa, portanto, não formal. Assim, para o projeto conceitual, sugere-se partir de uma linguagem não formal e gradativamente estruturar a informação, manipulando os elementos constituintes do espaço de design até efetivamente produzir conhecimento de projeto (Figura 34).

Figura 34: Processo de estruturação da informação para o Design Conceitual.



Fonte: Elaborado pelo autor.

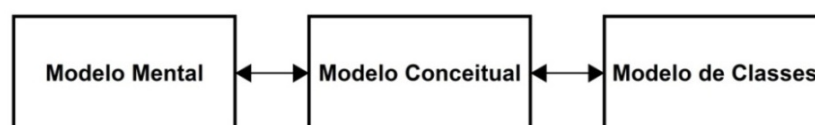
O aperfeiçoamento gradual dos elementos de representação é importante para não interferir negativamente no processo de projeto, ou seja, não demandar um esforço cognitivo por parte dos designers para estabelecer conceitos e relações precisas e formais, o que poderia dificultar a exploração do espaço de design no início do projeto. Assim, o modelo mental é produzido a partir de uma linguagem não

formal e constitui uma representação externa mais próxima do processo cognitivo empregado pelos designers durante o mapeamento do espaço de design, acomodando uma maior imprecisão dos elementos sem comprometer sua utilidade.

Já um modelo conceitual é mais preciso que um modelo mental, restringindo sua interpretação e armazenando de maneira mais clara o conhecimento, pois possui conteúdo semântico. O modelo conceitual é uma linguagem semiformal, definindo uma ontologia para um determinado domínio a partir do contexto do projeto, porém ainda possui pouca capacidade computacional, ou seja, não é possível utilizar o modelo para fins de simulação, por exemplo. Por fim, o modelo de classes é uma estrutura estática e independente de dados com uma interpretação unificada e formal, com alta capacidade computacional, sendo possível implementar simulações e até mesmo gerar código dependendo do nível de detalhamento alcançado.

Para estruturar a informação, transformando-a desde uma linguagem não formal até uma linguagem formal, são sugeridos três modelos que permitem manter uma correspondência entre os elementos de cada modelo de projeto: um modelo mental, um modelo conceitual e um modelo de classes. A Figura 35 apresenta os modelos para projeto utilizados no *framework*.

Figura 35: Modelos de projeto.

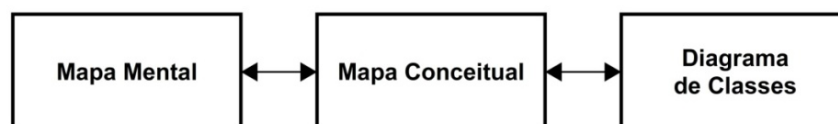


Fonte: Elaborado pelo autor.

Um modelo conceitual estrutura uma ontologia de um domínio em particular. No processo de projeto, o modelo conceitual serve para aprimorar os elementos constituintes do espaço de design provenientes de um modelo mental e realizar transformações sobre os mesmos. A partir de um modelo conceitual é possível gerar um modelo de classes, mais formal e preciso que os modelos antecessores. O modelo de classes é a tradução de parte dos elementos do espaço de design para uma linguagem estandardizada e reutilizável. Um modelo de classes pode concentrar conhecimento sobre o projeto, servindo como uma estrutura geral que conecta e relaciona diferentes blocos de informação associados aos produtos e sistemas que estão sendo elaborados. Os modelos de projeto possuem uma relação bidirecional, ou seja, é possível relacionar os elementos de um modelo com os elementos do seu modelo adjacente.

A segunda proposição consiste em representar os modelos de projeto utilizando representação simbólica do tipo diagramática, permitindo que os elementos e suas ligações sejam gradualmente aperfeiçoados, desde uma linguagem não formal e fragmentada até uma linguagem formal e precisa. São utilizadas três variações de representação simbólica para o projeto conceitual capazes de produzir os modelos propostos: (I) mapas mentais, (II) mapas conceituais e (III) diagramas de classes da UML, conforme Figura 36 e detalhados a seguir.

Figura 36: Processo de representação do conhecimento para o design conceitual.

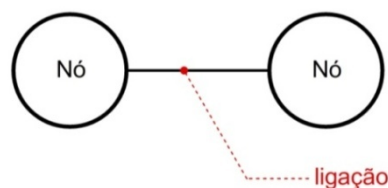


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1 Mapa Mental

Durante o processo de projeto conceitual, a formulação de mapas mentais é uma prática comum e importante para mapear o espaço de design. O mapeamento mental é sustentado, em parte, pelas informações provenientes do projeto informacional. Os mapas mentais são apropriados para capturar informação fragmentada e pouco precisa, estabelecendo os elementos e as relações iniciais do espaço do problema de design. Um mapa mental essencialmente possui elementos nodais e ligações simples que ordenam hierarquicamente os nós através de níveis. A Figura 37 apresenta os elementos básicos que compõe um diagrama do tipo mapa mental: nó e ligação.

Figura 37: Elementos básicos de representação em um mapa mental.

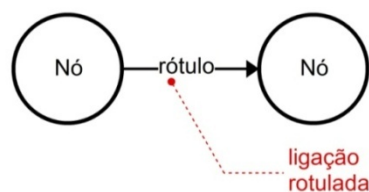


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Mapa Conceitual

Um mapa conceitual é um diagrama contendo elementos nodais e múltiplas ligações rotuladas que possuem direção, ou seja, as ligações entre os conceitos podem ser lidas em sequência e formar uma oração completa e interpretável. Os elementos básicos de um mapa conceitual são apresentados na Figura 38.

Figura 38: Elementos básicos de representação em um mapa conceitual.



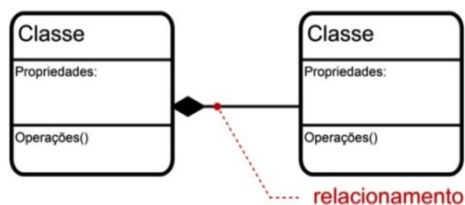
Fonte: Elaborado pelo autor.

Cada nó em um mapa conceitual corresponde a um conceito. Múltiplos conceitos inter-relacionados definem uma ontologia para um domínio ou projeto em particular. A formulação de um mapa conceitual pode utilizar como base os elementos e as ligações geradas em um mapa mental, sendo necessário o aprimoramento dos conceitos e suas relações para assim capturar o conteúdo semântico do projeto.

4.2.3 Diagrama de Classes

Um diagrama de classes estabelece o vocabulário sobre um determinado domínio, ou seja, constitui uma ontologia. Classes e seus relacionamentos podem ser derivados de modelos conceituais utilizando mecanismos apropriados, pois os modelos conceituais são adequados para estabelecer ontologias. Um arranjo de classes pode ser representado utilizando um diagrama de classes da linguagem de modelagem unificada (UML). Um diagrama de classes possui elementos nodais que constituem as classes e suas respectivas ligações são denominadas de relacionamentos (Figura 39).

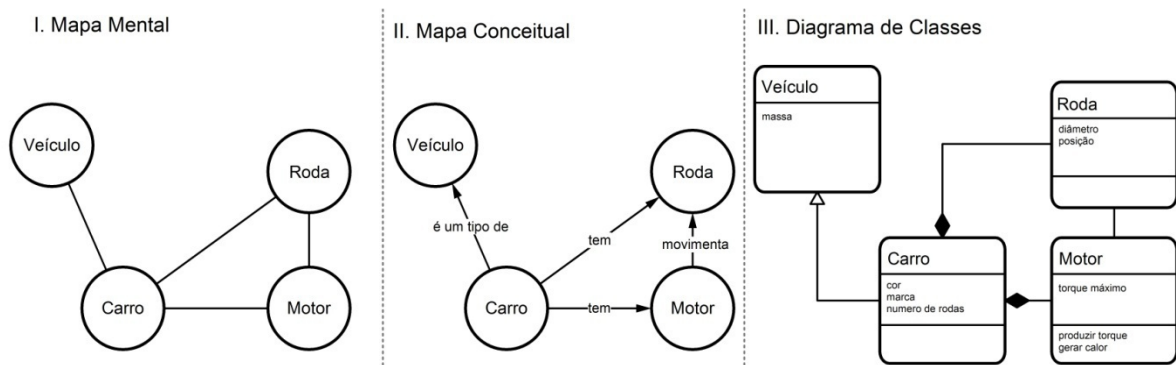
Figura 39: Elementos básicos de representação em um diagrama de classes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma visão geral das proposições acima mencionadas é ilustrada na figura 40, onde um domínio simplificado de projeto está representado pelas três linguagens adotadas.

Figura 40: Exemplo de representações de um domínio de projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Método do *Framework*

O método estabelece os procedimentos (formulação de conceitos e ligações) e os mecanismos (rotulação e análise linguística) para operacionalizar os modelos de projeto. Para a formulação e a transformação destes modelos é necessário a: (I) elaboração de um modelo mental, no início do projeto conceitual, para capturar e documentar de maneira livre e não formal os elementos do espaço de design. Posteriormente, é necessário o (II) aprimoramento e o refinamento do modelo mental em um modelo conceitual, transformando, acrescentando, suprimindo ou reformulando os conceitos e rotulando suas ligações. Finalmente, é feita a (III) transformação dos elementos do modelo conceitual para um modelo de classes. O mecanismo que possibilita esta transformação é a análise linguística. De acordo com García Peñalvo e Pardo Aguilar (1998), a análise linguística consiste em fazer uma correspondência entre os termos de uma descrição textual para elementos da UML (classes, atributos, operações, relacionamentos, casos de uso, entre outros). O Quadro 7 apresenta os principais critérios para a análise linguística.

Quadro 7: Critérios para análise linguística.

Parte da Oração	Componentes do modelo de objetos	Exemplo
Nome comum	Classe	Jogo
Nome próprio	Instância	Quebra-cabeças
Verbo de ação	Método	Guardar
Verbo de existência	Classificação	"é um"
Verbo de posse	Composição	"tem um"
Adjetivo	Propriedade	Alto
Frase adjetiva	Associação	Cliente com filhos
Verbo transitivo	Operação	Entrar
Verbo intransitivo	Exceção	"depende"

Fonte: Adaptado de García Peñalvo e Pardo Aguilar (1998).

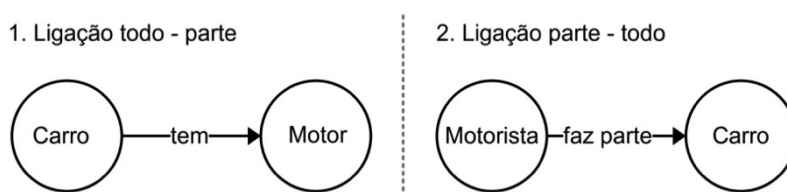
4.3.1 Representação do conhecimento de projeto

O conjunto de modelos resultante da aplicação do *framework* deve demonstrar conhecimento variado sobre os produtos e sistemas elaborados em nível conceitual. Deste modo, foi feita uma correspondência entre os tipos de conhecimento importantes para o projeto de produtos e sistemas técnicos, baseado em Raphael e Smith (2003), e sua representação diagramática através de mapas conceituais e de diagramas de classes. Como os mapas mentais constituem uma abordagem livre e flexível, sem o comprometimento em estabelecer conceitos e relações altamente fundamentadas, não será feita a correspondência entre os elementos do modelo mental com o conhecimento de projeto. É a partir do modelo conceitual que se produz conteúdo semântico, ou seja, conhecimento para o projeto.

4.3.1.1 Conhecimento Composicional

O conhecimento composicional descreve as partes que compõe um objeto complexo. Em um mapa conceitual, a ligação entre os nós indica que um item faz parte de outro item. A rotulação da ligação pode conter verbos que indiquem a ideia de pertencimento, como “possuir”, “fazer parte”, etc. Um item pode estar em uma posição superior na hierarquia de composição (ligação todo-parte) ou em uma posição inferior (ligação parte-todo), conforme Figura 41.

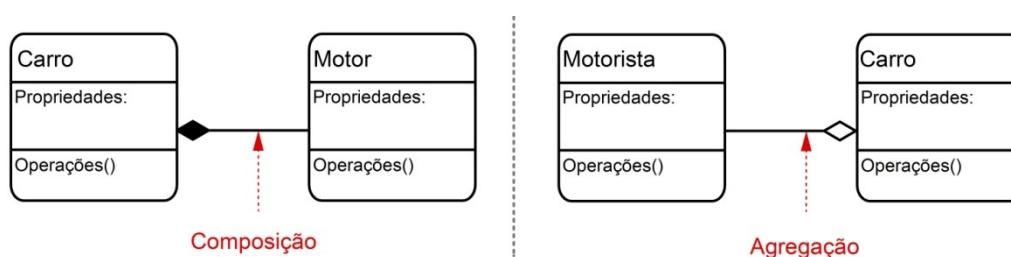
Figura 41: Mapa conceitual para conhecimento composicional.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em um diagrama de classes da UML, o conhecimento composicional tanto pode ser uma parte dependente do todo (relação de composição), como uma parte independente que apenas está associado ao todo (relação de agregação). Em termos de notação, duas classes são ligadas por uma linha com um diamante preenchido quando é utilizado para indicar uma composição e uma linha com um diamante sem preenchimento para indicar uma agregação. O exemplo da Figura 42 mostra uma relação de composição e uma relação de agregação em um diagrama de classes UML. Em uma composição, a classe motor só existe quando a classe carro existir, já na agregação a classe motorista pode existir independentemente da existência da classe carro.

Figura 42: Diagrama de classes para conhecimento composicional.

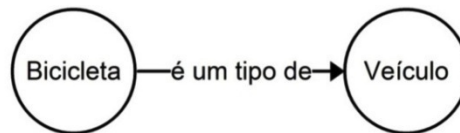


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1.2 Conhecimento Classificador

O conhecimento classificador organiza os objetos em uma hierarquia. A hierarquia distribui informação sobre os objetos através de níveis. Um item de menor hierarquia herda as características dos itens superiores. A ligação entre os nós em mapa conceitual deve indicar que um item é uma especialização de outro item em uma hierarquia superior. A rotulação pode conter verbos que indiquem a ideia de “ser”, conforme Figura 43.

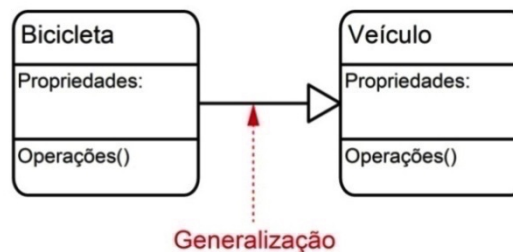
Figura 43: Mapa conceitual para conhecimento classificador.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em um diagrama de classes UML, a representação do conhecimento classificador é feita com a utilização de uma seta não preenchida ligando duas classes, na direção da classe de menor hierarquia para a classe de maior hierarquia, conforme demonstrado na Figura 44.

Figura 44: Diagrama de classes para conhecimento composicional.

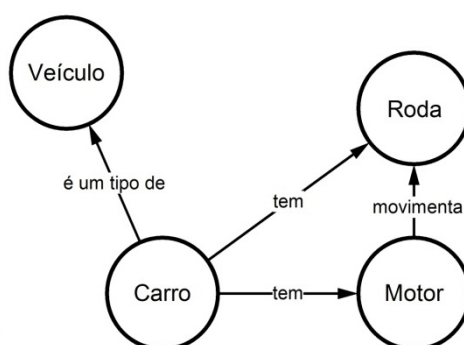


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1.3 Conhecimento Semântico

O conhecimento semântico é constituído por um conjunto de conceitos inter-relacionados associados a um domínio em particular. Cada nó em um mapa conceitual é um conceito que pode estar conectado a outro conceito através de uma ligação rotulada (Figura 45). A ligação de rotulação é um verbo de ação que une substantivos e adjetivos e permite uma leitura sentencial, pois é uma oração direta.

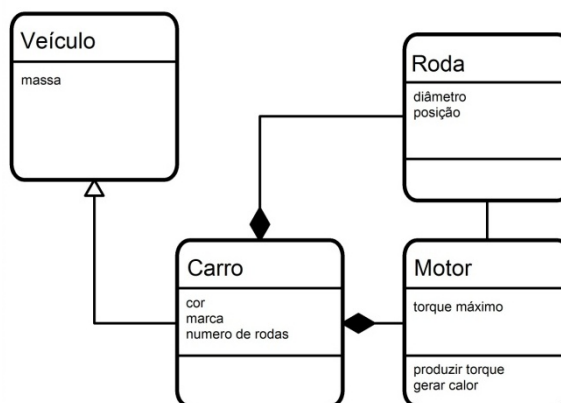
Figura 45: Mapa conceitual para o conhecimento semântico.



Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Helms (2012).

Em um diagrama de classes UML, a representação do conhecimento semântico é feita através da definição das classes e de suas propriedades, operações e relacionamentos. A Figura 46 mostra a notação para uma classe com uma propriedade que a caracteriza.

Figura 46: Conhecimento semântico em um Diagrama de Classes.



Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Helms (2012).

4.3.1.4 Conhecimento Causal

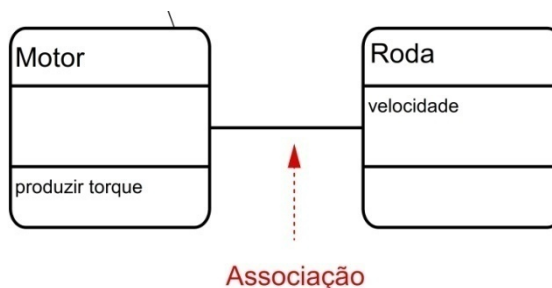
O conhecimento causal refere-se ao conhecimento proveniente das associações entre causa e efeito. Em um modelo conceitual, ele é representado pela associação entre fenômenos distintos em que um age diretamente sobre o outro. A Figura 47 exemplifica esta representação. Em um modelo de classes, o conhecimento causal pode ser representado pelo mecanismo de associação da UML, conforme exemplificado na Figura 48.

Figura 47: Mapa conceitual para o conhecimento causal.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 48: Conhecimento causal em um modelo de classes.

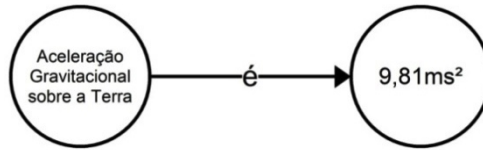


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1.5 Conhecimento dos Princípios Físicos

O conhecimento dos princípios físicos engloba as grandezas associadas aos fenômenos da natureza. Sua representação expressa propriedades ou atributos contendo valores ou fórmulas conhecidas. Em um mapa conceitual, os princípios físicos demonstram a associação entre um conceito de matéria e uma grandeza (Figura 49). Em um diagrama UML os princípios físicos podem ser representados como uma propriedade de uma classe com variáveis conhecidas.

Figura 49: Mapa conceitual para o conhecimento dos princípios físicos.

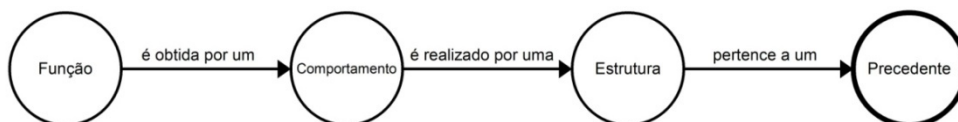


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2 Associação de Conhecimento Precedente

Esta pesquisa reúne um conjunto de estudos que tratam sobre conhecimento precedente, apresentados na fundamentação teórica, para sistematizar a sua aplicação em acordo com o *framework* proposto. Como o conhecimento sobre um precedente de design pode ser obtido mediante a sua decomposição em blocos básicos de informação, uma generalização proposta para a decomposição do conhecimento é descrever um precedente em relação a sua estrutura, seu comportamento e sua forma. Um modelo conceitual pode agrupar estes conceitos associados a um precedente, conforme demonstrado na Figura 50.

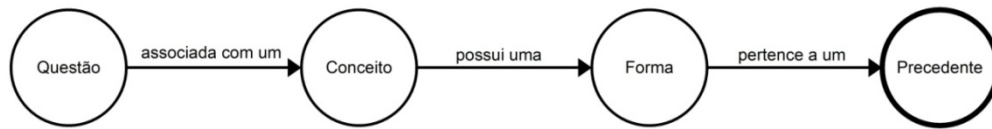
Figura 50: Função, comportamento e estrutura associados a um precedente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra generalização para o conhecimento é descrever um precedente em relação a uma questão, a um conceito e a uma forma (Figura 51). Assim como na generalização anterior, estes conceitos podem ser representados através de um modelo conceitual. Cada conceito pode ser decomposto em blocos mais específicos de informação de acordo com a necessidade projetual, e outros modelos podem ser associados. Os conceitos organizados através de uma generalização apropriada são mais facilmente recuperados e reutilizados. Cada precedente é um arranjo de conceitos apropriadamente distribuídos em um espaço de design.

Figura 51: Questão, conceito e forma associados a um precedente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os modelos e o método do *framework* suportam as generalizações mencionadas e são adequados para representá-las, desde uma linguagem não formal onde os elementos estão distribuídos de maneira mais livre até uma linguagem formal onde os conceitos estão coerentemente arranjados de acordo com um domínio. A seguir é apresentado um exemplo de associação de conceitos derivados de um precedente de design.

4.3.2.1 Exemplo de associação de conhecimento precedente.

Para exemplificar a associação do conhecimento precedente tomou-se o conceito “eficiência energética”. Eficiência energética pode ser obtida através de “controle térmico”. Por sua vez, o controle térmico pode ser feito com uma “Camada de Vegetação”. Esta generalização de conceitos em blocos básicos de informação permite a busca e a seleção de precedentes que tenham relação com o projeto, ou seja, tenham uma correspondência semântica (Figura 52).

Figura 52: Exemplo de conceitos que determinam uma solução precedente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste exemplo é utilizado o precedente Bosco Verticale (2005), que é um projeto inovador desenvolvido no âmbito da arquitetura, do design e das engenharias propondo a utilização da vegetação para obter uma série de benefícios tanto para o ambiente urbano e como para a edificação (Figura 53).

Figura 53: Exemplo de uma solução precedente de design.



Fonte: Bosco Verticale (2015).

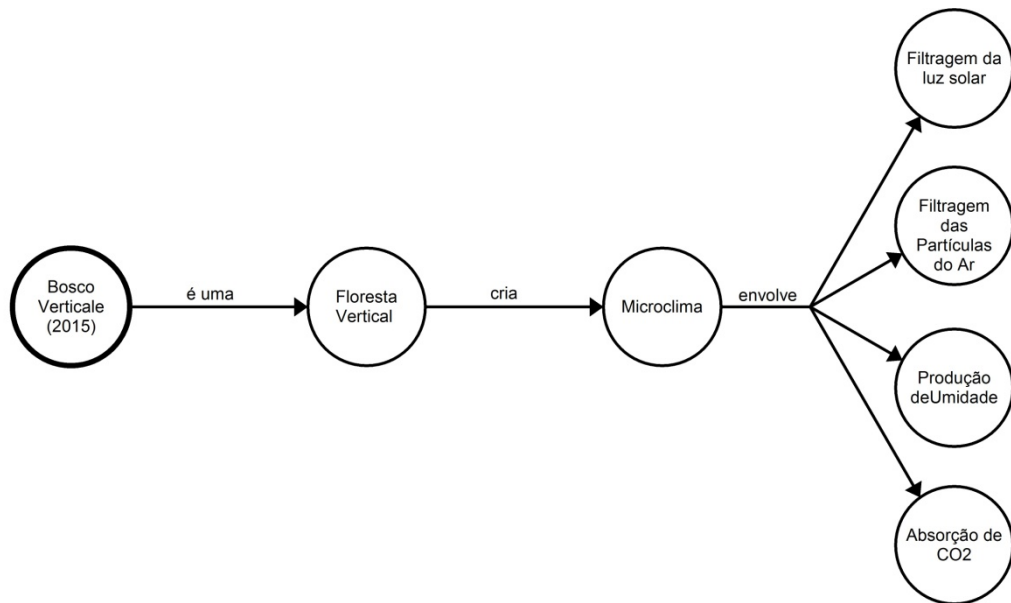
A associação de um precedente ao projeto permite obter uma série de conceitos de design mediante uma análise apropriada. No texto citado a seguir é aplicada uma análise textual de modo a obter conceitos e relações a partir de um projeto existente, conforme método proposto por Oxman (1994).

"A **Floresta Vertical** é um conceito arquitetônico que substitui os materiais tradicionais nas superfícies urbanas utilizando uma policromia de folhas em suas paredes. O conceito se baseia numa camada de vegetação, necessário para criar o **microclima** adequado, **filtragem da luz solar**, e...."

"Os edifícios ajudam a criar um microclima e **filtrar as partículas** contaminadas no ambiente urbano. A diversidade de plantas ajuda a desenvolver o microclima que **produz umidade**, **absorve CO2** e outras partículas, produz oxigênio e protege da radiação solar e poluição sonora." (BOSCO VERTICALE, 2005).

As palavras destacadas do texto acima fornecem conceitos importantes para o projeto, abastecendo o modelo conceitual. A figura 54 apresenta os conceitos obtidos do precedente Bosco Verticale (2005).

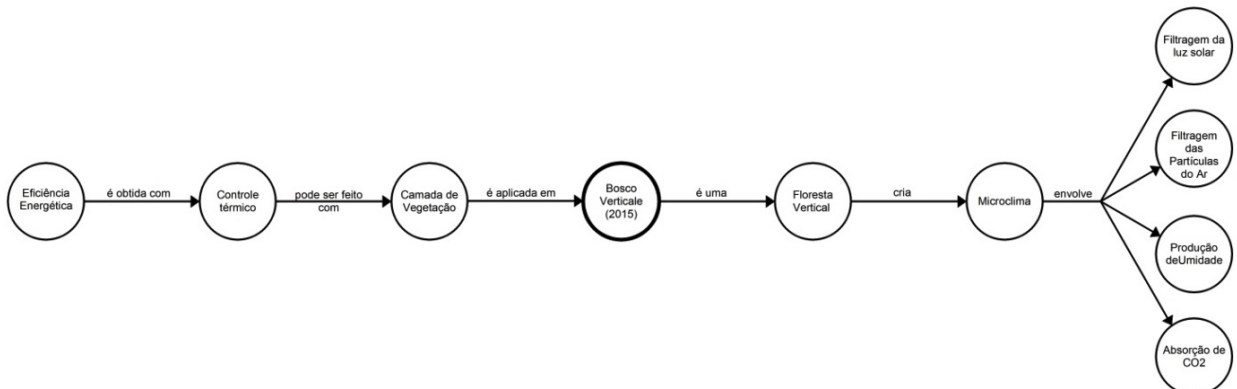
Figura 54: Conceitos obtidos a partir de uma solução precedente.



Fonte: Bosco Verticale (2015).

Como a informação está estruturada, o conjunto de conceitos constitui conhecimento sobre um domínio em particular, povoando o espaço de design com elementos que poderão ser incorporados ao projeto. A Figura 55 mostra um modelo conceitual com a incorporação de conceitos proveniente de um precedente.

Figura 55: Agregação de conceitos de um precedente em um modelo conceitual.

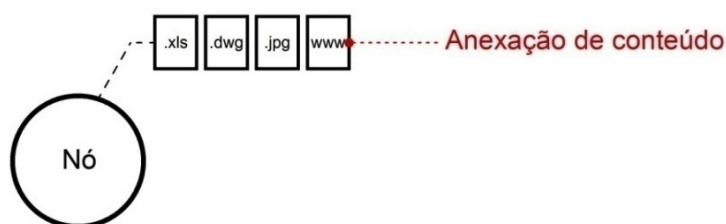


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.3 Anexação de conteúdo externo aos elementos dos modelos

Uma característica importante da representação diagramática utilizando nó e ligação consiste na possibilidade de anexar documentos e arquivos digitais contendo informação externa (Figura 56). Tunçer, Sariyildiz e Stouffs (2006) observam que os designers coletam e examinam documentos que são fontes de conhecimento e inspiração para o projeto durante a sua fase conceitual. Para oferecer suporte a esta prática, estes autores desenvolveram um modelo de informação denominado Mapa da Informação de Arquitetura (*Architectural Information Map*), que utiliza uma estrutura de rede semântica para descrever os conceitos e suas relações e assim servir de base para a organização dos documentos. A anexação de conteúdo externo pode ser feita nos elementos dos diagramas e podem conter diferentes tipos de informação, como textos, tabelas, modelos geométricos, endereços eletrônicos, entre outros. Liverani, Amati e Pellicciari (2008) também sugerem a anexação de documentos externos aos elementos de um diagrama para acessar uma ampla quantidade de parâmetros, como por exemplo parâmetros geométricos, físicos e econômicos, entre outros.

Figura 56: Anexação de conteúdo externo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.4 Considerações sobre a elaboração de diagramas em meio digital e físico

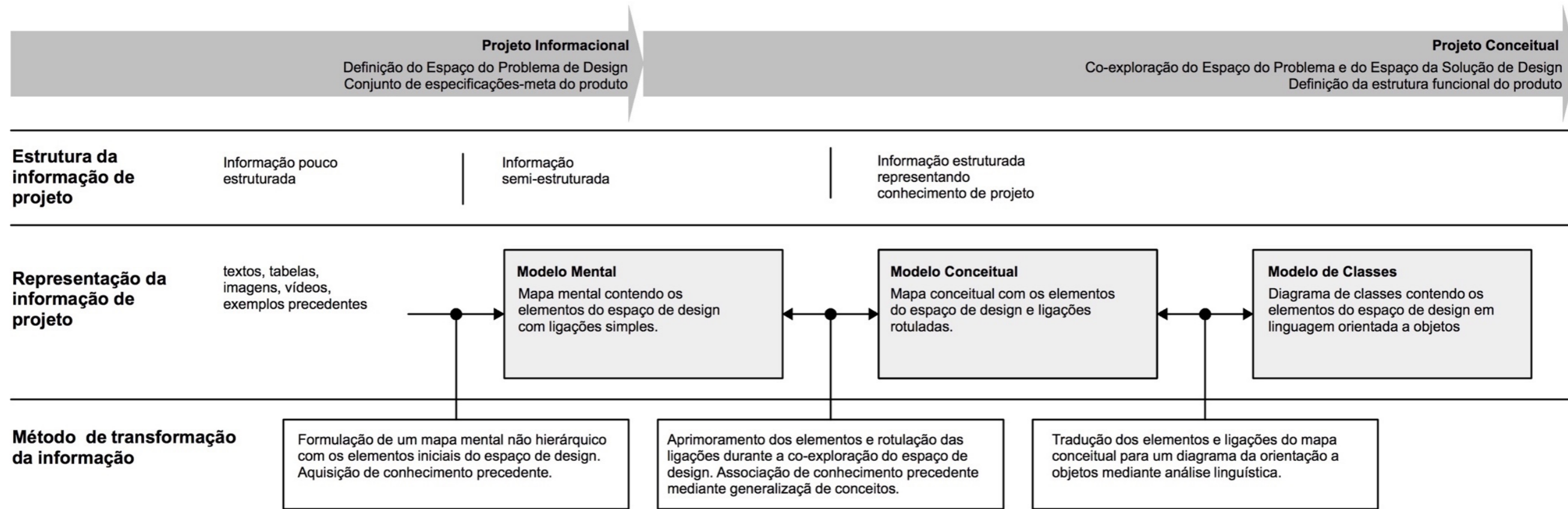
Programas computacionais para representação diagramática do tipo nó e ligação variam, desde programas computacionais com capacidades de cálculo e simulação, como o Papyrus®, até programas computacionais com capacidades voltadas para a organização gráfica da informação, como Lucidcharts®.

Para a representação diagramática em UML, existem uma série de programas computacionais disponíveis, que variam desde programas altamente especializados, gerando código a partir de diagramas, até programas mais simples que permitem uma adequada documentação nos moldes do paradigma da orientação a objetos. A elaboração de diagramas UML normalmente é feita em meio digital, com o uso de programas computacionais, mas também é possível desenvolver esboços iniciais de diagramas UML a mão livre para depois digitalizá-los e continuar a modelagem com suporte computacional. Lank, Thorley e Chen (2000) propõem um sistema interativo para digitalizar diagramas UML elaborados à mão livre mediante a aquisição de imagens que são transformadas em desenho vetorial e posteriormente compatibilizadas para aplicações UML.

4.4 Sistematização do *Framework*

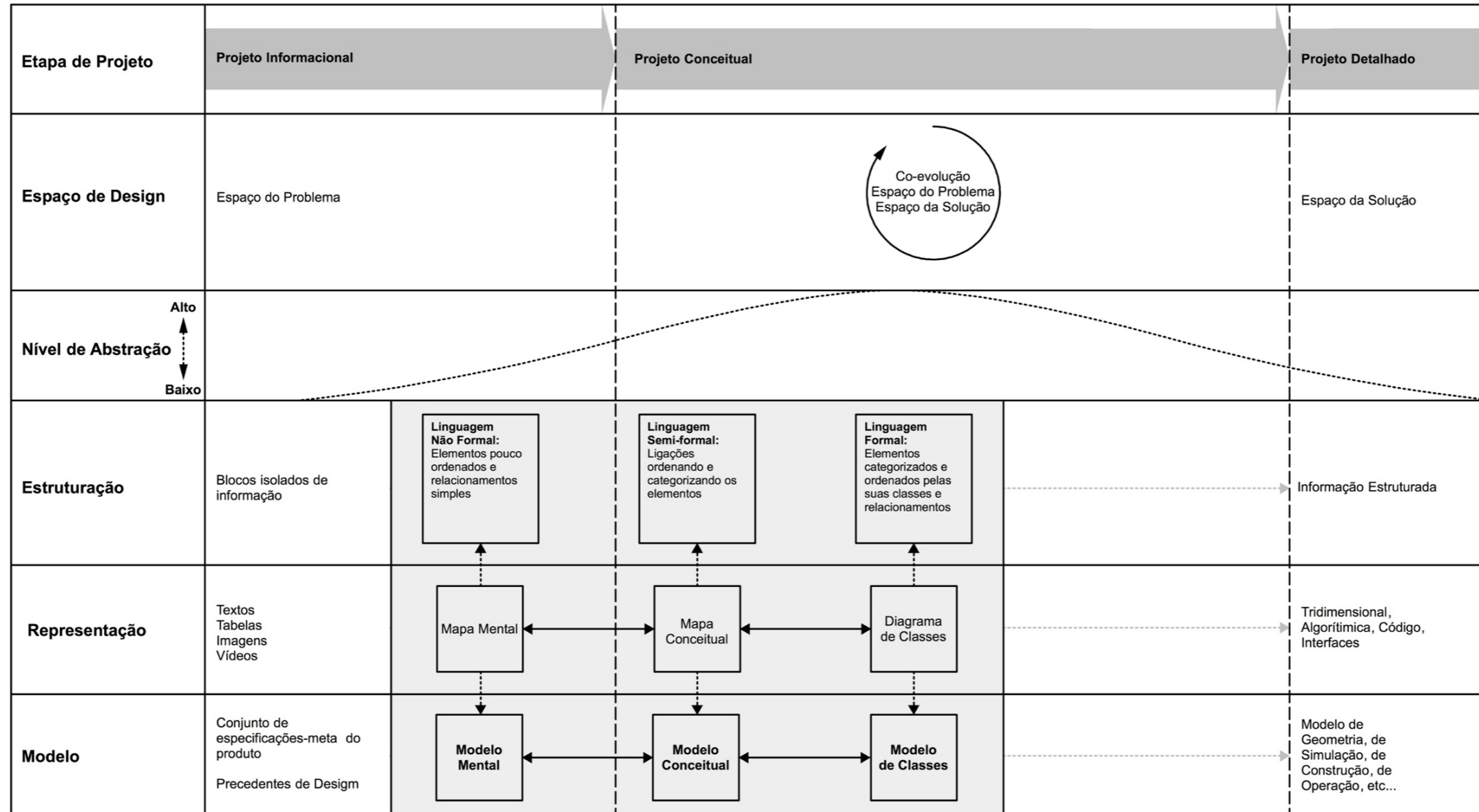
No *framework* proposto, a estruturação da informação corresponde ao gradual aperfeiçoamento dos elementos do espaço de design, mediante inserção, exclusão, modificação e rotulação das ligações, utilizando representação diagramática produzir modelos adequados aos níveis de abstração requeridos pelo projeto durante a exploração do espaço de design. Os modelos são o produto da aplicação deste *framework*. Modelos conceituais e modelos de classes estruturam e representam parte do conhecimento de projeto associado a um domínio em particular com um alto nível de abstração e assim são apropriados para a etapa de design conceitual. A figura 57 apresenta o desenho do *framework* e a figura 58 demonstra o enquadramento do *framework* proposto com relação às fases do processo de desenvolvimento de produto, centrada entre o final da fase de projeto informacional e o início da fase de projeto conceitual. Já a figura 59 apresenta a linguagem de representação que faz parte do *framework*.

Figura 57: Desenho do *framework* proposto.



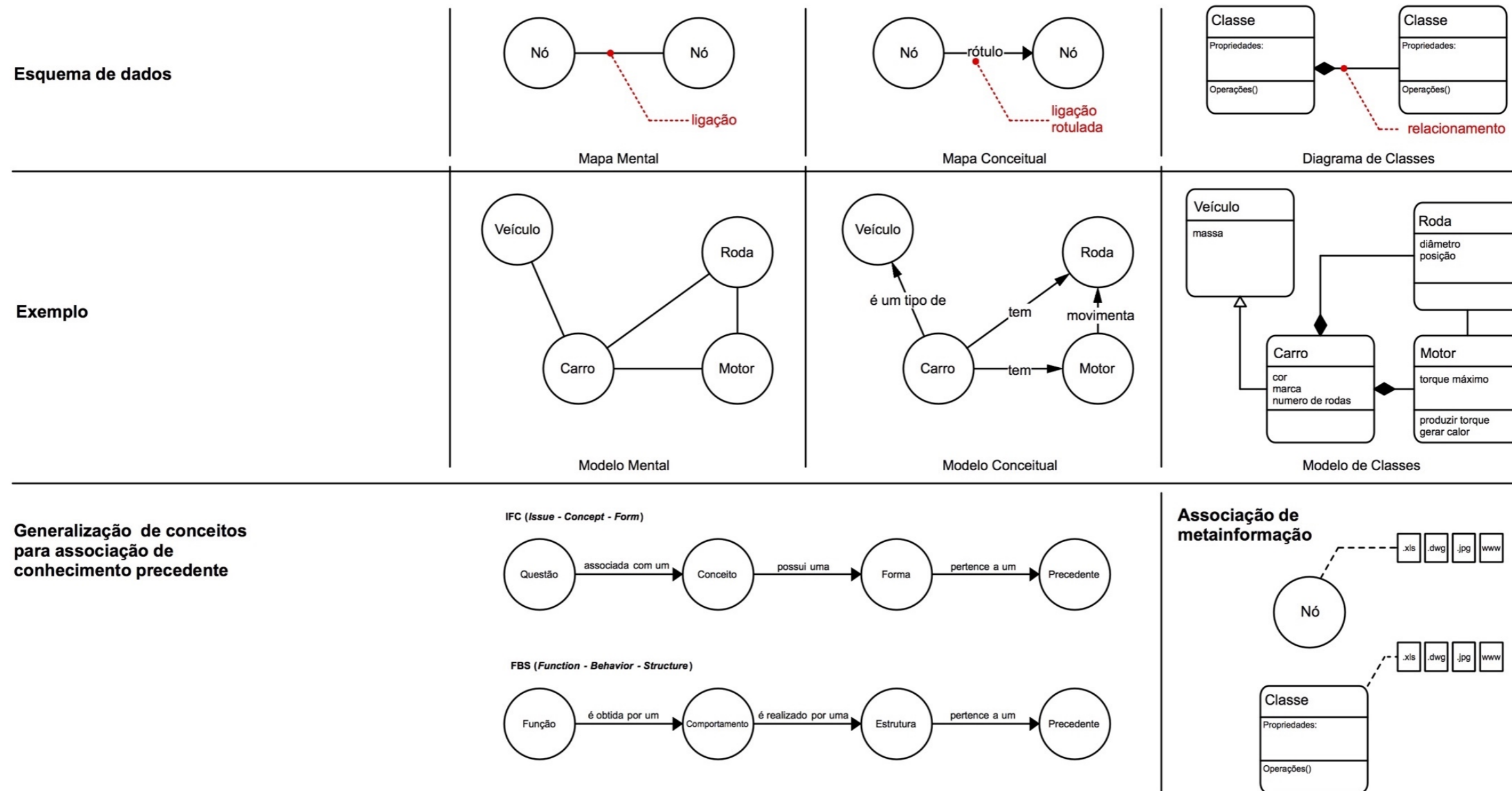
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 58: Enquadramento do *framework* proposto no processo de projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 59: Linguagem de representação do *framework* proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

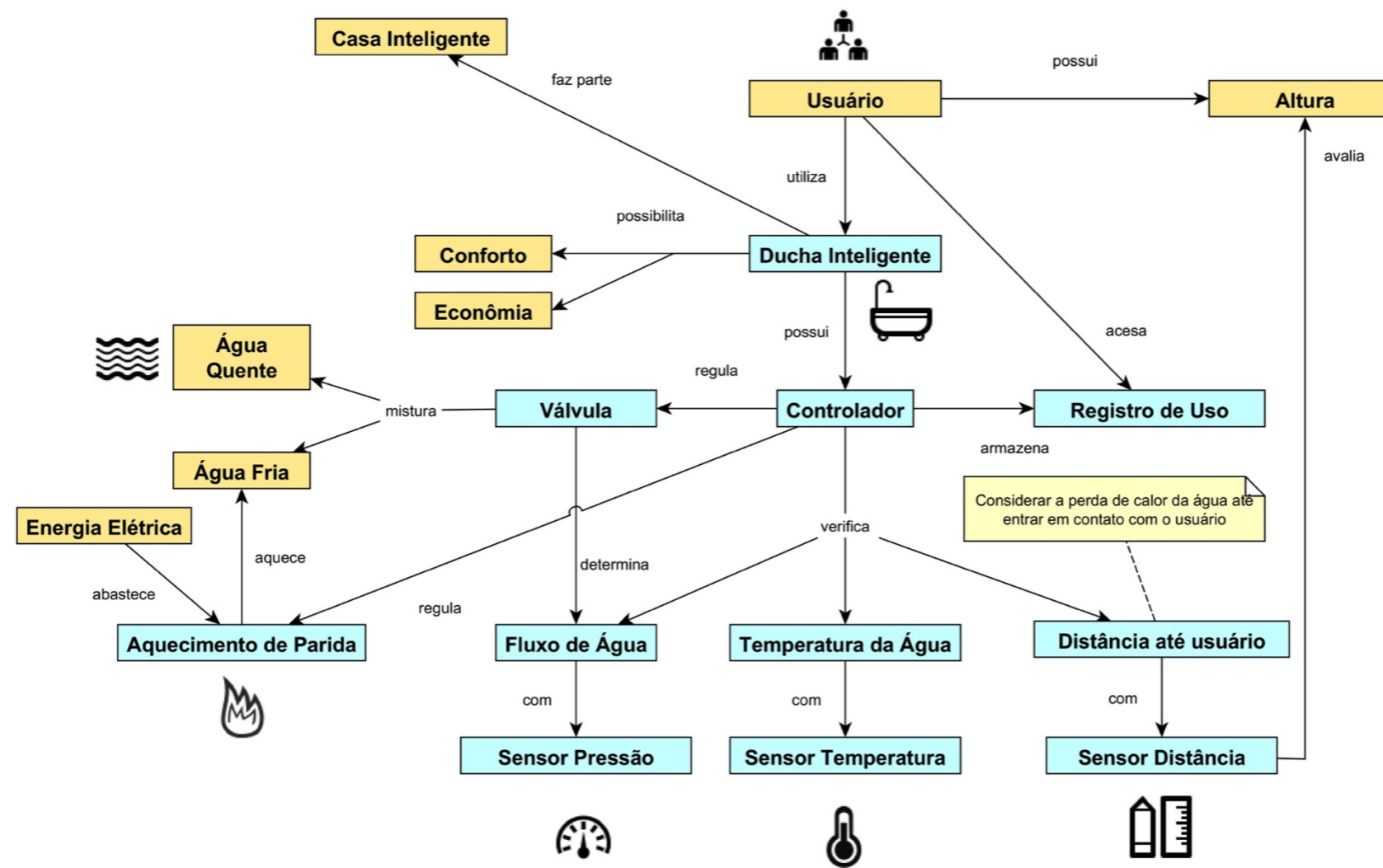
5 AVALIAÇÃO

O capítulo de avaliação apresenta a verificação da aplicabilidade do *framework*, descrevendo uma aplicação piloto, os *workshops* realizados pelos especialistas em design e suas percepções acerca da proposta.

5.1 Aplicação Piloto do *Framework*

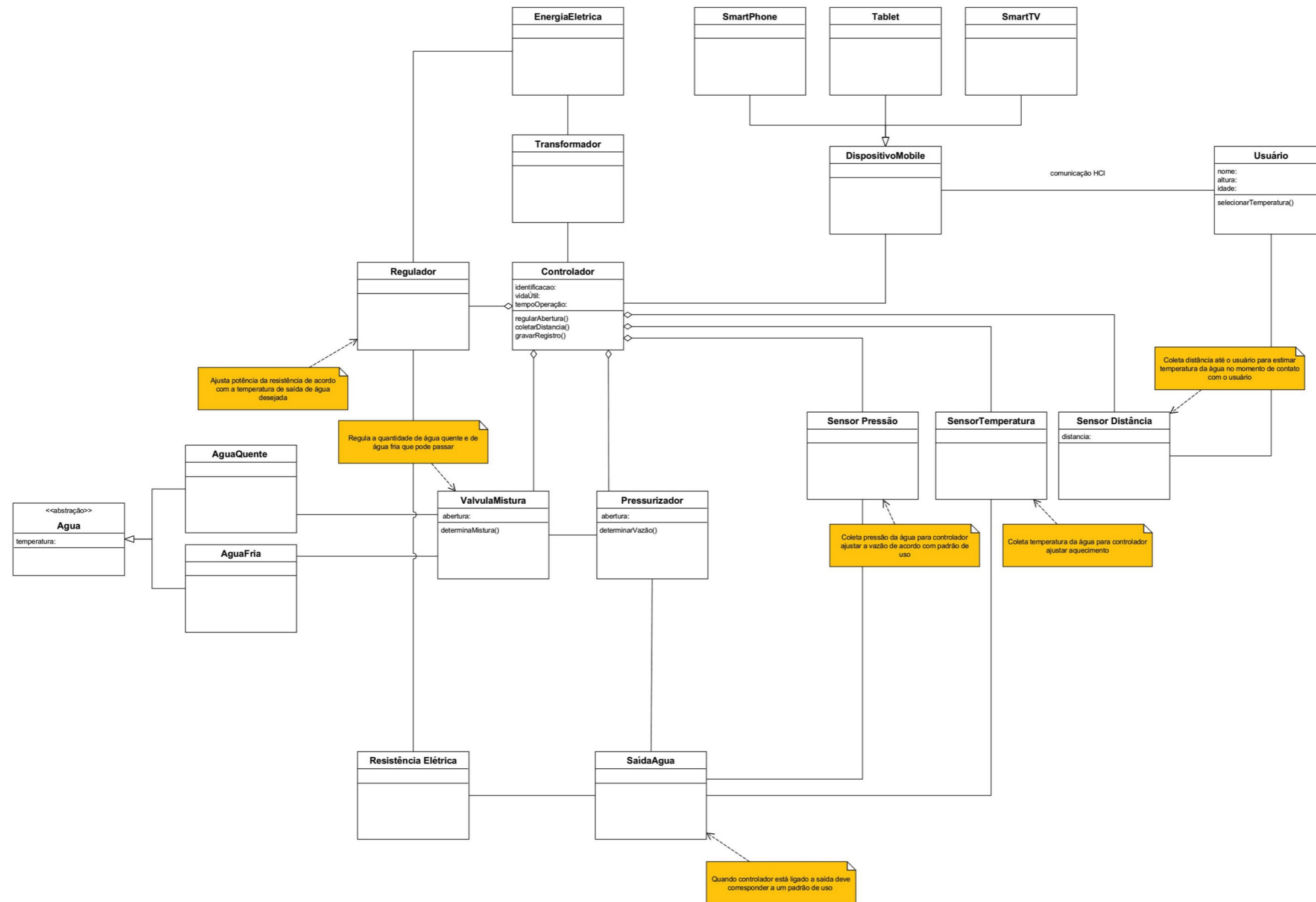
Uma primeira aplicação do *framework* foi realizada para verificar a sua competência em relação à elaboração dos modelos propostos. Um sistema inteligente de produto previamente desenvolvido por alunos de pós-graduação sob a orientação de um professor especialista da área serviu de base para gerar os modelos de projeto do *framework*. Utilizando como base uma proposta desenvolvida pelos estudantes e documentada em um mapa mental básico, foi gerado um modelo conceitual do projeto. Na transformação da informação, o aperfeiçoamento do modelo mental para um modelo conceitual foi realizado mediante a reconfiguração dos conceitos e da rotulação de suas ligações. A figura 59 apresenta o modelo conceitual para o sistema “Ducha Inteligente”. Posteriormente, o modelo conceitual foi transformado em um modelo de classes. Parte dos elementos representados em um modelo conceitual serão as classes em modelo de classes, enquanto outra parte dos elementos serão suas propriedades, seus atributos e métodos e relacionamentos. Os elementos de um modelo conceitual também poderão ser sistemas, requisitos e outras peças da informação importantes para o projeto. Elementos de um modelo não precisam ter correspondência direta com os elementos do modelo adjacente, podendo ser excluídos ou totalmente reformulados. Desta aplicação constatou-se a viabilidade do *framework* em estruturar e representar parte do conhecimento de projeto útil para o design conceitual. A transformação da informação proposta entre os modelos permite lidar, no início do projeto, com informação não estruturada e posteriormente aperfeiçoá-la para modelos mais precisos e formais com um alto nível de abstração contendo conteúdo semântico. A figura 60 apresenta o modelo de classes para este mesmo sistema. A partir da aplicação piloto, o *framework* foi submetido a uma avaliação com especialistas em design, conforme descrito a seguir.

Figura 60: Modelo conceitual para ducha inteligente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 61: Modelo de classes para ducha inteligente.



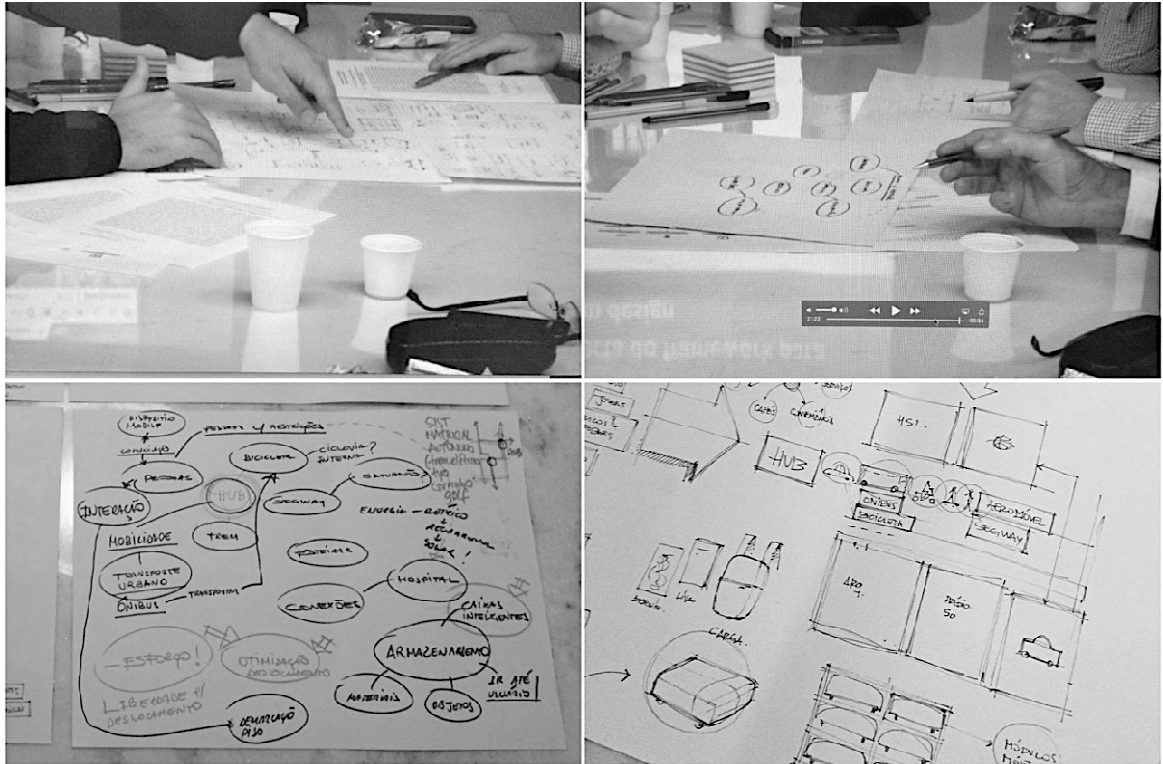
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 *Workshop* de Síntese

Conforme especificado na metodologia da pesquisa, após a aplicação piloto do *framework* seguiu-se a realização do *workshop* de síntese com a participação de especialistas em design. Ao todo, foi possível contar com a participação de sete especialistas em design. Destes, três especialistas são professores do curso de design de uma instituição de ensino superior e também possuem ampla experiência profissional na área de projeto de produto, compreendendo o especialista #1, o especialista #2 e o especialista #3. Outros dois especialistas são professores do curso de design de outra instituição de ensino superior com importantes pesquisas acadêmicas na área, compreendendo o especialista #4 e o especialista #5. Por fim, os outros dois especialistas em design são profissionais autônomos com experiência profissional na área de produto e de arquitetura e que aplicam rotineiramente a modelagem da informação da construção em seus projetos, compreendendo o especialista #6 e o especialista #7.

Devido a questões de disponibilidade e compatibilidade de horários, foram realizados dois *workshops* em momentos distintos. No primeiro *workshop* participaram os especialistas #1, #2 e #3, que elaboraram em conjunto um projeto em nível conceitual conforme orientações passadas pelo pesquisador, incluindo uma explanação sobre a proposta do *framework* e orientações para o desenvolvimento e documentação do projeto. A partir do início da sessão projetual, os participantes iniciaram o mapeamento dos elementos do problema de projeto, documentando-os conforme diretrizes do *framework* em um mapa mental não hierárquico (Figura 61).

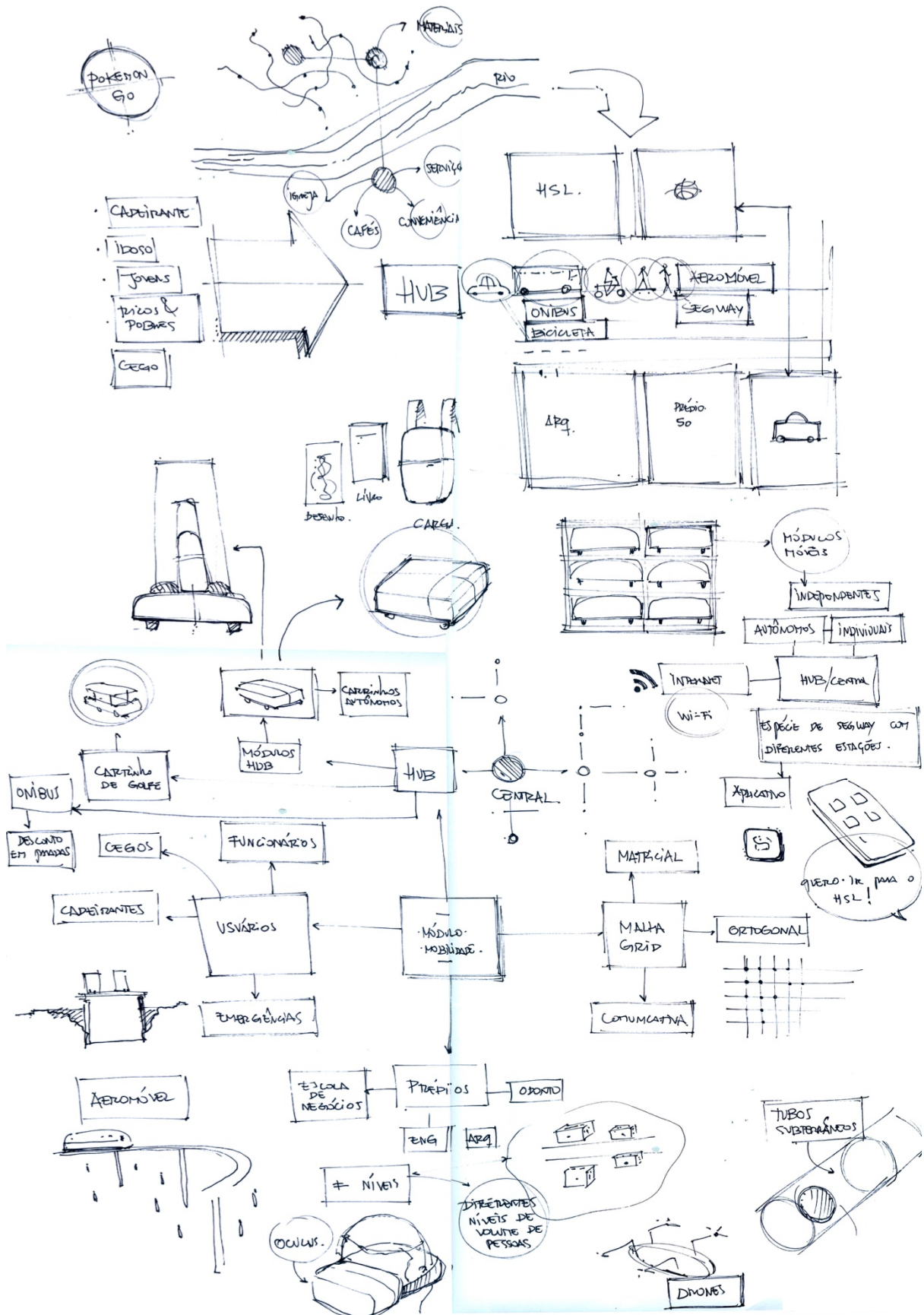
Figura 62: Mapeamento dos elementos do espaço do problema de design.



Fonte: Workshop de Síntese 1.

No decorrer da sessão, os especialistas incluíram novos elementos ao espaço do problema à medida em que o projeto avançava, caracterizando a exploração cíclica própria do design conceitual. Finalmente, os especialistas compilaram os elementos do espaço do problema e do espaço da solução de design através do mapa conceitual, gerando um modelo de classes e entregando uma solução projetual em nível conceitual para o tema estabelecido (Figura 62).

Figura 63: Modelo conceitual elaborado no workshop #1.



Fonte: Workshop de Síntese 1.

O segundo workshop foi realizado pelos especialistas #4, #5, #6 e #7. Neste *workshop*, os especialistas foram reunidos em duas duplas de projeto, sendo os especialistas #4 e #5 formando uma dupla e os especialistas #6 e #7 formando outra dupla (Figura 63).

Figura 64: Abordagem do problema em duplas de projeto.



Fonte: Workshop de Síntese 2.

Os especialistas abordaram o mesmo tema de projeto do workshop anterior. Cada dupla trabalhou de forma independente, compartilhando apenas o mesmo espaço físico. Assim como o primeiro workshop, em um primeiro momento o *framework* foi apresentado e instruções sobre sua aplicação foram dadas. Após isto, foi apresentado o tema de projeto e os participantes iniciaram o mapeamento dos elementos do espaço do problema de design (Figura 64 e Figura 66). Posteriormente ao mapeamento dos elementos do espaço do problema de design, cada dupla de projeto iniciou a geração de ideias para propor as soluções projetuais adequadas ao contexto por elas estabelecido. Finalmente, as duplas de especialistas formularam os mapas conceituais que representavam o modelo de classes da sua solução proposta (Figura 66 e 68).

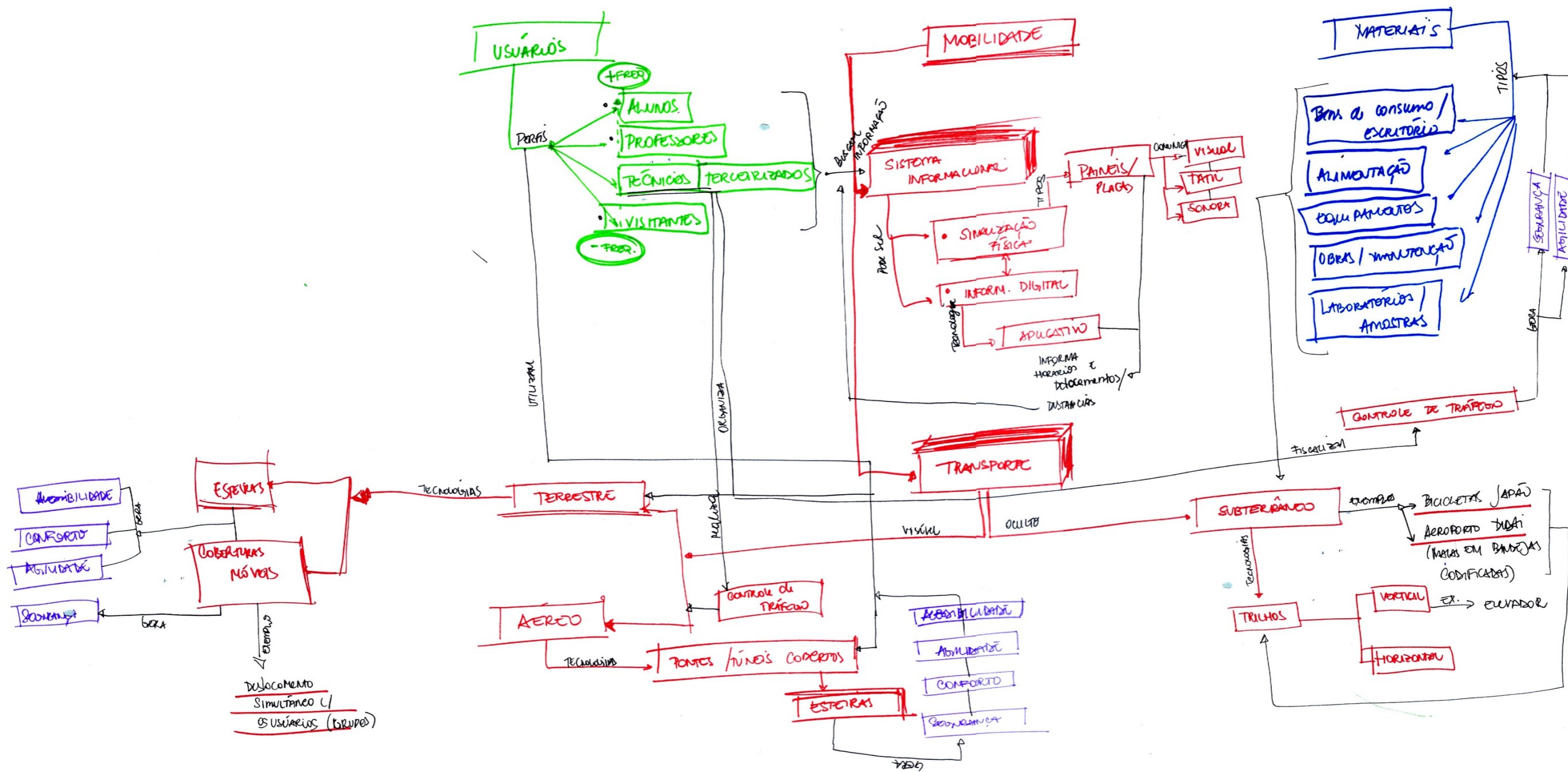
Mediante o acompanhamento dos *workshops*, foi possível observar e constatar pontos positivos e pontos negativos que ocorreram ao longo do processo. Como as sessões foram registradas em vídeo, também foi possível revisar o material a fim de sanar eventuais dúvidas a respeito de determinadas questões. Estas constatações são discutidas a seguir no sumário das respostas das questões objetivas e da questão dissertativa respondidas pelos participantes.

Figura 65: Modelo mental elaborado pelos especialistas #4 e #5.



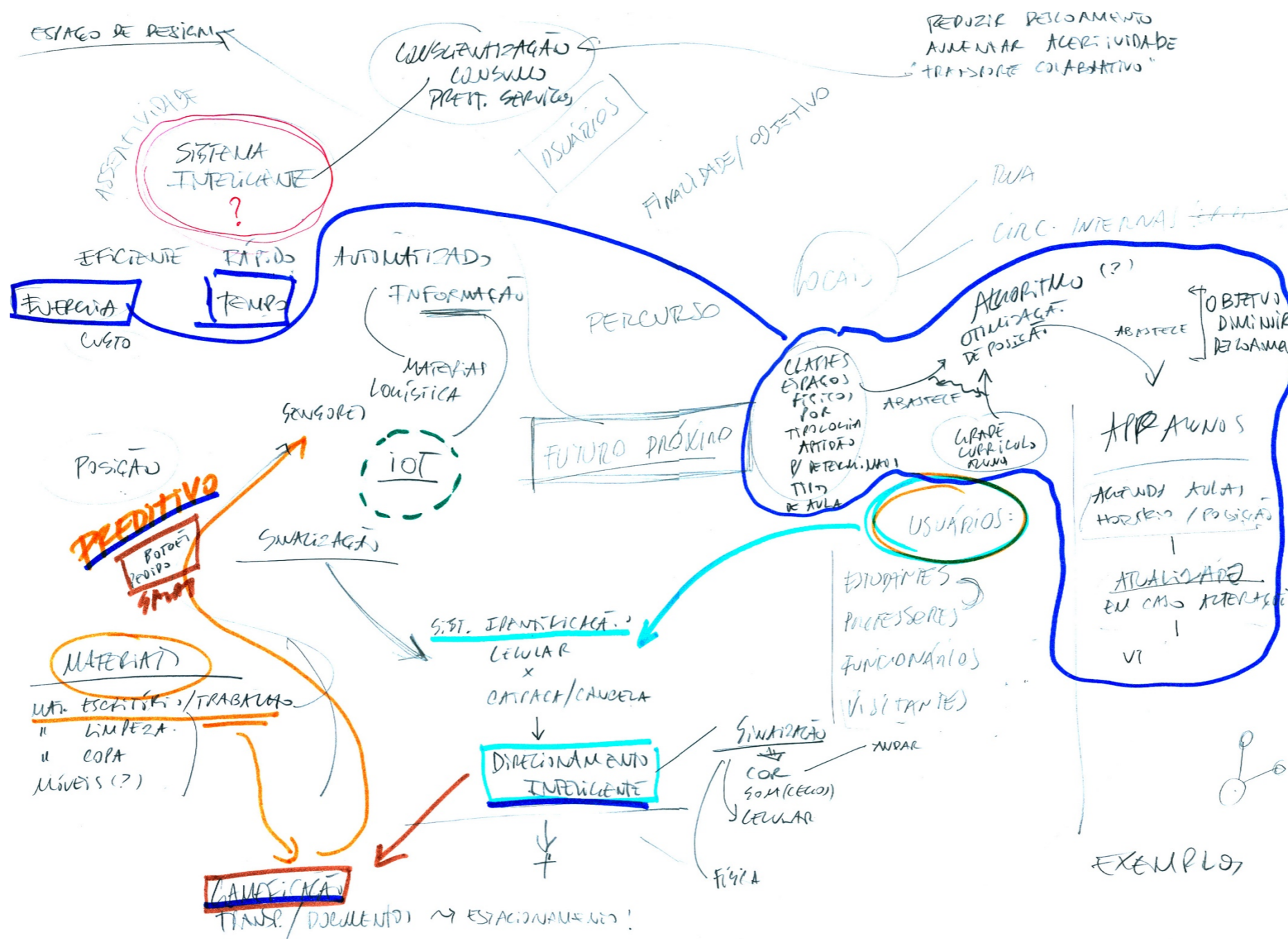
Fonte: Workshop de Síntese 2.

Figura 66: Modelo conceitual elaborado pelos especialistas #4 e #5.



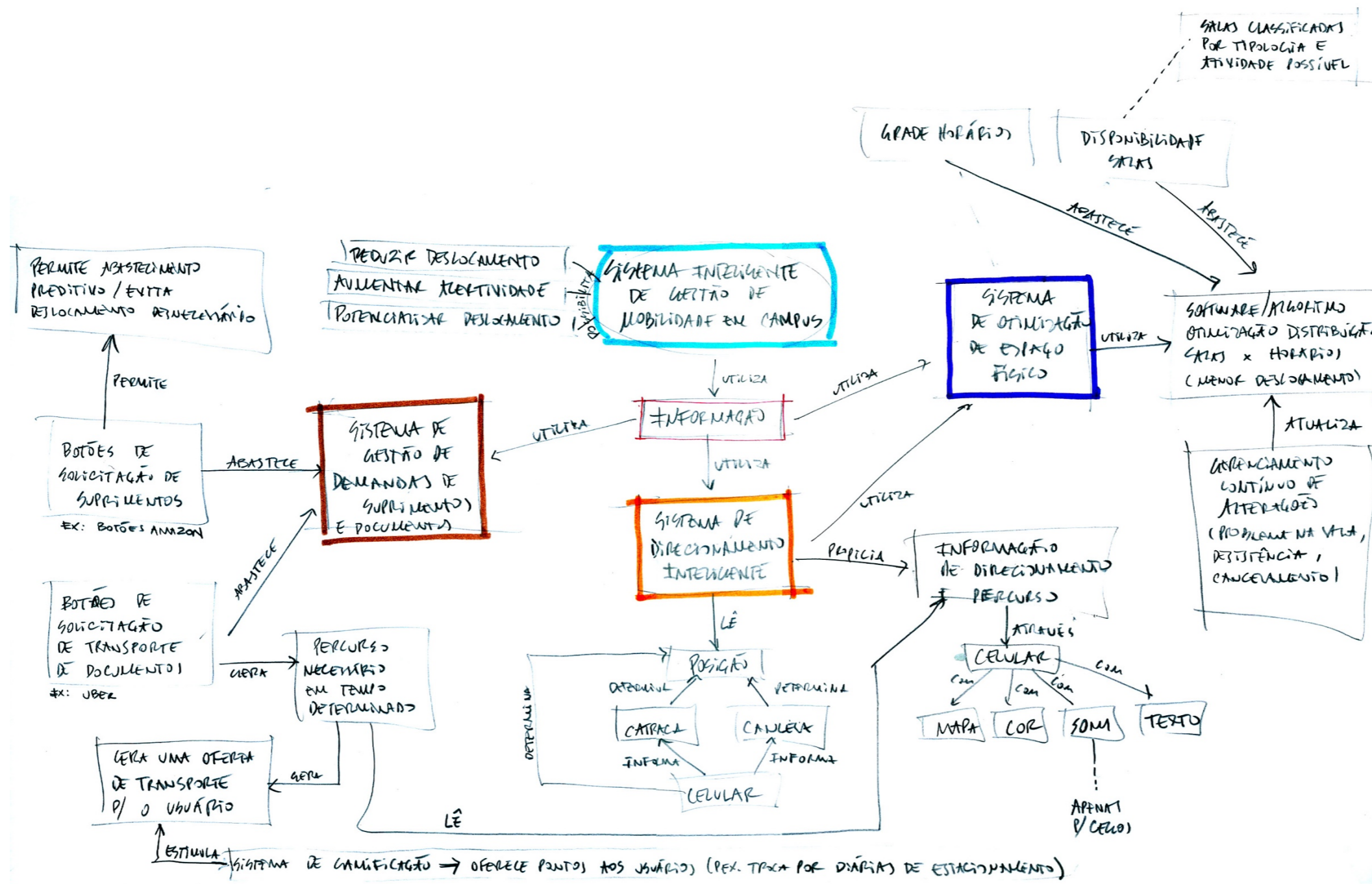
Fonte: Workshop de Síntese 2.

Figura 67: Modelo mental elaborado pelos especialistas #6 e #7.



Fonte: Workshop de Síntese 2.

Figura 68: Modelo conceitual elaborado pelos especialistas #6 e #7.



Fonte: Workshop de Síntese 2.

5.2.1 Sumário das respostas das questões objetivas

Após a participação no *workshop*, os especialistas em design foram convidados a avaliar o *framework* respondendo um questionário contendo oito questões objetivas, em que se solicitava indicar o grau de contribuição que a aplicação do *framework* proporcionou para oferecer suporte no processo de projeto, e também uma questão dissertativa, onde os especialistas puderam aprofundar determinados tópicos. As respostas foram então coletadas e são apresentadas e discutidas a seguir.

A primeira questão visou identificar o grau de contribuição do *framework* para compreender o contexto com alto nível de abstração. Apenas os especialistas #3 e #6 identificaram que o *framework* obteve o grau máximo (5) de contribuição para este fim. Entretanto, os demais cinco especialistas (#1, #2, #4, #5 e #7) indicaram uma alta contribuição para este fim, e marcaram um grau 4 de contribuição. As respostas da questão 1 podem ser interpretadas como um indicador de que o *framework* atende um dos seus objetivos específicos, que é o de proporcionar uma visão geral e ampla dos vários elementos que compõe o espaço de design utilizando um alto nível de abstração e assim auxiliar a exploração do espaço de design.

A próxima questão (Questão 2) visou identificar o grau de contribuição do *framework* para organizar os elementos de projeto em categorias apropriadas. Com resultados muito próximos da primeira questão, os especialistas #3, #4, #5 e #7 indicaram o grau máximo de contribuição (5) e os especialistas #1, #2 e #6 indicaram um alto grau de contribuição (4). Deste modo, é possível considerar que o *framework* é útil para categorizar os diferentes elementos de projeto que inicialmente estão pouco precisos e ainda constituem peças soltas de informação.

A questão 3 procurou identificar a capacidade do *framework* em analisar soluções existentes. As repostas variaram significativamente, sendo que os especialistas de uma dupla (#6 e #7) consideraram uma razoável contribuição (grau 3), outros dois (#2 e #5) uma alta contribuição (grau 4) e finalmente os outros três especialistas (#1, #3 e #4) consideraram uma contribuição plena (grau 5) para analisar casos precedentes. Esta variação indica que o *framework* ainda pode ser aperfeiçoado para este fim, sobretudo se for utilizado na fase anterior ao design conceitual, como explicitaram alguns especialistas na questão dissertativa, que é discutida mais adiante.

A questão 4 tratou sobre a capacidade do *framework* em representar os elementos do espaço de design. Três especialistas (#1, #4 e #7) indicaram alta contribuição e os demais especialistas (#2, #3, #5 e #6) indicaram contribuição plena para este fim, concordando que a representação diagramática possibilita descrever diferentes elementos utilizando uma linguagem acessível. Porém, considerações foram feitas sobre a velocidade necessária para representar estes elementos, pois foi necessário um intenso esforço para isto. Este aspecto também será discutido mais adiante, quando se tratar da questão dissertativa.

A questão 5 procurou identificar a capacidade do *framework* para auxiliar o desenvolvimento de alternativas com potencial de inovação. Os especialistas #1, #2, #3, #6 e #7 consideraram grau pleno de contribuição e outro um alto grau, porém o especialista #5 achou apenas razoável o grau de contribuição do mesmo para este fim. Uma possível causa para este indicador pode ser a necessidade de complementar o *framework*, e relacioná-lo com outras técnicas de geração de ideias próprias do design, conforme levantado pelos especialistas #4 e #5 na discussão posterior a aplicação dele.

Já a questão 6 objetivou verificar se o *framework* auxiliava a avaliação das soluções geradas no contexto do projeto tratado. Cinco especialistas (#1, #2, #5, #6 e #7) consideraram um alto grau de contribuição e apenas os especialistas #3 e #4 consideraram um grau pleno. Assim, o *framework* poderia ser melhor adaptado para fins de análise mediante a associação de diagramas complementares.

A questão 7 foi concebida para verificar se o *framework* permitia atingir um adequado resultado projetual, ou seja, mapear o espaço de design e explorar soluções criativas de design. Nesta questão, os especialistas # 3, #6 e #7 consideraram grau pleno de contribuição, outros três consideraram um alto grau (#1, #2 e #4) e um (#5) considerou um grau razoável. Esta variação de repostas também pode indicar que o *framework* necessita ser associado a outras técnicas de projeto para desempenhar seu papel no processo de projeto.

Finalmente, concluindo as questões objetivas, a questão 8 procurou identificar o grau de contribuição do *framework* para documentar o conhecimento gerado a partir do desenvolvimento do projeto para ser aplicado em novos projetos. As respostas indicaram que os especialistas consideraram o *framework* muito útil para este fim, sendo que seis especialistas (1, #2, #3, #4, #5 e #6) marcaram grau pleno de contribuição e o especialista #7 assinalou um alto grau de contribuição. O conjunto das repostas das questões objetivas permitiram verificar a aplicabilidade do *framework* em relação a seus objetivos primários, e isto foi comprovado pela média dos resultados, com a maior parte dos especialistas considerando uma contribuição efetiva para oferecer suporte ao processo de projeto de produtos e sistemas. A seguir será apresentada uma discussão baseada na questão dissertativa respondida pelos especialistas.

5.2.2 Sumário das repostas da questão dissertativa

Para responder à questão dissertativa do questionário de avaliação do *framework*, os especialistas em design foram convidados a emitir sua opinião de maneira descritiva sobre os aspectos positivos e os aspectos negativos da abordagem, aprofundando tópicos que considerassem relevantes e sugestões para aperfeiçoar a proposta.

Conforme o especialista #1, o *framework* aplicado é uma ferramenta de reunião e de aproximação de ideias e conceitos bastante produtiva, e o modelo de representação por ele utilizado poderia incluir desdobramentos em níveis ou camadas tridimensionais e hipermídia, além de uma maior interatividade gráfico-visual. A constatação deste especialista é importante pois explicita a possibilidade de

integração de diferentes fontes de informação sob um mesmo modelo. Como o *workshop* foi realizado sem o uso de suporte computacional, todos os modelos gerados foram executados manualmente, mas pesquisas na área já propõe a execução de modelos computacionais com as mesmas características mencionadas pelo especialista, como a linguagem de modelagem unificada tridimensional (LIVERANI, AMATI e PELLICCIARI, 2004) e a organização da informação do espaço de design de maneira hierárquica e estruturada (KILIAN, 2000). Assim, para um efetivo suporte ao processo de projeto, ainda é necessário integrar os modelos e o método propostos no *framework* com as ferramentas computacionais existentes ou até mesmo desenvolver novas ferramentas digitais.

Outra consideração identificada (especialista #2) foi que o *framework* auxilia a compreender a amplitude das possibilidades do projeto, mas também evidencia como é difícil acompanhar a velocidade de raciocínio do projetista. De fato, na medida em que o projeto foi sendo desenvolvido, foi necessário um intenso esforço por parte dos projetistas para documentar os elementos e fazer as respectivas ligações nos modelos gerados. Assim, esperava-se que o *framework* pouco interferisse sobre o processo cognitivo utilizado pelos designers, sendo uma ferramenta de suporte adequada para o design conceitual. Entretanto, a constatação acima indica que mesmo utilizando uma das formas mais elementares e comuns de representação (diagramas), ainda assim foi necessário demandar esforço para elaborar os modelos e capturar a informação tratada no projeto. Por isso, pode ser útil propor formas de automatizar e tratar a informação gerada, como a utilização de bases ontológicas autoconfiguráveis e recursos avançados de inteligência artificial para auxiliar a modelar a informação de projeto. Do mesmo modo, o especialista #3 também verificou a dificuldade de implementação do *framework* por pessoas de pensamento mais acelerado, o que pode resultar em perda de informação e a geração de modelos incompletos que não estruturam adequadamente o conhecimento de projeto. Porém, o especialista #3 considerou positivo o registro visual das elaborações mentais e das conexões geradas.

O especialista #4 percebeu que o *framework* torna a informação mais clara e acessível a todos os integrantes da equipe de projeto, mas que isto pode ser desfavorável na medida em que a representação for feita por um único designer. Assim, pode ocorrer um direcionamento do projeto na medida em que apenas as informações que o mesmo achar pertinente foram representadas. Para evitar isto, pode ser necessário um moderador que combine igualmente as informações geradas pelas diferentes pessoas envolvidas no projeto. Como proposta inicial, o *framework* foi desenvolvido para ser aplicado a partir do início do projeto conceitual. Porém, os especialistas #4 e #5 observaram a possibilidade de aplicação do *framework* antes do início do projeto conceitual. Eles colocaram que o mesmo poderia ser útil para produzir modelos com os elementos, ainda que incompletos, do espaço do problema de design já no projeto informacional, para buscar informação que posteriormente abastecerá o projeto conceitual. Neste sentido, foi comentado que a produção de modelos de classes a partir de soluções existentes com fins de análise seria produtiva para o projeto. Deste modo conforme os especialistas consideraram, o *framework* poderia ser aplicado para a análise funcional, de similares, de sistemas concorrentes, entre outras análises utilizadas no projeto informacional. A aquisição de conhecimento precedente pode ocorrer em uma fase anterior ao projeto conceitual, mediante a produção de modelos conceituais a partir de soluções existentes ainda no projeto informacional.

Como o processo de amadurecimento entre as fases projetuais é longo e exige reflexão, os especialistas #4 e #5 observaram a dificuldade de consolidar um modelo conceitual imediatamente após a produção de um modelo mental em uma mesma sessão projetual. Esta percepção pode ter ocorrido devido a curta duração do *workshop*, não correspondendo fielmente a um processo de projeto real devido as limitações operacionais do mesmo. Conforme já mencionado, espera-se que o mesmo seja uma forma complementar de representação, e que não substitua técnicas e procedimentos que são necessários para um adequado resultado projetual. Igualmente, foi sugerido pelos especialistas #4 e #5 o aprimoramento dos modelos ao longo do processo, sendo que após uma tomada de decisão novos modelos sejam produzidos documentando adequadamente a evolução do projeto.

Finalizando as respostas da questão dissertativa, os especialistas #6 e #7 observaram que o *framework* é útil para ampliar a consciência sobre o problema em si, ao invés de direcionar o pensamento exclusivamente para a solução projetual, sendo considerado um facilitador para produzir soluções inovadoras, e adequado para registrar as diretrizes que conduzirão a estas soluções. Além disso, os especialistas #6 e #7, que são usuários avançados de BIM, observaram o potencial da proposta em tratar a informação e o conhecimento nos mesmos moldes das ferramentas computacionais atuais.

6 DISCUSSÃO

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, foi possível aprofundar a compreensão sobre questões importantes do processo de projeto de produto. O conhecimento sobre o domínio do projeto é necessário para o desenvolvimento de soluções criativas e deve estar acessível e organizado, principalmente quando se está trabalhando em equipe. Atualmente, com o aumento da complexidade dos produtos e sistemas técnicos, o conhecimento sobre o domínio pode ser bastante amplo e diversificado, o que dificulta a tarefa de estruturar e representar a informação. As ferramentas computacionais disponíveis para o projeto de produto são altamente especializadas e eficazes para as fases finais do processo de projeto, porém as fases iniciais ainda carecem de suporte para auxiliar os designers neste sentido. Assim, identificou-se a possibilidade de sistematizar a representação do conhecimento de projeto de produto em um alto nível de abstração utilizando o paradigma da orientação a objetos.

Ao pesquisar sobre o paradigma da orientação a objetos, descobriu-se que parte dos fundamentos que o definem foram baseados na obra do arquiteto e matemático Christopher Alexander, que estabelece o reconhecimento de padrões associados a um problema, um contexto e uma solução de projeto para ser aplicado em novos projetos. Além disso, uma de suas técnicas sugere o uso de diagramas para representar os elementos de um padrão, a fim de facilitar sua associação durante o processo cognitivo empregado pelos projetistas. Posteriormente, verificou-se que esta abordagem vem ganhando importância para o design na medida em que novos métodos de associação de conceitos são pesquisados (BURDEK, 2006).

Para conseguir elaborar uma proposição consistente, foi necessário identificar e relacionar diferentes conceitos para se chegar em mapa conceitual da tese em que os assuntos estivessem devidamente relacionados. Uma das principais contribuições desta tese é propor a aplicação do paradigma da orientação a objetos nas fases iniciais do processo de projeto, pois atualmente ele é aplicado somente nas fases finais do processo de projeto e sem o devido embasamento por parte dos designers.

Com os assuntos da tese adequadamente estruturados, partiu-se para a elaboração do *framework*, definindo em um primeiro momento o modelo da informação de projeto e depois o método de aplicação. Os modelos propostos possuem uma base em comum, que é a representação diagramática. A diferença entre eles é apenas o volume e o tipo de informação que cada um suporta. Inicialmente, os modelos são mais flexíveis e aceitam informação pouco estruturada e posteriormente eles são mais formais e estruturados. O método de captura e manipulação dos dados foi pensado para ser eficaz com relação as técnicas mais utilizadas pelo design para a elaboração de soluções projetuais. Além disso, foi considerado uma gradual e correlacionada evolução dos modelos, sem a necessidade de se iniciar um modelo totalmente novo conforme o projeto avança. O encadeamento dos dados, produzindo informação e sua estruturação estabelecendo conhecimento de projeto é um diferencial em relação a maior parte dos estudos encontrados, que normalmente tratam isoladamente cada assunto.

Após a formulação do *framework* seguiu-se sua validação. A aplicação piloto do *framework* em conjunto com a sua avaliação pelos especialistas em design foi extremamente importante porque demonstrou a viabilidade da proposta e permitiu identificar questões que podem servir de base para futuros trabalhos. Para viabilizar a avaliação pelos especialistas em design, limitou-se aplicar o *framework* somente para a produção de modelos mentais e modelos conceituais, não priorizando a construção de modelos de classes. Esta opção foi admitida porque a transposição entre um modelo conceitual e um modelo de classes é direta e não implicaria a necessidade de os especialistas já conhecerem o paradigma a objetos, visto que esta é uma limitação que a própria pesquisa visa superar. Com relação à aplicabilidade do *framework*, quando é realizada a transição de um modelo mental para um modelo conceitual e por fim para um modelo de classes, deve-se considerar uma transformação dos elementos do projeto. Assim, cada modelo é aperfeiçoado na medida em que se aprofundam determinadas questões projetuais, acrescentando, suprimindo ou modificando os conceitos e suas respectivas ligações.

É importante observar que para cada mudança significativa deve haver um controle e um histórico a fim de possibilitar compreender e até mesmo retornar a pontos anteriores do projeto. Esta documentação da evolução do projeto a partir da tomada de decisão é amplamente investigada na área de racionalidade de projeto (*Design Rationale*), com pesquisas propondo a captura do comportamento individual dos designers em ambientes CAD através do reconhecimento de suas ações e reconhecendo padrões que posteriormente podem oferecer suporte automático na medida em que o projeto é desenvolvido. (CHANDRASEGARAM et al., 2013).

Já com relação à formulação dos modelos, foi observado que devido a informação coletada e armazenada durante o projeto informacional se apresentar pouco estruturada e pouco precisa, ela não possui um formato padronizado, o que dificulta sua reutilização. Como o *framework* é apto para se trabalhar já no espaço do problema, ele pode ser utilizado para estruturar parcialmente o conjunto de dados obtidos durante as pesquisas, como os requisitos e os condicionantes de projeto, e para as análises realizadas no projeto informacional, como análises funcionais e análises estruturais. Sabe-se que a partir das análises é possível produzir de soluções existentes para abastecer o projeto, como já indicam Kurtoglu, Campbell e Linsey (2009).

Finalmente, foi observado que para acompanhar a velocidade do lançamento dos conceitos são necessárias ferramentas que possibilitem documentar, acessar e manipular a informação de projeto de maneira rápida e precisa. Sabe-se que o desenho a mão livre é um recurso que facilita este processo e já existem pesquisas que propõe a complementação do desenho a mão livre através dos recursos computacionais, digitalizando em tempo real a informação e oferecendo informação complementar para o projeto de acordo com a questão tratada (ALIAKSEYEU; MARTENS e RAUTERBERG, 2006). Também foram encontradas pesquisas que propõe a digitalização automática de diagramas feitos a mão livre, transformando-os em formato digital (LANK; THORLEY e CHEN, 2000). Assim, é possível combinar a elaboração de modelos a mão livre com modelos computacionais.

Ressalta-se que esta pesquisa concentra sua atenção entre a fase final do projeto informacional e o início da fase de projeto conceitual. Ela está baseada na representação simbólica diagramática dos elementos de projeto, porém outros tipos de representação são necessários para o desenvolvimento de produtos e sistemas técnicos, conforme já mencionado anteriormente. Não é proposto que a representação aqui utilizada sobreponha ou substitua os outros tipos de representação associados ao processo de design, mas sim que ela complemente e se some a eles para assim descrever e especificar uma solução de design de maneira mais completa e precisa, podendo ser utilizada em conjunto com os métodos tradicionais de design.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese estabelece um *framework* para estruturar e representar o conhecimento de projeto de produto aplicando o paradigma da orientação a objetos. Ao longo do seu desenvolvimento, identificou-se que este paradigma já é amplamente adotado por áreas correlacionadas ao design, mas ainda é pouco aplicado nesta área. Observou-se um amplo potencial de aplicação do paradigma da orientação a objetos para o design de produto, considerando que a maior parte das ferramentas computacionais de projeto operam nestes termos.

Com a inserção do paradigma da orientação a objetos nas fases iniciais do desenvolvimento de produtos, espera-se estruturar e representar a informação para que ela possa evoluir de maneira contínua e armazenar conhecimento reutilizável sobre o projeto. A estrutura de dados do *framework* é tangível e permite a articulação de complexas inter-relações entre os elementos, contribuindo para uma análise apurada do projeto. Além disso, a tese unifica um conjunto de múltiplas representações que descrevem, sob diferentes aspectos, tanto os problemas de projeto como possíveis soluções para o mesmo, complementando a representação geométrica normalmente utilizada em um projeto de produto.

O *framework* adota uma linguagem de representação diagramática que pode evoluir desde um modelo mental, com elementos diversificados e pouco ordenados, até uma rede estruturada de classes e relacionamentos em um modelo de classes. Os mapas mentais são apropriados para representar informação fragmentada e pouco precisa, estabelecendo os elementos e as relações iniciais do espaço de design através de conceitos e ligações simples. Por sua vez, os modelos conceituais podem ser representados por meio dos mapas conceituais. Um mapa conceitual é um diagrama contendo elementos nodais e múltiplas ligações rotuladas que possuem direção. Neste caso, a ligação entre os conceitos pode ser lida em sequência e formar uma oração completa e facilmente interpretável.

Cada nó em um mapa conceitual corresponde a um conceito. Múltiplos conceitos inter-relacionados definem uma ontologia para um domínio ou projeto em particular. A partir de uma ontologia pode ser produzido um modelo de classes. O modelo de classes concentra conhecimento sobre o projeto, servindo como uma estrutura geral que conecta e relaciona diferentes blocos de informação associados aos produtos e sistemas que estão sendo elaborados.

Como hipótese, esta pesquisa sugere que os conceitos da orientação a objetos em conjunto com a linguagem de representação diagramática podem ser utilizados para representar parte do conhecimento de projeto com um alto nível de abstração e deste modo permitir uma adequada exploração do espaço de design que pode conduzir a soluções criativas no desenvolvimento produtos e sistemas técnicos. Com o método de avaliação adotado, esta hipótese foi parcialmente comprovada. Verificou-se que o *framework* possui a capacidade de representar o conhecimento útil para o projeto, mas não foi possível determinar com precisão se ele realmente auxilia a geração de soluções criativas, pois comprovou-se que ele é uma forma complementar de representação e precisa estar associado a outras técnicas e estratégias de design para assim auxiliar os designers a explorar soluções criativas no processo de projeto.

Diferentes tecnologias já estão sendo desenvolvidas no caminho em que a tese apresenta sua proposta, sendo necessário combiná-las e ou adaptá-las para oferecer um suporte integral nas fases iniciais do processo de projeto. Como sugestão para futuros trabalhos, propõe-se: (I) desenvolver uma base de conhecimento precedente utilizando os modelos e o método de representação propostos no *framework*; (II) verificar a aplicabilidade do *framework* em projetos mais amplos, tanto por estudantes e professores em ateliês de projeto de produto, como por profissionais de design que lidam com o desenvolvimento de produtos e sistemas técnicos cotidianamente.

REFERÊNCIAS

- AKIN, Omer et al. An electronic design assistance tool for case-based representation of designs. **Automation in Construction**, v. 6, n. 4, p. 265-274, 1997.
- AKIN, Omer. Variants in design cognition. Design knowing and learning: **Cognition in design education**, p. 105-124, 2001.
- _____. Case-based instruction strategies in architecture. **Design Studies**, v. 23, n. 4, p. 407-431, 2002.
- ALIAKSEYEU, Dzmitry; MARTENS, Jean-Bernard; RAUTERBERG, Matthias. A computer support tool for the early stages of architectural design. **Interacting with Computers**, v. 18, n. 4, p. 528-555, 2006.
- BALMELLI, Laurent et al. An overview of the systems modeling language for products and systems development. **Journal of Object Technology**, v. 6, n. 6, p. 149-177, 2007.
- BARROS, Alexandre; SILVA, Régio; TEIXEIRA, Fábio. Processo de Projeto de Produto a partir do Paradigma da Orientação a Objetos. **Estudos em Design**, v. 22, n. 1, 2015.
- BOHM, Matt R. et al. Introduction of a data schema to support a design repository. **Computer-Aided Design**, v. 40, n. 7, p. 801-811, 2008.
- BOOCH, Grady et al. **Object-Oriented Analysis and Design with Applications**. 2007.
- BOOCH, Grady; RUMBAUGH, James; JACOBSON, Ivar. **UML: guia do usuário**. Elsevier Brasil, 2006.
- BOSCO VERTICALE. **Edifício Bosco Verticale / Boeri Studio**. 2015. ArchDaily Brasil. [Acessado 31 Jan 2017]. Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/778367/edificio-bosco-verticale-boeri-studio>>
- BUZAN, Tony; BUZAN, Barry. **The Mind Map Book: How to Use Radiant Thinking to Maximize Your Brain's Untapped Potential**. 1996.
- CHANDRASEGARAN, Senthil K. et al. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. **Computer-aided design**, v. 45, n. 2, p. 204-228, 2013.

CHEN, Chung-Yang; LIAO, Gen-Yih; LIN, Ku-Shen. An attribute-based and object-oriented approach with system implementation for change impact analysis in variant product design. **Computer-Aided Design**, v. 62, p. 203-217, 2015.

CRILLY, Nathan. Fixation and creativity in concept development: The attitudes and practices of expert designers. **Design Studies**, v. 38, p. 54-91, 2015.

DOBOLI, Alex et al. Two experimental studies on creative concept combinations in modular design of electronic embedded systems. **Design Studies**, v. 35, n. 1, p. 80-109, 2014.

DOGAN, Fehmi; NERSESSIAN, Nancy J. Generic abstraction in design creativity: the case of Staatsgalerie by James Stirling. **Design Studies**, v. 31, n. 3, p. 207-236, 2010.

DORST, Kees; CROSS, Nigel. Creativity in the design process: co-evolution of problem–solution. **Design studies**, v. 22, n. 5, p. 425-437, 2001.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; JÚNIOR, José Antonio Valle Antunes. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Bookman Editora, 2015.

DUARTE, Rafael et al. Uma Abordagem Colaborativa de Modelagem Conceitual de Informação utilizando Mind Maps. 17th Conferencia Iberoamericana en Software Engineering (CibSE 2014). **Anais...Pucon**, Chile. 2014. pgs 575 – 588.

EICHELBERGER, Holger; VON GUDENBERG, Jurgen Wolff. Uml class diagrams-state of the art in layout techniques. In: **Proceedings...** Vissoft 2003, International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis. 2003. p. 30-34.

EILOUTI, Buthayna Hasan. Design knowledge recycling using precedent-based analysis and synthesis models. **Design Studies**, v. 30, n. 4, p. 340-368, 2009.

EPPLER, Martin J. Making knowledge visible through intranet knowledge maps: concepts, elements, cases. In: System Sciences, 2001. **Proceedings...** 34th Annual Hawaii International Conference on. IEEE, 2001. p. 9 pp.

__. A comparison between concept maps, mind maps, conceptual diagrams, and visual metaphors as complementary tools for knowledge construction and sharing. **Information visualization**, v. 5, n. 3, p. 202-210, 2006.

EWENSTEIN, Boris; WHYTE, Jennifer. Knowledge practices in design: the role of visual representations asepistemic objects'. **Organization Studies**, v. 30, n. 1, p. 07-30, 2009.

FINANCE, Guillaume. **SysML modeling language explained**. 2010. Available: http://www.omgsysml.org/SysML_Modelling_Language_explained-finance.pdf

FROESE, Thomas Michael. **Integrated computer-aided project management through standard object-oriented models**. 1992. Tese de Doutorado. Stanford University.

FRISSENDAL, Thomas. **Design Thinking for Business Analysis**. Springer Berlin Heidelberg, 2012.

GABBAR, Hossam A.; SUZUKI, Kazuhiko; SHIMADA, Yukiyasu. Plant object-orientated model formalization—case study: HDS plant design. **Design Studies**, v. 24, n. 1, p. 101-108, 2003.

GALLE, Per. The ontology of Gero's FBS model of designing. **Design Studies**, v. 30, n. 4, p. 321-339, 2009.

GERO, John S. Design prototypes: a knowledge representation schema for design. **AI magazine**, v. 11, n. 4, p. 26, 1990.

GEYER, Philipp. Systems Modeling for Building Design: A Method based on the Systems Modeling Language. In: **Proceedings** of the 2011 eg-ice Workshop, University of Twente, The Netherlands. 2011.

GHAZEL, Mohamed; TOGUYÉNI, Armand; BIGAND, Michel. An UML approach for the metamodelling of automated production systems for monitoring purpose. **Computers in Industry**, v. 55, n. 3, p. 283-299, 2004.

GOEL, Ashok K. et al. Cognitive, collaborative, conceptual and creative—four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: a study in biologically inspired design. **Computer-Aided Design**, v. 44, n. 10, p. 879-900, 2012.

GOEL, Ashok K.; CHANDRASEKARAN, B. Functional Representation of Designs and Redesign Problem Solving. In: **Proceedings.. IJCAI**. 1989. p. 1388-1394.

GOEL, Ashok K.; RUGABER, Spencer; VATTAM, Swaroop. Structure, behavior, and function of complex systems: The structure, behavior, and function modeling language. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 23, n. 01, p. 23-35, 2009.

GOEL, Vinod. Dissociation of design knowledge. **Design Knowing and Learning: Cognition in Design Education**. Georgia Institute of Technology. Elsevier, p. 221-240, 2001.

GONÇALVES, Milene; CARDOSO, Carlos; BADKE-SCHAUB, Petra. What inspires designers? Preferences on inspirational approaches during idea generation. **Design studies**, v. 35, n. 1, p. 29-53, 2014.

GUIZZARDI, Giancarlo. **Ontological foundations for structural conceptual models**. CTIT, Tese de Doutorado. Centre for Telematics and Information Technology, 2005.

GRABCAD. 2016. **Digital Manufacturing Hub**. [Acesso maio 2016]. Disponível em: <https://grabcad.com/>

GROSS, Mark D. Recognizing and interpreting diagrams in design. In: **Proceedings of the workshop on Advanced visual interfaces**. ACM, 1994. p. 88-94.

HELMS, Michael E.; VATTAM, Swaroop; GOEL, Ashok. Compound analogical design, or how to make a surfboard disappear. In: **Proceedings of the 30th Annual Conference of the Cognitive Science Society**, Washington DC: Cognitive Science Society. 2008.

HIRANABE, Kenji. 2007. **Agile Modeling with Mind Map and UML**. [acesso maio 2016]. Disponível em: www.change-vision.com/en/UMLandMindMap.pdf

IFIXIT. 2016. Ifixit: **Manual de Reparos Gratuitos**. [acesso maio 2016]. Disponível em: <https://pt.ifixit.com/>

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Imagery, visualization, and thinking**. Perception and cognition at century's end, p. 441-467, 1998.

KILIAN, Axel. **Defining digital space through a visual language**. 2000. Dissertação de Mestrado. Massachusetts Institute of Technology.

___. **Design exploration through bidirectional modeling of constraints**. 2006. Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology.

KLAASEN, Ina. Modelling reality. **Ways to Study and Research Urban, Architectural and Technical Design**. Delft. Jong, de TM and van der Voordt, DJM (eds.). Delft: DUP Science, p. 181-189, 2002.

KOKOTOVICH, Vasilije. Problem analysis and thinking tools: an empirical study of non-hierarchical mind mapping. **Design Studies**, v. 29, n. 1, p. 49-69, 2008.

KOMOTO, Hitoshi; TOMIYAMA, Tetsuo. A framework for computer-aided conceptual design and its application to system architecting of mechatronics products. **Computer-Aided Design**, v. 44, n. 10, p. 931-946, 2012.

KURTOGLU, Tolga; CAMPBELL, Matthew I.; LINSEY, Julie S. An experimental study on the effects of a computational design tool on concept generation. **Design Studies**, v. 30, n. 6, p. 676-703, 2009.

LA ROCCA, Gianfranco. Knowledge based engineering: Between AI and CAD. Review of a language based technology to support engineering design. **Advanced engineering informatics**, v. 26, n. 2, p. 159-179, 2012.

LACERDA, Daniel Pacheco et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LANDSDOWN, J. Requirements for knowledge-based systems in design. In: **Computer-Aided Architectural Design Futures**. 1986. p. 120-128.

LANK, Edward; THORLEY, Jeb S.; CHEN, Sean Jy-Shyang. An interactive system for recognizing hand drawn UML diagrams. In: **Proceedings** of the 2000 conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative research. IBM Press, 2000. p. 7.

LI, Zhanjun; YANG, Maria C.; RAMANI, Karthik. A methodology for engineering ontology acquisition and validation. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 23, n. 01, p. 37-51, 2009.

LARKIN, J. H; SIMON, H. A. Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. 1987. **Cognitive Science**. V. 11. Pg. 65-99.

MEKHILEF, Mounib et al. AN UML MODELING OF AN ARCHITECTURE FOR KNOWLEDGE DOCUMENTATION. In: DS 31: **Proceedings** of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm. 2003.

NOEM. 2016. **Casas ECO High-tech**. [Acesso em maio de 2016]. Disponível em: <http://www.noem.com/>

NOVAK, Joseph D. Concept mapping: A useful tool for science education. **Journal of research in science teaching**, v. 27, n. 10, p. 937-949, 1990.

OXMAN, Rivka E. Precedents in design: a computational model for the organization of precedent knowledge. **Design studies**, v. 15, n. 2, p. 141-157, 1994.

__. Think-maps: teaching design thinking in design education. **Design studies**, v. 25, n. 1, p. 63-91, 2004.

OPENSTRUCTURES. 2016. **Construction System**. [Acesso maio 2016].
Disponível em: <http://openstructures.net/>

PIPES, Alan. **Drawing for Designers**: drawing skills, concept sketches, computer systems, illustrations, tools and materials, presentations, production techniques. Great Britain, 2007.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang. **Engineering design**: a systematic approach. Springer Science & Business Media, 2013.

PASMAN, G. **Designing with precedents**. 2003. Tese de Doutorado. TU Delft, Delft University of Technology.

POLIT-CASILLAS, Raul; HOWE, A. Scott. Virtual Construction of Space Habitats: Connecting Building Information Models (BIM) and SysML. **In: AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition**. 2013. p. 5508.

PRESSMAN, Roger S. **Software engineering**: a practitioner's approach. Palgrave Macmillan, 2005.

RAPHAEL, Benny; SMITH, Ian FC. **Fundamentals of computer aided engineering**. John Wiley & Sons, 2003.

RAZA, M. Baqar; HARRISON, Robert. Ontological knowledge based system for product, process and resource relationships in automotive industry. **In: Proceedings of the 1st International Workshop on Ontology and Semantic Web for Manufacturing**, Heraklion, Crete, Greece. 2011. p. 23-36.

REICHWEIN, Axel. **Application-specific UML profiles for multidisciplinary product data integration**. 2011. Tese de Doutorado. Universität Stuttgart.

RESTREPO, John; CHRISTIAANS, Henri; GREEN, William S. Give me an example: supporting the creative designer. **Computers in Art and Design**, 2004.

RESTREPO, John; CHRISTIAANS, Henri. Problem structuring and information access in design. **Journal of Design Research**, v. 4, n. 2, p. 1551-1569, 2004.

ROSENMAN, Michael A.; GERO, John S. Modelling multiple views of design objects in a collaborative CAD environment. *Computer-aided design*, v. 28, n. 3, p. 193-205, 1996.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando Antônio; AMARAL, Daniel Capaldo. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. Editora Saraiva, 2000.

SALUSTRI, Filippo A.; ENG, Nathan L.; WEERASINGHE, Janaka S. Visualizing information in the early stages of engineering design. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 5, n. 5, p. 697-714, 2008.

SARGENT, Robert G. Verification and validation of simulation models. **Journal of simulation**, v. 7, n. 1, p. 12-24, 2013.

SEGERS, N. M.; DE VRIES, B.; ACHTEN, H. H. Do word graphs stimulate design?. **Design Studies**, v. 26, n. 6, p. 625-647, 2005.

SCHODEK, D. et al. **Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Technologies in architecture and Design**. 2005. ISBN: 0-471-45636-5.

TEIMOURI_2009_Product Design Data Analysis by Unified Modeling Language (UML) Diagrams. In: IASDR 2009 Rigor and Relevance in Design, 2009.

TUNÇER, Bige; SARIYILDIZ, Sevil. Facilitating Architectural Communities of Practice. In: 28th eCAADe Conference Proceedings of Future Cities, ETH Zurich, Switzerland. 2010. p. 707-716.

ULRICH, K. T. **Design: Creation of artifacts in society** . University of Pennsylvania. ISBN 978-0-9836487-0-3, 2011.

VAN DER PLOEG, J. C. **A knowledge-based framework for structural optimization**: An object-oriented approach for reuse of explicit knowledge in computational optimisation of steel structures. 2013. Tese de Doutorado. TU Delft, Delft University of Technology.

VATTAM, Swaroop et al. Understanding Complex Natural Systems by Articulating Structure-Behavior-Function Models. **Educational Technology & Society**, v. 14, n. 1, p. 66-81, 2011.

VISSER, Willemien. Visser: Design as construction of representations. **Collection**, n. 2, p. 29-43, 2010.

WANG, Lihui et al. Collaborative conceptual design—state of the art and future trends. **Computer-Aided Design**, v. 34, n. 13, p. 981-996, 2002.

WEHRMEISTER, M. A.; FREITAS, E. P. de; BINOTTO, A. P. D; PEREIRA, C. E. Combining aspects and object-orientation in model-driven engineering for distributed industrial mechatronics systems. **Mechatronics**. 2014. V. 24. Issue 7. Pages 844–865.

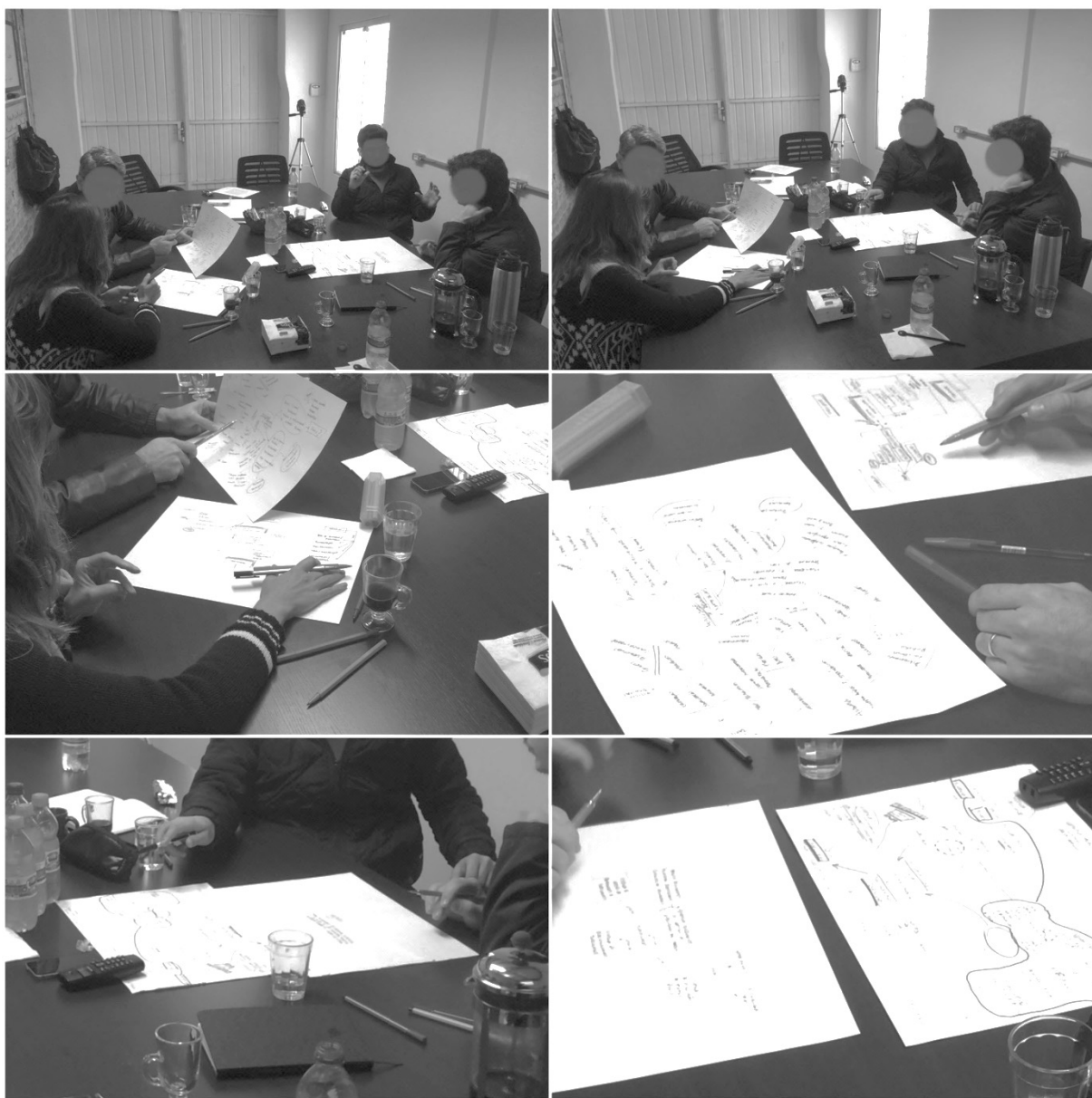
WELLING, Hans. Four mental operations in creative cognition: The importance of abstraction. **Creativity Research Journal**, v. 19, n. 2-3, p. 163-177, 2007.

WITHERELL, Paul et al. AIERO: An algorithm for identifying engineering relationships in ontologies. **Advanced Engineering Informatics**, v. 27, n. 4, p. 555-565, 2013.

WIKIHOUSE. 2016. **Open building technology**. [Acesso maio de 2016].
Disponível em: <http://www.wikihouse.cc/>

YEBRA, L. J. et al. Modelling and simulation of central receiver solar thermal power plants. **In: Proceedings** of the 44th IEEE Conference on Decision and Control. IEEE, 2005. p. 7410-7415.

Apêndice II: Fotos do Workshop de Síntese #2.



Apêndice III: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

TCLE - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

**Framework para estruturação e representação do conhecimento de projeto de produto
utilizando o paradigma da orientação a objetos**

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa em design que tem como objetivo desenvolver um framework para estruturar e representar o conhecimento de projeto em nível conceitual. Esta pesquisa está sendo desenvolvida pelo doutorando Alexandre Monteiro de Barros no programa de pós graduação em Design da UFRGS com a orientação dos professores doutores Régio Pierre da Silva e Fábio Gonçalves Teixeira. Ela inclui sua participação em um workshop de desenvolvimento de produto e a posterior avaliação do framework empregado. Você fará parte de uma equipe de projeto que deverá elaborar uma solução projetual para um problema pré-estabelecido. Após o desenvolvimento da solução em nível conceitual, você será convidado a fazer uma avaliação do framework mediante o preenchimento de um questionário apropriado a este fim, contendo oito questões objetivas e uma questão dissertativa. Um risco decorrente desta pesquisa é uma possível fadiga devido aos esforços mentais e corporais necessários quando se realiza uma atividade de projeto, somado aos esforços para realizar uma avaliação ao final deste processo. Neste sentido, são propostos intervalos regulares de descanso entre as etapas de workshop e de avaliação do framework de modo a minimizar este risco, assim como fornecer hidratação adequada durante todo o período estipulado. Outros possíveis riscos para esta pesquisa deverão ser minimizados mediante a adoção das seguintes medidas: (I) não haverá custos de participação; (II) assegura-se o sigilo da identidade do participante; (III) a participação na pesquisa é facultativa e a desistência pode ocorrer a qualquer momento sem prejudicar o participante; (IV) as informações obtidas servirão exclusivamente para os fins da pesquisa com publicação em relatório e artigos relacionados, sendo armazenadas por cinco anos e posteriormente destruídas. Ressalta-se que os procedimentos e os métodos empregados no workshop e no questionário de avaliação não são invasivos ou nocivos aos participantes. Sua participação na pesquisa auxiliará o aperfeiçoamento do processo de design de produto e deste modo pode contribuir para criar produtos mais eficientes com relação a aspectos sociais, ambientais e econômicos. O conteúdo desenvolvido por você poderá ser utilizado para ilustrar aspectos relevantes do framework na tese e em artigos derivados da mesma. O workshop e a avaliação terão aproximadamente duas horas e meia de duração. O local e data do workshop deverão ser adequados tanto a disponibilidade de infraestrutura como da agenda dos participantes. Não serão divulgados dados pessoais dos participantes. Quaisquer informações ou esclarecimentos adicionais podem ser obtidos diretamente com os pesquisadores responsáveis através dos contatos: Régio Pierre da Silva: email regio@ufrgs.br e telefone (51) 33084258; Alexandre Monteiro de Barros: email alembarros@gmail.com e telefone (51) 981403786; ou ainda via CEP/UFRGS no telefone (51) 33083738.

Alexandre Monteiro de Barros
Pesquisador – Doutorando PGDESIGN/UFRGS

Assinatura do Participante.

Apêndice IV: Questionário para avaliação do *framework*.

Questionário para avaliação do framework

Obrigado pela sua disponibilidade, por favor preencha o questionário indicando a contribuição do framework para:

1. **Email address ***

2. **1. Compreender o contexto com alto nível de abstração.**

Mark only one oval.

0 1 2 3 4 5

Não contribui Contribui muito

3. **2. Organizar os elementos de projeto em categorias apropriadas.**

Mark only one oval.

0 1 2 3 4 5

Não contribui Contribui muito

4. **3. Analisar soluções existentes.**

Mark only one oval.

0 1 2 3 4 5

Não contribui Contribui muito

5. **4. Representar os elementos do espaço de design.**

Mark only one oval.

0 1 2 3 4 5

Não contribui Contribui muito

6. **5. Desenvolver alternativas com potencial de inovação**

Mark only one oval.

0 1 2 3 4 5

Não contribui Contribui muito

Apêndice IV: Questionário para avaliação do *framework*.

7. 6. Avaliar as soluções geradas no contexto de projeto.

Mark only one oval.

	0	1	2	3	4	5	
Não contribui	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Contribui muito

8. 7. Atingir um adequado resultado projetual.

Mark only one oval.

	0	1	2	3	4	5	
Não contribui	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Contribui muito

9. 8. Documentar o conhecimento para sua futura reutilização.

Mark only one oval.

	0	1	2	3	4	5	
Não contribui	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Contribui muito

Apontamentos

10. Caso sejam identificados, quais são os aspectos positivos e quais são os aspectos negativos observados durante a aplicação do Framework para o design conceitual?

Apêndice V: Respostas objetivas do questionário de avaliação do *framework*.

	1. Compreender o contexto com alto nível de abstração.	2. Organizar os elementos de projeto em categorias apropriadas.	3. Analisar soluções existentes.	4. Representar os elementos do espaço de design.	5. Desenvolver alternativas com potencial de inovação	6. Avaliar as soluções geradas no contexto de projeto.	7. Atingir um adequado resultado projetual.	8. Documentar o conhecimento para sua futura reutilização.
Especialista 1	4	4	5	4	5	4	4	5
Especialista 2	4	4	4	5	5	4	4	5
Especialista 3	5	5	5	5	5	5	5	5
Especialista 4	4	5	5	4	4	5	4	5
Especialista 5	4	5	4	5	3	4	3	5
Especialista 6	5	4	3	5	5	4	5	5
Especialista 7	4	5	3	4	5	4	5	4

Apêndice VI: Projeto Luminária Responsiva

Experimento realizado na disciplina de Processos de Fabricação Digital como Ferramenta de Projeto, ministrada pelos professores Dr. Fábio Gonçalves Teixeira e Dra. Underléa Miotto Bruscato em 2013/1.

Figura A1: Diagrama de sequência elaborado para o artefato.

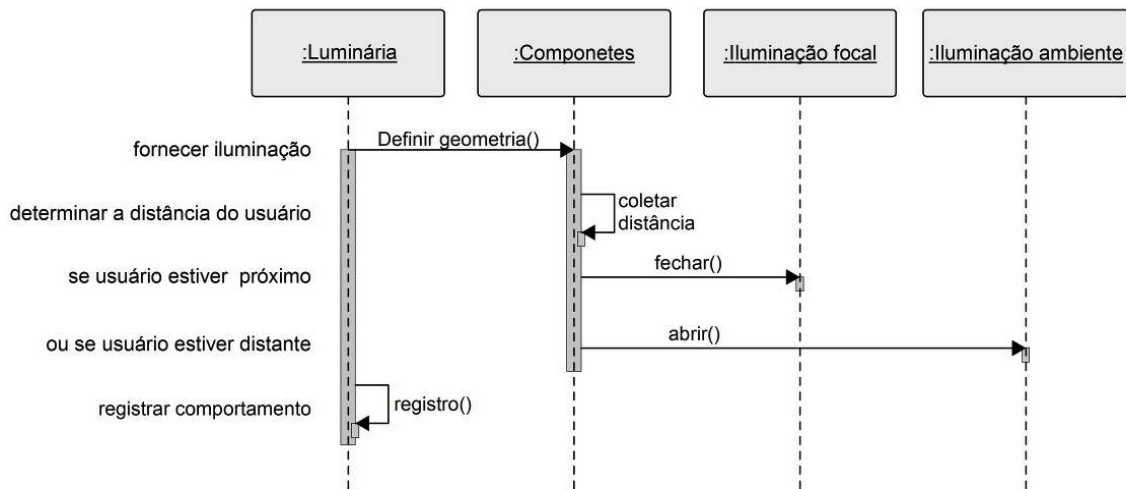


Figura A2: Diagrama de classes para o artefato.

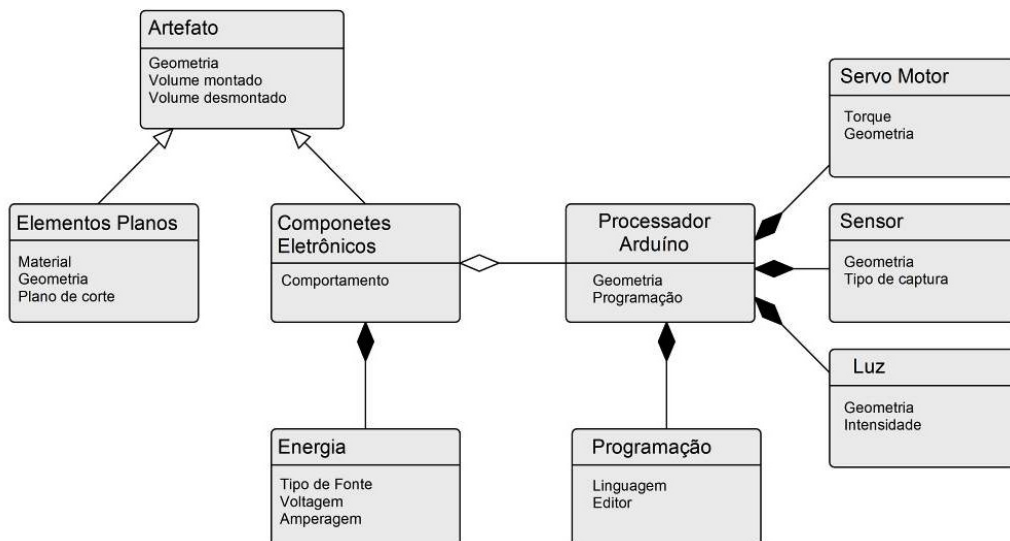


Figura A3: Geometria paramétrica do artefato.

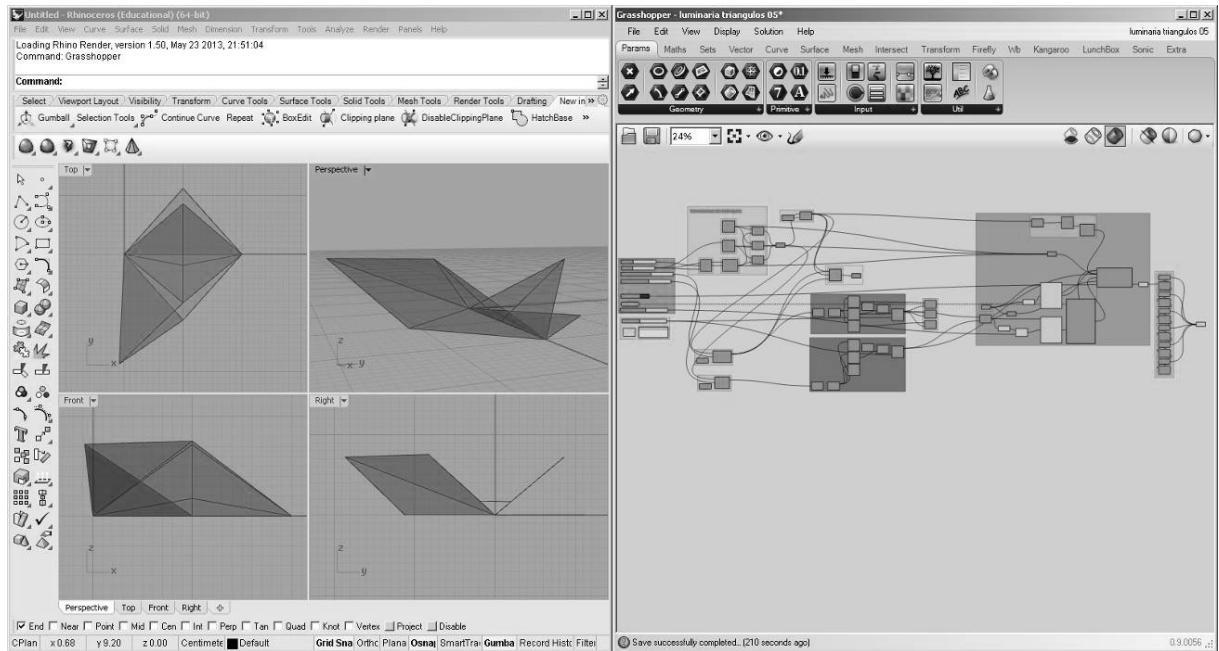
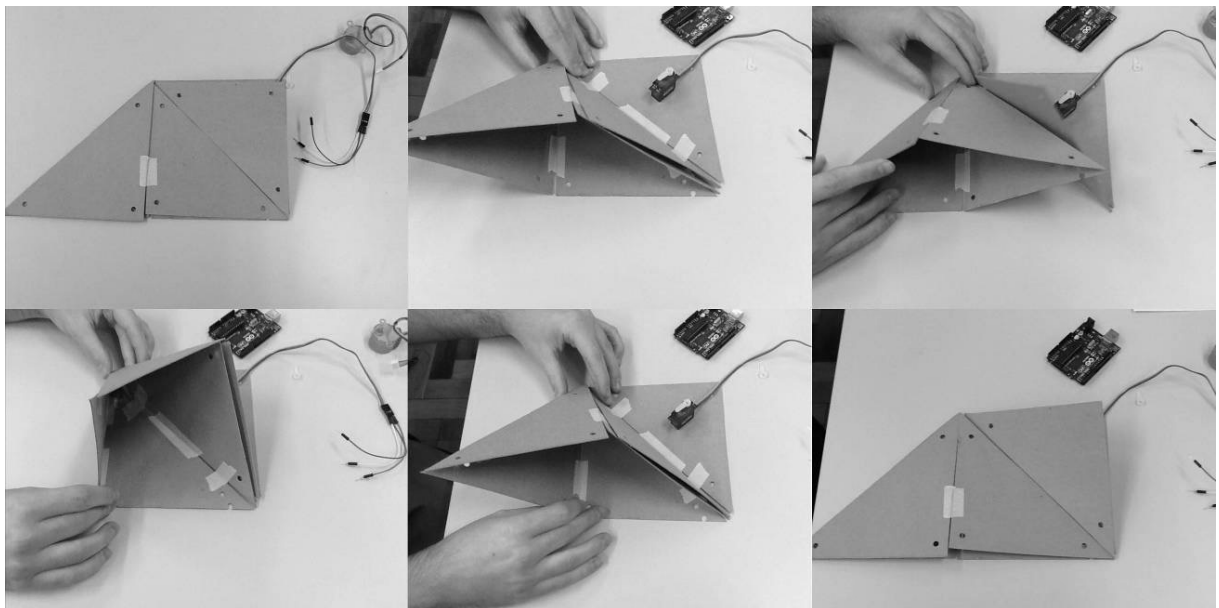


Figura A4: Protótipo físico do Artefato.



Apêndice VII: Projeto Artefato Reprodutor Sonoro

Experimento realizado na disciplina de Metodologia de Projeto de Produto, ministrada pelo professor Dr. Joyson Luiz Pacheco em 2013/2.

Figura A5: Diagrama de pacotes para o artefato reprodutor sonoro.

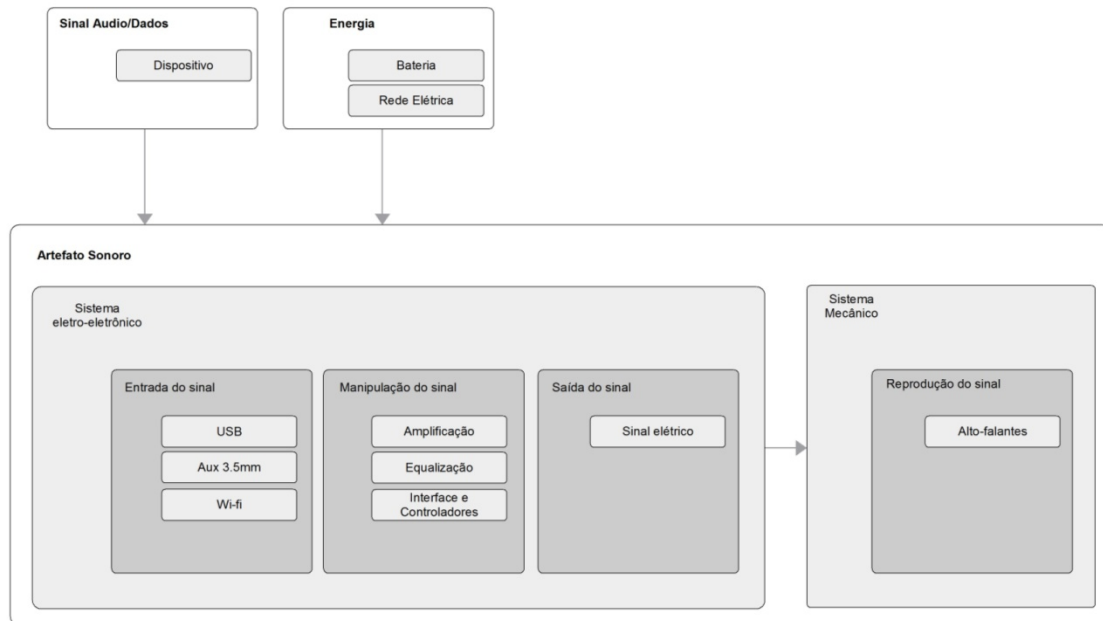
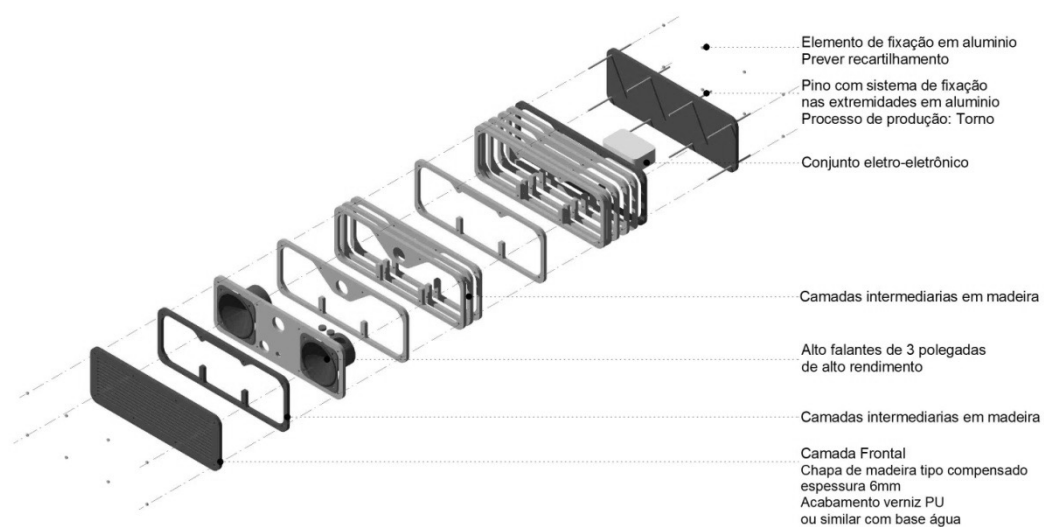
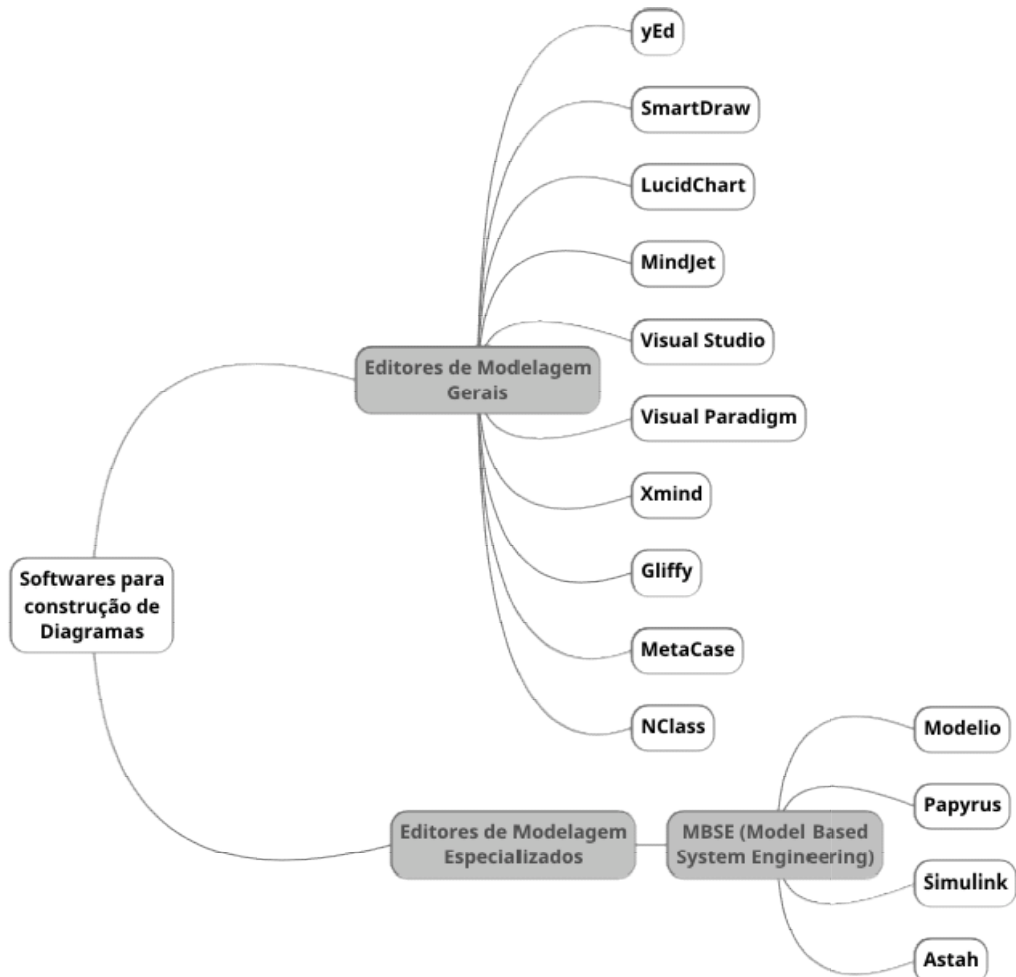


Figura A6: Geometria do artefato reprodutor sonoro.



Apêndice VIII: Exemplos de softwares para elaboração de modelos em linguagem diagramática.



Apêndice IX: Publicações no período do doutoramento.

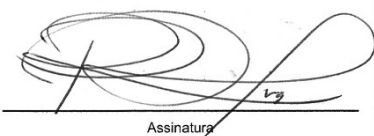
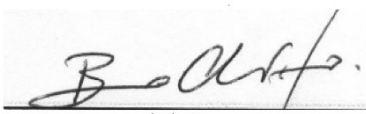
BARROS, A; SILVA, R. e TEIXEIRA, F. Processo de Projeto de Produto a partir do Paradigma da Orientação a Objetos. **Estudos em Design**, v. 22, n. 1, 2015.

BARROS, A; SILVEIRA, N. A fábrica mínima: tecnologias digitais para a produção local e customizada de artefatos físicos. **Estudos em Design**, v. 23, n. 1, p. 61-73, 2015.

COSTA-NETO, W. L; GALLARDO, V. B; BARROS, A. M; BRUSCATO, U. M. Tecnologias de Fabricação Digital para o Desenvolvimento de Artefatos Responsivos. **Blucher Design Proceedings**, v. 2, n. 3, p. 65-69, 2015.

ANEXOS

Anexo I: Folha de Rosto - Plataforma Brasil

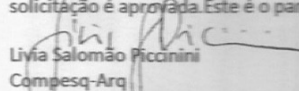
Plataforma Brasil			
MINISTÉRIO DA SAÚDE - Conselho Nacional de Saúde - Comissão Nacional de Ética em Pesquisa - CONEP			
FOLHA DE ROSTO PARA PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS			
1. Projeto de Pesquisa: Framework para estruturação e representação do conhecimento de projeto de produto utilizando o paradigma da orientação a objetos			
2. Número de Participantes da Pesquisa: 8			
3. Área Temática:			
4. Área do Conhecimento: Grande Área 6. Ciências Sociais Aplicadas			
PESQUISADOR RESPONSÁVEL			
5. Nome: Régio Pierre da Silva			
6. CPF: 403.906.400-34	7. Endereço (Rua, n.º): DONA PAULINA, 35 Tristeza 404 PORTO ALEGRE RIO GRANDE DO SUL 91920030		
8. Nacionalidade: BRASILEIRO	9. Telefone: (51) 3264-5449	10. Outro Telefone:	11. Email: regio@ufrgs.br
Termo de Compromisso: Declaro que conheço e cumprirei os requisitos da Resolução CNS 466/12 e suas complementares. Comprometo-me a utilizar os materiais e dados coletados exclusivamente para os fins previstos no protocolo e a publicar os resultados sejam eles favoráveis ou não. Aceito as responsabilidades pela condução científica do projeto acima. Tenho ciência que essa folha será anexada ao projeto devidamente assinada por todos os responsáveis e fará parte integrante da documentação do mesmo.			
Data: <u>30</u> / <u>03</u> / <u>2017</u>		 Assinatura	
INSTITUIÇÃO PROPONENTE			
12. Nome: Universidade Federal do Rio Grande do Sul		13. CNPJ:	14. Unidade/Órgão: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO
15. Telefone: (51) 3308-3629	16. Outro Telefone:		
Termo de Compromisso (do responsável pela instituição): Declaro que conheço e cumprirei os requisitos da Resolução CNS 466/12 e suas Complementares e como esta instituição tem condições para o desenvolvimento deste projeto, autorizo sua execução.			
Responsável: <u>Bruno Cassel Neto</u>	CPF: <u>421.727.300-25</u>		
Cargo/Função: <u>Vice-Pró-Reitor de Pesquisa</u>	 Assinatura		
Data: <u>03</u> / <u>04</u> / <u>2017</u>			
PATROCINADOR PRINCIPAL			
Não se aplica.			

Anexo II: Parecer COMPESQ-ARQ.

UFRGS
FACULDADE DE ARQUITETURA
COMPESQ-ARQ

PARECER

Esta solicitação trata da pesquisa nº. 32637 - *FRAMEWORK PARA ESTRUTURAÇÃO E REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO DE PROJETO DE PRODUTO APLICANDO O PARADIGMA DA ORIENTAÇÃO A OBJETOS*, realizada por Alexandre Monteiro de Barros, sob a orientação do professor Regio Pierre da Silva, do Programa de Pós-graduação em Design e já tendo passado pela etapa de Qualificação do Projeto de Pesquisa de Doutorado, é registrada agora. A pesquisa apresenta como objetivo geral desenvolver um framework para estruturar e representar o conhecimento de projeto aplicando o paradigma da orientação a objeto e utilizando uma linguagem de representação diagramática que pode evoluir desde um mapa mental, com elementos pouco ordenados e diversificados, até uma rede estruturada de classes e relacionamentos em um modelo apropriado para as fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos e sistemas técnicos, e, assim estruturado, permite a articulação de complexas inter-relações entre os elementos, contribuindo para uma análise apurada do projeto. O projeto apresenta as diversas etapas que se espera de uma pesquisa dessa ordem (doutorado) iniciando com a contextualização do tema e apresentado hipótese, objetivos, fundamentação teórica, metodologia, cronograma final detalhado e bibliografia. Para a validação do framework a pesquisa propõe uma aplicação de projeto piloto seguida por avaliação de especialistas da área de design para verificar a aplicabilidade da proposta, e, por esta razão, deve ser encaminhado ao Comitê de Ética da Universidade. A solicitação já vem acompanhada de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e um questionário de avaliação para a validação do Framework a ser desenvolvido. Assim, e sendo a pesquisa do interesse do Departamento de Design e da comunidade acadêmica de maneira ampla, a solicitação é aprovada. Este é o parecer.


Livia Salomão Piccinini

Compesq-Arq

Em 14 de março de 2017.