



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA, URBANISMO E DESIGN

LETÍCIA PEREIRA BARCELOS RIBEIRO

**A REPRESENTAÇÃO DA INFORMAÇÃO DO CUSTO NO PROCESSO DE
PROJETO ARQUITETÔNICO**

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R369r Ribeiro, Letícia Pereira Barcelos.
A representação da informação do custo no processo de projeto arquitetônico / Letícia Pereira Barcelos
Ribeiro. – 2024.
200 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e Design, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Mariana Monteiro Xavier de Lima.
Coorientação: Prof. Dr. Daniel Ribeiro Cardoso.

1. BIM. 2. Nível de desenvolvimento. 3. Estimativa de custos. 4. Tomada de decisão em projeto arquitetônico. 5. Visualização da informação. I. Título.

CDD 720

LETÍCIA PEREIRA BARCELOS RIBEIRO

A REPRESENTAÇÃO DA INFORMAÇÃO DO CUSTO NO PROCESSO DE PROJETO
ARQUITETÔNICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Ceará.

Aprovada pela Banca Examinadora constituída por:

Prof. Dra. Mariana Monteiro Xavier de Lima
Presidente e Orientadora/Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Daniel Ribeiro Cardoso
Coorientador/Universidade Federal do Ceará

Profª. Dra. Clarissa Notariano Biotto
Universidade Federal do Ceará

Profª. Dra. Regina Coeli Ruschel
Universidade Estadual de Campinas

FORTALEZA

2024

AGRADECIMENTOS

Cursar um mestrado foi, ao contrário do que imaginei, a experiência mais coletiva que já tive. Até então, eu não sabia quantas pessoas eram necessárias para que uma pesquisa pudesse se desenvolver, seja orientando, seja escrevendo, seja ajudando a pesquisar e desenvolver produtos, seja estando lado a lado, compartilhando os mesmos percalços. Assim, deixo registrado aqui meus mais profundos agradecimentos à minha professora orientadora, Mariana Lima, que encaminhou essa pesquisa de forma dedicada, eficaz e gentil, e me inspirou a todo momento a partir do seu exemplo; ao meu coorientador, Daniel Cardoso, por apontar caminhos claros e direcionar essa pesquisa sempre rumo ao melhor; à professora Neliza Romcy, por toda a ajuda, paciência e disposição desde a graduação até o mestrado, e por ser o modelo de profissional que me fez desejar seguir a carreira acadêmica; aos bolsistas PIBIC Leônidas Castro, João Pedro Peixoto e Raquel Fonseca por terem sido companheiros de pesquisa tão empenhados, por todas as contribuições, esforço e comprometimento e por permitirem que os avanços aqui obtidos chegassem tão longe; ao Bruno Carline pela presença e amor constantes, por me incentivar e acreditar em cada fase não só desta pesquisa, mas do meu desenvolvimento profissional e pessoal como um todo, e à Rebeca Fiuza por tornar o percurso menos árduo só de estar ao meu lado e por compartilhar tanto comigo.

Agradeço imensamente à FUNCAP pela concessão da bolsa de mestrado (Edital 02/2023), essencial para que eu, assim como outros tantos jovens pesquisadores brasileiros, pudesse alcançar um sonho e concluir essa formação.

E enfim, agradeço de todo coração à minha família, pelo suporte sempre e esforço que fizeram para que eu pudesse superar cada obstáculo em meu caminho!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Curva de MacLeamy	18
Figura 2	– Diagrama de estrutura do trabalho	23
Figura 3	– Diagrama genérico para aplicação da DSR	30
Figura 4	– Diagrama para aplicação da DSR neste trabalho.....	34
Figura 5	– Especificação genérica e planejamento para entrega de informação	41
Figura 6	– Componentes do LOIN.....	42
Figura 7	– Matriz de classificação de estimativa de custos para processos industriais	44
Figura 8	– Diagrama de conexões entre os conceitos	49
Figura 9	– Diagrama síntese do protocolo da 1ª RSL	50
Figura 10	– Localização dos textos nos eixos temáticos	51
Figura 11	– Exemplos de classificações de LOD	54
Figura 12	– Diagrama síntese do protocolo da 2ª RSL	57
Figura 13	– Diagrama <i>framework</i>	61
Figura 14	– Modelo BIM utilizado para exploração de <i>softwares</i> e <i>plugins</i> de visualização da informação de custos para projeto arquitetônico.....	63
Figura 15	– Planta baixa do edifício	64
Figura 16	– Diagrama de testes de ferramentas	72
Figura 17	– Visualização do modelo BIM na interface do Power BI	73
Figura 18	– <i>Dashboards</i> a partir do modelo BIM na interface do Excel	74
Figura 19	– Código em Phyton para exportação de arquivos para Excel	76
Figura 20	– Mapa de zonas criado como exemplo	77
Figura 21	– Visualização de gráficos a partir de Phyton	78
Figura 22	– Diagrama síntese da ferramenta	84
Figura 23	– Diagrama síntese da tradução de dados em informação	85
Figura 24	– Diagrama síntese da conexão entre aporte teórico e a ferramenta	85
Figura 25	– Partes gerais do algoritmo desenvolvido para a ferramenta	87
Figura 26	– Parte do algoritmo relativa aos <i>inputs</i>	88
Figura 27	– Modelo BIM junto ao gráfico de porcentagem do custo por área	89
Figura 28	– Parte 1 do algoritmo relativa ao gráfico de porcentagem do custo por área	90

Figura 29	– Parte 2 do algoritmo relativa ao gráfico de percentagem do custo por área	91
Figura 30	– Visualização do modelo BIM junto aos gráficos de custos	92
Figura 31	– Parte 1 do algoritmo relativa ao gráfico de percentagem do custo por sistema construtivo	93
Figura 32	– Parte 2 do algoritmo relativa ao gráfico de percentagem do custo por sistema construtivo, recorte no elemento “Janelas”	94
Figura 33	– Parte 1 do algoritmo relativa ao gráfico de percentagem do custo por sistema construtivo considerando materialidade	104
Figura 34	– Parte 2 do algoritmo relativa ao gráfico de percentagem do custo por sistema construtivo, considerando materialidade, recorte no elemento “Janelas”.....	105
Figura 35	– Parte do algoritmo relativa ao design dos gráficos	106
Figura 36	– Visualização do modelo BIM junto aos gráficos de custos acima do valor máximo estabelecido	107
Figura 37	– Modelagem 3D em Revit de módulo habitacional de baixo padrão.....	108
Figura 38	– Modelo IFC visualizado em Archicad	109
Figura 39	– Modelo IFC conectado com a ferramenta elaborada	110
Figura 40	– Elementos construtivos e materiais determinados para aplicação na experiência de ensino	112
Figura 41	– Instruções para o usuário inseridas no algoritmo	115
Figura 42	– Avaliação pelos alunos da 1ª oficina sobre a ferramenta	118
Figura 43	– Avaliação pelos alunos da 2ª oficina sobre a ferramenta	119
Figura 44	– Avaliação pelos alunos da 3ª oficina sobre a ferramenta	120
Figura 45	– Divisão do <i>feedback</i> dos alunos das aplicações da ferramenta em situações de ensino organizado em matriz FOFA	122
Figura 46	– Divisão de perguntas norteadoras para grupo focal em matriz FOFA	124
Figura 47	– Divisão do <i>feedback</i> do grupo focal em matriz FOFA	127
Figura 48	– Conexão do modelo 3D da “Casa 1” com o algoritmo	128
Figura 49	– Conexão do modelo 3D da “Casa 2” com o algoritmo	132
Figura 50	– Conexão do modelo 3D da “Casa 3” com o algoritmo	135

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Identificação de artefatos similares e configuração das classes de problemas	21
Quadro 2	– Protocolo para condução da Design Science Research	25
Quadro 3	– Fases, atividade e produtos	31
Quadro 4	– Protocolo para 1ª revisão sistemática da literatura	35
Quadro 5	– Protocolo para 2ª revisão sistemática da literatura	37
Quadro 6	– Resultados RSL 1.....	52
Quadro 7	– Parâmetros de projeto que mais influenciam o custo, associados ao LOD necessário	55
Quadro 8	– Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado.....	68
Quadro 9	– Análise de dispositivos e instrumentos para visualização da informação de custo	80
Quadro 10	– Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado para LOD 300	96
Quadro 11	– <i>Looping</i> de aprendizado da ferramenta	117
Quadro 12	– Média ponderada das notas dos alunos atribuídas à ferramenta em cada aplicação.....	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Participação de cada sistema construtivo (em %) no custo total de uma edificação residencial, com destaque em cinza para a tipologia utilizada	65
Tabela 2	– Índices por ambiente relativos ao custo total de uma edificação residencial	66
Tabela 3	– Estimativa de custos Casa 1	129
Tabela 4	– Estimativa de custos Casa 2	132
Tabela 5	– Estimativa de custos Casa 3	136
Tabela 6	– Síntese comparativa entre os resultados utilizando a ferramenta e o Archicad	138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
AACE	<i>Association for the Advancement of Cost Engineering</i>
AGC	<i>Associated General Contractors of America</i>
AIA	<i>American Institute of Architects</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i> ou Modelagem da Informação da Construção
CEF	Caixa Econômica Federal
CUB	Custo Unitário Básico
DBIA	<i>Design-build Institute of America</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
DSS	<i>Decision Support System</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
IPV	Interface de Programação Visual
ISPA	<i>International Society Of Parametric Analysts</i>
LOD	<i>Level of Development</i>
LOIN	<i>Level of Information Need</i>
MDI	Modelagem e Design da Informação
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
PIBIC	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SEINFRA	Secretaria da Infraestrutura do Ceará
SINAPI	Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil
TGS	Teoria Geral dos Sistemas
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
WLC	<i>Whole Life Costing</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

R\$ Reais (BRL)

\$ Dólar

% Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Questão de pesquisa	16
1.2	Justificativa e relevância da pesquisa	16
1.3	Objetivos	22
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	22
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	23
1.4	Estrutura do trabalho	23
2	METODOLOGIA	25
2.1	Delineamento metodológico	25
2.2	Protocolos de Revisão Sistemática da Literatura	35
3	CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA	39
3.1	Conceitos e bases teóricas	39
3.1.1	<i>Representação da informação no processo de projeto arquitetônico</i>	39
3.1.2	<i>Estimativa de Custo</i>	43
3.1.3	<i>Conceitos auxiliares e a Teoria Geral dos Sistemas</i>	46
3.2	Formatação do problema	50
3.3	Síntese conclusiva	58
4	SUGESTÃO	59
4.1	Framework	59
4.2	Proposição de índices de custo para projeto residencial baixo padrão	62
4.2.1	<i>O modelo BIM</i>	62
4.2.2	<i>Grupos ou blocos de orçamento</i>	64
4.3	Análise de dispositivos e instrumentos para visualização de custo em projeto arquitetônico	72
5	DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO	83
6	AVALIAÇÃO	111
6.1	Avaliação externa da ferramenta	111
6.1.1	<i>Aplicação da ferramenta em situações de ensino</i>	111
6.1.2	<i>Aplicação da ferramenta em grupo focal</i>	122
6.2	Avaliação interna da ferramenta	127
6.3	Versão final da ferramenta	139

7	CONCLUSÃO	140
7.1	Contribuições da pesquisa.....	140
7.2	Limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros	142
	REFERÊNCIAS	145
	APÊNDICE A – RESULTADOS 1ª REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	152
	APÊNDICE B – PARÂMETROS DE PROJETO QUE MAIS INFLUENCIAM O CUSTO, ASSOCIADOS AO LOD NECESSÁRIO: DIVISÃO POR AUTORES	161
	APÊNDICE C – MATRIZ DO MODELO CONCEITUAL.....	165
	APÊNDICE D – ANÁLISE DE DISPOSITIVOS E INSTRUMENTOS PARA VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO DE CUSTO.....	170
	APÊNDICE E – PROTOCOLO DE MODELAGEM REVIT	174
	APÊNDICE F – PROTOCOLO DE MODELAGEM ARCHICAD	184
	APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO REALIZADO COM OS ALUNOS APÓS AS APLICAÇÕES DA FERRAMENTA EM SITUAÇÕES DE ENSINO	192
	APÊNDICE H – PERGUNTAS NORTEADORAS PARA O GRUPO FOCAL	194
	APÊNDICE I – PUBLICAÇÃO NO REPOSITÓRIO ZENODO	196

RESUMO

Representar uma informação é uma forma de facilitar a compreensão de algo que, de outra maneira, não seria possível ou seria muito difícil de alcançar. Nesse sentido, essa pesquisa se detém em investigar como representar a informação do custo no decorrer do projeto arquitetônico de modo a apoiar a tomada de decisão. Para isso, foram considerados três aspectos principais: o primeiro aspecto é o Nível de Desenvolvimento de um projeto arquitetônico, ou *Level Of Development (LOD)*, o segundo é a estimativa de custos de um projeto, e por fim, o terceiro é o uso do BIM como facilitador da relação entre o primeiro e o segundo. O objetivo geral da pesquisa é facilitar a visualização da estimativa de custo da edificação no decorrer da concepção e desenvolvimento do projeto arquitetônico de forma a trazer um maior respaldo à tomada de decisão projetual. A fim de atingi-lo, a metodologia aplicada é a *Design Science Research (DSR)*, uma vez que esta pesquisa visa a proposição de um artefato, embasado pela teoria, mas também que possa contribuir de forma prática para o tema escolhido. A pesquisa foi realizada conforme as fases, orientadas pela DSR: conscientização do problema, sugestão, desenvolvimento, avaliação e resultados. Como contribuição teórica têm-se a elaboração de um modelo conceitual que relaciona níveis de desenvolvimento em processo de projeto arquitetônico, estimativa de custos de projeto e parâmetros BIM. Como contribuição prática têm-se o desenvolvimento de uma ferramenta que relaciona modelagem da informação a uma interface de programação visual (IPV) ao longo do processo projetual, com foco na visualização de informação de custo em estágios iniciais de projeto e voltada para a tipologia residencial. Para avaliar a ferramenta a instanciação foi realizada por meio da aplicação da ferramenta em situações de ensino e com um grupo focal, a fim de verificar seus possíveis resultados no ambiente real.

Palavras-chave: BIM; Nível de desenvolvimento; Estimativa de custos; Tomada de decisão em projeto arquitetônico; Visualização da informação

ABSTRACT

Representing information is a way to facilitate the understanding of something that, otherwise, would not be possible or would be very difficult to achieve. In this sense, this research focuses on investigating how to represent cost information throughout the architectural project to support decision-making. To achieve this, three main aspects will be considered: the first aspect is the Level of Development (LOD) of an architectural project, the second is the cost estimation of a project, and finally, the third is the use of Building Information Modeling (BIM) as a facilitator in the relationship between the first and the second. The general objective of the research is to facilitate the visualization of building cost estimates during the conception and development of the architectural project, thereby providing greater support for design decision-making. In order to achieve this, the applied methodology is Design Science Research (DSR), as this research aims to propose an artifact grounded in theory but also practical enough to contribute to the chosen theme. The research was conducted following the DSR-oriented phases: awareness of the problem, suggestion, development, evaluation, and results. As a theoretical contribution, a conceptual model was developed that relates levels of development in the architectural design process, project cost estimation, and BIM parameters. As a practical contribution, a tool was developed that integrates information modeling with a visual programming interface (VPI) throughout the design process, focusing on cost information visualization in the early stages of the project and aimed at residential typology. To evaluate the tool, it was instantiated by applying it in educational experiences and with a focus group to verify its potential results in a real environment.

Keywords: BIM; Level of development; Cost estimation; Decision making in architectural project; Information visualization

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho se dedica aos meios de representação apoiados nos sistemas computacionais para produção de inovação e geração de conhecimento no tocante à Arquitetura. Dentro desse recorte, parte-se da questão de como representar a variável do custo em etapas iniciais do projeto arquitetônico. O meio utilizado para estudar essa representação engloba o uso da tecnologia *Building Information Modelling* (BIM), atrelada a outras Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), a fim de compreender como a conexão entre projeto arquitetônico e estimativa de custos pode ser intermediada por elas.

Nesse contexto, essa pesquisa se estrutura sobre três pontos importantes, considerando o processo de projeto: o primeiro aspecto é o Nível de Desenvolvimento de um projeto arquitetônico, ou *Level Of Development* (LOD)¹, o segundo é a estimativa de custos de um projeto, e por fim, o terceiro é o uso do BIM como facilitador da relação entre o primeiro e o segundo.

Pode-se justificar a adoção do BIM como ferramenta intermediadora. A partir da adoção do processo de projeto baseado na Modelagem da Informação da Construção ou BIM, o modo de projetar, compatibilizar e de visualizar o projeto passou por mudanças, colaborando para tornar o projeto colaborativo, multidisciplinar e integrado (Barros, 2018). Além disso, desde 02 de abril de 2020, a Presidência da República do Brasil, por meio do decreto Nº 10.306 “estabelece a utilização do *Building Information Modelling* na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019” (Brasil, 2020), reforçando assim sua relevância no cenário arquitetônico.

Já no que se refere à dimensão do custo, a depender do grau de detalhamento de um orçamento, ele pode ser classificado como estimativa de custo, orçamento preliminar ou orçamento analítico (Mattos, 2006). Neste trabalho, o recorte empregado será o de estimativas de custos, utilizando a seguinte definição:

A estimativa de custos é uma avaliação expedita feita com base em custos históricos e comparação com projetos similares. Dá uma ideia da ordem de grandeza do custo do empreendimento. Em geral, a estimativa de custos é feita a partir de indicadores genéricos, números consagrados que servem para uma primeira abordagem da faixa de custo da obra. (Mattos, 2006, p. 34).

¹ Esse conceito será comparado ao conceito de LOIN no capítulo 3, a fim de justificar seu uso.

A relevância da dimensão do custo para a tomada de decisões em um projeto arquitetônico pode ser justificada pelo fato de o orçamento ser, em geral, um importante fator restritivo. Para Eastman et al. (2008, p.218), “as estimativas prévias [de valores] auxiliam a identificar problemas antecipadamente para que alternativas possam ser consideradas. Tal processo permite que tanto o projetista quanto o proprietário tomem decisões mais assertivas, resultando em uma construção de maior qualidade, que ainda atenda às restrições de custo”. Sakamori (2015) destaca ainda que a eficácia em custos se tornou um fator essencial para a sobrevivência das organizações, com foco em estratégias competitivas e como coadjuvante em outros contextos.

Assim, é de extrema importância que o arquiteto possua noção do quanto suas decisões irão impactar no valor final da construção sem prejudicar as condições de iluminação, ventilação, estética, entre várias outras dimensões de desempenho do projeto. Aqui cabe perceber que a informação de custo deve ser encarada como uma variável de performance tanto quanto as demais citadas. Nesse sentido, Mascaró (1998) ressalta que o desconhecimento da influência relativa de cada uma das variáveis de um projeto no custo total da obra pode levar o projetista a buscar apenas a limitação e economia de itens. Essa limitação pode acabar resultando em perdas de qualidade projetual mais significativas do que a economia obtida, o que reduz a relação custo-benefício. Portanto, o profissional deve estar munido da informação adequada para tomar decisões multicriteriais eficientes e agregar maior precisão e qualidade ao projeto arquitetônico (Lima, 2016).

Trazendo essa perspectiva para o cenário econômico brasileiro dos últimos anos, em que o custo dos materiais de construção vem registrando forte crescimento (Ximenes, 2021; Vasconcelos, 2022) - percebe-se a necessidade cada vez maior de se buscar recursos que deem suporte às discussões sobre o custo de uma obra, ainda durante o processo projetual. Sob essa ótica, a utilização do BIM no processo de orçamentação “possibilita automatizar etapas do processo, melhorar o levantamento de quantitativos, utilizar a inteligência artificial a favor do orçamento, ter agilidade em simular impacto das variações de projeto no orçamento e realizar melhores escolhas de projeto baseadas em custo para obras públicas” (CEF, 2022, p.7).

Um outro aspecto importante para este trabalho é o quanto a visualização de informações pode auxiliar na tomada de decisão. Para Gianella (2014, p.1) “a visualização da informação, uma manifestação do Design da Informação, designa um processo cujo objetivo é facilitar a compreensão de grande quantidade de dados ao tornar evidentes relações de semelhança, ordem e proporcionalidade a eles subjacentes”. Desse modo, o projetista, ao

observar essas relações, pode verificar diversas alternativas de projeto e seus consequentes impactos no projeto como um todo.

Com base no que foi apresentado, parte-se então da hipótese que incluir a visualização da informação de custo no processo de projeto, de forma automatizada, facilita de modo relevante a tomada de decisão. Inicialmente deve-se levar em consideração que um projeto arquitetônico possui várias etapas, as quais ganham complexidade com o seu desenvolvimento. Da mesma forma, isso acontece com a estimativa de custos. É importante destacar que este trabalho tem como foco as decisões tomadas em fases iniciais do projeto arquitetônico.

Nesse contexto, sabe-se que o BIM pode contribuir para incluir a estimativa de custos de uma edificação em fases iniciais do projeto ao facilitar a extração de quantitativos; permitir ao projetista e ao cliente maior conhecimento do custo do projeto desde as primeiras etapas e ao agregar maior confiabilidade à construção em si e seu processo de desenvolvimento, oferecendo maior respaldo para as decisões projetuais do arquiteto. Entretanto, a maioria das ferramentas BIM são capazes de realizar extração de quantitativos, mas essas aplicações tendem a não ter a função completa de realizar estimativas de custos, o que geralmente é feito usando *software* diferente (Monteiro; Martins, 2013), podendo comprometer a visualização dessa informação de custo durante o processo de projeto e, conseqüentemente, a velocidade de *feedback*. Sob essa ótica, o presente trabalho propõe automatizar a visualização do custo de projeto arquitetônico em fases iniciais.

1.1 Questão de pesquisa

A pergunta de partida à qual esse trabalho pretende responder é: como representar a informação do custo em etapas iniciais do projeto arquitetônico de modo a apoiar a tomada de decisão projetual?

1.2 Justificativa e relevância da pesquisa

Para justificar a importância de responder à essa questão serão destacadas algumas problemáticas que envolvem a estimativa de custos no decorrer do processo de projeto arquitetônico. A primeira delas, já mencionada anteriormente, é o desconhecimento do impacto das decisões arquitetônicas no custo. Esse desconhecimento pode levar o projetista a restringir

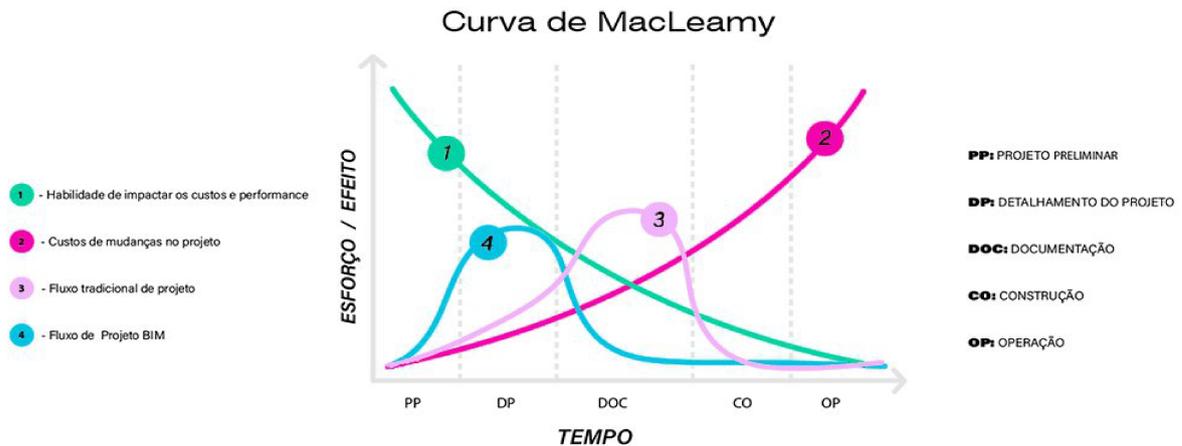
a quantidade e/ou qualidade de itens do projeto, sem agregar necessariamente a economia desejada (Mascaró, 1998), afetando principalmente a qualidade do projeto.

A segunda problemática é o projetista não saber quais informações são necessárias para realizar a estimativa de custos. À medida que um projeto evolui, o modelo BIM pode se tornar mais detalhado e complexo, e filtrar e selecionar as informações cruciais para o orçamento em meio a essa complexidade pode ser um desafio. Nesse processo, pode haver além de muita perda de informação, muita perda de tempo também, já que cerca de 50% a 80% do tempo necessário para criar uma estimativa de custos é dedicado à quantificação (Rundell, 2006), o que compromete o fluxo de projeto.

A terceira problemática é que muitas vezes a etapa de orçamentação inicia apenas quando o projeto arquitetônico já está bem avançado, ou até finalizado. Uma estimativa de custos antecipada pode “tornar-se uma guia fundamental para determinar a viabilidade dos projetos e também atuar como o principal parâmetro com o qual o design deve se conformar ao longo de seu desenvolvimento” (Odusami, Onukwube, 2008; Raisbeck, Aibinu, 2010 apud Wu et. al, 2014, p.536). Yang et. al (2022) também reforça essa relevância ao desenvolver um modelo de estimativa de custos especificamente para fases iniciais do processo projetual.

Nesse sentido, cabe ainda utilizar a “Curva de MacLeamy” (Figura 1) para fundamentar a relevância de abordar questões de custos nos estágios iniciais de projeto arquitetônico. Esse gráfico relaciona o esforço empregado no projeto, com o tempo, e a partir dele é possível observar quatro tópicos: 1. A fase de projeto preliminar é aquela cujas decisões relativas aos custos e performance do projeto são mais relevantes. É nessa fase que o escopo do projeto é traçado, e como ainda houve pouco tempo e esforço empregados, qualquer decisão tomada irá impactar bastante nas etapas futuras; 2. Fazer alterações em um projeto se torna mais caro à medida que o projeto avança. Complementando o tópico anterior, percebe-se que quanto mais esforço empregado no projeto, maiores os custos para alterá-los; 3. Em um fluxo tradicional de projeto, o ápice de esforço ocorre durante a fase de documentação, uma etapa em que os custos de mudança já estão mais altos do que em fases iniciais e a possibilidade dessas mudanças impactarem os custos e a performance já caíram consideravelmente; 4. No fluxo de projeto BIM, o ápice do esforço ocorre entre a primeira e a segunda fase projetual, etapas em que os custos de mudança ainda estão baixos e a possibilidade delas impactarem os custos e a performance são altas.

Figura 1 – Curva de MacLeamy



Fonte: Mota, A.C., 2022.² | adaptado pela autora.

A situação ideal, como ilustrado pela curva de MacLeamy - quando mais decisões são tomadas nas fases iniciais do projeto - não pode ocorrer se essas etapas não puderem fornecer alguma previsão de custos significativa. Segundo Zanni et al (2019), a barreira mais comum para alcançar a intenção de um projeto é a ausência de informações durante as fases de projeto e construção, levando o arquiteto a uma tomada de decisão inadequada. Desse modo, modelos BIM subdesenvolvidos e outras ferramentas usadas pelos arquitetos nas fases de planejamento, como esboços, não podem ser considerados dados adequados para a estimativa de custos padrão do BIM, mesmo que sejam mais ideais no processo de tomada de decisões (Lee et al., 2020).

Ainda sob essa ótica, optou-se por focar em estágios iniciais de projeto nesta pesquisa. Sabe-se que a informação que pode ser utilizada para estimativa de custo de construção varia dependendo do nível de maturidade das entregas de projeto (ACE, 2011). O uso do LOD 350 ou superior, por exemplo, implica em um modelo com uma quantidade precisa de elementos e de informações específicas que podem ser difíceis de lidar para construir uma estimativa de custos com agilidade. Essa relação entre o nível de desenvolvimento do modelo BIM e o nível de desenvolvimento do orçamento é confirmada por Jungsik et. al (2015) e Wood e Panuwatwanich (2014). Para Wood e Panuwatwanich (2014) as ferramentas BIM, quando utilizadas sozinhas, têm uma falta de clareza na definição da estrutura de comunicação para os usos pretendidos pelo autor do modelo; o LOD, por sua vez, determina essa estrutura e facilita a determinação da quantidade de informação necessária para cada etapa de projeto.

A quarta problemática é o uso de sistemas ultrapassados em estimativa de custos. Como

² Disponível em: <<https://www.portobelloengenharia.com.br/curva-de-macleamy/>>. Acesso em 16 jul. 2024.

já mencionado anteriormente, ferramentas BIM apresentam mais precisão e agilidade em relação às ferramentas tradicionais de projeto. Elbeltagi et. al (2014) abordam ainda a relevância da estimativa e controle adequados de custos para o sucesso dos projetos de construção e a importância da visualização da informação para esse controle. Segundo os autores (2014, p.57), “o *feedback* preciso e em tempo real do custo permite que os gerentes de projeto tomem as devidas ações corretivas que minimizariam o excesso de custos em tempo hábil”. Também para Gerber et. al (2012, p. 49), a falta de clareza visual das restrições do projeto e seus impactos na geometria e nos custos, presente no modo tradicional de projetar, são um problema. Segundo os autores, embora os modos atuais de desenvolvimento projetual dependam de regras práticas e cálculos rápidos, os projetistas não têm a oportunidade de otimizar a visualização em termos de massa geral, cobertura do local e geometria, e suas causas e efeitos nos custos. Portanto, para combater isso, é possível considerar que a estimativa de custos esquemática nos modelos BIM é uma estratégia que pode ser usada para auxiliar na tomada de decisão rapidamente (Jungsik et. al, 2014). Ademais, Elbeltagi et. al (2014) corroboram a ideia do uso do BIM nesse processo de estimativa de custos, justificando-o através da integração entre os componentes do modelo e suas informações de custo e também devido à possibilidade da informação se manter por todo o ciclo de vida do projeto, garantindo maior segurança ao projetista. Sabol (2008) ratifica esse argumento do ciclo de vida, e acrescenta ainda que como as informações permanecem consistentes ao longo do projeto, mudanças podem ser prontamente acomodadas.

Quanto aos autores que questionam o uso do BIM para solucionar questões relativas à estimativa de custos, têm-se Cheung et. al (2012). Os autores validam a ideia de gerar uma ferramenta que possa entregar ao usuário um *feedback* informativo sobre o projeto, porém apontam desafios no uso de ferramentas BIM para isso. Seus questionamentos estão focados principalmente na interoperabilidade. Segundo eles, “a interoperabilidade é a chave que sustenta o conceito de BIM que permite que várias partes interessadas trabalhem juntas e os *softwares* possam trocar informações sem problemas” (Cheung et. al, 2012, p.68) e essa interoperabilidade nem sempre é possível nos *softwares* utilizados na indústria da construção civil. Nesse sentido, Grilo e Gonçalves (2010) destacam como a interoperabilidade pode ser afetada quando diz respeito à competitividade das empresas produtoras desses *softwares*. Além disso, Cheung et. al (2012, p.68) afirma que “para fornecer *feedback* informativo sobre o design, por exemplo em seu custo e desempenho, as ferramentas BIM precisam de algum nível de *input* formalizado, mas o design é um processo intuitivo e não estruturado especialmente nos estágios iniciais do projeto.” Por fim, os autores ressaltam o alto custo para adquirir *softwares* BIM.

É importante fazer um adendo que existem outros autores abordam problemas de interoperabilidade na indústria para a troca de informações entre *softwares* e o alto investimento, entretanto ainda corroboram com o uso do BIM. Ramaji et. al (2018) é um exemplo. Esses autores validam o uso do BIM devido à possibilidade de redução de erros no processo de extração de quantitativos e economia de tempo em fases mais adiantadas do projeto, uma vez que com o modelo desenvolvido, a informação de custo pode ser mais facilmente obtida. Ademais, Ramaji et. al (2018) também legitima a relação entre LOD e estimativa de custos, mencionada anteriormente, ao propor um *framework* que usa *Open-BIM* para lidar com ineficiências em diferentes níveis de detalhe da estimativa de custos. Outro ponto negativo é que o processo de estimativa de custos habilitado para BIM ainda não é completamente automático (Zanni et. al, 2019), sendo preciso complementá-lo com outras ferramentas em busca dessa automatização.

Por fim, há ainda uma quinta problemática, de cunho teórico. Antecipando parte dos resultados preliminares obtidos, identificou-se, por meio de uma revisão sistemática da literatura (RSL), uma lacuna do conhecimento entre os temas BIM, LOD, estimativa de custos e tomada de decisão projetual. Essa pesquisa se encaixa exatamente nesse cruzamento e pode contribuir para relacionar esses assuntos. Nesse sentido, a partir dessa RSL, também foi realizada a identificação de artefatos similares ao que se pretende desenvolver nesta pesquisa e foram analisadas suas limitações (Quadro 1), com o intuito de que a ferramenta proposta possa atuar para solucionar ou evitar algumas dessas deficiências. As limitações que esse trabalhou buscou resolver foram: empregar o BIM no artefato desenvolvido; visualizar simultaneamente as variações de custo de uma atividade junto com a variação de custo total; desenvolver a modelagem já voltada para o processo de estimativa de custos, estruturando-a corretamente desde o princípio; aplicar um banco de dados que corresponda à tipologia trabalhada e empregar *softwares* de programação visual, de modo a facilitar o uso para usuários não familiarizados com programação tradicional. A classe de problema abordada nesta pesquisa é, portanto, a visualização da informação de custos a partir de informações pouco detalhadas, em etapas iniciais do processo de projeto, com foco em edificações residenciais.

Quadro 1 – Identificação de artefatos similares e configuração das classes de problemas

Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas	Classe de problema	Artefatos existentes	Limitações	Softwares utilizados
	Visualização da informação de custo	CHEUNG, F.K. (2012)	A ferramenta foi desenvolvida exclusivamente para estágios iniciais de projeto. Não faz uso de BIM.	Google, Sketchup, Adobe Flex
	Ponderação dos fatores construtivos sobre o custo	GERBER, D. (2012)	Necessita de implementações mais robustas em várias plataformas, incluindo Gehry Technologies, Digital Project, Revit e Green Building	Rhino, Grasshopper, Galapagos e Excel
	Monitoramento de custos	ELBELTAGI, E. et. al (2014)	Necessita de grande quantidade de memória do computador e poder de processamento; Não é possível ver simultaneamente as variações de custo para uma atividade junto com a variação de custo total.	Microsoft Project, Excel, Revit
	Avaliação de desempenho econômico de projeto	WOOD, J.; PANUWAT WANICH, K. (2014)	O <i>framework</i> não foi testado em um projeto em tempo real para analisar qual o benefício de economia de tempo	Revit
	Precisão em extração de quantitativos	JUNGSIK, C. et al (2015)	Limitado à estrutura do edifício. Focado no <i>software</i> Revit, não faz uso do formato de arquivo IFC	Revit, Solibri, InSightBIM
	Avaliação de ineficiências de estimativa de custo de acordo com LOD do projeto	RAMAJI, I.J. et al (2018)	Sugere uso de modelos vinculados, que são de difícil implementação na indústria. Não foi testada a eficiência da ferramenta.	Não faz uso de <i>softwares</i>
	Avaliação de desempenho econômico de projeto a partir da implantação do BIM	HONG, Y. et. al (2019)	Não estimou se a seleção de LOD ideal para implementação do BIM em uma empresa seria afetada pelas fases do projeto. Não considerou as demandas dos clientes na implementação.	Não especifica <i>softwares</i> , apenas deixa claro o uso de Algoritmos k-Mean
	Gestão do ciclo de vida BIM para apoiar a tomada de decisão, com foco em edifícios construídos para aluguel	ZANNI, M. et al (2019)	Modelos não voltados para a orçamentação contêm informações insuficientes e não estruturadas apropriadamente. Limitações tecnológicas para interoperabilidade entre BIM e dados do WLC. Falta de precisão e disponibilidade dos dados de custo e performance. Falta de experiência da equipe de modelagem para verificar as avaliações produzidas. Estratégias voltadas para CapEx em vez de OpEx	Causeway CATO, One Click LCA, Impact, Butterfly, Beck Tech Destini, CostX, RICS deBCIS, Tocoman e Trimble VICO

Quadro 1 – Identificação de artefatos similares e configuração das classes de problemas (continuação)

Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas	Classe de problema	Artefatos existentes	Limitações	Softwares utilizados
	Estimativa preliminar de custos baseada no BIM e no custo do ciclo de vida do projeto	LEE, J. et al (2020)	Feita estimativa de custos de um edifício cujos dados referentes à tipologia dele não existia no banco de dados usado. Os critérios de estimativa usados foram examinados com base nos padrões do governo, mas sua classificação é limitada e seu escopo é restrito	Revit, Oracle SQL Developer
	Avaliação de desempenho econômico	YANG, S.W. et. al (2022)	O modelo proposto não reflete características como local do projeto e projetos de reconstrução. Todos os edifícios base se localizam na Coreia. Exige que o usuário saiba programação.	Revit, IFCOpenShell

Fonte: a autora.

Apresentadas as justificativas da pesquisa, parte-se para a explicação de sua relevância para a comunidade científica. Como contribuição teórica, propõe-se um modelo conceitual que relaciona LOD, estimativa de custos de projeto arquitetônico e a ferramenta BIM, possibilitando uma maior integração entre esses três tópicos. Em relação à contribuição prática têm-se a proposição de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão em projeto, focada na visualização da informação de custos, que deverá ser instanciada interna e externamente, podendo ser replicada em futuros trabalhos nessa linha. Por último, busca-se inserir a questão do custo e da modelagem da informação cada vez mais na seara da Arquitetura, sendo relevante para acrescentar uma visão diferente sobre temas que costumam ficar delegados ao campo da Engenharia.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é facilitar a visualização das variações de custo no decorrer do projeto arquitetônico de forma a trazer um maior respaldo à tomada de decisão.

1.3.2 Objetivos específicos

A fim de alcançar o objetivo geral, foram definidos três objetivos específicos, relacionados à metodologia aplicada (*Design Science Research*). São eles:

1. Relacionar os conceitos de LOD, estimativa de custos e BIM entre si de modo a criar um modelo conceitual;
2. Desenvolver uma ferramenta de visualização da informação de custos no decorrer do processo de projeto, fazendo uso das TICs;
3. Verificar a validade da ferramenta proposta em simulações de ensino.

1.4 Estrutura do trabalho

Essa pesquisa está dividida em sete partes (Figura 2), são elas: introdução, metodologia, conscientização do problema, sugestão, desenvolvimento, avaliação e conclusão. Essa divisão se deu de acordo com as etapas da estratégia metodológica adotada: a *Design Science Research*.

Figura 2 – Diagrama de estrutura do trabalho



Fonte: a autora.

A primeira parte é a de introdução e aborda a contextualização da pesquisa, a pergunta de partida à qual esse trabalho se dedica a responder, a justificativa e a relevância da pesquisa, os objetivos geral e específicos, e a estrutura da pesquisa em si.

A segunda parte apresenta a conceituação de *Design Science Research*, metodologia escolhida para ser aplicada nessa pesquisa, quais foram as fases, atividades e

produtos desenvolvidos a partir dela e os protocolos das revisões sistemáticas da literatura elaboradas no decorrer deste trabalho.

A terceira parte, de conscientização do problema, busca contextualizar o problema abordado na questão de pesquisa. Para isso, divide-se em três partes: o detalhamento dos principais conceitos e bases teóricas; a formatação do problema, na qual os conceitos e bases teóricas são aprofundados por meio de revisões sistemáticas da literatura, com o objetivo de caracterizar melhor o problema abordado na pesquisa; e uma síntese conclusiva do capítulo, apresentando os resultados obtidos nessa parte.

A quarta parte, de sugestão, apresenta as primeiras hipóteses testadas para o desenvolvimento da ferramenta. Assim, têm-se e o *framework* que orientou o desenvolvimento da ferramenta de visualização de informações de custos e o detalhamento do processo exploratório realizado com cada *software* e *plugin* escolhidos, em uma análise de dispositivos e instrumentos.

A quinta parte, de desenvolvimento, consiste na explicação de como a ferramenta foi elaborada, como ela funciona, os *softwares* utilizados, e a exposição do algoritmo desenvolvido.

A sexta parte, de avaliação da ferramenta, aborda a avaliação externa, dividida em aplicação em situações de ensino e aplicação com grupo focal, e a avaliação interna, realizada pela autora.

Por fim, a sétima e última parte, de conclusão, responde à questão de pesquisa e aponta as contribuições alcançadas, seguida das limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho tem o seguinte enquadramento metodológico: quanto à natureza dos dados tem abordagem quali-quantitativa, fazendo interpretação e análise de dados, gráficos, palavras, imagens, e outros vários tipos de variáveis. Quanto à categoria de seus objetivos, é uma pesquisa de base, descritiva e prescritiva. No que se refere à natureza dos resultados, é uma pesquisa aplicada, já que busca verificar sua validade na prática a fim de chegar aos resultados pretendidos. A estratégia de pesquisa utilizada é a *Design Science Research* (DSR). Por fim, do ponto de vista dos procedimentos adotados têm-se uma pesquisa bibliográfica e experimental.

2.1 Delineamento metodológico

Para Lukka (2003, p.83) a Abordagem de Pesquisa Construtiva, ou *Design Science Research*, é “um procedimento de pesquisa para produzir construções inovadoras, destinadas a resolver problemas enfrentados no mundo real e, assim, contribuir para a teoria da disciplina em que é aplicada”. Desse modo, a escolha dessa estratégia metodológica se justifica pois esta pesquisa visa a proposição de um artefato, embasado pela teoria, mas também que possa contribuir de forma prática para o tema escolhido.

A pesquisa foi realizada conforme as fases, orientadas pela DSR: conscientização do problema, sugestão, desenvolvimento, avaliação e resultados. Dentro dessa estrutura, seguiu-se o protocolo apresentado no Quadro 2, com base no modelo proposto por Dresch et. al (2015, p.136)

Quadro 2 – Protocolo para condução da Design Science Research

Origem do problema		
Identificação do problema	<input type="checkbox"/>	Nova ou interessante informação
	<input checked="" type="checkbox"/>	Busca pela resposta à uma questão importante
	<input checked="" type="checkbox"/>	Solução para um problema prático
	<input type="checkbox"/>	Solução para uma determinada classe de problema
	<input type="checkbox"/>	Outro

Quadro 2 – Protocolo para condução da Design Science Research (continuação)

Conscientização do problema	<ol style="list-style-type: none"> 1. desconhecimento do impacto das decisões arquitetônicas no custo do projeto 2. dificuldade em identificar quais informações são necessárias para realizar a estimativa de custos do projeto 3. a etapa de orçamentação iniciar apenas quando o projeto arquitetônico já está bem avançado, ou até finalizado 4. uso de sistemas defasados em estimativa de custos projetuais 5. lacuna do conhecimento entre os temas BIM, LOD, estimativa de custos e tomada de decisão projetual 								
Revisão sistemática da literatura	<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>BIM + LOD + Estimativa de custo + tomada de decisão projetual em Arquitetura</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>BIM + NBR + SINAPI/ Banco de dados externo</td> </tr> </table>	<input checked="" type="checkbox"/>	BIM + LOD + Estimativa de custo + tomada de decisão projetual em Arquitetura	<input checked="" type="checkbox"/>	BIM + NBR + SINAPI/ Banco de dados externo				
<input checked="" type="checkbox"/>	BIM + LOD + Estimativa de custo + tomada de decisão projetual em Arquitetura								
<input checked="" type="checkbox"/>	BIM + NBR + SINAPI/ Banco de dados externo								
Proposição do artefato para resolver o problema específico	<table border="0"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Artefato</th> <th style="text-align: left;">Justificativa</th> <th style="text-align: left;">Prós</th> <th style="text-align: left;">Contras</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ferramenta que relaciona modelagem da informação a uma IPV (Archicad + Rhinoceros + Grasshopper) longo do processo projetual para visualização da informação de custo</td> <td>Apoiar a tomada de decisão em projeto arquitetônico; agregar ao tópico "estimativa de custos" uma visão útil para o arquiteto</td> <td>Conexão em tempo real; visualização simultânea da modelagem e gráficos de informação de custos; interface de programação visual amigável</td> <td>Sem testes em demandas reais de projeto; necessidade de conhecimento básico em Grasshopper; indispensabilidade de alto poder de processamento dos computadores</td> </tr> </tbody> </table>	Artefato	Justificativa	Prós	Contras	Ferramenta que relaciona modelagem da informação a uma IPV (Archicad + Rhinoceros + Grasshopper) longo do processo projetual para visualização da informação de custo	Apoiar a tomada de decisão em projeto arquitetônico; agregar ao tópico "estimativa de custos" uma visão útil para o arquiteto	Conexão em tempo real; visualização simultânea da modelagem e gráficos de informação de custos; interface de programação visual amigável	Sem testes em demandas reais de projeto; necessidade de conhecimento básico em Grasshopper; indispensabilidade de alto poder de processamento dos computadores
Artefato	Justificativa	Prós	Contras						
Ferramenta que relaciona modelagem da informação a uma IPV (Archicad + Rhinoceros + Grasshopper) longo do processo projetual para visualização da informação de custo	Apoiar a tomada de decisão em projeto arquitetônico; agregar ao tópico "estimativa de custos" uma visão útil para o arquiteto	Conexão em tempo real; visualização simultânea da modelagem e gráficos de informação de custos; interface de programação visual amigável	Sem testes em demandas reais de projeto; necessidade de conhecimento básico em Grasshopper; indispensabilidade de alto poder de processamento dos computadores						
Procedimentos aplicados para o desenvolvimento do artefato	<ol style="list-style-type: none"> 1. avaliação de similares; 2. construção do artefato; 3. avaliação do artefato; 4. identificação de aperfeiçoamentos 								
Passo a passo do desenvolvimento do artefato	<ol style="list-style-type: none"> 1. modelagem em BIM de um projeto residencial, padrão baixo (tipologia escolhida devido ao tempo e escopo da pesquisa); 2. construção, dentro do <i>software</i> BIM, de tabelas de custo baseadas em categorias amplas de orçamentação. Para a definição dessas categorias foram utilizados como base os parâmetros de projeto identificados pela RSL realizada; 3. utilizando o modelo BIM mais desenvolvido, parte-se para a sua conexão em tempo real com a interface de programação visual do Grasshopper, por meio do live-connection Archicad-Grasshopper; 4. uso do <i>plugin</i> Conduit para elaboração dos gráficos de visualização da informação do custo em tempo real; 5. aplicação da ferramenta em experiência de ensino, na qual os alunos devem modelar um projeto de residência unifamiliar, com flexibilidade para adotar suas próprias soluções criativas, porém seguindo sistemas construtivos, programa de necessidades e custo final pré-estabelecidos; 6. realização de questionários com os alunos a fim de avaliar se a ferramenta foi capaz de promover maior consciência sobre a tomada de decisão projetual; 7. avaliação da ferramenta por um grupo focal composto de arquitetos por meio de uma demonstração de como a ferramenta funciona, seguida por uma discussão com o grupo; 								

Quadro 2 – Protocolo para condução da Design Science Research (continuação)

Passo a passo do desenvolvimento do artefato	8. avaliação e discussão dos resultados e indicações de melhorias para a ferramenta proposta (<i>loop</i> de aprendizado); 9. avaliação interna a fim de comparar os valores obtidos pela ferramenta nas experiências de ensino, com os valores obtidos em estimativas de custos usando apenas o <i>software</i> de modelagem BIM; 10. versão final da ferramenta.
Resultados da avaliação	Pontos positivos: velocidade de resposta para embasar a tomada de decisão; dá a possibilidade de definir estratégias projetuais; ajuda a identificar prioridades projetuais; permite visualizar o impacto de cada escolha de projeto no custo; auxilia a identificar a viabilidade do projeto; facilita a observação da repercussão dos materiais nos custos. Pontos negativos: indispensabilidade de capacitar arquitetos e projetistas em pelo menos 2 softwares distintos; restrita à tipologia residencial; necessita alto poder computacional para funcionar bem; não possui uma base de dados tão ampla quanto outros softwares relativos à estimativa de custos e orçamentação; não abrange sistemas construtivos de revestimentos e instalações, por exemplo.
Conclusões	A ferramenta desenvolvida se provou, conforme as avaliações, uma forma adequada de representação da informação do custo respaldando a tomada de decisão em estágios iniciais de projeto, porém trata-se do mínimo produto viável e ainda precisa ser aperfeiçoada.
Generalização para uma classe de problemas	Visualização da informação de custo para apoiar tomada de decisão projetual
Comunicação de resultados	Dissertação; Artigo científico para publicação em anais de eventos: SBTIC + SIBRAGEC

Fonte: a autora | Adaptado de Dresch et. al (2015, p.136).

Em relação aos objetivos e entregáveis de cada uma das fases mencionadas anteriormente, têm-se: a primeira etapa é a conscientização do problema. Nessa fase o objetivo foi identificar o estado da arte sobre o tema, avaliar a estrutura teórica-conceitual já existente, auxiliando na pesquisa à medida que permite ao pesquisador verificar o que já tem sido produzido, quais as lacunas e se os resultados obtidos foram bons ou não, além de contextualizar o problema de pesquisa em si. As atividades designadas para atingir esse objetivo foram:

1. Definir os conceitos-chave que irão orientar a pesquisa: BIM, LOD e estimativa de custos;
2. Identificar, na literatura, os parâmetros de projeto arquitetônico e sua influência no custo durante o desenvolvimento projetual. A técnica de coleta de dados utilizada foi o levantamento bibliográfico em livros, teses, artigos, entre outras fontes, para a produção de uma RSL;
3. Elaborar diagramas que facilitam a visualização dos resultados obtidos pela RSL;

4. Selecionar uma referência base que caracterize os níveis de desenvolvimento (LODs) de um projeto;
5. Conectar os parâmetros de projeto arquitetônicos identificados pela RSL aos LODs a partir do quais esses parâmetros podem ser identificados num projeto arquitetônico;
6. Identificar os sistemas construtivos a serem empregados no modelo BIM proposto, conforme a tipologia e diretrizes projetuais adotadas;
7. Identificar os serviços, a partir da base de dados do SINAPI, que compõem esses sistemas construtivos;
8. Relacionar todas essas informações conceitualmente.

Os subprodutos dessa etapa foram um quadro síntese da relação entre os parâmetros projetuais apontados pela bibliografia e a partir de que LOD eles podem ser identificados no projeto arquitetônico e um modelo conceitual relacionando os parâmetros projetuais da RSL, ao LOD, ao SINAPI e ao *software* BIM.

Em seguida, têm-se a etapa de sugestão, a partir da qual foram estabelecidas as diretrizes para o desenvolvimento da ferramenta e foram testadas hipóteses de como a ferramenta poderia ser desenvolvida por meio de diferentes *softwares* e *plugins*. As atividades dessa fase foram:

1. Definir as diretrizes conceituais para guiar o desenvolvimento da ferramenta;
2. Definir uma estrutura matemática/lógica para basear a ferramenta a ser desenvolvida;
3. Definir quais *softwares* e *plugins* devem ser empregados para desenvolver a ferramenta.

Os subprodutos foram um *framework* sintetizando o passo-a-passo dessa ferramenta e um quadro de análise de dispositivos e instrumentos semelhantes existentes.

Na etapa posterior da pesquisa, há o desenvolvimento da ferramenta computacional propriamente dita. O objetivo é facilitar a visualização da informação de custos, no decorrer do processo de projeto, para dar apoio à tomada de decisão em etapas iniciais de projeto, uma vez que o projetista pode verificar, em tempo real, a relação entre suas escolhas e os respectivos impactos no valor total da construção. Para isso fez-se uso de um modelo BIM e, a partir deste, foi gerado um algoritmo no Grasshopper para extração de informações diretamente desse modelo, atrelado a uma interface de programação visual, e por meio do *plugin* Conduit possibilitou-se a visualização dos dados extraídos do modelo BIM no formato de gráficos. Os subprodutos foram o modelo BIM da tipologia escolhida e o algoritmo produzido.

A penúltima etapa é a de avaliação, na qual a intenção é verificar a validade da ferramenta proposta. As atividades propostas são, para avaliação externa, 1. Aplicação da ferramenta em experiências de ensino, seguida pela realização de questionários com os alunos a fim de identificar se a ferramenta foi capaz de promover maior consciência sobre a tomada de decisão projetual; 2. Aplicação com um grupo focal de profissionais arquitetos com o objetivo de identificar quais as principais potencialidades e fraquezas do uso da ferramenta; como subprodutos têm-se a síntese dos resultados em matriz FOFA (Forças, Oportunidades, Ameaças e Fraquezas) relacionando os principais aspectos positivos e negativos identificados na avaliação da ferramenta. Para avaliação interna, com o intuito de verificar se os valores obtidos pela ferramenta estavam coerentes: 1. Realização de estimativas de custos de três residências modeladas durante as oficinas com os alunos do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo, utilizando apenas o *software* de modelagem BIM (Archicad) e seu gestor de propriedades e mapas de quantitativos para obter as informações de custo, a fim de compará-las com os valores obtidos pela ferramenta no decorrer da experiência de ensino.

Por fim, na última etapa, de conclusão, os resultados obtidos são descritos e interpretados, verificando suas contribuições e falhas e sugestões para trabalhos futuros. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta como contribuições teóricas e práticas a construção de dois artefatos segundo a DSR:

1. Modelo: Para March e Smith (1995) “modelos são conjuntos de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos”. Desse modo, o presente trabalho apresenta um modelo que relaciona os conceitos e teorias de 1. níveis de desenvolvimento em um processo de projeto; 2. levantamento de custos de um projeto arquitetônico e 3. a ferramenta BIM.

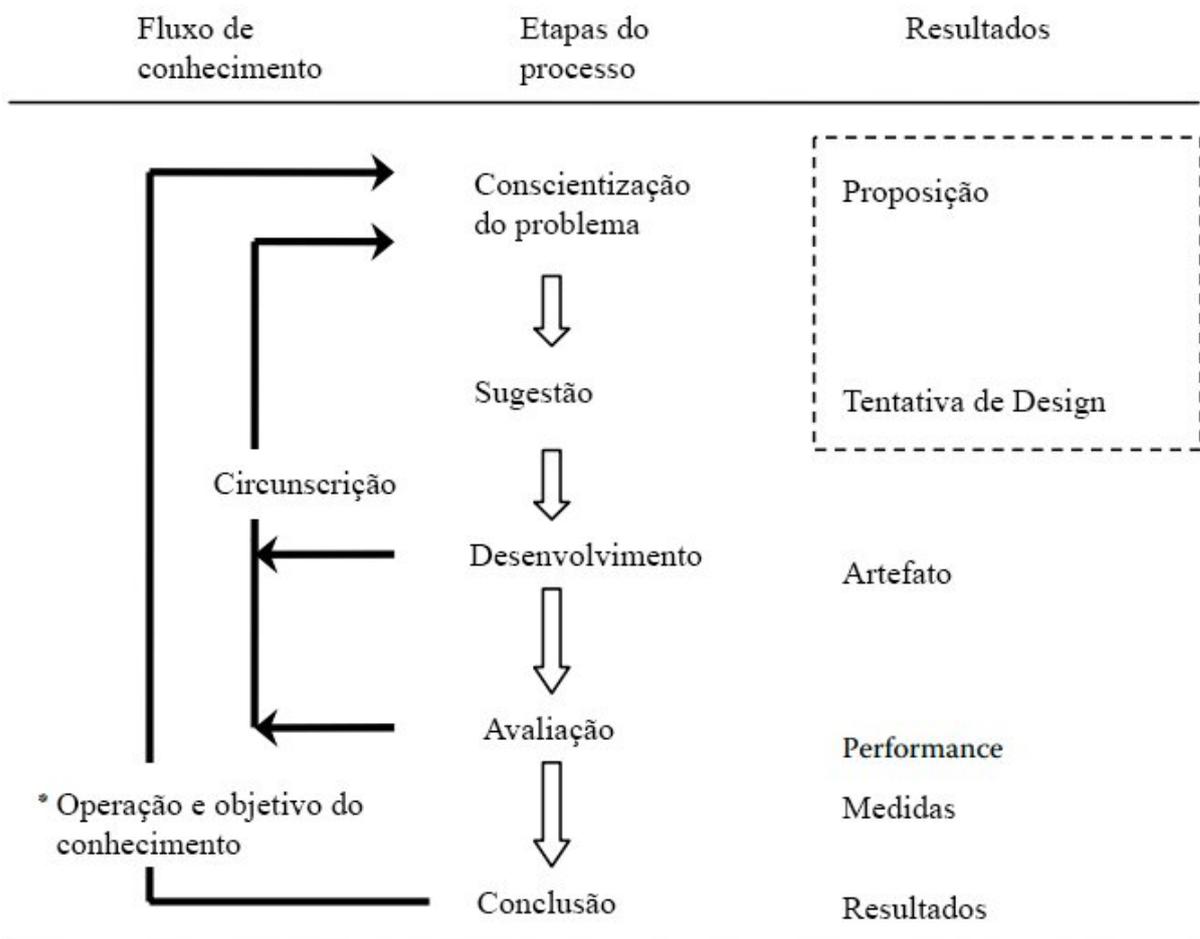
2. Instanciação: Para March e Smith (1995) “instanciações operacionalizam constructos, modelos e métodos. [...] As instanciações demonstram a viabilidade e a eficácia dos modelos e métodos que contêm.” Também segundo Dresch et al. (2015) “as instanciações informam como implementar ou utilizar determinado artefato e seus possíveis resultados no ambiente real”. Tendo isso em vista, a instanciação será apresentada como uma forma de verificar na prática o funcionamento e a validade da ferramenta proposta. Essa avaliação será interna, ou seja realizada pelos autores, e externa, realizada por meio de uma aplicação em situação de ensino.

O terceiro artefato produzido se classifica como uma proposição de design, uma ferramenta para resolução de um problema prático. Nesta pesquisa, a ferramenta desenvolvida

é relacionada ao processo de projeto concatenando os *softwares* e *plugins* Archicad, Rhinoceros, Grasshopper e Conduit aos resultados teóricos encontrados.

Após a etapa de resultados, o ciclo da DSR reinicia e volta para a conscientização do problema (Figura 3), não devido a um mal entendido da teoria, mas devido à natureza necessariamente incompleta de qualquer base de conhecimento (Vaishnavi and Kuechler, 2007). A intenção é que o processo de design possa contribuir para a compreensão e avanço do tema abordado dentro da própria pesquisa, assim serão identificados, ao fim da etapa de resultados, as contribuições incorporadas ao ciclo.

Figura 3 – Diagrama genérico para aplicação da DSR



Fonte: Vaishnavi and Kuechler, 2007. | Traduzido pela autora.

Quadro 3 – Fases, atividades e produtos

Fase	Atividades	Técnicas	Objetivos
Conscientização do problema	Definir os conceitos-chave para a pesquisa.	Levantamento bibliográfico em livros, teses e artigos.	Identificar o estado da arte sobre o tema e orientar; Auxilia à medida que permite ao pesquisador verificar o que tem sido aplicado e tido bons resultados ou não.
	Identificar os parâmetros de projeto arquitetônico e sua influência no custo durante o desenvolvimento projetual.		
	Elaborar diagramas que facilitam a visualização dos resultados obtidos nas RSLs.	Diagramas de síntese.	Contextualizar o problema abordado na pesquisa, motivador da questão de pesquisa.
	Selecionar uma referência base que caracterize os níveis de desenvolvimento (LODs) de um projeto.	Levantamento bibliográfico em livros, teses e artigos.	Formalizar o problema abordado.
	Conectar os parâmetros de projeto arquitetônicos identificados pela RSL aos LODs a partir do quais esses parâmetros podem ser identificados num projeto arquitetônico.	Levantamento bibliográfico em livros, teses e artigos. Diagramas de síntese.	
	Identificar os sistemas construtivos a serem empregados no modelo BIM proposto, conforme a tipologia e diretrizes projetuais adotadas.	Levantamento bibliográfico em livros, teses, artigos e normas.	
	Identificar os serviços, a partir da base de dados do SINAPI, que compõem esses sistemas construtivos.	Levantamento bibliográfico na base de dados do SINAPI.	
	Relacionar conceitualmente as informações obtidas.	Modelo conceitual.	

Quadro 3 – Fases, atividades e produtos (continuação)

Fase	Atividades	Técnicas	Objetivos
Sugestão	Definir as diretrizes conceituais para guiar o desenvolvimento da ferramenta.	<i>Framework</i> conceitual.	Guiar como a ferramenta deve ser desenvolvida.
	Definir uma estrutura matemática/lógica para basear a ferramenta a ser desenvolvida.	Diagrama esquemático.	
	Definir quais <i>softwares</i> e <i>plugins</i> devem ser empregados para desenvolver a ferramenta.	Análise de dispositivos e instrumentos semelhantes existentes.	Processo exploratório para testar hipóteses de como a ferramenta pode ser desenvolvida usando diferentes <i>softwares</i> e <i>plugins</i> .
Desenvolvimento	Formalizar a ferramenta unindo modelo BIM + modelador algorítmico + interface de programação visual.	Modelo BIM e algoritmo.	Facilitar a visualização da informação de custos, no decorrer do processo de projeto, para dar apoio à tomada de decisão.
Avaliação	Avaliar a performance da ferramenta elaborada	Aplicação da ferramenta em experiências de ensino; Realização de questionários com os alunos para identificar se a ferramenta foi capaz de promover maior consciência sobre a tomada de decisão projetual; Aplicação da ferramenta com grupo focal.	Verificar a validade da ferramenta por meio de avaliação externa.

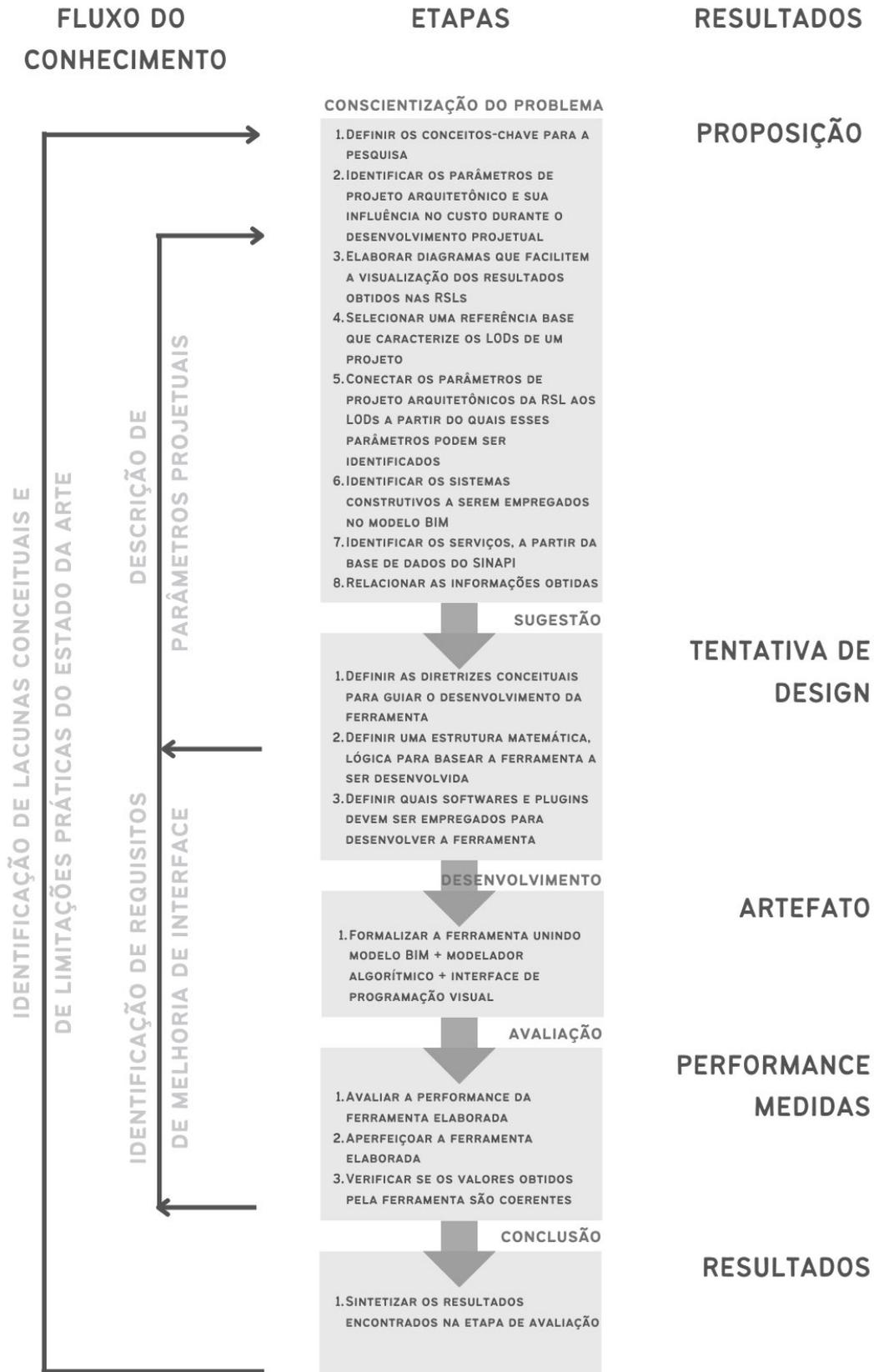
Quadro 3 – Fases, atividades e produtos (continuação)

Meta	Atividades	Técnicas	Objetivos
Avaliação	Verificar se os valores obtidos pela ferramenta são coerentes.	Estimativas de custos de 3 residências modeladas durante as experiências de ensino, utilizando Archicad para modelagem, seu gestor de propriedades e mapas de quantitativos para obter as informações de custo, a fim de compará-las com os valores obtidos pela ferramenta no decorrer das oficinas.	Verificar a validade da ferramenta por meio de avaliação interna.
	Aperfeiçoar a ferramenta elaborada.	A partir dos questionários e discussões, identificar o que pode ser melhorado e avaliar a ferramenta novamente.	Incorporar os <i>feedbacks</i> ao ciclo da pesquisa.
Resultados	Sintetizar os resultados encontrados na etapa de avaliação.	Matriz FOFA síntese.	Descrever e interpretar os resultados, analisando suas contribuições e falhas.

Fonte: a autora.

Desse modo, seguindo a estrutura da DSR, o quadro acima (Quadro 3) sintetiza as fases, atividades e produtos de cada uma das etapas estabelecidas, tendo como base Vaishnavi and Kuechler (2007). Foi produzido ainda um diagrama sintetizando a aplicação da DSR nesta pesquisa, utilizando como referência Vaishnavi and Kuechler (2007).

Figura 4 – Diagrama para aplicação da DSR neste trabalho



Fonte: a autora.

2.2 Protocolos de Revisão Sistemática da Literatura

Seguindo a estrutura de condução da DSR proposta por Dresch et. al (2015), no decorrer da etapa de conscientização do problema, foram conduzidas duas revisões sistemáticas da literatura. A primeira delas com o objetivo de identificar outros trabalhos que mapearam previamente os parâmetros de projeto que mais afetam o custo, e como eles podem ser considerados ao longo do desenvolvimento do modelo BIM para apoiar a tomada de decisão. Para guiá-la adotou-se um protocolo (Quadro 4) também proposto por Dresch et. al (2015).

Quadro 4 – Protocolo para 1ª revisão sistemática da literatura

Fase	Definição	Resultados
<i>Framework</i> conceitual	Conceitos que conduziram à realização da revisão sistemática. Pode incluir um resumo da situação problema para a qual está sendo conduzida a pesquisa, bem como conceitos e resultados já conhecidos.	Parte de um <i>framework</i> conceitual que relaciona tomada de decisões de projeto, nível de desenvolvimento e estimativa de custo, apoiados por BIM. O tema explorado na RSL será a interseção entre eles.
Recorte espacial	Contexto no qual a pesquisa está sendo conduzida.	Pesquisas realizadas nacional e internacionalmente.
Recorte temporal	Horizonte de tempo que se pretende pesquisar.	2012 a 2022
Idiomas	Idioma a ser considerado no processo de busca.	Português Inglês
Questão de revisão	Pergunta que orienta a pesquisa.	Quais os parâmetros de projeto que mais afetam o custo e como esses parâmetros podem ser considerados ao longo do desenvolvimento do modelo BIM a fim de apoiar a tomada de decisão?
Estratégia de revisão	Baseado nas definições de Dresch et. al., 2015.	Configurativa
Critérios de busca	Critérios para decidir pela inclusão ou não de um estudo primário.	Critérios de inclusão: 1. incluir trabalhos que relacionem diretamente nível de desenvolvimento (LOD) e estimativa de custo; 2. incluir trabalhos que abordem índices ou variáveis de custo no projeto arquitetônico

Quadro 4 – Protocolo para 1ª revisão sistemática da literatura (continuação)

Fase	Definição	Resultados
Critérios de busca	Critérios para decidir pela inclusão ou não de um estudo primário.	Critérios de exclusão: 1. pesquisas que não utilizem meios computacionais para relacionar orçamento e projeto; 2. pesquisas que não tratem sobre projeto arquitetônico; 3. pesquisas que não abordem a escala do edifício; 4. pesquisas focadas apenas no custo de aspectos bioclimáticos de projeto
Termos de busca	Termos que serão utilizados para a busca nas bases de dados. Considerando além dos termos propriamente ditos, os operadores booleanos e de proximidade.	1. Impacto custo projeto arquitetônico 2. Cost lod architecture 3. Early Stage Cost 4. Early Stage LOD 5. BIM Cost
Fontes de busca		Periódicos Capes CuminCAD Academia.Edu Research gate

Fonte: a autora.

É importante fazer duas observações sobre esse protocolo: a primeira delas se refere ao critério de exclusão 4, por ser um recorte bem específico. Foi preciso acrescentá-lo uma vez que muitas pesquisas relacionadas às palavras-chaves utilizadas estavam inseridas no contexto de estudos sobre aspectos bioclimáticos em geral, dificultando uma intersecção com o assunto pesquisado. O segundo ponto de atenção está nas fontes de busca, uma vez que foram inseridos os sites Academia.Edu e Research Gate, porém foram utilizados apenas como auxílio para encontrar os textos completos que não estavam disponíveis nas outras duas bases de dados.

A segunda RSL, por sua vez, teve o objetivo de identificar na literatura a possibilidade de integrar o processo de orçamentação em ferramenta BIM diretamente com o banco de dados do SINAPI, possibilitando atualizações tanto do modelo quanto do banco de dados integradas e em tempo real. Utilizou-se o mesmo protocolo proposto por Dresch et. al (2015), também aplicado na RSL anterior (Quadro 5).

Quadro 5 – Protocolo para 2ª revisão sistemática da literatura

Fase	Definição	Resultados
<i>Framework</i> conceitual	Conceitos que conduziram à realização da revisão sistemática. Pode incluir um resumo da situação problema para a qual está sendo conduzida a pesquisa, bem como conceitos e resultados já conhecidos.	A tomada de decisões projetuais apoiada pelo custo pode ser facilitada quando relacionada com a base de dados do SINAPI. O tema explorado na RSL será a integração entre o SINAPI e a ferramenta BIM no processo de orçamentação.
Recorte espacial	Contexto no qual a pesquisa está sendo conduzida.	Pesquisas realizadas nacional e internacionalmente.
Recorte temporal	Horizonte de tempo que se pretende pesquisar.	2013 a 2023
Idiomas	Idioma a ser considerado no processo de busca.	Português Inglês
Questão de revisão	Pergunta que orienta a pesquisa.	Como integrar o processo de orçamentação em ferramenta BIM diretamente com o banco de dados do SINAPI com a atualização das mudanças em tempo real?
Estratégia de revisão	Baseado nas definições de Dresch et. al., 2015	Configurativa
Critérios de busca	Critérios para decidir pela inclusão ou não de um estudo primário.	Critérios de inclusão: 1. trabalhos que integrem a orçamentação em BIM com a SINAPI; 2. trabalhos que relacionem a NBR 15965 ao SINAPI Critérios de exclusão: 1. pesquisas que não utilizem meios computacionais para relacionar orçamento e projeto; 2. pesquisas que não utilizem uma base de dados do SINAPI para orçamentação; 3. pesquisas que não utilizem BIM
Termos de busca	Termos que serão utilizados para a busca nas bases de dados. Considerando além dos termos propriamente ditos, os operadores booleanos e de proximidade.	SINAPI, BIM, Orçamento, NBR

Quadro 5 – Protocolo para 2ª revisão sistemática da literatura (continuação)

Fase	Definição	Resultados
Fontes de busca		Periódicos Capes; CuminCAD; Revista Gestão e Tecnologia de Projeto; Revista Ambiente Construído; Revista PARC; Anais de evento: SBTIC, SIBRAGEC, ENTAC

Fonte: a autora.

Em ambos os casos, o protocolo seguido buscou identificar o contexto em que a RSL foi aplicada, a pergunta de partida, os recortes espacial e temporal, os idiomas nos quais os textos analisados poderiam estar, os critérios de inclusão e exclusão de pesquisas, os termos de busca, as fontes de busca e a estratégia de revisão. Esse último ponto é definido por Dresch et. al (2015) como o tipo de revisão conduzido a partir da amplitude da pergunta de partida, podendo ser agregativa ou configurativa. Uma revisão agregativa parte de questões fechadas, com o objetivo de testar uma teoria, enquanto a revisão configurativa parte de perguntas amplas que buscam dados qualitativos extraídos de estudos primários heterogêneos para serem respondidas. Nesse sentido, as duas revisões sistemáticas realizadas nessa pesquisa se classificam como configurativas.

3 CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA

Esse capítulo se inicia com a fundamentação teórica da pesquisa, na qual são detalhados os principais conceitos e bases teóricas utilizados para embasar a proposição do artefato. Esses conceitos e bases teóricas são afunilados por meio de duas RSLs, cujos resultados também serão dispostos neste capítulo. Por fim, como resultado da interpretação da teoria apresentada em aplicação nesta pesquisa, têm-se a proposição de um modelo conceitual interligando alguns dos conceitos abordados. Todos esses subprodutos servem de base para a estruturação do problema de pesquisa.

3.1 Conceitos e bases teóricas

3.1.1 Representação da informação no processo de projeto arquitetônico

Para justificar a inserção desta dissertação na linha de pesquisa de Modelagem e Design da Informação (MDI), é preciso primeiro definir o que é Modelagem e Design da Informação. Será empregada uma definição de adequação, ou seja, uma definição que enfatiza o contexto em que o usuário terá acesso ao artefato informacional (Souza, 2016). Segundo Petterson (2013), Modelagem e Design da Informação (MDI):

Compreende análise, planejamento, apresentação e compreensão de uma mensagem – seu conteúdo, linguagem e forma. Independentemente do meio selecionado, conjuntos de informações bem projetadas, juntamente com sua mensagem, irá satisfazer requisitos estéticos, econômicos, ergonômicos, bem como os requisitos do receptor e do assunto. (Petterson, 2013, p. 219)

Assim, essa pesquisa se insere no campo de conhecimento da MDI uma vez que o objeto de estudo em si é a representação de uma variável projetual, levando em conta seu conteúdo, apresentação, linguagem e forma. Essa pesquisa também está no contexto de aplicação de sistemas computacionais para dar suporte à análise, decisão, concepção, desenvolvimento e materialização do projeto, reforçando novamente seu enquadramento na MDI.

Para Bazjanac (1975) a partir de modelos auxiliados por computador, o designer será capaz de prever o desempenho de qualquer alternativa de design que ele possa gerar. É sob essa perspectiva que o presente trabalho pretende atuar, utilizando a MDI para facilitar a geração de possibilidades projetuais que mais se adequem ao custo estabelecido para

determinado projeto. Segundo Menges e Ahlquist (2011, p.16) para que essa geração de alternativas seja bem sucedida é preciso utilizar “sistemas com parâmetros, e o esforço de previsão e *feedback* para informar, especificar e definir o comportamento geral do sistema organizado”.

Considerando que a MDI pode se referir à modelagem de atributos, processos ou aprendizados, essa pesquisa desenvolverá principalmente a modelagem de atributo, pois considera o custo como um atributo do projeto arquitetônico. No contexto da MDI, os principais conceitos e bases teóricas utilizados para embasar esta pesquisa serão detalhados a seguir.

Para compor o conceito de BIM adotado, foram utilizadas três referências, duas delas embasadas academicamente, e uma de uma empresa do ramo, a fim de alinhar o eixo teórico ao prático. A primeira foi Eastman et. al (2008), no qual ele define BIM como: “ferramentas, processos e tecnologias que são facilitados por documentação digital e legível por máquina sobre um edifício, seu desempenho, seu planejamento, sua construção e, posteriormente, sua operação” (p.467). O autor acrescenta ainda que BIM é uma atividade, não um objeto. Essa definição foi escolhida para embasar o conceito nesta pesquisa por vir do autor considerado o “pai do BIM”. A segunda referência foi Succar (2009, p. 1, apud Penttilä, 2006, p. 403), pesquisador e especialista em performance em BIM, editor chefe do BIM Dictionary, segundo o qual, BIM é “um conjunto de interações políticas, processos e tecnologias gerando uma metodologia para gerenciar os dados essenciais do projeto de construção e do projeto em formato digital durante todo o ciclo de vida do edifício”. Por fim, apoiou-se também na definição da empresa Autodesk (2023), para a qual BIM é:

O processo holístico de criação e gerenciamento de informações para um recurso construído. Com base em um modelo inteligente e habilitada por uma plataforma na nuvem, a BIM integra dados estruturados e multidisciplinares para produzir uma representação digital de um recurso em todo seu ciclo de vida, desde o planejamento e o projeto até a construção e as operações (Autodesk, 2023).

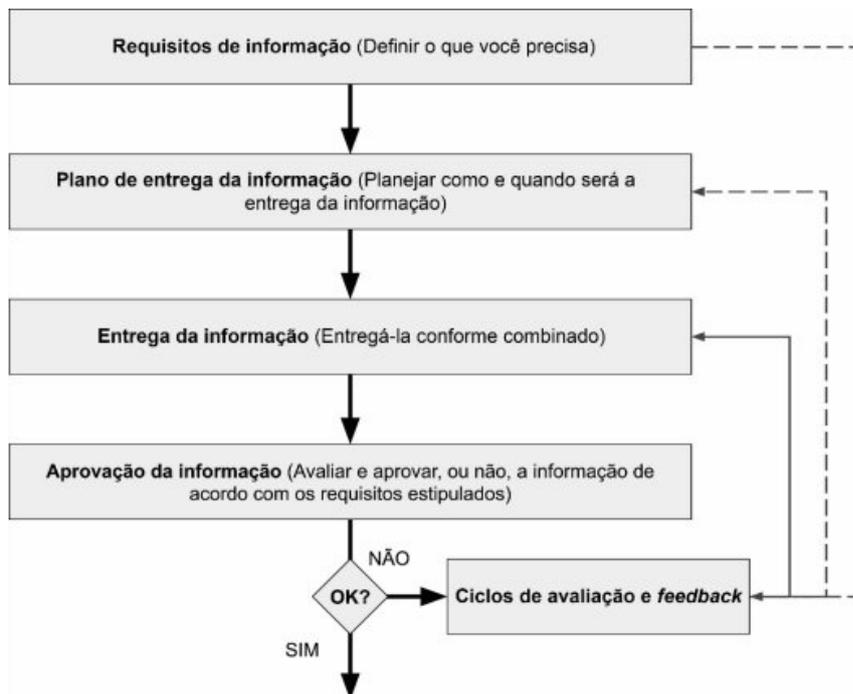
Essas três definições corroboram com a identificação de BIM como processos e tecnologias usados para representar digitalmente um projeto, e esta pesquisa irá adotar essa mesma ideia.

Tendo em vista essa definição de BIM, é importante entender posteriormente o conceito de Nível de Desenvolvimento, ou *Level of Development* (LOD). Segundo o *American Institute of Architects* (AIA, 2013), LOD foi um conceito criado para melhorar a qualidade da comunicação entre usuários de modelos BIM sobre as características dos elementos nos modelos, fornecendo definições e ilustrações de elementos de diferentes sistemas de construção em diferentes estágios de seu desenvolvimento. Desse modo, o AIA definiu uma padronização

para o LOD, variando em cinco níveis – de 100 a 500 – a depender do nível de informação agregada.

Esse conceito é importante para a pesquisa, pois entende-se que durante as fases de um projeto arquitetônico existe um o fluxo de informações (Figura 5) que só ocorrerá com eficiência se o emissor e o receptor dessas informações estiverem alinhados, de modo que a informação emitida seja exatamente a que o receptor necessita. Comparando o fluxo de informações a um fluxo de água, eventuais vazamentos podem gerar o escape da água e diminuir a entrega final. Fazendo o paralelo, as informações são perdidas quando não são devidamente aproveitadas para embasar decisões corretas. Assim, a delimitação de quais informações devem ser inseridas no projeto é imprescindível para manter a coerência nos dados, evitar informações desnecessárias ou ainda a falta de informações relevantes (Barros, 2018).

Figura 5 – Especificação genérica e planejamento para entrega de informação

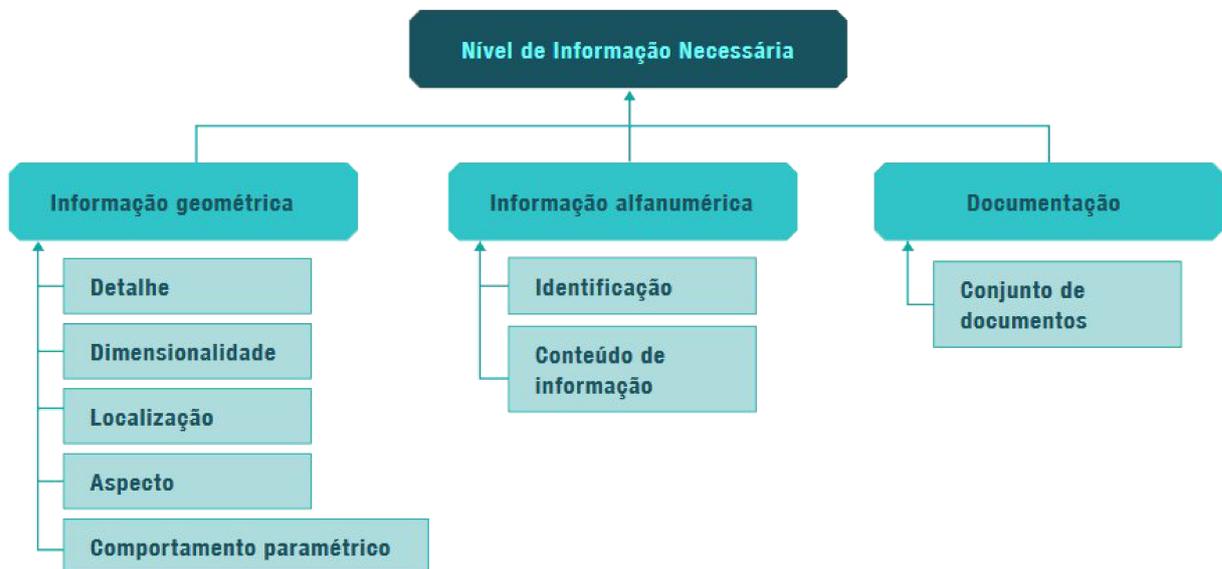


Fonte: NBR ISO 19650-1, 2022.

Nesse sentido, cabe destacar que o conceito de LOD vem sendo gradativamente substituído pelo conceito de LOIN, ou *Level of Information Need*. Segundo a ISO 19650-1 (2022), referente à organização da informação acerca de trabalhos da construção - gestão da informação usando a modelagem da informação da construção, o LOIN, ou em português Nível de Informação Necessária, é um conceito que determina a qualidade, quantidade e granularidade das informações adequadas para cada entregável de um projeto. As métricas para

definir esses aspectos podem se referir ao conteúdo geométrico do projeto ou ao conteúdo alfanumérico (dados) e são diferentes para cada um desses três pontos avaliados (Figura 6). Entretanto, o conceito de LOIN não foi o principal conceito utilizado nessa pesquisa por ser bem recente, e conseqüentemente ainda não ter sido muito explorado pela bibliografia, não possuindo quantidade relevante de trabalhos que o relacionem à custo. A fim de manter uma base teórica estruturada e alcançar uma maior quantidade de estudos, optou-se por utilizar o conceito de LOD. Além disso, a divisão em níveis proposta pelo conceito de LOD associa-se bem tanto com etapas de projeto quanto com etapas de orçamento, sendo possível estabelecer uma conexão mais coesa entre as temáticas abordadas na pesquisa.

Figura 6 – Componentes do LOIN



Fonte: Ferreira e Leusin, 2023.

Porém, para aplicar o conceito de LOD é preciso deixar clara a discussão sobre a subjetividade desse conceito. Existe mais de uma métrica para organizar os LODs entre 100 e 500, ficando a critério do projetista basear-se por uma delas. Ademais, em um mesmo modelo BIM coexistem componentes em LOD diversos, para atender usos diferentes (Ferreira e Leusin, 2023). Assim, a ausência de consenso sobre o que cada nível deve conter pode fragilizar o emprego desse conceito. No contexto desta pesquisa, todavia, faz sentido aplicá-lo uma vez que é preciso relacionar ao projeto arquitetônico etapas de estimativa de custo, e busca-se fazer isso sob a ótica do arquiteto e não do orçamentista. Então, a intenção não é chegar a um orçamento detalhado, mas sim trabalhar com etapas iniciais do desenvolvimento do projeto arquitetônico podendo relacioná-las a etapas de estimativa de custos. Sob a perspectiva das etapas iniciais de projeto, o ideal é que o profissional possa tomar decisões projetuais mais

rápidas, que demandem menos informações e estejam mais alinhadas à respectiva fase do projeto.

Essa rapidez e assertividade na tomada de decisão pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo a forma de visualizar as informações do projeto. Assim, é preciso apresentar o conceito de visualização da informação, com o intuito de usá-la de suporte à tomada de decisão. Costa (1998, p.24) define visualizar como “um ato cujo objetivo é tornar visível algo que não é, e cujo propósito é fazer compreensível algo que não é possível alcançar de nenhuma outra maneira (ou que seria mais difícil e menos exato)”. Wurman (2005, p.187) corrobora com essa ideia ao dizer que “informação não é o produto final, mas a comunicação”. Ainda sob essa ótica, Bonsiepe (2001) afirma “sem a intervenção do design, a apresentação do conhecimento e a comunicação simplesmente não funcionariam, pois o conhecimento precisa ser mediatizado por uma interface que pode ser percebida e assimilada”. Tendo isso em vista, o projetista, por meio da visualização de informações, pode observar relações entre os dados e então verificar diversas alternativas de projeto e seus consequentes impactos no resultado final, atuando de modo a tornar visualização da informação uma comunicação.

3.1.2 Estimativa de custo

Considerando o que foi exposto no tópico acima sobre a representação da informação no processo de projeto arquitetônico, é preciso esclarecer que este trabalho, como mencionado, tem foco na informação de custo. Desse modo, o principal conceito aqui será o de estimativa de custo. A estimativa de custo, por sua vez, também pode ser caracterizada quanto ao nível de informação agregada assim como as etapas do desenvolvimento de um projeto arquitetônico. Segundo Mattos (2006, p.34) existem três níveis de detalhamento de um orçamento: o primeiro sendo a estimativa de custos, realizada com base em custos históricos e comparação com projetos similares, dando uma idéia aproximada da ordem de grandeza do custo do empreendimento; o segundo sendo orçamento preliminar, mais detalhado do que a estimativa de custos, pressupõe o levantamento de quantidades e requer a pesquisa de preços dos principais insumos e serviços e por fim, o terceiro sendo o orçamento analítico ou detalhado, elaborado com composição de custos e extensa pesquisa de preços dos insumos. Procura chegar a um valor bem próximo do custo "real", com uma reduzida margem de incerteza.

A AACE corrobora com a ideia de que existem níveis de desenvolvimento de orçamento e define estimativa de custo como “a previsão dos custos prováveis de um projeto ou esforço, para um escopo dado e documentado, em uma localização definida e um ponto de tempo no futuro” (2024, p.36). Tendo esse conceito em vista, a AACE propõe uma classificação em cinco níveis, variando de acordo com o nível de maturidade das entregas de definição do projeto principalmente, e também com a finalidade da estimativa, com a metodologia aplicada na estimativa e com a faixa de precisão esperada para ela (Figura 7).

Apesar dessa classificação ter sido elaborada para o contexto de processos industriais, foi percebido que ela faz muito sentido também para projetos arquitetônicos. Há ainda uma classificação de estimativa de custos genérica para quaisquer indústrias também proposta pela AACE, porém sua metodologia não possui definição necessária para relacioná-la ao projeto, sendo portanto, mais coerente com o tema assimilar a matriz para processos industriais como referência teórica para a pesquisa.

Figura 7 – Matriz de Classificação de Estimativa de Custos para Processos Industriais

	<i>Característica Principal</i>	<i>Característica Secundária</i>		
CLASSE DE ESTIMATIVA	NÍVEL DE MATURIDADE DAS ENTREGAS DE DEFINIÇÃO DO PROJETO Expresso como % da definição completa	USO FINAL Finalidade típica da estimativa	METODOLOGIA Método geralmente utilizado para estimativas	FAIXA DE PRECISÃO ESPERADA Intervalos típicos nas faixas mínimas e máximas
Classe 5	0% a 2%	Análise da adequação do conceito	Índices de capacidade, modelos paramétricos, julgamento ou analogia	Mín: -20% a -50% Máx: +30% a +100%
Classe 4	1% a 15%	Estudo de viabilidade	Fatores relativos a equipamentos ou modelos paramétricos	Mín: -15% a -30% Máx: +20% a +50%
Classe 3	10% a 40%	Autorização ou controle de orçamento	Custos unitários semi-detalhados com itens de linha lançados em nível de detalhe de conjunto	Mín: -10% a -20% Máx: +10% a +30%
Classe 2	30% a 75%	Controle ou licitação/proposta	Custos unitários detalhados com levantamento detalhado obrigatório	Mín: -5% a -15% Máx: +5% a +20%
Classe 1	65% a 100%	Verificação da estimativa ou licitação/proposta	Custos unitários detalhados com levantamento detalhado	Mín: -3% a -10% Máx: +3% a +15%

Fonte: AACE, 2016.

É possível perceber a partir dessas classificações que quanto mais avançada/madura é a entrega do projeto, mais estreita é a faixa de precisão esperada para os custos, ou seja, mais próxima do valor real. Isso reforça que ao trabalhar com estimativas de custos em estágios iniciais de projeto, é preciso abrir mão da precisão em favor da velocidade de tomada de decisão. Além disso, é possível perceber a partir dessa tabela que modelos paramétricos, índices de capacidade e analogias com outros projetos são os métodos geralmente utilizados para estimativas de custos em estágios iniciais de projeto. Segundo Forgues et. al (2012) a estimativa de custos baseada em modelos tornou-se possível após a implementação da modelagem paramétrica baseada em objetos, em BIM. Tendo isso em vista, utilizar modelos paramétricos para automatizar a estimativa de custos pode ser positiva por reduzir o tempo e esforços gastos com extração de quantitativos, reduzir os erros humanos e, conseqüentemente, aumentar a confiabilidade dos valores, por exemplo. Para Elmousalami (2021) a previsão conceitual de custos é considerada um dos principais critérios na tomada de decisão do projeto nas fases iniciais do projeto. Nesse sentido, faz-se necessário destacar que esse esforço de incluir a estimativa de custos em fases iniciais de projeto também pode ser muito positivo para possibilitar ao arquiteto um importante aspecto para embasar suas decisões.

Dentro do escopo da estimativa de custo, há a estimativa paramétrica de custo que trata-se de uma “técnica na qual se desenvolve estimativas de custo com base no exame e validação das relações que existem entre as características técnicas, programáticas e de custo de um projeto, bem como os recursos consumidos durante seu desenvolvimento, fabricação, manutenção e/ou modificação” (ISPA, 2008, p.16). Para isso, é necessário o desenvolvimento e uso de um modelo paramétrico do edifício que se pretende estimar o custo e o desenvolvimento de um banco de dados. As principais vantagens desse tipo de estimativa de custo sobre aquela tradicional são maior precisão e rapidez para chegar aos resultados, alta conexão entre projeto e custo, dados possíveis de serem verificados, antecipação da etapa de estimativa de custo para fases iniciais do projeto e facilidades de realizar mudanças de projeto e de custo em questões técnicas e de performance (ISPA, 2008). Nesta pesquisa, buscou-se trabalhar com a estimativa paramétrica de custos, porém, apesar de ter sido elaborado um modelo paramétrico, o banco de dados não pôde ser criado dado o tempo e escopo da pesquisa. Optou-se, então, por trabalhar com um banco de dados já existente, o SINAPI. No mês de abril de 2024, entretanto, houve a desativação das “demonstrações de uso e composições paramétricas” fornecidas pelo SINAPI (CEF, 2024), o que forçou este trabalho a usar estimativas paramétricas mais esmiuçadas e, portanto mais trabalhosas, do que antes da

desativação. Ainda assim, a estimativa de custo paramétrica se mostrou relevante nas fases iniciais do projeto arquitetônico.

3.1.3 Conceitos auxiliares e a Teoria Geral dos Sistemas

Além dos conceitos já mencionados, outros três se fazem relevantes para apoiá-los, são eles: sistema de *feedback*, sistema de suporte à decisão e design computacional. Quanto ao conceito de sistema de *feedback*, utilizou-se como base teórica Astrom e Murray (2012, p.1), segundo os quais:

O termo *feedback* refere-se a uma situação em que dois (ou mais) sistemas dinâmicos são conectados entre si de modo que cada um sistema influencia o outro e suas dinâmicas são fortemente acopladas. Um simples raciocínio causal sobre um sistema de *feedback* é difícil porque o primeiro sistema influencia o segundo e o segundo sistema influencia o primeiro, levando a um argumento circular (Astrom e Murray, 2023, p.1).

Esse sistema de *feedback* pode ter um ciclo fechado ou aberto, de modo que, se for fechado haverá uma retroalimentação do ciclo. Bertalanffy (1968 apud Menges, Ahlquist, 2011, p.54) acrescenta ainda que “dispositivos de *feedback* são amplamente utilizados na tecnologia moderna para a estabilização de uma certa ação, como em termostatos ou em receptores de rádio; ou para a orientação de ações em direção a um objetivo em que o desvio desse objetivo é realimentado, como informação, até que o objetivo ou alvo seja alcançado.” Isso é importante para esta pesquisa em duas ocasiões: primeiro, quando o *feedback* é gerado pela visualização da informação de custos e deve auxiliar o arquiteto ou projetista a tomar decisão, e essa decisão irá impactar diretamente na produção de novas informações de custos e, posterior visualização. A segunda ocasião ocorre em um contexto metalinguístico, no qual a própria pesquisa segue uma metodologia em que o produto final, a ferramenta proposta, foi constantemente retroalimentada pelas avaliações dos usuários, até que o objetivo final fosse alcançado.

Já em relação ao sistemas de suporte à decisão, do inglês *decision support systems* (DSS) é preciso primeiro pontuar que o conceito de “decisão” não pode ser completamente separado daquele de “processo de decisão”, e esse processo é pontuado por certos pontos críticos, um dos quais é a ação final da decisão (Roy, 1996). O processo decisório pode contar com sistemas que apoiem a ação final, esses sistemas “auxiliam os tomadores de decisão em problemas semiestruturados e não estruturados (que não podem ser resolvidos por métodos ou

ferramentas processuais padrão), empregando julgamento humano e computadores” (Rashidi et. al, 2018, p. 22). Assim, a tomada de decisão pode ser direta ou indireta: quando os atores envolvidos na tomada de decisão têm participação ativa são denominados de intervenientes ou *stakeholders*, quando não participam diretamente, mas influenciam e/ou são influenciados pelos resultados da decisão, são denominados de agidos ou *third parties* (Lima, 2016, p. 68). Nesta pesquisa, a ferramenta proposta como produto final visa, entre outros objetivos, apoiar a tomada de decisão ativa dos arquitetos e projetistas, funcionando como um sistema de apoio à tomada de decisão em projeto arquitetônico.

Por fim, para englobar todos os outros conceitos listados, têm-se o Design Computacional. Para Menges e Ahlquist (2011) “computação em Design representa um acúmulo de conceitos multicamadas indo de Teoria de sistemas e cibernética, à morfogênese e biologia do desenvolvimento” (p.10). Oxman (2006) reforça ainda que os processos computacionais são iterativos e recursivos, atuando de modo a aumentar e especificar o nível da informação e usando parâmetros variáveis dentro do “espaço de estado”. Para esta pesquisa, o Design Computacional servirá para fundamentar o uso de sistemas computacionais para expandir as atividades humanas, ao invés de atuarem de forma redundante aos processos já existentes (Menges, Ahlquist, 2011, p.16). Essa expansão será rebatida na pesquisa, por exemplo, a partir do desenvolvimento da ferramenta com o intuito de extrair quantitativos do modelo BIM de forma automatizada.

A partir dessas definições, buscou-se encontrar relações e similaridades entre eles. Inicialmente, essas conexões foram traçadas entre pares, assim têm-se:

Nível de desenvolvimento (LOD) x Sistemas de Apoio à Decisão (DSS): O LOD de um projeto indica o nível de desenvolvimento presente no modelo, assim, o tipo de decisão tomada vai depender de quais informações estão presentes. Por exemplo, para o LOD 100, a informação de área total de um projeto deve estar presente, mas não a informação sobre qual o tipo de abertura das portas que serão utilizadas (BIM Forum, 2020). Desse modo, as decisões devem ser orientadas pela quantidade de informação que está disponível.

Nível de desenvolvimento (LOD) x Estimativa de custo: Ambos os conceitos estão relacionados à avaliação e medição do progresso em um determinado domínio. Assim, quanto mais um projeto evolui, mais evoluem também seu LOD, os dados necessários para realização da estimativa de custo e a precisão esperada desta estimativa.

Visualização de informações x Sistemas de Apoio à Decisão (DSS): A visualização de informações envolve a representação gráfica de dados ou informações para

aprimorar a compreensão, a análise e a comunicação. Os DSS podem fazer uso de ferramentas interativas baseadas em dados, modelos e técnicas analíticas para apoiar quantitativamente decisões que, de outra forma, poderiam ser baseadas na intuição e experiência pessoal (Rashidi, 2018). Portanto, esses dois conceitos se interceptam e a visualização da informação pode ser uma ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Sistema de *feedback* x Sistema de Apoio à Decisão (DSS): Ambos os conceitos envolvem o fornecimento de informações para melhorar os processos de tomada de decisão. Um sistema de *feedback* é projetado para coletar e analisar informações sobre as saídas ou resultados de um sistema, que podem ser usadas para fazer ajustes, melhorias ou decisões mais informadas. Os DSS fornecem informações, análises e recomendações para apoiar a tomada de decisões, muitas vezes incorporando *feedback* de várias fontes. Em resumo, esses conceitos compartilham semelhanças em termos de avaliação de progresso, facilitação de processos de tomada de decisão e incorporação de estratégias para alcançar melhores resultados.

Levando em consideração os conceitos apresentados, é importante situá-los no contexto da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) e Teoria do Design Algorítmico. O principal alicerce para o referencial teórico desta pesquisa está sobre a TGS. Criada por Ludwig von Bertalanffy, e publicada em 1968, diz que “nada na natureza existe isoladamente ou com simples dependências, mas precisa ser entendido como um sistema complexo de interações e reciprocidades, além de simples e lineares relações de causa” (Bertalanffy, 1968 apud Menges, Ahlquist, 2011, p.15). Aplicando para a Arquitetura, têm-se uma perspectiva na qual a arquitetura pode ser percebida e perseguida como um “sistema”. Isso implica em uma visão da Arquitetura não mais como um composto de entidades estáticas isoladas, além de uma alteração nos conceitos de como a computação dessas interrelações entre sistemas pode ser alcançada (Menges, Ahlquist, 2011, p.15).

Ainda segundo Menges e Ahlquist (2011) o lugar em que o Design Computacional se conecta à TGS é

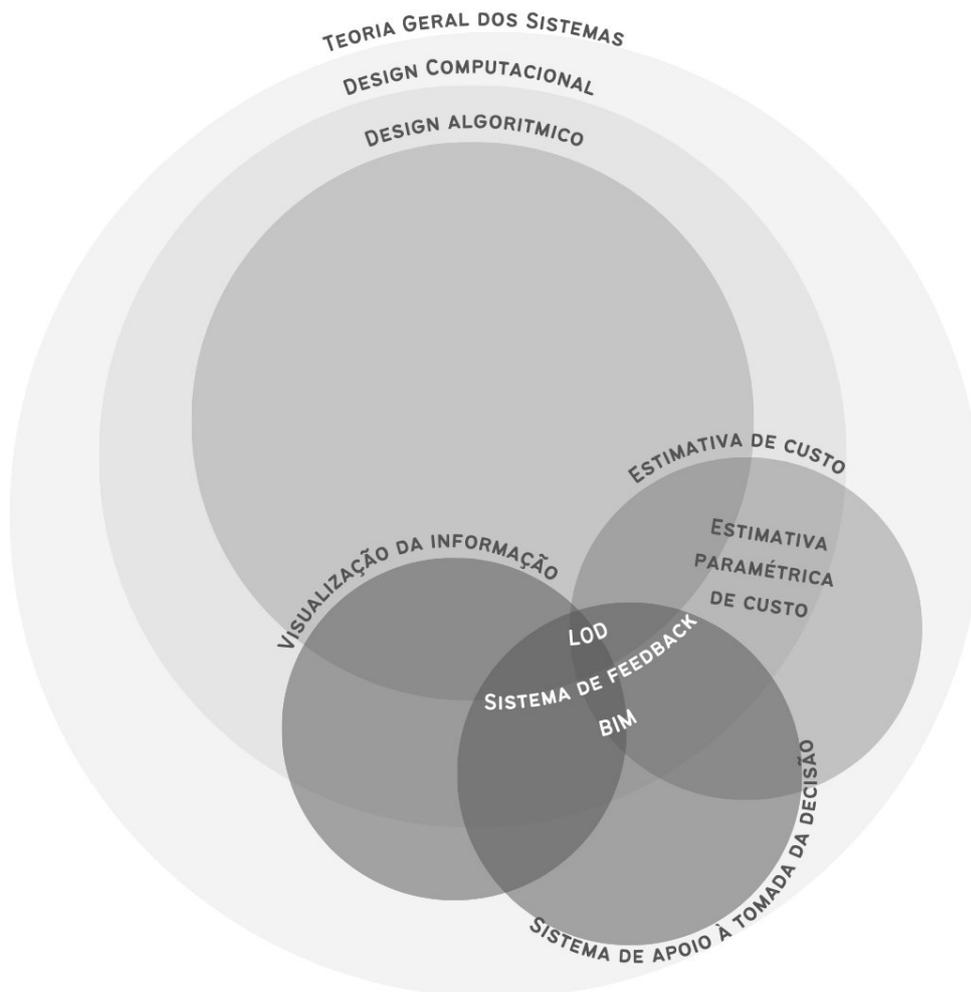
na compreensão de como os sistemas – como forma e como construtos de ordenação matemática – operam. Fundamental para entender sua operação é o nível de previsão contido no modelo que vislumbra o sistema. Inicialmente, esta foi uma consideração primária para os primeiros sistemas gráficos na arquitetura, afirmado como: “Com a ajuda de modelos auxiliados por computador, o projetista será capaz de prever o desempenho de qualquer alternativa de design que ele possa gerar.” O sucesso disso depende de paradigmas de design que são orientados para definir sistemas com parâmetros concisos e usar o esforço de previsão e *feedback* para informar, especificar ainda mais e definir globalmente o comportamento do sistema organizado. (Menges, Ahlquist, 2011, p.16).

Assim como apontado nesta citação, o presente trabalho faz um recorte na produção de Arquitetura utilizando modelos auxiliados por computador, determinando sistemas com parâmetros concisos para usar o esforço de previsão e *feedback* para informar e especificar ainda mais o comportamento de um sistema organizado.

Por fim, o Design Algorítmico será utilizado na pesquisa sob a ótica de Terzidis (2003). Segundo o autor, o design algorítmico é um novo paradigma arquitetônico, relacionado aos avanços científicos e uma nova percepção coletiva sobre o modo de projetar. Para ele, não é apenas uma mudança em relação ao modo tradicional de projetar, mas uma superação do mesmo. Nesse sentido, o uso de design algorítmico será incorporado nesta pesquisa a fim de explorar composições projetuais e seus impactos no custo, a depender da tomada de decisão do arquiteto.

A partir disso, montou-se um diagrama (Figura 8) unindo os conceitos citados na seção anterior às teorias e paradigmas desta seção buscando conexões e intersecções entre eles.

Figura 8 – Diagrama de conexões entre os conceitos



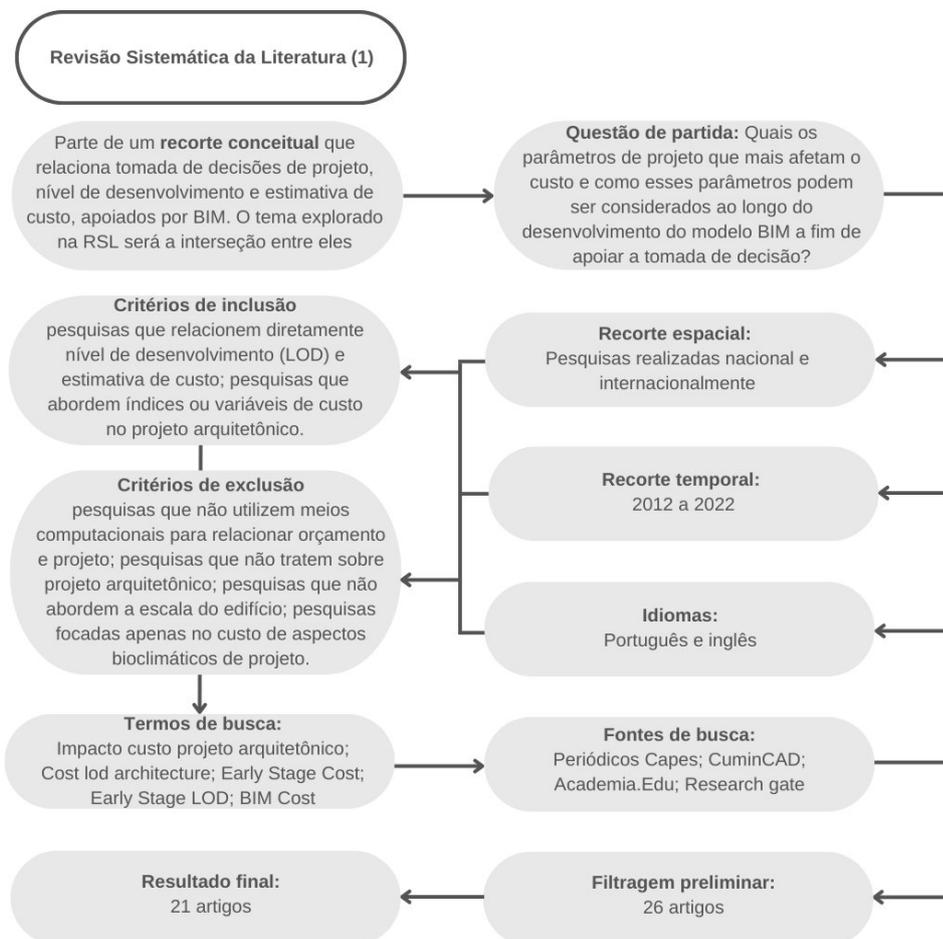
Fonte: a autora.

O diagrama demonstra que, no geral, todos os conceitos estão contidos na Teoria Geral do Sistemas, já que nesta pesquisa tudo será interpretado sob a ótica de sistemas complexos de interações e reciprocidades. Em relação aos conceitos fundamentais, percebe-se que são bastante amplos, de modo que algumas partes deles se relacionam com as demais teorias e paradigmas estudados, mas outras não. Por fim, a pesquisa em questão busca atuar nas interseções mapeadas.

3.2 Formatação do problema

Diante desse montante de conceitos, é preciso fazer um recorte naqueles que afetam mais diretamente esta pesquisa. Assim, retoma-se as revisões sistemáticas da literatura, apresentadas no Capítulo 2: Metodologia, a fim de apresentar seus resultados. A primeira RSL realizada (Figura 9) abordou quatro pontos principais: nível de desenvolvimento de projeto (LOD), modelos BIM, estimativa de custo e tomada de decisão.

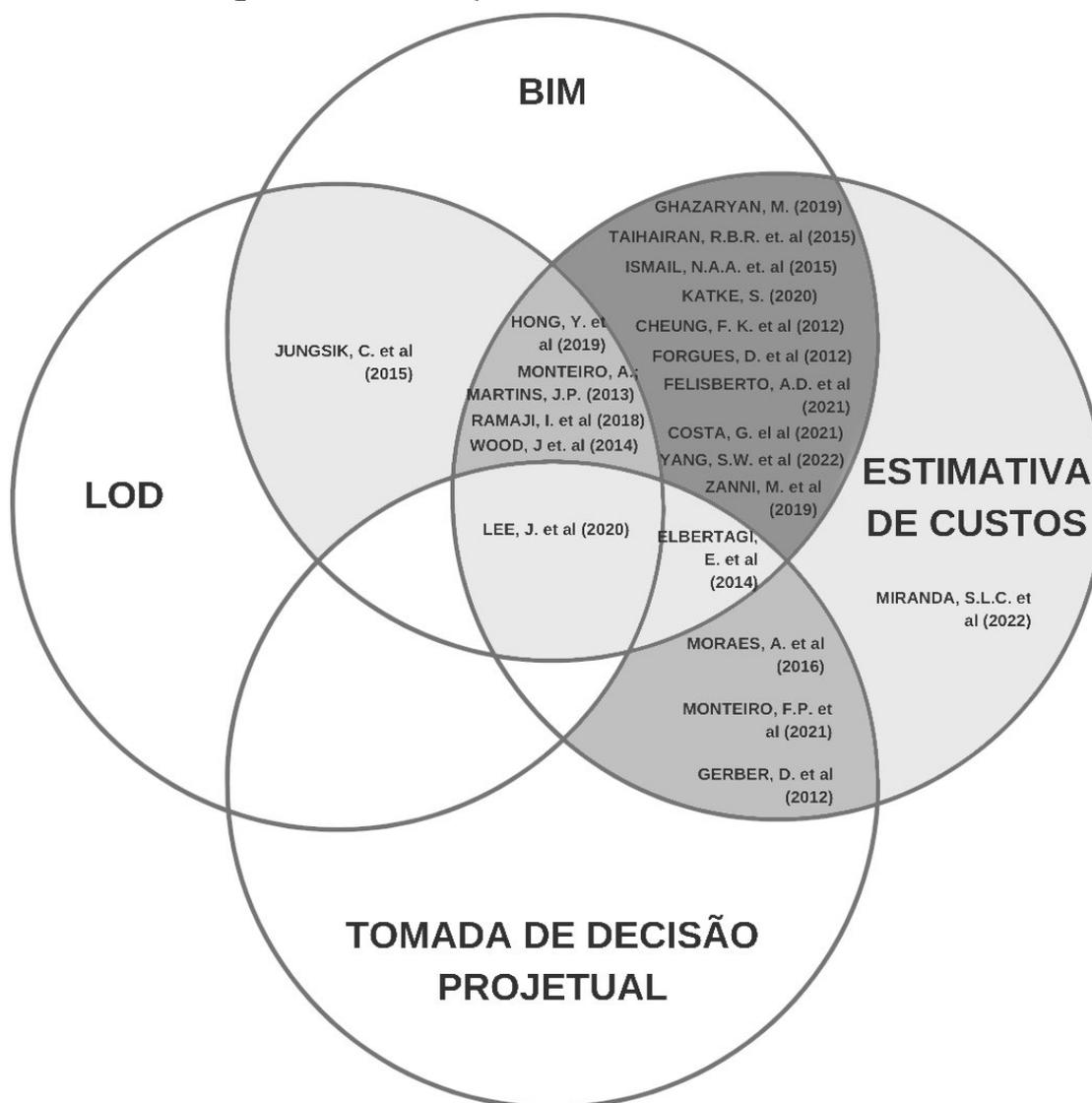
Figura 9 – Diagrama síntese do protocolo da 1ª RSL



Fonte: a autora.

Foram identificados em quais eixos temáticos os textos selecionados se encaixam, dispostos em um diagrama (Figura 10). Essa categorização foi feita tendo como base os conteúdos dos textos em si, mas foi dado foco para os títulos e as palavras-chaves, a fim de reconhecer qual o cerne desses artigos. Utilizou-se tons de cinza para enfatizar a concentração de artigos por tema.

Figura 10 – Localização dos textos nos eixos temáticos



Fonte: a autora.

É possível perceber que a maioria dos trabalhos se encaixam na interseção entre BIM e estimativa de custos. Supõe-se que esse contexto ocorre por já existirem diversas ferramentas e *softwares* consolidados, que objetivam viabilizar o uso do modelo BIM para fins de estimativa de custo. Ademais, notou-se também que nenhum dos artigos selecionados estava localizado na interseção entre “LOD” e “tomada de decisão projetual”, ou seja, os trabalhos

encontrados não chegam a descrever como os diferentes níveis de desenvolvimento do modelo podem impactar na tomada de decisão projetual. Por fim, identificou-se que apenas um artigo localizava-se entre os quatro temas estudados, apesar da relevância para as pesquisas em Arquitetura. Acredita-se que essa lacuna seja devido à maior especificidade, e possivelmente complexidade, atribuída a um trabalho que abrangesse os quatro temas.

O segundo resultado a partir desta RSL foi a categorização dos textos selecionados de acordo com seus produtos finais, suas contribuições, e no caso daqueles que apresentaram proposições de artefatos, suas limitações (APÊNDICE A). Os textos foram organizados seguindo a ordem cronológica, para facilitar a percepção das contribuições mais antigas para as mais atuais, e sintetizados no Quadro 6, considerando seus principais resultados.

Quadro 6 – Principais resultados da 1ª RSL

Texto	Principais resultados
a) CHEUNG, F.K.T. et. al (2012)	Ferramenta desenvolvida ajuda a incorporar a visualização do custo em estágios iniciais de projeto usando o Sketchup.
b) FORGUES, D. et. al (2012)	Comprova que a adoção da estimativa de custos baseada em BIM permite um processo de entrega de projetos mais rápido, econômico, com maior qualidade, controle e previsibilidade para o proprietário.
c) GERBER, D. et. al (2012)	Apresenta uma solução parcial para o problema de ponderação dos fatores construtivos sobre custo, cujo processo é impossível sem computação. Percebeu-se que o lucro do edifício usado como exemplo aumenta enquanto a altura do piso e o volume são alterados.
d) MONTEIRO, A.; MARTINS, J.P. (2013)	Identifica um <i>workflow</i> do elemento a ser modelado para fim de orçamentação. Identifica limitações das ferramentas para a modelagem para orçamentação de vários sistemas construtivos no Archicad.
e) ELBELTAGI, E. et. al (2014)	Apresenta e testa um modelo de estimativa e monitoramento de custos atrelado ao BIM.
f) WOOD, J.; PANUWATWANICH, K. (2014)	A ferramenta permitiu aos usuários uma referência para avaliar o desempenho econômico de uma estrutura projeto. Também deu uma indicação de onde o custo do projeto provavelmente chegará e quanto o design precisa ser refinado para chegar lá.
g) ISMAIL, N.A.A. et. al (2015)	Sumarização dos principais fatores que influenciam a estimativa de custo em 6 categorias. As entrevistas ratificaram o resultado da revisão da literatura sobre os fatores que influenciam o custo.
h) JUNGSIK, C. et. al (2015)	Os métodos aplicados foram úteis para aumentar a precisão em QTO e também para verificar a qualidade no modelo IFC.
i) TAIHAIRAN, R.B.R.; ISMAIL, Z. (2015)	Foi indicado que informações insuficientes relacionadas ao projeto, má comunicação entre equipe de projeto e complexidade do projeto e construção são os três fatores que mais influenciaram negativamente a precisão de estimativas de custo.

Quadro 6 – Principais resultados da 1ª RSL (continuação)

Texto	Principais resultados
j) MORAES, A.F.S. et. al (2016)	Identifica índices e variáveis de projeto da fase de projeto do produto, e sua influência no custo do projeto. Esses índices e variáveis foram comparados; padronizou-se as diferentes nomenclaturas de diferentes autores para o mesmo indicador; e agrupou-se em três classificações: índices de planos horizontais, índices verticais e níveis de qualidade das soluções adotadas.
k) RAMAJI, I. J. et. al (2018)	<i>Framework</i> de estimativa de custo baseado em LOD que usa padrões de modelagem de informações abertas para lidar com ineficiências em diferentes LODs da estimativa de custo.
l) GHAZARYAN, M.(2019)	Identificou várias barreiras para a incorporação da tecnologia BIM para estimativa de custos.
m) HONG, Y. et. al (2019)	O estudo de caso sugere que o LOD 300 resulta em mais economia de custos quando for implantar BIM em uma empresa
n) ZANNI, M. et al (2019)	Realiza a análise de programas indicados para a orçamentação do ciclo de vida do projeto
o) KATKE, S.S. (2020)	Percebeu-se que os quantitativos eram fáceis de obter a partir do modelo. Tornou o processo de tomada de decisão mais preciso e mais rápido.
p) LEE, J. et al (2020)	Os resultados da estimativa de custo obtiveram alta precisão quando comparados ao custo real. É possível considerar o ciclo de vida dos sistemas na estimativa de custo.
q) COSTA, G.M. el. al (2021)	Comprovou-se na prática que a tecnologia BIM contribui significativamente para a gestão de projetos, possibilitando grande economia nos custos de construção e no custo da casa em estudo.
r) FELISBERTO, A.D. et. al (2021)	Aplicou a metodologia ao modelo BIM de uma casa multifamiliar, edifício residencial e um CRAS.
s) MONTEIRO, F.P. et al (2021)	Confirmou que os desvios de custo dependem mais de aspectos particulares de cada projeto do que características gerais, apesar da relação estatisticamente significativa positiva entre número de pisos subterrâneos e os desvios de custo.
t) MIRANDA, S.L.C. et. al (2022)	Técnicas analíticas preditivas são apropriadas para a prática projetual devido ao seu alto nível de precisão.
u) YANG, S.W. et. al (2022)	A validação do modelo confirmou maior precisão do que o modelo convencional baseado em área útil, chegando a superar a faixa de precisão pretendida. Comprovou também que outros parâmetros além da área útil precisam ser considerados para a estimativa do custo na fase inicial de um projeto.

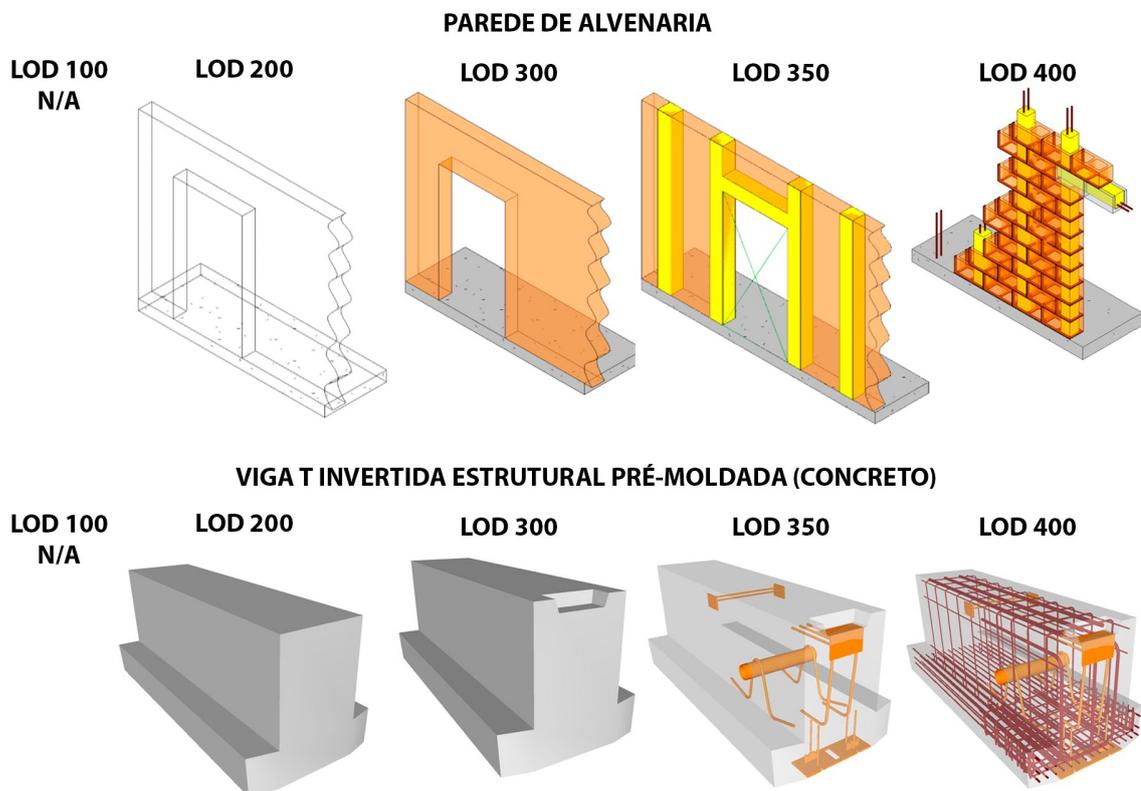
Fonte: a autora.

A partir desse quadro foi possível perceber que dos 21 textos, 10 apresentam a proposição de um artefato (ferramenta/ *framework*). Identifica-se então uma tendência dos estudos a realizar sínteses de artefatos e suas posteriores avaliações, mais do que análises teóricas ou estudos de casos sobre os temas em questão. Essa tendência pode significar que a relação BIM, custo e projeto arquitetônico já se encontra consolidada no campo conceitual,

mas não no campo prático. Assim, cabe questionar o porquê de tantos artefatos estarem sendo desenvolvidos, mas sem sucesso em sua difusão no campo da prática de projeto. Para responder, é preciso recorrer ao terceiro resultado desta RSL: a identificação das limitações dos artefatos propostos. De acordo com o que foi analisado em cada texto, percebeu-se que a ausência de testes em projetos reais e as limitações de escala das ferramentas em questão são os principais problemas que impactam na difusão de suas aplicações.

Um quarto resultado obtido por esta RSL foi a compilação dos parâmetros que mais afetam o custo dos projetos arquitetônicos de acordo com os trabalhos levantados. Em complemento, utilizando como referência o Fórum BIM (2020), as informações detalhadas no documento para descrever cada LOD foram associadas com os parâmetros projetuais listados. Essa referência foi escolhida por se tratar de um documento recente, bem completo e elaborado com a participação de diversos órgãos internacionais especialistas em BIM, entre eles AIA, AGC e DBIA. Nele a definição dos LODs de 100 a 500 é caracterizada para diversos sistemas construtivos (fundações rasas e profundas, alvenarias de vedação, lajes estruturais....) e também exemplificada por imagens (Figura 11).

Figura 11 – Exemplos de classificações de LOD



Fonte: Fórum BIM, 2020.

De acordo com o Quadro 7 é possível perceber que diversas informações relevantes para o custo podem ser extraídas ainda em estágios iniciais de projeto. Além disso, muitos itens

se repetem em diversos autores, mesmo que não estejam listados sob o mesmo nome, confirmando a relevância desses parâmetros. Esses parâmetros listados de acordo com cada autor presente na RSL estão detalhados no APÊNDICE B.

Quadro 7 – Parâmetros de projeto que mais influenciam o custo, associados ao LOD necessário

LOD 100	LOD 200	LOD 300/350	LOD 400	LOD 500
Forma	Área de paisagismo	Quantidade de elementos	Tipo de acabamentos externos	Custo unitário por elemento
Tamanho	Quantidade de paredes internas e divisórias	Tipo de elementos	Quantidade de acabamentos externos	Custo unitário por material
Volume	Espessura da parede	Detalhamentos	Tipo de acabamento de piso	Fôrmas
Volume de espaço	Tipo de paredes	Acabamentos	Quantidade de acabamento de piso	Movimentação de terra
Orientação	Definições de esquadrias	Revestimentos	Tipo de acabamento de teto	Custo de mão de obra
Zonas	Quantidade de esquadrias	Tipo de material	Quantidade de acabamento de teto	Índice de espaciosidade plano horizontal
Perímetro	Tipo de esquadrias	Quantidade de materiais	Pavimentação	Índice de configuração plano vertical
Área térreo	Tipo de "envelopes"	Texturas	-	Área nominal
Área interna	Elementos de concreto	Cores	-	Índice de qualificação da configuração interna
Área útil	Definições de estrutura	Reforços	-	Índice de qualificação da configuração externa
Área bruta de piso	Tipo de superestrutura	Tubos e cabos	-	Índice de qualificação da configuração espacial
Área de construção	Quantidade de superestrutura	Densidade das paredes	-	Índice de qualidade geométrica
Área de sítio	Tipo de escadas e rampas	Nº de segmentos de parede	-	Índice de qualidade nominal
Nº pisos subterrâneos	Quantidade de escadas e rampas	Nº de junções duplas	-	-
Perímetro paredes externas	Quantidade de fundações	Definições de sistema hidráulico	-	-

Quadro 7 – Parâmetros de projeto que mais influenciam o custo, associados ao LOD necessário (continuação)

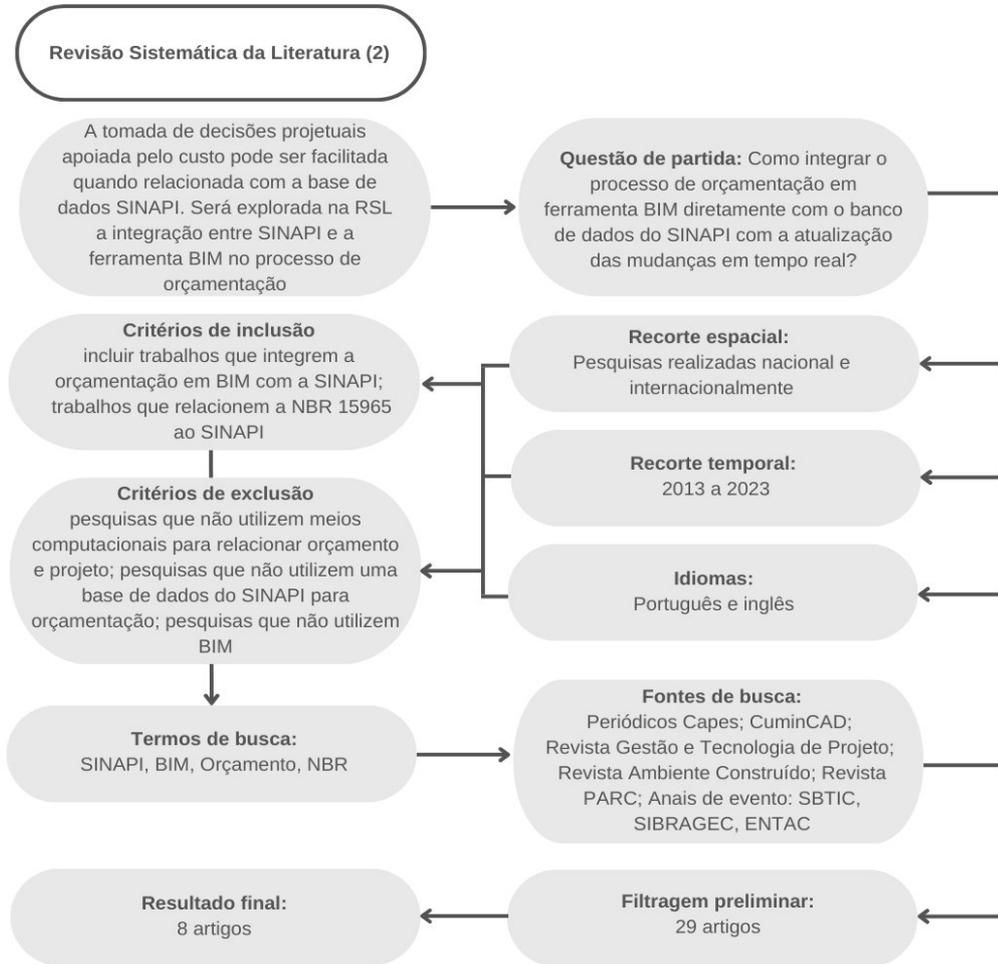
LOD 100	LOD 200	LOD 300/350	LOD 400	LOD 500
Nº de andares	Tipo de fundações	Definições de sistema elétrico	-	-
Nº de andares com pilotis	Quantidade de telhado	Volume de concreto na estrutura	-	-
Nº de unidades	Tipo de telhado	Nº de elevadores	-	-
Nº de unidades por andar	Nº máx. vagas estacionamento	-	-	-
Comprimento da base de um lado do volume	Índice de aproveitamento da área de uso comum nos pavimentos de garagem	-	-	-
Altura do andar	-	-	-	-
Compacidade	-	-	-	-
Índice de aproveitamento de áreas de uso comum em relação às áreas privativas	-	-	-	-
Índice de aproveitamento de área de uso comum no pavimento tipo	-	-	-	-
Índice de compacidade da forma geométrica do pavimento tipo	-	-	-	-

Fonte: a autora.

Em relação à 2ª RSL realizada (Figura 12), o intuito foi investigar, na literatura, a possibilidade de integrar o processo de orçamentação em ferramenta BIM diretamente com o banco de dados do SINAPI, possibilitando atualizações, tanto do modelo quanto do banco de dados, integradas e em tempo real. Buscou-se essa associação tendo em vista que o SINAPI é, atualmente, a base de referência para os cálculos de custo global das obras públicas de arquitetura e engenharia em todo o país. Portanto, para qualquer projeto de construção civil no cenário brasileiro, essa integração se mostraria benéfica, e conseqüentemente esta pesquisa teria muito a contribuir caso já fosse possível trabalhar com a visualização da informação de custo a partir desta integração. Outro ponto inserido nessa revisão sistemática foi a NBR 15965,

referente ao sistema de classificação da informação da construção, uma vez que essa norma procura padronizar os códigos, termos e classificações de itens utilizados nos projetos.

Figura 12 – Diagrama síntese do protocolo da 2ª RSL



Fonte: a autora.

Nesse sentido, os resultados obtidos a partir desta revisão sistemática da literatura apontaram que, atualmente, a correspondência entre as nomenclaturas dos itens de projeto segundo a NBR 15965, o SINAPI e as ferramentas BIM não é plenamente satisfatória, ainda que a CEF, órgão responsável pelo SINAPI, esteja trabalhando constantemente para solucionar essa questão. Além das classificações e nomenclaturas serem diferentes entre si, esbarrou-se também na questão de não ser possível ainda a integração entre *softwares* BIM e bancos de dados externos de forma eficiente, a exemplo do Archicad. Segundo a Graphisoft (2006), para criar essa integração seria necessário programar um complemento ao código fonte do *software* a fim de estabelecer uma conexão coerente com um banco de dados externo. Devido a esses entraves, justifica-se a ausência da conexão entre esses 3 pontos nesta pesquisa, uma vez que não cabe em seu escopo resolver essa lacuna.

3.3 Síntese conclusiva

A síntese conclusiva deste capítulo é a proposição de um modelo conceitual (APÊNDICE C). Esse modelo conceitual foi construído com o intuito de interligar vários tópicos distintos que precisam ser considerados simultaneamente no decorrer desse trabalho. Para a construção do modelo conceitual foram considerados cinco aspectos principais, com o objetivo de relacioná-los, a saber: 1. parâmetros projetuais que mais impactam no custo associados à RSL; 2. critérios de quantificação desse parâmetros projetuais, baseados no SINAPI; 3. parâmetros do modelo de informação BIM associados aos parâmetros de projeto listados anteriormente e 4. LOD requerido para extração desse parâmetros a partir do modelo.

Em relação ao primeiro aspecto, parâmetros da construção, buscou-se agrupar estes parâmetros em categorias, tendo como base os cadernos de composições de custos do SINAPI. A conexão seguinte foi traçada a partir dos critérios de quantificação utilizados pelo SINAPI para cada parâmetro da construção identificado. O objetivo foi detectar quais as métricas das informações necessárias a serem extraídas do modelo BIM, a fim de que determinado parâmetro projetual possa ser quantificado. A base de dados do SINAPI foi escolhida por ser a principal referência para os cálculos de custo global das obras públicas de arquitetura e engenharia em todo o país. Nesse processo foi constatado que não há unanimidade sobre o que deve ser quantificado ou não em um projeto arquitetônico, assim alguns parâmetros mencionados pela bibliografia não puderam ser associados, um a um, a um critério de quantificação específico, por não constarem na base de dados. Buscou-se atribuir, portanto, critérios de quantificação mais abrangentes, priorizando a divisão em categorias do que um parâmetro específico.

Tendo a informação de quais são os critérios de quantificação, segundo o SINAPI, para os parâmetros da construção listados, é possível partir para a unidade de extração desses dados do modelo BIM. Desse modo, foram identificados também quais os parâmetros do modelo BIM, em específico do *software* Archicad, podem ser utilizados para obter a quantificação desses itens. Por último, buscou-se relacionar a partir de qual LOD é possível obter essas informações com base na modelagem.

4 SUGESTÃO

4.1 Framework

Inicialmente, é importante definir que para esse trabalho, o *framework* desenvolvido está sendo entendido como uma estrutura conceitual para servir de base à construção da ferramenta de apoio à tomada de decisão projetual. Segundo Wood et. al (2014, p. 546), “o desenvolvimento do *framework* para utilizar o BIM na estimativa de custos de projetos estruturais gira em torno de dois conceitos-chave: informações de materiais de um modelo BIM e informações de custos de um banco de dados externo”.

Iniciou-se a construção do *framework* pela investigação desse segundo conceito-chave – informações de custos de um banco de dados externo. Essa investigação foi conduzida de forma exploratória, tentando relacionar um banco de dados externo ao modelo BIM. O banco de dados escolhido foi o do SINAPI, constituído por preços de insumos e de custos de composições de serviços, atualizados mês a mês, para cada estado do país. A escolha desse banco de dados se deu por se tratar da maior referência nacional para a construção civil em termos de pesquisa de preço, tratamento dos dados, formação e divulgação dos índices da construção civil.

Já em relação ao *software* BIM utilizado, optou-se pelo Archicad, por ter melhor desempenho nos computadores utilizados em relação ao Revit, por exemplo. Os arquivos do Archicad ficavam mais leves, o *software* apresentou melhor performance e travou menos, além disso, é preciso destacar também que a maioria dos *softwares* já existentes para estimativa de custo em projeto arquitetônico se integra com o Revit, gerando uma lacuna em relação ao Archicad, o que é produtivo em relação à contribuição prática deste trabalho. Ainda sim, tentando reduzir as barreiras entre *softwares*, buscou-se trabalhar também com modelos IFC (Industry Foundation Classes), um formato de troca de dados utilizado para importação e exportação eficientes de elementos 3D e dados não geométricos relacionados, que funciona independentemente do aplicativo usado para criar o modelo (Graphisoft, 2021).

Como já mencionado, realizou-se uma revisão sistemática da literatura para identificar na bibliografia se e como essa integração entre BIM e banco de dados externo já havia sido feita, focando principalmente em resultados relacionados ao SINAPI e Archicad. Nessa RSL buscou-se identificar também conexões entre as tabelas do SINAPI, a norma NBR 15965 e *softwares* BIM, entretanto, conforme dito anteriormente, a partir dos oito estudos

primários identificados concluiu-se que não há ainda uma integração plena entre SINAPI, NBR 15965 e ferramentas BIM, além da integração de banco de dados externos com o Archicad ainda não ser possível de forma produtiva, como esclarecido no tópico 3.2.

A partir disso, foram feitos testes práticos, a fim de comprovar o que foi encontrado na bibliografia, nos quais buscou-se importar as tabelas do SINAPI para o Archicad. Esse método funcionou apenas quando uma tabela foi importada para ser visualizada na planta, em 2D, atuando como uma imagem com linhas e letras. Porém as tabelas do SINAPI não puderam ser importadas como um mapa de elementos do próprio Archicad, uma vez que neste *software*, seus mapas estão vinculados aos elementos, com características e propriedades específicas, enquanto as tabelas do SINAPI não estão organizadas no mesmo formato, portanto não foi possível a importação e exportação conforme os critérios do Archicad. Faz-se necessário destacar ainda que cada base de dados BIM é estruturada de acordo com seu próprio sistema de classificação (Monteiro e Martins, 2013), variando ainda para cada *software*. Entretanto, apesar da conexão entre um banco de dados externo e o Archicad não ter sido possível, a versão final da ferramenta proposta corrige essa condição por meio do Grasshopper, no qual é possível inserir bancos de dados externos e extrair deles informações.

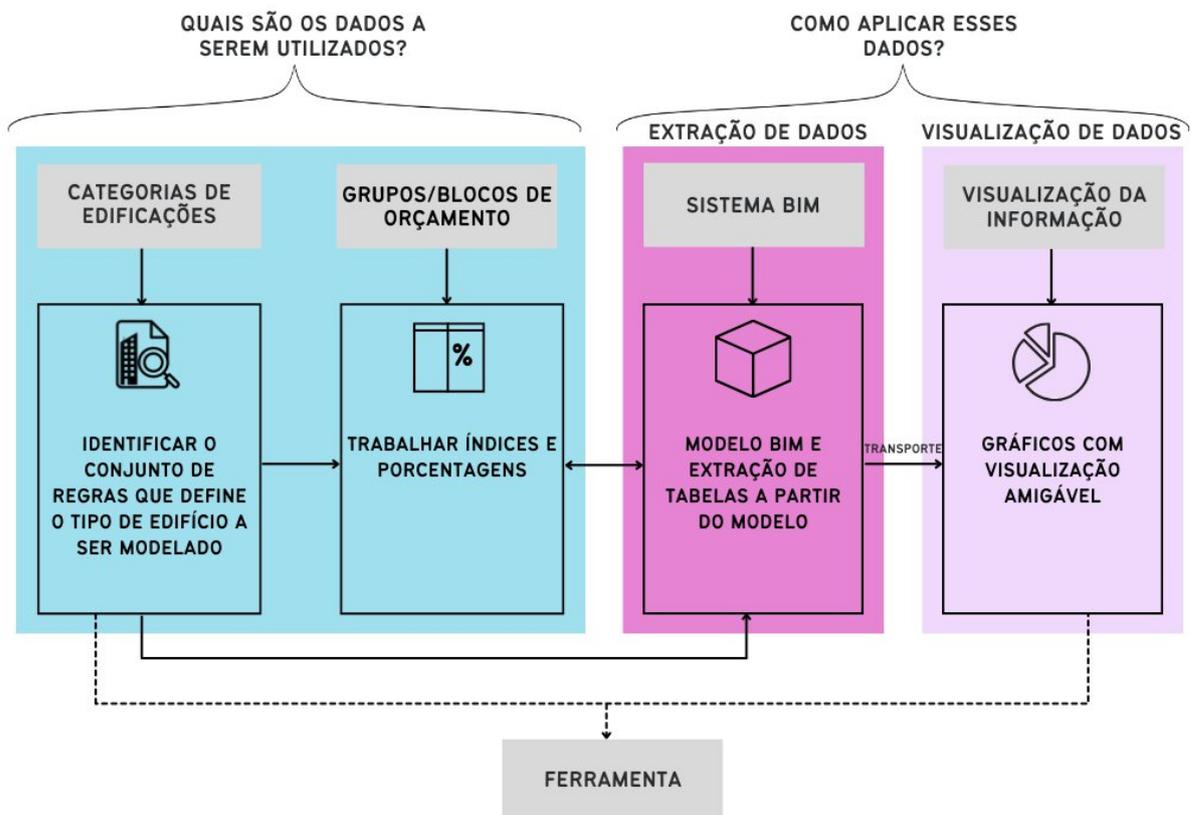
É importante enfatizar também que cada elemento do Archicad tem propriedades diferentes, que não são compatíveis com as descrições da SINAPI, portanto para trabalhar com a integração Archicad e SINAPI, o caminho identificado seria criar uma biblioteca de itens no Archicad a partir dos itens SINAPI, e organizá-las em templates próprios, para que as tabelas produzidas no *software* estivessem de acordo com as descrições e características dos itens do banco de dados. Esse processo é demorado, além de ter validade apenas para conjuntos específicos de itens criados, e já ter sido desenvolvido em outros trabalhos identificados na bibliografia. Assim, não cabe no escopo desta pesquisa desenvolver bibliotecas BIM, uma vez que a compatibilização entre o BIM e um banco de dados externo seria mais amplo e vantajoso do que criar bibliotecas específicas para cada tipo de projeto.

A partir desses resultados, realizou-se a investigação do segundo conceito-chave: informações de materiais de um modelo BIM. Para essa pesquisa, o termo “materiais” foi ampliado, buscou-se ir além de definições de superfícies, dilatando-o para acolher informações do modelo BIM no geral. Levando isso em consideração, e retomando o objetivo da ferramenta a ser desenvolvida – apoiar a tomada de decisão do arquiteto no processo de projeto – concluiu-se que para trabalhar com informações do modelo BIM são necessárias três etapas: a primeira sendo a extração de dados do modelo, a segunda o transporte desses dados para uma interface

que permita transformá-los em informação, e a terceira organizar essas informações em uma visualização amigável que apoie a tomada de decisão do arquiteto.

Para cumprir essas três etapas determinou-se um passo a passo: 1) definir qual o conjunto de regras que o modelo BIM deve ter como base para ser modelado (tipologia, sistemas construtivos, programa de necessidades, área mínima...); 2) identificar quais blocos/categorias de orçamento serão analisados a partir desse modelo BIM e quais índices e porcentagens se referem a cada um deles; 3) desenvolver o modelo BIM propriamente dito, englobando os itens de estimativa de custo identificados na etapa anterior e, por fim, 4) organizar essas informações em uma visualização amigável que apoie a tomada de decisão do arquiteto. Esse passo a passo apresenta uma ordem linear, porém é preciso destacar que a definição do conjunto de regras (passo 1) impacta diretamente no desenvolvimento do modelo (passo 3) e, quanto aos blocos/categorias de orçamento (passo 2), é necessário existir uma retroalimentação entre eles e o modelo em si (passo 3), de modo que à medida que o modelo evolua, haja atualizações também nas estimativas de custo. Desse modo, unindo os resultados obtidos a partir da investigação dos dois conceitos-chaves listados por Wood et. al (2014), foi produzido um diagrama esquemático do *framework* a ser seguido para orientar o desenvolvimento da ferramenta proposta nesta pesquisa (Figura 13).

Figura 13 – Diagrama *framework*



Fonte: a autora.

A partir do *framework* elaborado, deu-se início à construção da ferramenta, que será detalhada na seção seguinte.

4.2 Proposição de índices de custo para projeto residencial baixo padrão

Conforme o *framework* apresentado na seção anterior, o processo de construção da ferramenta foi introduzido pela fase de definir qual o conjunto de regras que o modelo BIM deve ter como base para ser modelado (tipologia, sistemas construtivos, programa de necessidades, área mínima...). A etapa posterior foi identificar quais blocos/categorias de orçamento deveriam ser analisados a partir desse modelo BIM e quais índices e porcentagens se referem a cada um deles. Em seguida, o modelo BIM propriamente dito foi desenvolvido, englobando os itens de estimativa de custo identificados na etapa anterior e, por fim, essas informações foram organizadas em uma visualização amigável a fim de apoiar a tomada de decisão do arquiteto e/ou projetista. Nessa seção serão explicados os processos relativos ao desenvolvimento do modelo BIM e à identificação de blocos/categorias de orçamento e seus respectivos índices e porcentagens.

4.2.1 O modelo BIM

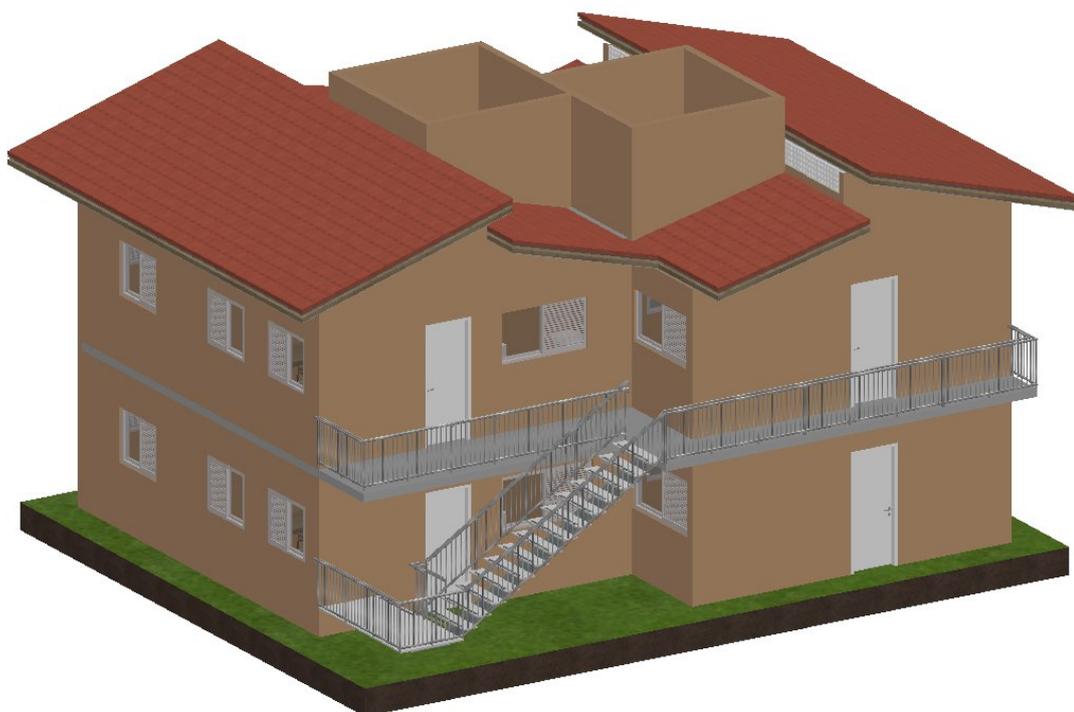
Inicialmente, optou-se pela tipologia residencial, por se tratar de uma demanda constante e de extrema relevância no cenário brasileiro, além de possuir uma área de estudos consolidada, com normas, referências bibliográficas e bases de dados para estimativas de custos confiáveis e estabilizadas. Dentro da tipologia residencial, foi feito um recorte em edificações de até 2 pavimentos e de baixo padrão, com o intuito de restringir o escopo do modelo, uma vez que o foco da ferramenta é a análise da estimativa de custos no projeto arquitetônico, e não o processo de projeto em si.

Já a escolha dos sistemas construtivos a serem modelados teve como referência Mascaró (1998), considerando seus dados sobre a participação de cada sistema construtivo, em porcentagem, no custo total de uma edificação residencial, para tipologia residencial de até 2 pavimentos e de baixo padrão (Tabela 1). Desse modo, foram selecionados os cinco sistemas que mais impactam o custo total, são eles, respectivamente: alvenarias, cobertura, fundações, estrutura e aberturas (Mascaró, 1998, p.139).

Em relação ao programa de necessidades, a base teórica foi a NBR 12721:2006, de avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios, que estipula as características principais dos projetos-padrão para as tipologias residencial e comercial, entre elas o programa de necessidades e suas áreas mínimas.

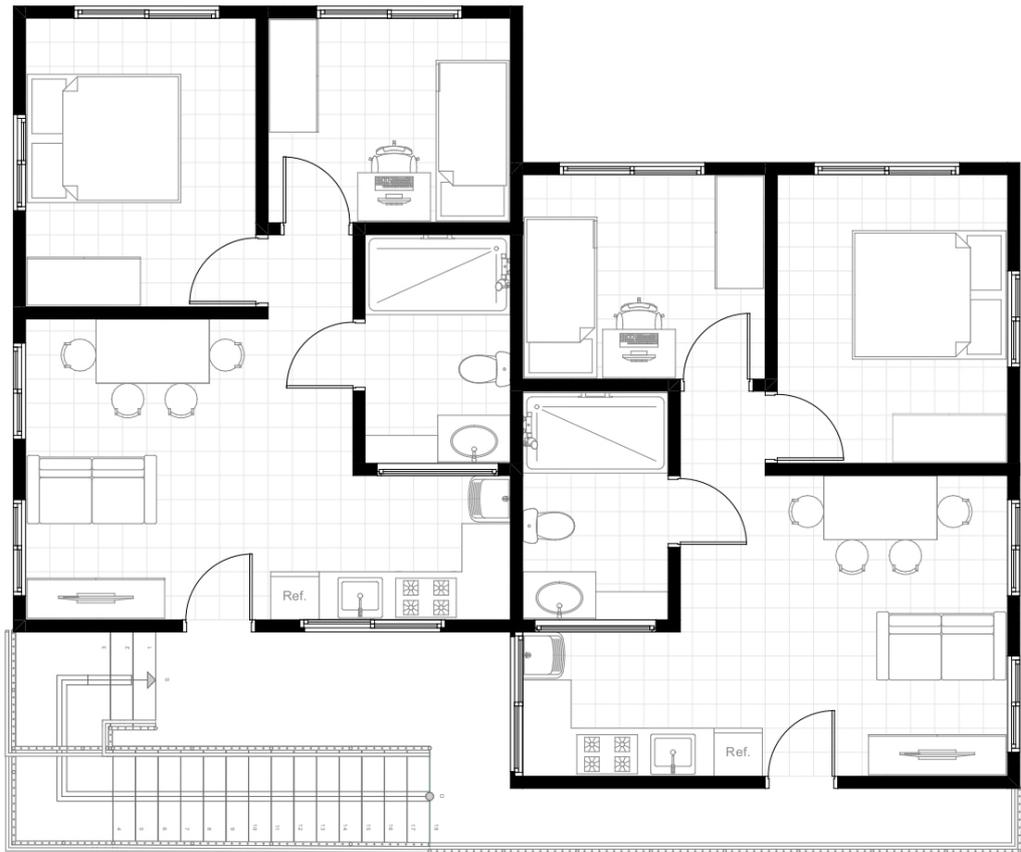
Isso posto, o modelo BIM utilizado para os testes iniciais foi um bloco habitacional de dois pavimentos (térreo mais 1), com quatro residências, baixo padrão (Figura 14), desenvolvido em trabalhos prévios da autora (Barcelos, 2021). Cada residência é composta por dois quartos, sala de estar/jantar, banheiro e cozinha, tendo aproximadamente 45 m² de área (Figura 15). Essa escolha considerou o tempo disponível e o nível de desenvolvimento desejado para esse processo exploratório até a construção e teste da ferramenta em si. O projeto em questão possui um programa de necessidades pequeno, o que otimiza o tempo e esforço para os testes, além de já ter sido elaborado no contexto de análise de estimativas de custos de projeto, pela autora.

Figura 14 – Modelo BIM utilizado para exploração de *softwares* e *plugins* de visualização da informação de custos para projeto arquitetônico



Fonte: a autora.

Figura 15 – Planta baixa do edifício



Fonte: a autora.

4.2.2 Grupos ou blocos de orçamento

Antes de visualizar as informações de custo do modelo BIM, é necessário obtê-las. Nesse sentido, o modelo BIM adotado para os testes exploratórios teve sua estimativa de custos organizada em duas etapas: a primeira foi o custo por área, em m², e a segunda o custo por sistema construtivo.

O custo por área foi calculado multiplicando o valor do CUB relativo à tipologia escolhida – projeto residencial padrão baixo – no mês e estado em questão, pela área do ambiente, pelo índice de equivalência do ambiente. Esse índice de equivalência foi calculado da seguinte forma: a tabela abaixo (Tabela 1) mostra a participação de alguns elementos construtivos principais, em porcentagem, no custo total de uma edificação residencial. Desse modo, uma residência com até 2 pavimentos, de padrão simples, como é o caso do projeto apresentado neste trabalho, por exemplo, terá cerca de 20% do seu custo atrelado às alvenarias, sendo o item mais relevante para a composição de custos do projeto.

Tabela 1 – Participação de cada sistema construtivo (em %) no custo total de uma edificação residencial, com destaque em cinza para a tipologia utilizada.

Elemento	Edifício		Casa térrea/ Sobrado	
	Padrão médio com elevador	Padrão simples sem elevador	Padrão médio	Padrão simples
Instalações provisórias	2,60	2,82	3,00	4,10
Fundações	5,00	6,55	6,40	9,99
Alvenarias	8,00	10,95	11,80	19,95
Estrutura	18,00	17,45	7,10	8,39
Telhado	2,50	5,91	9,52	10,81
Instalações elétrica e telefônica	7,10	6,62	6,68	5,26
Instalações sanitárias e de gás	8,40	8,12	8,40	6,55
Pisos	6,84	6,55	6,50	5,15
Aparelhos sanitários	4,38	4,30	4,40	4,30
Aberturas	8,55	8,20	10,45	7,35
Revestimentos internos	9,50	8,28	9,50	6,93
Revestimentos externos	6,36	6,10	6,80	4,65
Pintura	5,48	5,02	5,55	3,44
Vidros	1,42	1,54	1,70	1,78
Acabamentos e outros	1,42	1,59	1,80	1,35
Elevador	4,45	-	-	-

Fonte: Mascaró, 1998, p. 139.

A partir desses dados, foi feita uma análise, considerando-se quais dos sistemas listados na tabela são previstos para cada ambiente da residência proposta. Em seguida, foram atribuídos diferentes pesos para cada sistema, de acordo com a proporção em que se espera que

ele seja aplicado (ou não) em cada ambiente. Nesse contexto têm-se que a habitação sugerida apresenta 3 zonas principais:

- Dormitórios
- Sala de Estar/Refeição
- Banheiro/cozinha/área de tanque (áreas molhadas internas)

Utilizando a título de exemplo as instalações elétrica e telefônica, sabe-se que nem todos os ambientes possuem tais instalações. Sendo assim, foi necessário atribuir pesos diferentes aos espaços citados, baseando-se na quantidade de instalações elétricas e telefônicas que existem em cada um deles. Caso as quantidades fossem iguais, a porcentagem relativa ao custo total seria dividida pelos 3 ambientes igualmente, resultando em uma porcentagem individual de aproximadamente 1,75%. Nessa situação, porém, isso não ocorre.

Para que fosse atribuído apenas valores inteiros aos ambientes, a porcentagem total do item (5,26%) foi dividida por 5, de modo que os dormitórios tiveram peso 2, a sala de estar e de jantar da mesma forma, e por fim as áreas molhadas internas tiveram peso 1 por contar com menos instalações desse tipo que os outros espaços (o banheiro, por exemplo, não terá instalação telefônica). Na tabela abaixo (Tabela 2), o sistema de cores utilizado indica quais ambientes possuem peso 2, por meio da cor verde, peso 1, por meio da cor amarela, e peso 0, por meio da cor vermelha.

Tabela 2 – Índices por ambiente relativos ao custo total de uma edificação residencial

Sistemas	Dormitório	Sala estar/ Jantar	WC/ Cozinha	Máscaró (%)	Soma
Instalações Provisórias	1,37	1,37	1,37	4,10	4,10
Fundações	3,33	3,33	3,33	9,99	9,99
Alvenarias	6,65	6,65	6,65	19,95	19,95
Estrutura	2,80	2,80	2,80	8,39	8,39
Telhado	3,60	3,60	3,60	10,81	10,81
Instalações elétrica e telefônica	2,10	2,10	1,05	5,26	5,26
Instalações sanitárias e gás	0	0	6,55	6,55	6,55

Tabela 2 – Índices por ambiente relativos ao custo total de uma edificação residencial
(continuação)

Sistemas	Dormitório	Sala estar/ Jantar	WC/ Cozinha	Máscaró (%)	Soma
Pisos	1,72	1,72	1,72	5,15	5,15
Aparelhos sanitários	0	0	4,30	4,30	4,30
Aberturas	2,45	2,45	2,45	7,35	7,35
Revestimentos internos	0	0	6,93	6,93	6,93
Revestimentos externos	1,55	1,55	1,55	4,65	4,65
Pintura	1,72	1,72	0	3,44	3,44
Vidros	0,71	0,71	0,36	1,78	1,78
Acabamentos e outros	0	0	1,35	1,35	1,35
	Conversão (%) Índice Ambientes				Beiral (índice fixo)
	28,00	28,00	44,00	% Ambientes	0,7
	100			% Soma	
	0,84	0,84	1,32	Índice	

Fonte: Desenvolvido pela autora com base em dados de Máscaró (1998), 2021.

Após a realização desse processo para cada sistema da construção, foi feito o somatório das porcentagens de cada ambiente, resultando na porcentagem total que se estima para cada um deles dentro do custo final da habitação. De acordo com esses cálculos obteve-se que: os dormitórios serão responsáveis por 28,00% do valor da construção, a sala de estar e jantar por mais 28,00%, e cozinha, banheiro e área de tanque, as áreas molhadas internas, por 44,00%, totalizando 100% do valor.

A etapa seguinte dos cálculos consistiu, então, em transformar essas porcentagens obtidas em índices por ambiente. Se 100% do custo final corresponde às 3 zonas juntas, cada porcentagem individual obtida irá equivaler a um índice x. Caso todas as zonas da casa tivessem

a mesma porcentagem no custo, teria-se 100% dividido igualmente por 3, resultando em 33,33% e um índice individual de 1,00, visto que cada zona seria contada uma vez no custo final.

Entretanto, como o trabalho considerou pesos diferentes, em função da análise dos sistemas construtivos presentes para cada ambiente, os percentuais apresentaram variação, resultando proporcionalmente nos seguintes índices: os dormitórios apresentam índice 0,84 a sala de estar e jantar 0,84; o banheiro, a cozinha e a área de tanque 1,32. Para o beiral foi aplicado um índice fixo de 0,70, utilizando como base os coeficientes médios por área de projeto padrão dispostos na NBR 12721:2006, de avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios.

Para obter o custo por sistemas construtivos, o primeiro passo foi definir quais materiais seriam empregados. Essa definição veio a partir da NBR 12721:2006, nela são sugeridos, entre outras informações, os materiais a serem utilizados para as tipologias e padrões de edificações lá dispostos. Desse modo, a tipologia em que o modelo desenvolvido se encaixa é residencial baixo padrão, e a partir disso, foram listados os materiais sugeridos a serem utilizados nos sistemas construtivos presentes no modelo BIM, e a partir do SINAPI foram identificados quais os serviços necessários para compor o sistema construtivo em questão e seus respectivos custos unitários (Quadro 8).

Quadro 8 – Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado

Sistema construtivo	NBR 12721 materiais padrão baixo	Serviço SINAPI	Critério de medição SINAPI	Custo unitário SINAPI	Código SINAPI	Parâmetro Archicad
ALVENARIA	Bloco cerâmico para alvenaria de vedação 9 cm x 19 cm x 19 cm	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na horizontal de 9x19x19 cm (espessura 9 cm) e argamassa de assentamento com preparo em betoneira	m ²	R\$ 78,71	103328	Área de superfície externa da parede líquida (Parâmetro de Parede)
		Fixação (encunhamento) de alvenaria de vedação com argamassa aplicada com bisnaga	m	R\$ 10,71	93200	Comprimento da parede na face externa (Parâmetro de Parede)

Quadro 8 – Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado (continuação)

Sistema construtivo	NBR 12721 materiais padrão baixo	Serviço SINAPI	Critério de medição SINAPI	Custo unitário SINAPI	Código SINAPI	Parâmetro Archicad
FUNDAÇÃO	Não entra na norma.	Execução de radier, espessura de 15 cm, fck = 30 mpa, com uso de formas em madeira serrada	m ²	203,75	97102	Área da Superfície do Topo da Laje (Condicional) (Parâmetro Geral)
ESTRUTURA	Cimento CP-32 II	Laje pré-moldada unidirecional, biapoiada, para piso, enchimento em cerâmica, vigota convencional, altura total da laje (enchimento+capa) = (8+4)	m ²	R\$ 175,28	101963	Área da Superfície do Topo (Líquida) (Parâmetro Geral)
		Laje pré-moldada unidirecional, biapoiada, para forro, enchimento em cerâmica, vigota convencional, altura total da laje (enchimento+capa) = (8+3)		R\$ 163,74	101964	
	Chapa compensado plastificado 18 mm 2,20 x 1,10 m	Montagem e desmontagem de fôrma de pilares retangulares e estruturas similares, pé-direito simples, em madeira serrada, 4 utilizações	m ²	R\$ 106,28	92413	Volume líquido (Parâmetro Geral)
		Montagem e desmontagem de fôrma de viga, escoramento com pontalete de madeira, pé-direito simples, em madeira serrada, 4 utilizações.		R\$ 160,70	92448	

Quadro 8 – Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado (continuação)

Sistema construtivo	NBR 12721 materiais padrão baixo	Serviço SINAPI	Critério de medição SINAPI	Custo unitário SINAPI	Código SINAPI	Parâmetro Archicad
ESTRUTURA	Concreto fck= 25 MPa abatimento 5±1cm,. br. 1 e 2 pré-dosado	Concretagem de pilares, fck = 25 mpa, com uso de grua - lançamento, adensamento e acabamento.	m ³	R\$ 650,29	103671	Volume líquido (Parâmetro Geral)
		Concretagem de vigas e lajes, fck=25 mpa, para lajes premoldadas com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento		R\$ 628,13	103674	
	Aço CA-50 Ø 10 mm	Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 10,0 mm - montagem	kg	R\$ 11,38	92762	
ESQUADRIA PORTA	Madeira, semi-oca, com 3,5 cm de espessura, sem pintura de acabamento. Batente de ferro para pintura esmalte.	Porta de madeira para pintura, semi-oca (leve ou média), 90x210CM	un	422,43	90823	Quantidade (Parâmetro Geral)
ESQUADRIA JANELA	Janela de correr tamanho 1,20 m x 1,20 m em 2 folhas, em perfil de chapa de ferro dobrada nº 20, com tratamento em fundo anticorrosivo	Janela de alumínio de correr com 2 folhas para vidros e persiana integrada, com vidros, batente, acabamento com acetato ou brilhante e ferragens	m ²	490,05	94570	Área da Superfície da Abertura no Lado Oposto ao Requadro da J/P

Quadro 8 – Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado (continuação)

Sistema construtivo	NBR 12721 materiais padrão baixo	Serviço SINAPI	Critério de medição SINAPI	Custo unitário SINAPI	Código SINAPI	Parâmetro Archicad
COBERTURA	Telha fibrocimento ondulada 6 mm 2,44 x 1,10 m	Telhamento com telha ondulada de fibrocimento e = 6 mm, com recobrimento lateral de 1/4 de onda para telhado com inclinação maior que 10°, com até 2 águas, incluso içamento	m ²	R\$ 59,33	94207	Área (Parâmetro Geral)
		Trama de madeira composta por terças para telhados de até 2 águas para telha ondulada de fibrocimento, metálica, plástica ou termoacústica		R\$ 21,69	92543	Área (Parâmetro Geral)
		Fabricação e instalação de pontaletes de madeira não aparelhada para telhados com até 2 águas e com telha ondulada de fibrocimento, alumínio ou plástica em edifício residencial de múltiplos pavimentos, incluso transporte vertical		R\$ 23,51	100383	Área (Parâmetro Geral)
		Cumeeira para telha de fibrocimento ondulada e = 6 mm, incluso acessórios de fixação e içamento		R\$ 102,00	94223	Comprimento da cumeeira (Parâmetro Cobertura)

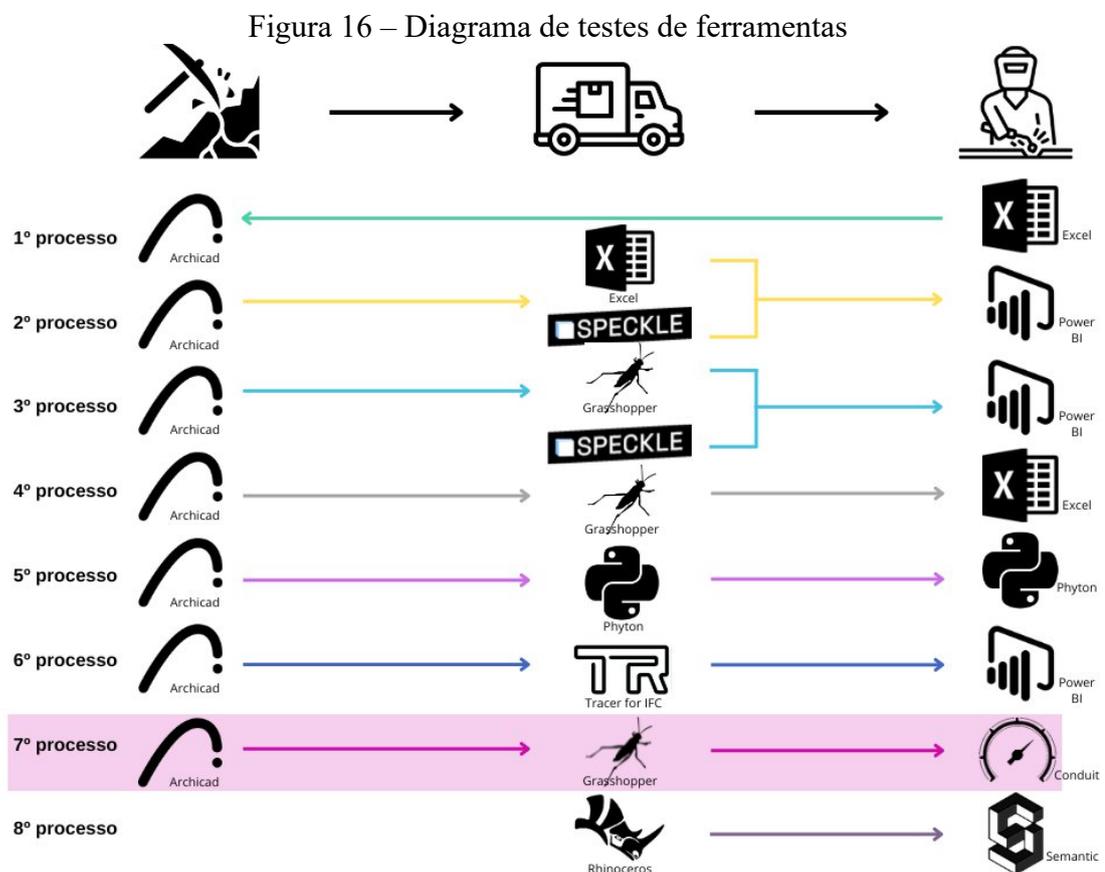
Fonte: a autora.

A partir da síntese destas informações, foi possível partir para a etapa de visualização.

4.3 Análise de dispositivos e instrumentos para visualização de custo em projeto arquitetônico

A fim de encontrar uma alternativa adequada para a visualização das informações de estimativa de custo, foi feita uma exploração de vários *softwares* e *plugins*. A análise desses dispositivos buscou avaliá-los sob seis aspectos: função, se o código estava aberto ou fechado, interoperabilidade, visualização em tempo real, valor da licença e principais fragilidades (APÊNDICE D). Agregou-se ainda uma breve descrição do processo de teste de cada uma delas. Essa análise também auxiliou a organizar o processo exploratório aplicado e teve como subproduto um quadro síntese (Quadro 9), no qual é possível visualizar pontos chaves de cada ferramenta testada.

Nesse sentido, foram concebidas algumas hipóteses de ferramentas a serem aplicadas e também de como esses testes exploratórios com elas poderiam funcionar (Figura 16).

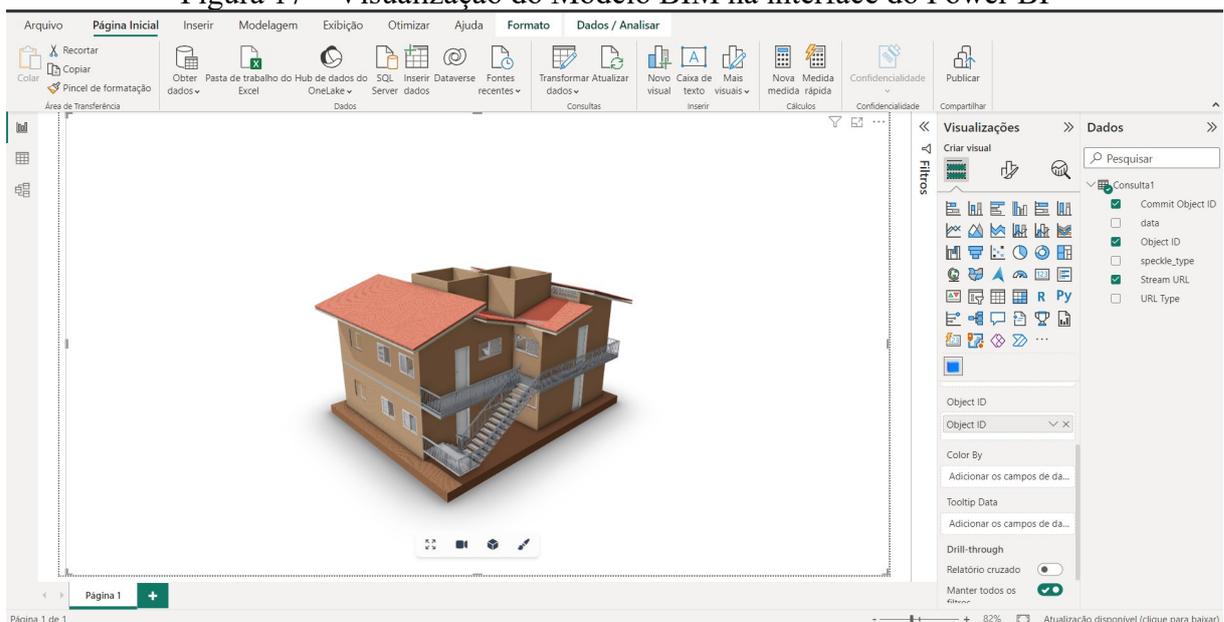


Fonte: a autora.

Cada uma das ferramentas testadas entrou como parte de uma cadeia que deveria interligar modelagem 3D, extração de dados do modelo e visualização desses dados. No diagrama acima, o primeiro processo se refere à tentativa de exportar bancos de dados externos para dentro do Archicad. O teste foi realizado com o banco de dados do SINAPI, porém como já mencionado previamente, não houve resultados positivos, isso porque não existe correspondência entre o formato de organização de dados entre Archicad e SINAPI. Só seria possível criar alguma correspondência se a planilha do SINAPI fosse reproduzida manualmente no Archicad, porém esse procedimento, além de longo e repetitivo, não cabe no escopo deste trabalho.

O segundo processo diz respeito à tentativa de integrar Archicad, Excel e Power BI. Nesse caso, o Excel faria o papel de organizador dos dados extraídos do modelo BIM. Na prática, os mapas de estimativa de custos produzidos no Archicad a partir do modelo BIM foram exportados manualmente em formato .xlsx e buscou-se utilizar o Power BI para transformar essas tabelas em gráficos. Nesse contexto, foi testado o *plugin* Speckle, que atua como um gerenciador e conector de outros *softwares*, com o intuito de interligar esses 3 *softwares*. O Speckle foi usado para permitir a visualização do modelo produzido em Archicad, dentro do Power BI (Figura 17), entretanto para isso foi preciso importar manualmente o arquivo em formato .pln e, posteriormente, abri-lo no Power BI, perdendo assim a integração em tempo real.

Figura 17 – Visualização do Modelo BIM na interface do Power BI

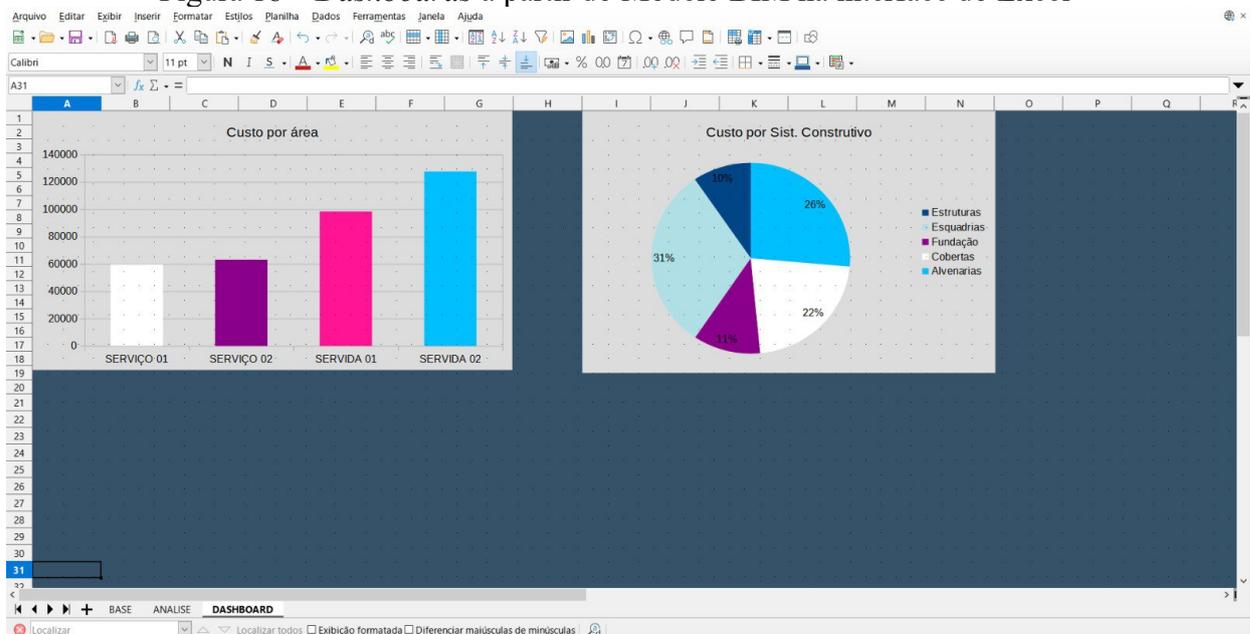


Fonte: a autora.

Nesse contexto, o *plugin* Speckle também foi utilizado para o terceiro processo. Neste, o objetivo foi conectar Archicad, Grasshopper e Power BI, seguindo a mesma cadeia mencionada anteriormente – modelagem 3D, extração de dados do modelo e visualização desses dados. Supôs-se que seria possível ligar os 3 *softwares* simultaneamente, porém na prática, verificou-se que o processo não poderia acontecer desta maneira, uma vez que a conexão entre Rhinoceros/Grasshopper e Power BI não seria em tempo real, e sim dependendo de importar e exportar arquivos em diferentes formatos, assim como o exemplo anterior. Identificada essa fragilidade no *plugin*, optou-se por deixar o Speckle fora do processo já que sem a conexão em tempo real, a velocidade de *feedback* entre os *softwares* e, conseqüentemente a velocidade para a tomada de decisões em projeto, seria comprometida.

O quarto processo teve o objetivo de relacionar Archicad, Grasshopper e Excel. Nesse caso, o Excel funcionaria como ferramenta para visualização dos dados, uma vez que é um *software* amplamente difundido, e isso poderia ser uma vantagem para o usuário da ferramenta, já que ele poderia manusear todos os *softwares* envolvidos sem grandes dificuldades. Entretanto, percebeu-se que o Grasshopper era uma etapa desnecessária no processo e a visualização de dados poderia passar diretamente do Archicad para o Excel (Figura 18). Tendo isso em vista, buscou-se uma maneira de automatizar o transporte dos dados do modelo BIM para o Excel, sem necessariamente utilizar importação e exportação manualmente.

Figura 18 – *Dashboards* a partir do Modelo BIM na interface do Excel



Fonte: a autora.

Buscando a automatização desse transporte de dados, foi testado um *script* em Python fornecido pela Graphisoft, “Excel File Exporter” (Figura 19), para exportação de propriedades de elementos do Archicad para o Excel, no formato de planilhas. Primeiro, foi elaborado um mapa com informações de custo do modelo BIM, em Archicad, e em seguida buscou-se exportá-lo para o Excel a partir desse código, com o intuito de usar o Excel na etapa de visualização de dados. Porém, para que esse código atendesse ao objetivo da ferramenta desenvolvida por essa pesquisa – conexão em tempo real entre modelo BIM e visualização de dados – foi preciso alterá-lo para que o mapa produzido em Archicad pudesse ser exportado continuamente para o Excel, sem que houvesse necessidade de interferência manual.

Para isso, foram feitas alterações no *script* para extrair propriedades de todos os sistemas construtivos do modelo BIM a ser analisado e também para criar um arquivo intermediário em Excel que fosse continuamente atualizado a partir desse modelo BIM. Isso porque todas as vezes que o modelo fosse atualizado, seria necessário salvar novamente o arquivo final em Excel com o mesmo nome, sobrepondo as informações anteriores no arquivo, o que apagaria a possibilidade de comparar análises de gráficos e tabelas de versões anteriores.

A hipótese testada com o auxílio desse código foi que, se o arquiteto/usuário da ferramenta for capaz de fornecer um *template* do Archicad com as propriedades pré-configuradas de acordo com o que ele pretende aplicar no projeto, um *script* em Python para que as informações de custo desse modelo ficassem sendo automaticamente atualizadas a partir do modelo em um arquivo intermediário, e um outro arquivo final em Excel com as informações mais atualizadas do modelo, seria possível automatizar o processo e a visualização de dados poderia ser elaborada a partir do próprio Excel. Os resultados gerados a partir desse processo exploratório, entretanto, não confirmaram a hipótese, uma vez que a transformação do arquivo intermediário em arquivo final, no Excel, demandou uma interferência manual, impedindo a automatização. Ademais, apesar do código ter funcionado para a maior parte do processo, ainda seria necessário que o usuário tivesse conhecimento não só em Archicad, para gerar o modelo, mas também em Python e Excel.

Figura 19 – Código em Phyton para exportação de arquivos para Excel

```

|from archicad import ACConnection, handle_dependencies
|from typing import List
|import os, sys

|handle_dependencies('openpyxl')

|from openpyxl import Workbook

|conn = ACConnection.connect()
|assert conn

|acc = conn.commands
|act = conn.types
|acu = conn.utilities

|scriptFolder = os.path.dirname(os.path.realpath(__file__))

|##### CONFIGURATION #####
|for worksheetTitlesAndElements = {
|    "Beams": acc.GetElementsByType("Beam"),
|    "Walls": acc.GetElementsByType("Wall")
|    "BASE": acc.GetElementsByClassification("all")
|}
|propertyUserIds = [
|    act.BuiltInParameterId("General_ElementID"),
|    act.BuiltInParameterId("General_Height"),
|    act.BuiltInParameterId("General_Width"),
|    act.BuiltInParameterId("General_Thickness")
|]
|outputFolder = scriptFolder
|outputFileName = "excel_loop.xlsx"
|#####

|def AutoFitWorksheetColumns(ws):
|    for columnCells in ws.columns:
|        length = max(len(str(cell.value)) for cell in columnCells)
|        ws.column_dimensions[columnCells[0].column_letter].width = length

|def PrintWorksheetContent(ws):
|    for columnCells in ws.columns:
|        for cell in columnCells:
|            print(f"{ws.title}!{cell.column_letter}{cell.row}={cell.value}")

|def FillExcelWorksheetWithPropertyValuesOfElements(ws, propertyIds: List[act.PropertyIdArrayItem], elements: List[act.ElementIdArrayItem]):
|    propertyValuesDictionary = acu.GetPropertyValuesDictionary(elements, propertyIds)
|    propertyDefinitionsDictionary = dict(zip(propertyIds, acc.GetDetailsOfProperties(propertyIds)))

|    ws.cell(row=2, column=1).value = "Element Guid"
|    row = 3
|    for element, valuesDictionary in propertyValuesDictionary.items():
|        ws.cell(row=row, column=1).value = str(element.elementId.guid)
|        column = 2
|        for propertyId, propertyValue in valuesDictionary.items():
|            if row == 3:
|                ws.cell(row=1, column=column).value = str(propertyId.propertyId.guid)
|                propertyDefinition = propertyDefinitionsDictionary[propertyId].propertyDefinition
|                ws.cell(row=2, column=column).value = f"{propertyDefinition.group.name} / {propertyDefinition.name}"
|            ws.cell(row=row, column=column).value = propertyValue
|            column += 1
|        row += 1

|    AutoFitWorksheetColumns(ws)
|    PrintWorksheetContent(ws)

|propertyIds = acc.GetPropertyIds(propertyUserIds)
|wb = Workbook()
|ws = wb.active

|i = 0
|for title, elements in worksheetTitlesAndElements.items():
|    if i == 0:
|        ws.title = title
|    else:
|        ws = wb.create_sheet(title)
|        FillExcelWorksheetWithPropertyValuesOfElements(ws, propertyIds, elements)
|    i += 1

|excelFilePath = os.path.join(outputFolder, outputFileName)
|wb.save(excelFilePath)
|acu.OpenFile(excelFilePath)

|if os.path.exists(excelFilePath):
|    print("Saved Excel")

```

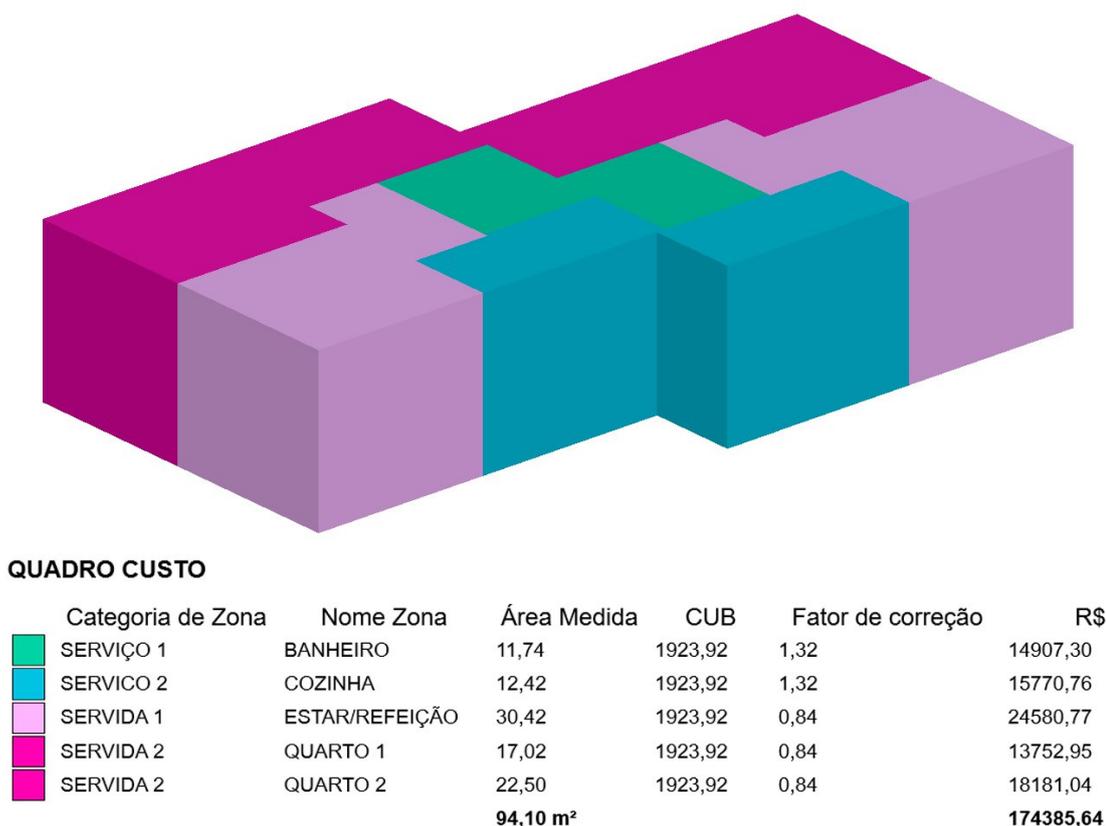
Fonte: a autora.

Desse modo, o quinto processo consistiu em utilizar Phyton para exportar automaticamente os mapas do Archicad em formato .xlsx e também gerar gráficos para visualização das informações de custo de um modelo, atuando, desse modo, tanto na extração

de dados do modelo, quanto na visualização da informação, reduzindo a quantidade de *softwares*/dispositivos aplicados em relação ao processo anterior.

O código desenvolvido utilizou como base um arquivo do Archicad no qual o modelo continha apenas zonas dos ambientes de uma residência de baixo padrão e o objetivo era identificar a porcentagem do custo por ambiente em relação ao custo total da edificação. Esse recorte foi definido por ser pequeno e, conseqüentemente, tornar o processo mais simples, já que se tratava apenas de um teste inicial para a ferramenta. Nesse arquivo foi desenvolvido um mapa de zonas, posteriormente exportado como uma tabela para o Excel com as categorias das zonas (serviço, servida ou externa), o nome do ambiente, a área, um valor de CUB como exemplo, o índice de correção do CUB por ambiente e, por fim, o custo final da zona (Figura 20).

Figura 20 – Mapa de zonas criado como exemplo

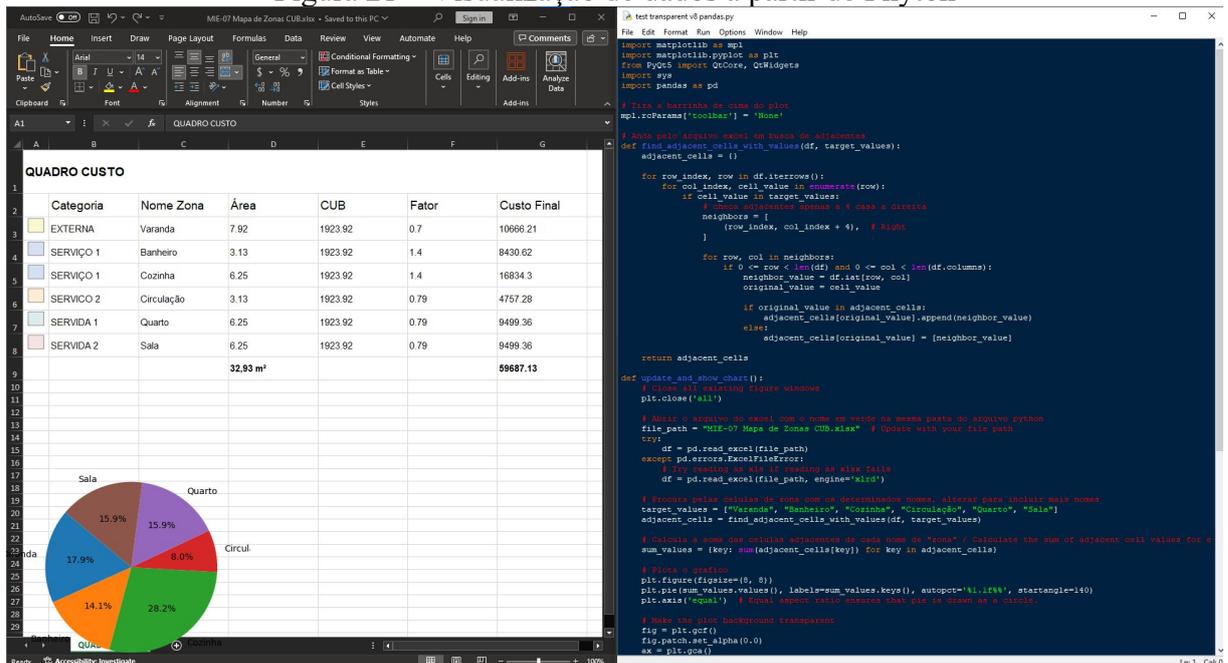


Fonte: a autora.

Tendo como base essa tabela em Excel, o primeiro passo do código foi importar a biblioteca Matplotlib, para criar visualizações estáticas, animadas e interativas nessa linguagem de programação. Essa biblioteca pode ser baixada e importada automaticamente no Python, por meio do gerenciador de pacotes *pip*, basta executar o comando e o gerenciador instalará

Matplotlib e todos os pacotes dos quais ele depende. Posteriormente, o *script* orientava que fossem identificadas quais células da planilha em Excel eram adjacentes umas às outras, depois identificava em que coluna estava o nome das zonas, e a partir desta identificação, o código deveria extrair os valores da quarta coluna seguinte aos nomes (de custo final) e verificar se esse valor era diferente de zero. Em seguida, o código deveria calcular a soma da coluna de custo final, e determinar a porcentagem que cada célula representava sobre o total. Depois destas etapas realizadas, o código foi direcionado para a visualização dessas informações: primeiro deveria plotar o gráfico em formato circular (gráfico de pizza); depois deveria tornar o fundo do gráfico transparente, e colocá-lo sempre à frente de qualquer janela do computador, a fim de que pudesse ser sobreposto à interface do Archicad sem cobrir o modelo BIM; em seguida determinou-se o tamanho do gráfico e onde seria sua origem; por fim, estipulou-se um tempo de dois segundos para que esse gráfico fosse atualizado automaticamente de acordo com a tabela disposta em Excel (Figura 21).

Figura 21 – Visualização de dados a partir de Phyton



Fonte: a autora.

Como resultados, não foi possível a partir do Phyton automatizar o processo de exportação dos mapas de elementos do Archicad para o Excel, mas foram percebidos resultados positivos quanto à visualização de dados. Entretanto, o uso de Phyton exige que o usuário da ferramenta tenha conhecimento básico em programação, o que pode comprometer a usabilidade.

Nesse sentido, partiu-se para para o teste de três ferramentas desenvolvidas pela mesma empresa, Proving Ground, responsável por aplicativos que interligam *softwares*. A ideia foi seguir a partir de algo pronto, com a usabilidade já estabelecida. O sexto processo foi, portanto, o *plugin* Tracer for IFC, com o objetivo que ele pudesse atuar como ferramenta para a visualização de dados, uma vez que ele converte arquivos IFC para uma base de dados, a qual pode se conectar com o Power BI e utilizar essa interface para a visualização em si. Entretanto, foram identificados dois principais entraves para sua aplicação na pesquisa: o primeiro é que o *plugin* não foi capaz de conectar o *software* de modelagem ao de visualização de dados em tempo real, ou seja, novamente deveria haver importações e exportações manuais, quebrando o fluxo do projeto. O segundo é um curto período de teste gratuito e um alto investimento para obtenção de licença, impossibilitando que os testes com ele fossem adiante.

No sétimo processo foi aplicado o *plugin* Conduit, que cria *widgets* para visualização de dados no Rhinoceros. Supôs-se que ele deveria ser aplicado como um possível substituto para o Power BI, mantendo o Archicad para o desenvolvimento dos modelos 3D e o Grasshopper para a extração de dados desse modelo. Foi percebido que esse *plugin* funcionou bem para a visualização de dados a partir do Grasshopper: obteve-se a conexão em tempo real entre Archicad, Grasshopper e Conduit, ou seja, tudo que foi modificado no modelo BIM refletiu-se nos gráficos para visualização da informação de custo desenvolvidos. Assim, para o desenvolvimento da ferramenta de visualização de custos, optou-se por usá-lo.

Por último, no oitavo processo, foi utilizado o *plugin* Semantic, no qual é possível criar propriedades e inserir informações no Rhinoceros, as quais são atualizadas de acordo com as mudanças da modelagem. Por exemplo, seria possível criar uma propriedade de custo da área de piso dentro da modelagem no Rhinoceros. Porém, como nesta pesquisa optou-se por utilizar modelagem em BIM, dadas as justificativas apresentadas no capítulo 1, e nesse caso as propriedades e informações do projeto já estão parametrizadas dentro do próprio modelo, esse *plugin* se mostrou desnecessário ao objetivo do trabalho. Esses *softwares* e *plugins* foram sintetizados no Quadro 9, juntamente com outros dispositivos semelhantes que, apesar de não terem sido testados nesta pesquisa, se mostraram relevantes ao tema aqui abordado.

Quadro 9 – Análise de dispositivos e instrumentos para visualização da informação de custo

Dispositivo	Função	Interoperabilidade	Visualização em tempo real	Fragilidades
Excel	Foi utilizado para organização de dados e visualização da informação	Archicad	<input type="checkbox"/>	Sem conexão em tempo real, necessita exportar/importar arquivos
Script Python	Utilizado para extração de dados e visualização da informação	Excel, Grasshopper	<input type="checkbox"/>	Necessidade de conhecimentos prévios em programação
Speckle	Colaboração em tempo real, gerenciamento de dados, controle de versão e automação.	Archicad, Rhinoceros, Grasshopper	<input type="checkbox"/>	Sem conexão simultânea, precisa importar/exportar
Conduit	Permite que os designers criem visualizações de dados personalizadas, painéis e heads-up displays (HUDs) que são atualizados com suas ferramentas de design computacional e modelos paramétricos	Grasshopper	<input checked="" type="checkbox"/>	Não foram encontradas formas de puxar os mapas do Archicad direto para o Grasshopper, sendo preciso criá-los novamente sob uma interface menos amigável; Alguns elementos não são identificados pelo Grasshopper para extração de dados, como escadas, por exemplo.
Tracer for IFC	Extrai dados de modelos IFC e inclui recursos visuais 2D e 3D para Microsoft Power BI, criando visualizações interativas do BIM para dashboards e apresentações	Archicad, Revit, Tekla, Power BI	<input type="checkbox"/>	Sem conexão simultânea, precisa importar/exportar
Semantic	<i>Plugin</i> de design baseado em dados para Rhino 3D. Os usuários podem criar propriedades de objetos personalizadas e criar relatórios com sua interface simples	Rhinoceros	<input checked="" type="checkbox"/>	Não apresenta gráficos, apenas interage com a modelagem e oferece tabelas

Quadro 9 – Análise de dispositivos e instrumentos para visualização da informação de custo (continuação)

Dispositivo	Função	Interoperabilidade	Visualização em tempo real	Fragilidades
Spacio.ai	Ferramenta <i>Web</i> para simulações e análise de performance a partir da modelagem do edifício, seja em outra ferramenta, ou no próprio Spacio	BIM Rhinoceros SketchUp	<input checked="" type="checkbox"/>	Sem conexão simultânea, precisa importar/exportar Não avalia custos
Digital Blue Foam	Ferramenta para colaboração online e uso de inteligência artificial para design generativo	Archicad, Revit	<input checked="" type="checkbox"/>	Está na versão Beta, oferece uma demonstração por 7 dias, mas não foi lançado oficialmente
5D Estimating Pack Contrabim	Oferece templates de quantitativos detalhados; é possível importar propriedades, importar templates, designar elementos, publicar e atualizar o Excel	BIM, Excel	<input type="checkbox"/>	Valor elevado, sem <i>trial</i>
Vico Office 5D	<i>Software</i> para orçamentação e gestão de obras	BIM, AutoCAD, SketchUp, Rhinoceros	<input type="checkbox"/>	Sem conexão simultânea, precisa importar/exportar; parou de ser vendido
OrçaBIM	<i>Plugin</i> para a extração automática de quantitativos de projetos em BIM	Revit; bancos de dados de custo diversos	<input checked="" type="checkbox"/>	Visualização dos dados de custo apenas em tabelas
Arquimedes	<i>Software</i> para orçamentação e gestão de obras. Fornece mapa de quantidades, orçamentos, caderno de encargos, plano de trabalho, cronograma físico-financeiro, relatórios de curva "ABC" e gráficos de curva "S".	Revit; bancos de dados de custo diversos	<input type="checkbox"/>	Sem conexão simultânea, precisa importar/exportar; Visualização dos dados de custo apenas em tabelas
DESTINI Estimator	<i>Software</i> para orçamentação e gestão de obras	Revit; Power BI; bancos de dados de custo diversos	<input type="checkbox"/>	Sem conexão simultânea, precisa importar/exportar

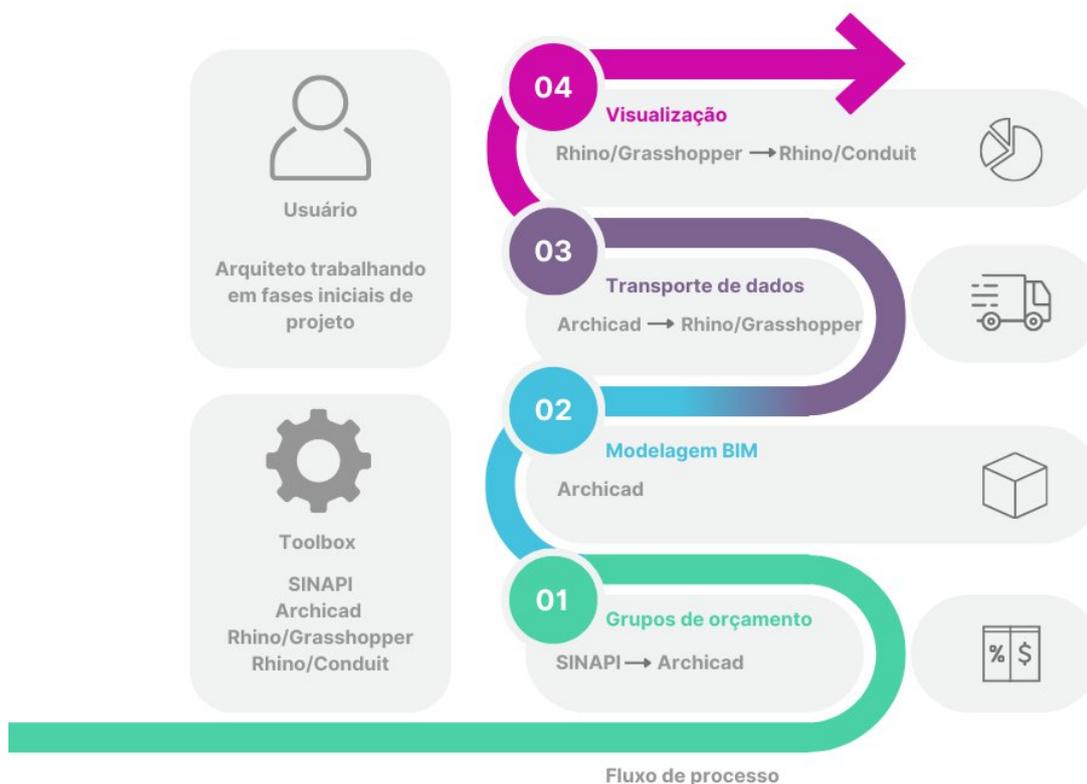
Fonte: a autora.

As três ferramentas identificadas na sequência – Spacio.ai, Digital Blue Foam e 5D Estimating Pack Contrabim – que são de análise de performance de edifícios em geral e não são focadas em custos, de modo que nos três casos não foram identificadas contribuições que abrangessem o que está sendo investigado nesta pesquisa. Por fim, foram apontadas mais quatro ferramentas – Vico Office 5D, OrçaBIM, Arquimedes e DESTINI Estimator. No caso da primeira, não foi possível testá-la pois suas demonstrações e vendas foram descontinuadas. No caso das três restantes, tratam-se de plataformas que buscam integrar várias etapas de orçamentação em um único espaço: bancos de dados de custos, planilhas de quantitativos, gráficos de informações de valores, entre outras funcionalidades. Para o *plugin* OrçaBIM a principal limitação encontrada foi a restrição à visualização de informações de custo de projeto apenas em tabelas e para as outras duas ferramentas, esbarrou-se novamente na ausência de conexão simultânea entre projeto e estimativa de custos, de modo que o projeto precisa ser exportado de um software de modelagem e importado no software de orçamentação, quebrando o fluxo projetual. Infelizmente, não foi possível utilizar nenhuma delas, pois versões de teste não estavam disponíveis e as versões comerciais demandavam um investimento inicial muito alto para compra, porém foram agregadas à análise de dispositivos ainda assim, uma vez que se relacionam ao tema abordado nessa pesquisa e podem ser englobadas em pesquisas futuras.

5 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

A ferramenta proposta neste trabalho tem como usuário-alvo o arquiteto, trabalhando em fases iniciais de projeto. A interface é composta pelo uso das ferramentas Archicad, para modelagem do projeto, Rhinoceros/Grasshopper, para extração dos dados de custos a partir do modelo, e Rhinoceros/Conduit para visualização dos dados (Figura 22). Como dito anteriormente, para desenvolver essa ferramenta foi utilizado como base o modelo BIM de um módulo habitacional de baixo padrão, e a partir dele extraídos seus quantitativos para fundações, alvenarias, estruturas, cobertura e esquadrias. É importante destacar que, embora os testes iniciais com os possíveis *softwares* e *plugins* a serem utilizados para compor a ferramenta tenham sido feitos com um modelo 3D de um bloco de 4 habitações divididas em 2 pavimentos, as experiências de ensino, o grupo focal e as melhorias realizadas na ferramenta a partir de ambos, foram realizadas tendo como base uma residência térrea, de até 40 m², composta por 1 sala de estar/jantar, 1 cozinha/lavanderia, 1 quarto e 1 banheiro. Essa configuração foi determinada a partir da NBR 12721:2006, utilizando como base as características principais estabelecidas para os projetos-padrão de residência popular (RP1Q). Essa redução no escopo se deu a fim de otimizar o tempo e o escopo dos testes, uma vez que demandava menor poder computacional e menos tempo para a aplicação das atividades com os alunos. Portanto, a partir deste tópico, as imagens e resultados relacionados ao algoritmo utilizarão o modelo dessa tipologia como base.

Figura 22 - Diagrama síntese da ferramenta

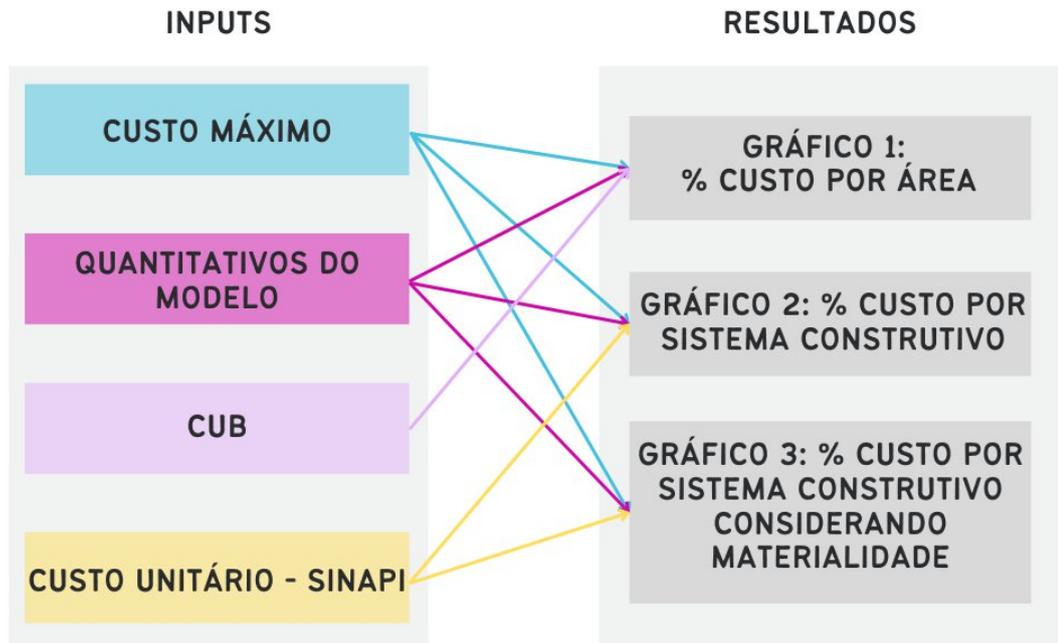


Fonte: a autora.

A visualização das informações de custo do projeto foram organizadas nesta ferramenta no formato de três gráficos. Esses gráficos produzidos atuam com informações de três LOD: 100, 200 e 300. Cada um dos gráficos apresenta uma estimativa de custo para o modelo BIM em cada um dos níveis de desenvolvimento.

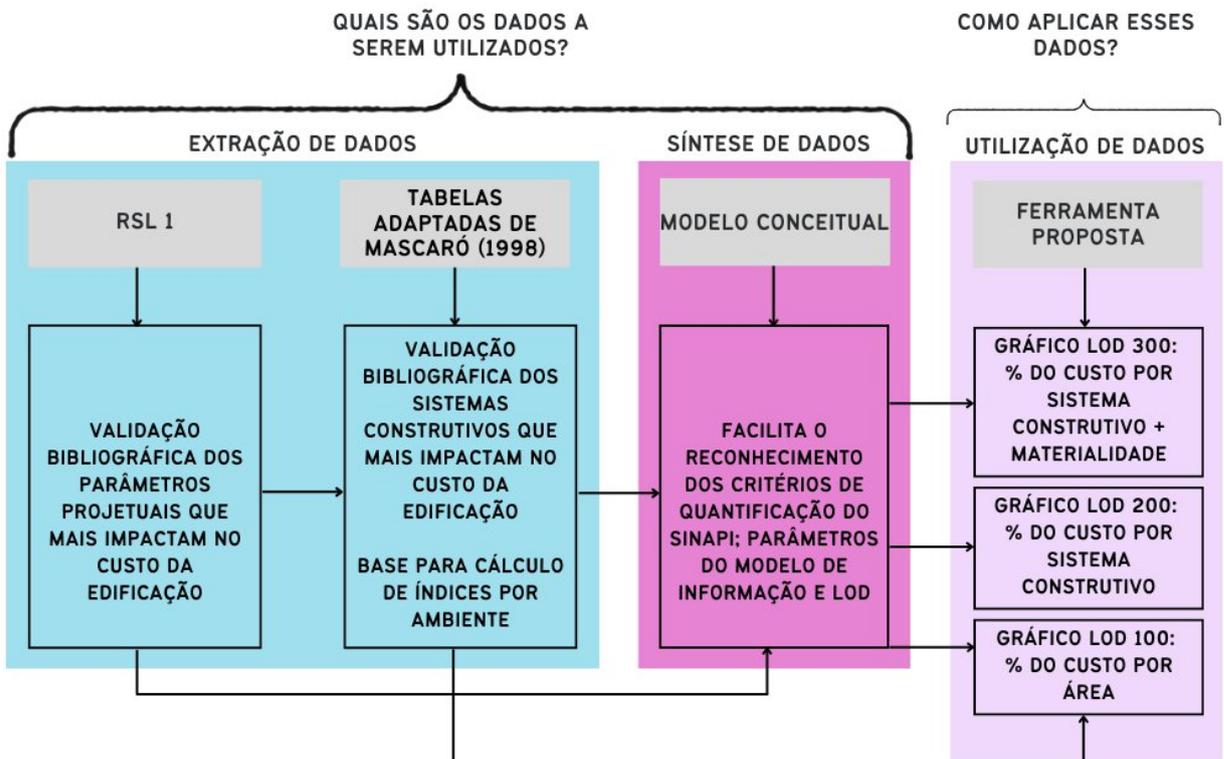
Inicialmente, foi elaborada uma expressão diagramática do que o algoritmo deveria conter (Figura 23) e à medida que a pesquisa foi avançando, o algoritmo foi sendo desenvolvido sobre esse esboço. Buscou-se ainda explicitar de forma visual a conexão o aporte teórico e a ferramenta proposta, em específico entre 1. a primeira RSL realizada, sobre parâmetros de projeto que mais afetam o custo; 2. os índices de custo propostos com base nas tabelas de Mascaró (1998); 3. o modelo conceitual e 4. os gráficos apresentados pela ferramenta (Figura 24).

Figura 23 - Diagrama síntese da tradução de dados em informação



Fonte: a autora.

Figura 24 - Diagrama síntese da conexão entre aporte teórico e a ferramenta



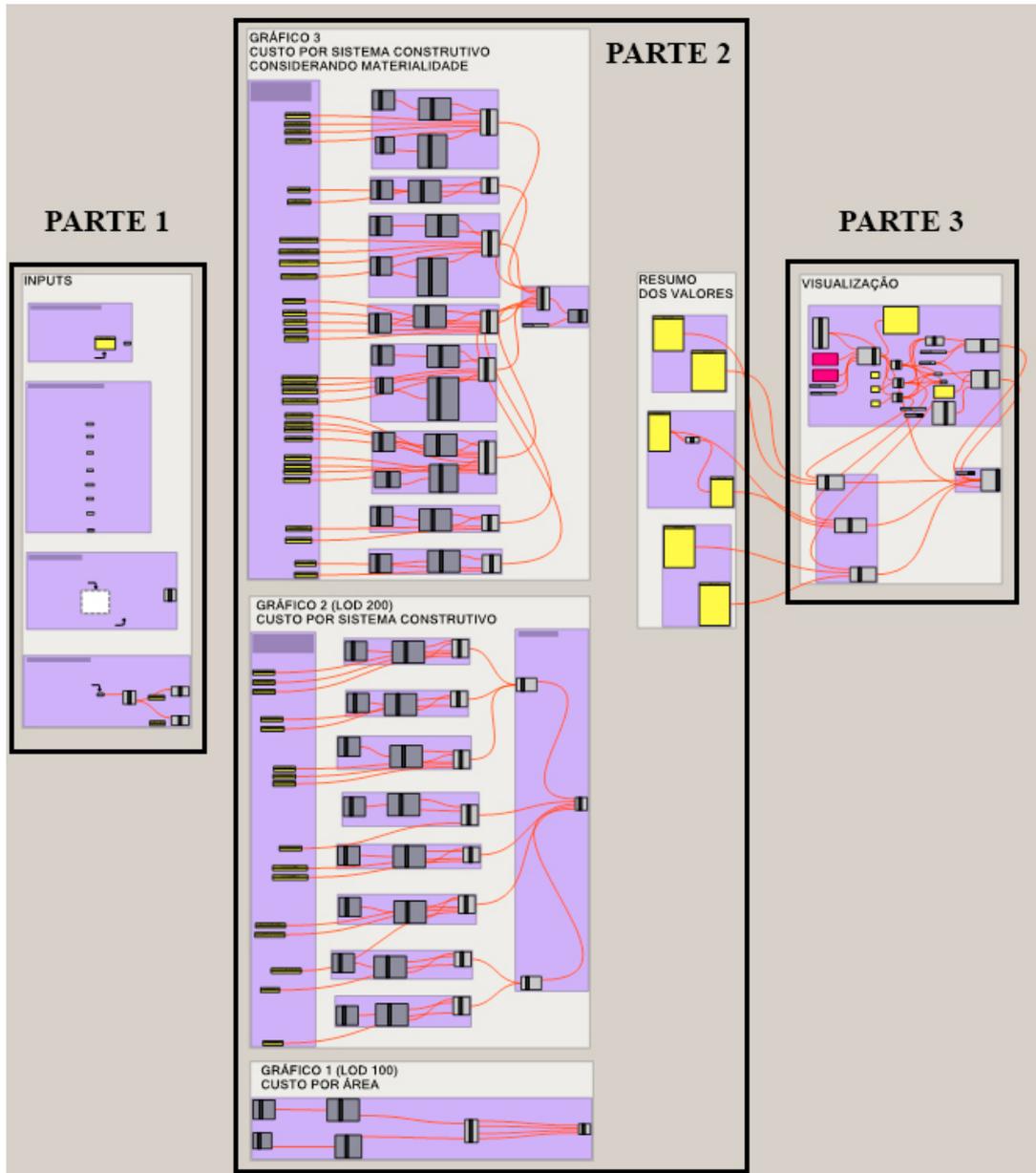
Fonte: a autora.

No geral, o algoritmo se estrutura em três grandes partes, a primeira parte é relativa à quatro tipos de *inputs*, que alimentam a segunda parte, relativa aos valores apresentados em cada um dos três gráficos, e esses valores são levados até a terceira parte, na qual esses valores são traduzidos em informação visual (Figura 25). Entre as partes 2 e 3 foi acrescentado um “resumo dos valores”, em que foram usados painéis para facilitar a visualização dos custos totais de cada gráfico dentro do próprio algoritmo, apenas para possibilitar que o usuário possa identificá-los de modo mais ágil.

Nesse sentido, o algoritmo funciona à medida que o projeto é modelado em BIM. Os gráficos gerados pela ferramenta desenvolvida começam a ser alimentados progressivamente, acompanhando o nível de detalhamento do modelo. Inicialmente, o usuário modela os volumes, sem informações detalhadas, o que permite à ferramenta fornecer os dados correspondentes ao gráfico de LOD 100. Nesse estágio, os gráficos de LOD 200 e 300 ainda não apresentam dados. Em seguida, o usuário modela os sistemas construtivos do projeto (fundação, alvenaria, estrutura, cobertura e esquadrias) ainda sem atribuir materialidade específica. Esse processo ativa o gráfico de LOD 200, que começa a ser alimentado à medida que os cinco sistemas construtivos são modelados genericamente. Quando todos esses sistemas são incluídos, o gráfico de LOD 200 é totalmente preenchido.

Somente a partir da atribuição de materiais aos sistemas construtivos é que o gráfico de LOD 300 passa a gerar resultados, representando o nível mais detalhado de desenvolvimento do projeto. Assim, a ferramenta reflete, de forma progressiva, o aumento da precisão das informações do modelo conforme o projeto avança no BIM.

Figura 25 - Partes gerais do algoritmo desenvolvido para a ferramenta

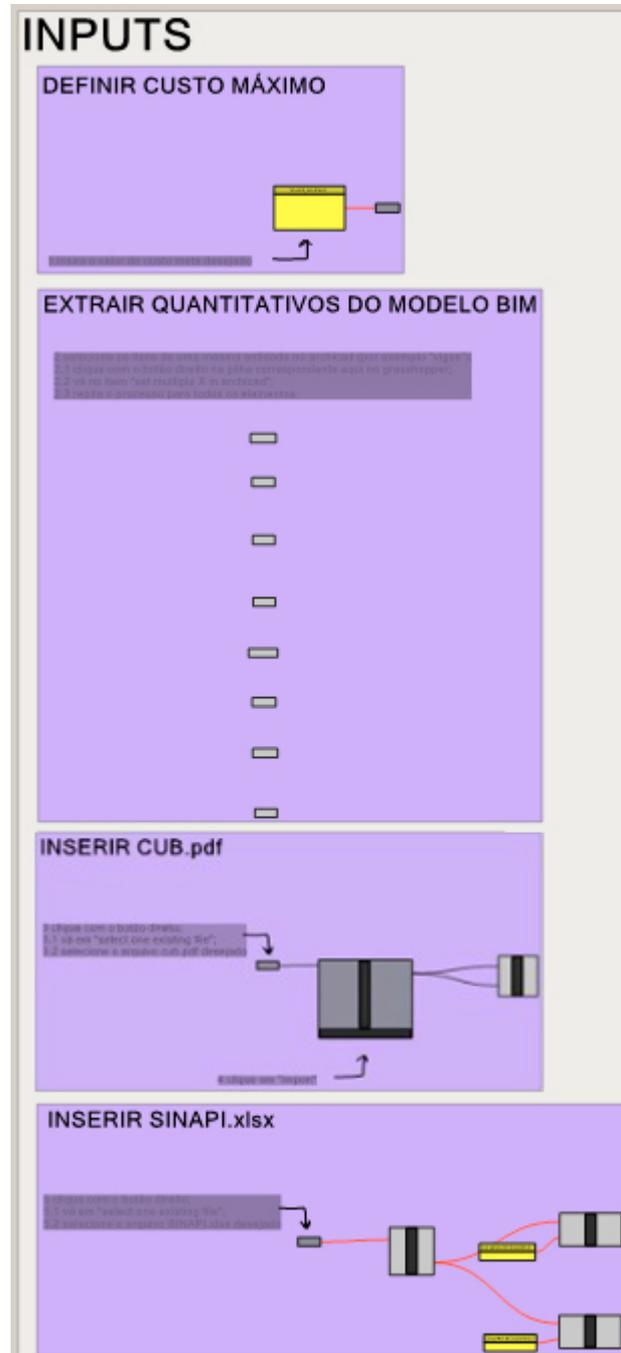


Fonte: a autora.

Os *inputs* necessários para alimentar o algoritmo são 1. o custo máximo estabelecido para o modelo; 2. quantitativos do modelo; 3. valor do CUB para tipologia e mês escolhidos e 4. planilha de serviços do SINAPI de acordo com o mês respectivo (Figura 26). O algoritmo foi organizado para ler o arquivo com a planilha de custos do SINAPI, em formato .xlsx, de modo que o usuário possa apenas vinculá-lo. Ou seja, a cada mês, de acordo com a atualização da CEF, o usuário pode apenas substituir o arquivo que servirá como base de dados para alimentar o algoritmo. A partir dessa planilha, os códigos dos serviços que compõem cada sistema construtivo estão listados dentro do algoritmo, e ele os utilizará para buscar seus

respectivos custos. O algoritmo é capaz também de ler arquivos em formato .pdf facilitando também a atualização do CUB mensalmente.

Figura 26 - Parte do algoritmo relativa aos *inputs*



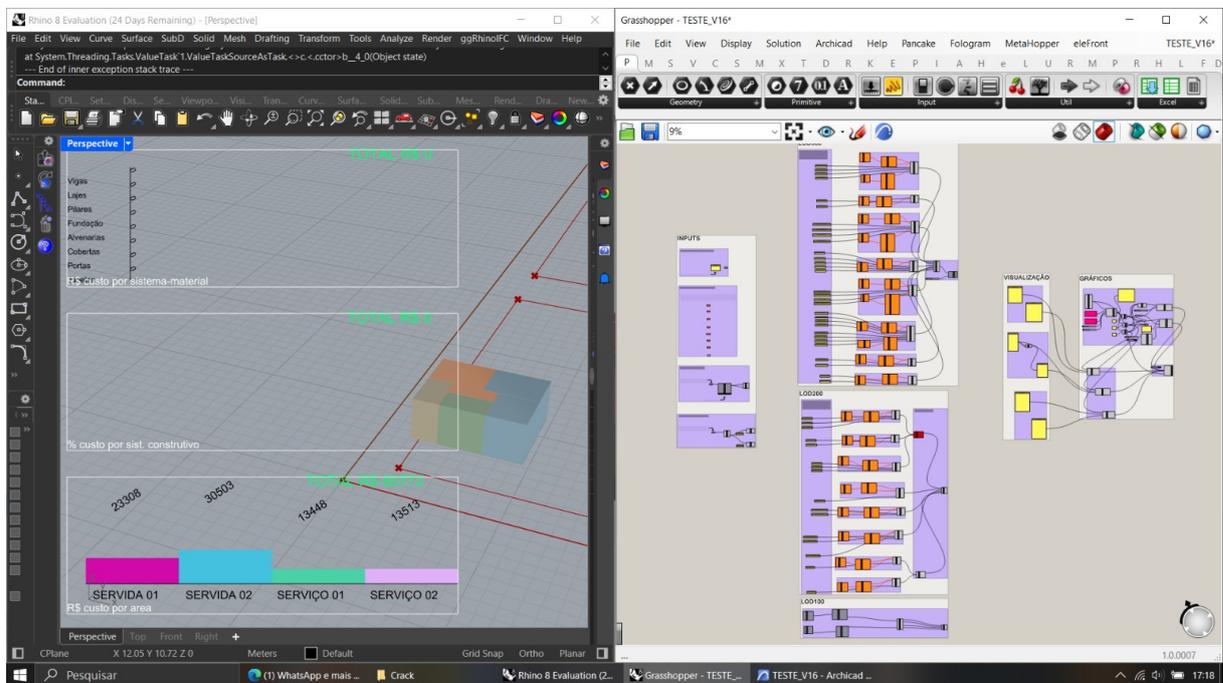
Fonte: a autora.

O primeiro gráfico (Figura 27) foi elaborado tendo como foco informações disponíveis no LOD 100 e se relaciona com a porcentagem do custo por área, tendo como base

as informações de área do ambiente, fator de correção e CUB, extraídas de um mapa de zonas produzido em Archicad, a partir do modelo BIM, conforme explicado no tópico 4.4.2.

Nesse gráfico, os ambientes foram divididos em dois tipos de área: serviço e servidas. Essa divisão ocorreu como uma forma de facilitar a comparação direta entre custos de áreas secas e áreas molhadas. Para diferenciar os espaços, foram atribuídos números, de modo que os banheiros são identificados como “serviço 01”, as cozinhas “serviço 02”, as salas como “servida 01” e os quartos como “servida 02”. É possível interpretar a partir da visualização dessas informações que os ambientes identificados como “servidas 02”, ou seja, os quartos, apresentam o maior custo em relação ao resultado total, isso porque a área atribuída para eles é mais de 40% da área total da casa.

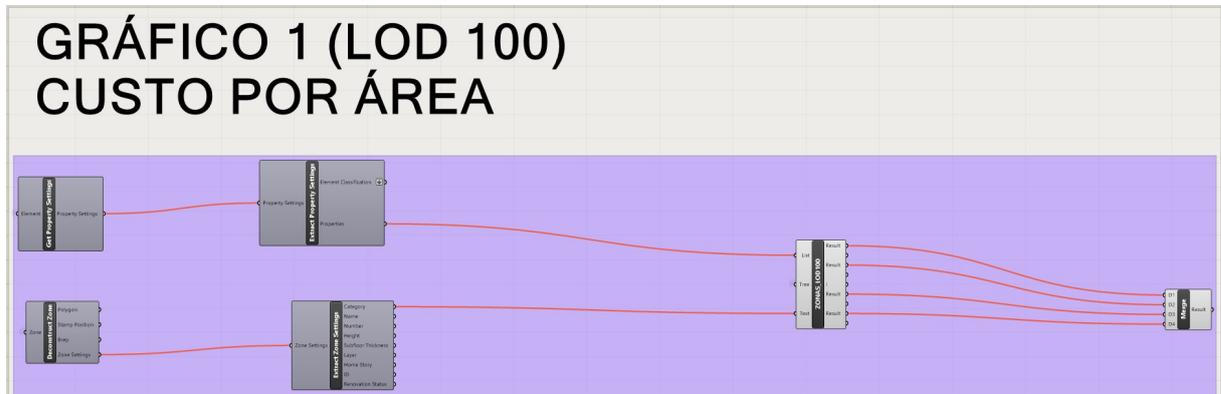
Figura 27 - Modelo BIM junto ao gráfico de porcentagem do custo por área



Fonte: a autora.

O processo para a elaboração dos três gráficos inicia a partir da conexão, em tempo real, do modelo BIM, produzido em Archicad, ao Grasshopper usando o *plugin* Archicad-Grasshopper Live Connection. A parte do algoritmo responsável por colocar o gráfico 1, de porcentagem do custo por área, em funcionamento se organiza do seguinte modo (Figura 28): primeiro são identificadas três informações principais, são elas as listas de propriedades de cada zona presente no modelo, as categorias dessas zonas e as informações do CUB existentes no arquivo PDF anexado nos “inputs”.

Figura 28 - Parte 1 do algoritmo relativa ao gráfico de porcentagem do custo por área

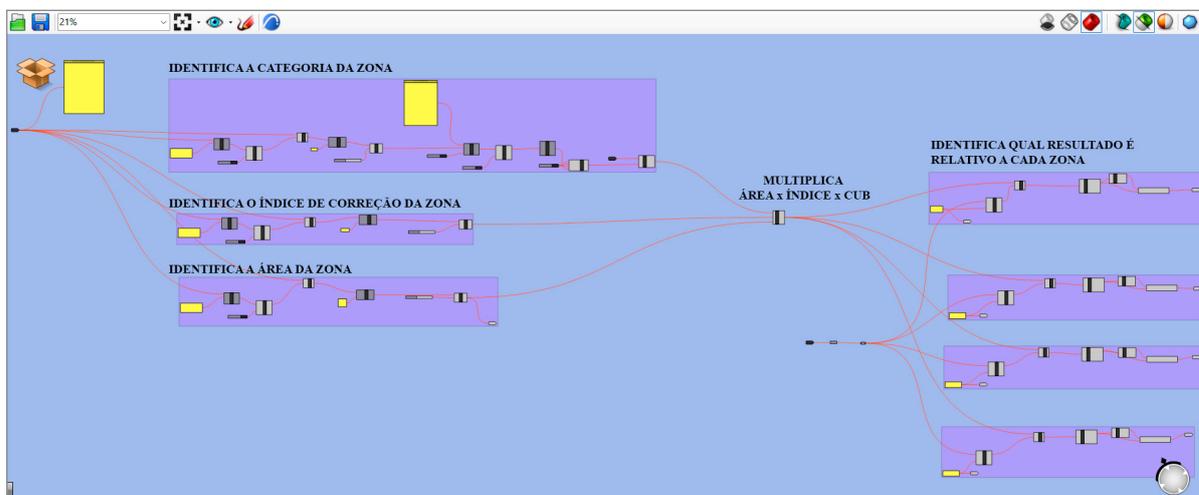


Fonte: a autora.

A partir da identificação desses três grandes núcleos de informações, têm-se: do PDF com informações do CUB é extraído um valor para a respectiva categoria em que o modelo se encaixa, para o caso deste trabalho a categoria selecionada foi residência popular (RP1Q). No *software* de modelagem também foi criada uma propriedade para que o usuário escolha a categoria do CUB à qual o modelo deve pertencer, de modo que essa escolha deve estar em consonância com aquela feita no algoritmo. Em seguida, a partir da lista de propriedades de cada zona são identificadas, três propriedades: a categoria da zona (“serviço 01”, “serviço 02”, “servida 01 ou “servida 02”), o índice de correção da zona e a informação de área. Esses valores são multiplicados e, por fim, o algoritmo identifica pelo nome da zona à qual resultado cada uma delas está relacionada (Figura 29).

Figura 29 - Parte 2 do algoritmo relativa ao gráfico de porcentagem do custo por

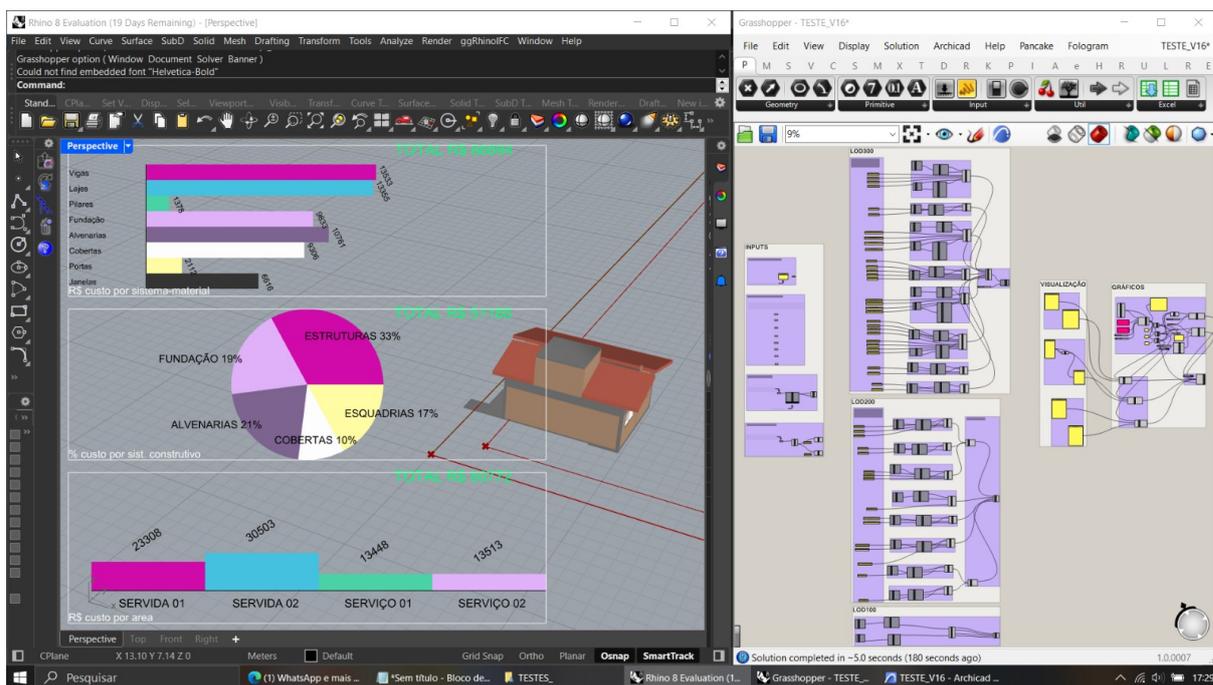
área



Fonte: a autora.

Já o gráfico produzido com informações disponíveis para LOD 200 (Figura 30) se relaciona com a porcentagem do custo por sistema construtivo, sem levar em conta a materialidade. Para isso, foi preciso definir os sistemas construtivos a serem utilizados, a fim de obter as informações necessárias para a construção do gráfico. Essa definição dos materiais teve como base a NBR 12721:2006, na qual são estipulados os materiais a serem utilizados para as tipologias e padrões de edificações lá dispostos. Desse modo, a tipologia em que o modelo desenvolvido se encaixa é residência popular (RP1Q), e a partir disso, foram listados os materiais sugeridos a serem utilizados nos sistemas construtivos presentes no modelo BIM, e a partir do SINAPI foram identificados quais os serviços necessários para compor o sistema construtivo em questão. Além disso, para a construção do gráfico foram considerados também os critérios de medição do SINAPI para cada sistema construtivo, a fim de extrair as informações do modelo BIM de forma coerente, conforme apresentado no modelo conceitual e também dispostos no tópico 4.2.2 no Quadro 8.

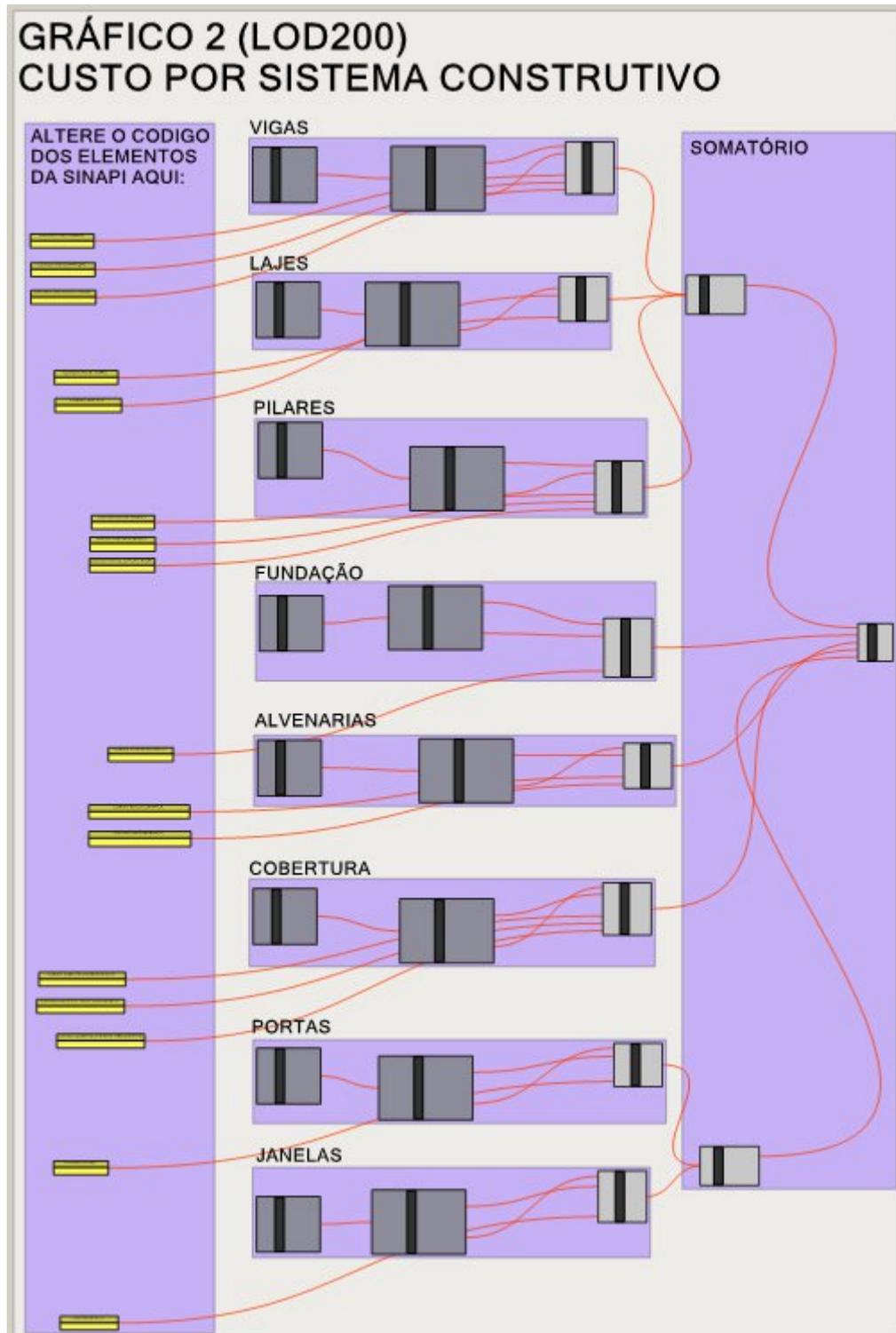
Figura 30 – Visualização do modelo BIM junto aos gráficos de custos



Fonte: a autora.

A parte do algoritmo responsável por colocar o gráfico 2, em formato de pizza, em funcionamento, atua da seguinte forma (Figura 31): depois da conexão entre Archicad e Grasshoper, o algoritmo desconstrói o modelo em seus sistemas construtivos, a saber: alvenarias, estruturas, fundações, esquadrias e coberturas. Para cada um desses sistemas, aplica-se um extrator de propriedades, que são listadas em um painel de acordo com seus nomes/index. Partindo da lista completa de propriedades de cada sistema construtivo, é identificada uma delas para extrair o quantitativo: essa propriedade corresponde a um parâmetro do *software* de modelagem, no caso o Archicad, que deve ser extraído para que determinado sistema construtivo seja quantificado, tendo como base o critério de quantificação determinado pelo SINAPI. Tomando como exemplo as alvenarias, são listadas as propriedades altura, espessura, resistência ao fogo, entre várias outras. Dessas propriedades, extrai-se apenas o valor de "área de superfície da face externa (líquida)" por ser o parâmetro necessário para quantificar as alvenarias, segundo o modelo conceitual construído nesta pesquisa, apresentado no APÊNDICE C. Esse processo é repetido para todos os serviços de cada um dos sistemas construtivos. Também a partir da planilha do SINAPI inserida nos *inputs*, são identificados os códigos relativos aos serviços realizados para cada sistema. Esses códigos podem ser alterados pelo usuário. Será usado como exemplo para seguir a explicação o sistema construtivo "esquadrias", em específico as "janelas".

Figura 31 – Parte 1 do algoritmo relativa ao gráfico de porcentagem do custo por sistema construtivo

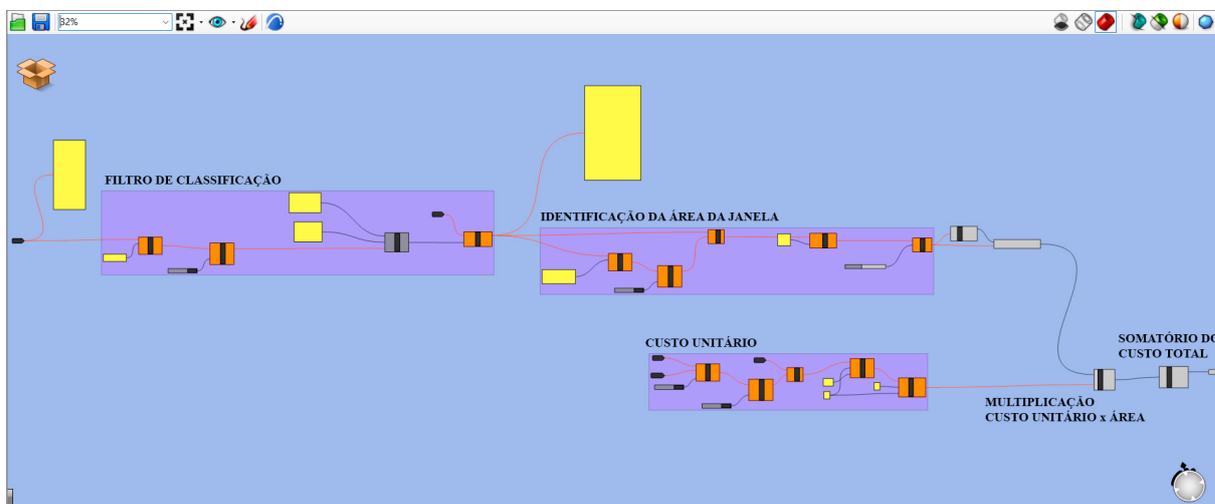


Fonte: a autora.

Tomando as “janelas” como exemplo (Figura 32), partir da lista de propriedades, o primeiro passo será identificar se a classificação do item corresponde à “janelas”. As

classificações criadas no *software* de modelagem, para as janelas, foram de dois tipos: janelas de alumínio ou janelas de madeira, isso porque a materialidade, no caso das janelas, é considerada pelo *software* de modelagem apenas como uma característica de “superfície”, ou seja, não faz parte das propriedades inerentes do objeto, e para o algoritmo poder identificar essa materialidade foi utilizada essa estratégia de atribuí-la na própria classificação do elemento. A classificação, portanto, evita tanto que elementos como “portas” sejam contabilizados com valores errados, como também identifica a materialidade. O segundo passo será identificar a área da janela, critério de quantificação determinado pelo SINAPI para obter o custo total desse elemento. O terceiro passo consiste em multiplicar a área da janela pelo custo unitário determinado. Lembrando que este gráfico não inclui variações na materialidade, então há apenas um custo unitário para ser multiplicado, o custo unitário relativo ao serviço SINAPI de janela de alumínio, de correr, conforme disposto no Quadro 8. Depois da multiplicação, foi aplicado um somatório para obter o custo total de todas as janelas do projeto e, por fim, esse valor é transmitido ao gráfico 2.

Figura 32 – Parte 2 do algoritmo relativa ao gráfico de porcentagem do custo por sistema construtivo, recorte no elemento “Janelas”



Fonte: a autora.

No caso do gráfico produzido com informações disponíveis para LOD 300 (Figura 30), o gráfico de barras horizontais, trata-se da porcentagem do custo por sistema construtivo, considerando opções distintas para a materialidade de cada um deles. Para isso foram selecionadas 2 opções de materiais para cada sistema construtivo, levando em conta a NBR 12721:2006.

Inicialmente, no caso das coberturas e estruturas, para cada opção de material, estava sendo utilizado o custo unitário de composições paramétricas formuladas pelo SINAPI. Por exemplo, no caso das estruturas, era possível variar entre os materiais concreto armado ou estrutura metálica em aço. Para cada uma dessas materialidades, o volume total da estrutura poderia ser multiplicado por um valor unitário, a fim de obter um custo total. Entretanto, com a eliminação das composições paramétricas da base de dados do SINAPI, para esses dois sistemas construtivos, assim como os demais, foi preciso quantificar diferentes serviços para um mesmo sistema. Desse modo, foi preciso calcular montagem e desmontagem de fôrmas, armação e concretagem para cada parte da estrutura: lajes, vigas e pilares, totalizando apenas para o material concreto armado, 9 serviços, nos quais os quantitativos devem extraídos do modelo BIM tanto em m², quanto m³ quanto em kg. É importante fazer esse destaque, pois a descontinuidade das composições paramétricas do SINAPI foram de grande prejuízo, uma vez que tornaram o processo de elaboração das estimativas de custo mais laborioso e o algoritmo mais robusto e, conseqüentemente, necessitado de mais processamento computacional.

Retomando o exemplo das janelas para o gráfico de porcentagem do custo por sistema construtivo considerando a materialidade, o processo é o mesmo do gráfico anterior (Figura 33), porém além de ser extraída a propriedade referente à unidade do quantitativo desejado, as propriedades referentes à materialidade do sistema construtivo passam a ser relevantes, tendo como referência as propriedades “classificação” e “estrutura”, no caso do *software* Archicad, do objeto modelado. Uma vez que a materialidade passa a ser considerada, foram escolhidas duas opções distintas de materiais para cada sistema construtivo, portanto, foram acrescentados mais serviços da base de dados do SINAPI no algoritmo. Enquanto o gráfico 2, de porcentagem do custo por sistema construtivo sem considerar materialidade, tinha como base os serviços listados no Quadro 8, o gráfico 3, de porcentagem do custo por sistema construtivo considerando a materialidade utiliza como base os serviços listados no quadro abaixo (Quadro 10).

Quadro 10 – Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado para LOD

300

Fase	Classificação	Serviços Identificados	Critério de Medição (SINAPI)	Unid.	Parâmetro Bim Archicad	Material Archicad	Custo Unitário Sinapi (R\$)	Código Sinapi
FUNDAÇÃO	Radier	Execução de radier, espessura de 15 cm, FCK = 30MPA, com uso de formas madeira serrada	Área da laje	m ²	Área da Superfície do Topo da Laje (Condicional) (Parâmetro Geral)	CON Concreto Armado - Estrutural	203,75	97102
	Sapata	Fabricação, montagem e desmontagem de fôrma para sapata, em chapa de madeira compensada resinada, e=17 mm, 2 utilizações.	Área da superfície da fôrma de sapata em contato com o concreto	m ²	Volume líquido (Parâmetro Geral) - utilizado na fórmula sugerida por Botelho, M.H.C. (2007, p.54)	CON Concreto Armado - Estrutural	244,39	96538
		Armação de bloco, viga baldrame ou sapata utilizando aço CA-50 de 10 mm - montagem	Peso de barras consideradas na montagem da armadura	kg	Volume líquido (Parâmetro Geral) - utilizado na fórmula sugerida por Botelho, M.H.C. (2007, p.54)		14,08	96546
		Concretagem de sapatas, FCK = 30 MPA, com uso de bomba – lançamento, adensamento e acabamento	Volume de concreto	m ³	Volume líquido (Parâmetro Geral)		705,28	96558

Quadro 10 – Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado para LOD 300 (continuação)

Fase	Classificação	Serviços Identificados	Critério de Medição (SINAPI)	Unid.	Parâmetro Bim Archicad	Material Archicad	Custo Unitário Sinapi (R\$)	Código Sinapi
FUNDAÇÃO	Sapata	Escavação mecanizada para bloco de coroamento ou sapata com retroescavadeira (sem escavação para colocação de fôrmas)	Volume geométrico das sapatas	m ³	Volume líquido (Parâmetro Geral)	CON Concreto Armado - Estrutural	84,24	96520
ALVENARIA	Bloco de concreto	Alvenaria de vedação de blocos vazados de concreto de 14x19x39 cm e argamassa de assentamento com preparo em betoneira	Área líquida (vãos devem ser descontados)	m ²	Área de superfície externa da parede líquida (Parâmetro de Parede)	VED Bloco de concreto - Enchimento	94,15	103318
		Fixação (encunhamento) de alvenaria de vedação com argamassa aplicada com bisnaga	Metro linear de alvenaria	m	Comprimento da parede na face externa (Parâmetro de Parede)		10,71	93200

Quadro 10 – Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado para LOD 300 (continuação)

Fase	Classificação	Serviços Identificados	Critério de Medição (SINAPI)	Unid.	Parâmetro Bim Archicad	Material Archicad	Custo Unitário Sinapi (R\$)	Código Sinapi
ALVENARIA	Bloco cerâmico	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na horizontal de 9x19x19 cm e argamassa de assentamento com preparo em betoneira	Área líquida (vãos devem ser descontados)	m ²	Área de superfície externa da parede líquida (Parâmetro de Parede)	VED Tijolo - Cerâmico	78,71	10328
		Fixação (encunhamento) de alvenaria de vedação com argamassa aplicada com bisnaga	Metro linear de alvenaria	m	Comprimento da parede na face externa (Parâmetro de Parede)		10,71	93200
ESTRUTURA	Laje	Laje pré-moldada unidirecional, biapoiada, para piso, enchimento em cerâmica	Soma das áreas de lajes	m ²	Área da Superfície do Topo (Líquida) (Parâmetro Geral)	CON Concreto Armado - Estrutural	175,28	101963
		Laje pré-moldada unidirecional, biapoiada, para forro, enchimento em cerâmica	Soma das áreas de lajes	m ²	Área da Superfície do Topo (Líquida) (Parâmetro Geral)		163,74	101964

Quadro 10 – Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado para LOD 300 (continuação)

Fase	Classificação	Serviços Identificados	Critério de Medição (SINAPI)	Unid.	Parâmetro Bim Archicad	Material Archicad	Custo Unitário Sinapi (R\$)	Código Sinapi
ESTRUTURA	Pilar concreto armado	Montagem e desmontagem de fôrma de pilares retangulares e estruturas similares, pé-direito simples, em madeira serrada, 4 utilizações	Área da superfície da fôrma de pilar em contato com o concreto	m ²	Volume líquido (Parâmetro Geral) - utilizado na fórmula sugerida por Botelho, M.H.C. (2007, p.54)	CON Concreto Armado - Estrutural	106,28	92413
		Concretagem de pilares, fck = 25 mpa, com uso de grua - lançamento, adensamento e acabamento.	Volume de concreto	m ³	Volume líquido (Parâmetro Geral)		650,29	103671
		Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço CA-50 de 10,0 mm - montagem	Peso de vergalhões	kg	Volume líquido (Parâmetro Geral) - utilizado na fórmula sugerida por Botelho, M.H.C. (2007, p.54)		11,38	92762
	Viga concreto armado	Montagem e desmontagem de fôrma de viga, escoramento com pontalete de madeira, pé-direito simples, em madeira serrada, 4 utilizações.	Área da superfície da fôrma de viga em contato com o concreto	m ²	Volume líquido (Parâmetro Geral) - utilizado na fórmula sugerida por Botelho, M.H.C. (2007, p.54)	CON Concreto Armado - Estrutural	160,70	92448

Quadro 10 – Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado para LOD 300 (continuação)

Fase	Classificação	Serviços Identificados	Critério de Medição (SINAPI)	Unid.	Parâmetro Bim Archicad	Material Archicad	Custo Unitário Sinapi (RS)	Código Sinapi
ESTRUTURA	Viga concreto armado	Concreta gem de vigas e lajes, fck=25 mpa, para lajes premoldadas com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento	Volume de concreto	m ³	Volume líquido (Parâmetro Geral)	CON Concreto Armado - Estrutural	628,13	103674
		Armação de pilar ou viga de estrutura convencional de concreto armado utilizando aço ca-50 de 10,0 mm - montagem	Peso de vergalhões	kg	Volume líquido (Parâmetro Geral) - utilizado na fórmula sugerida por Botelho, M.H.C. (2007, p.54)		11,38	92762
	Pilar metálico	Pilar metálico perfil laminado ou soldado em aço estrutural, com conexões soldadas	Peso total de aço	kg	Área (Parâmetro Geral) - utilizada na fórmula sugerida por Mattos, A.D. (2006, p.39)	MTL Aço - Estrutural	13,90	100766
	Viga metálica	Viga metálica em perfil laminado ou soldado em aço estrutural, com conexões soldadas	Peso total de aço	kg	Área (Parâmetro Geral) - utilizada na fórmula sugerida por Mattos, A.D. (2006, p.39)		15,44	100764

Quadro 10 – Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado para LOD 300 (continuação)

Fase	Classificação	Serviços Identificados	Critério de Medição (SINAPI)	Unid.	Parâmetro Bim Archicad	Material Archicad	Custo Unitário Sinapi (R\$)	Código Sinapi
COBERTURA	Cobertura cerâmica	Trama de madeira composta por ripas, caibros e terças para telhados de até 2 águas para telha cerâmica	Área da projeção da cobertura em planta	m ²	Área (Parâmetro Geral)	MAD Madeira - Cobertura	77,56	92541
		Telhamento com telha cerâmica com capcanal, tipo colonial com até 2 águas	Área da projeção da cobertura em planta	m ²	Área (Parâmetro Geral)	VED Telha - Cobertura	39,84	94201
		Fabricação e instalação de pontalotes de madeira não aparelhada para telhados com até 2 águas e com telha cerâmica ou de concreto em edifício residencial térreo	Área da projeção da cobertura em planta	m ²	Área (Parâmetro Geral)	MAD Madeira - Cobertura	34,63	100379
		Cumeeira para telha cerâmica emboçada com argamassa traço 1:2:9 (cimento, cal e areia) para telhados com até 2 águas.	Comprimento total de cumeeira	m	Comprimento da cumeeira (Parâmetro Cobertura)	VED Telha - Cobertura	22,85	94221

Quadro 10 – Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado para LOD 300 (continuação)

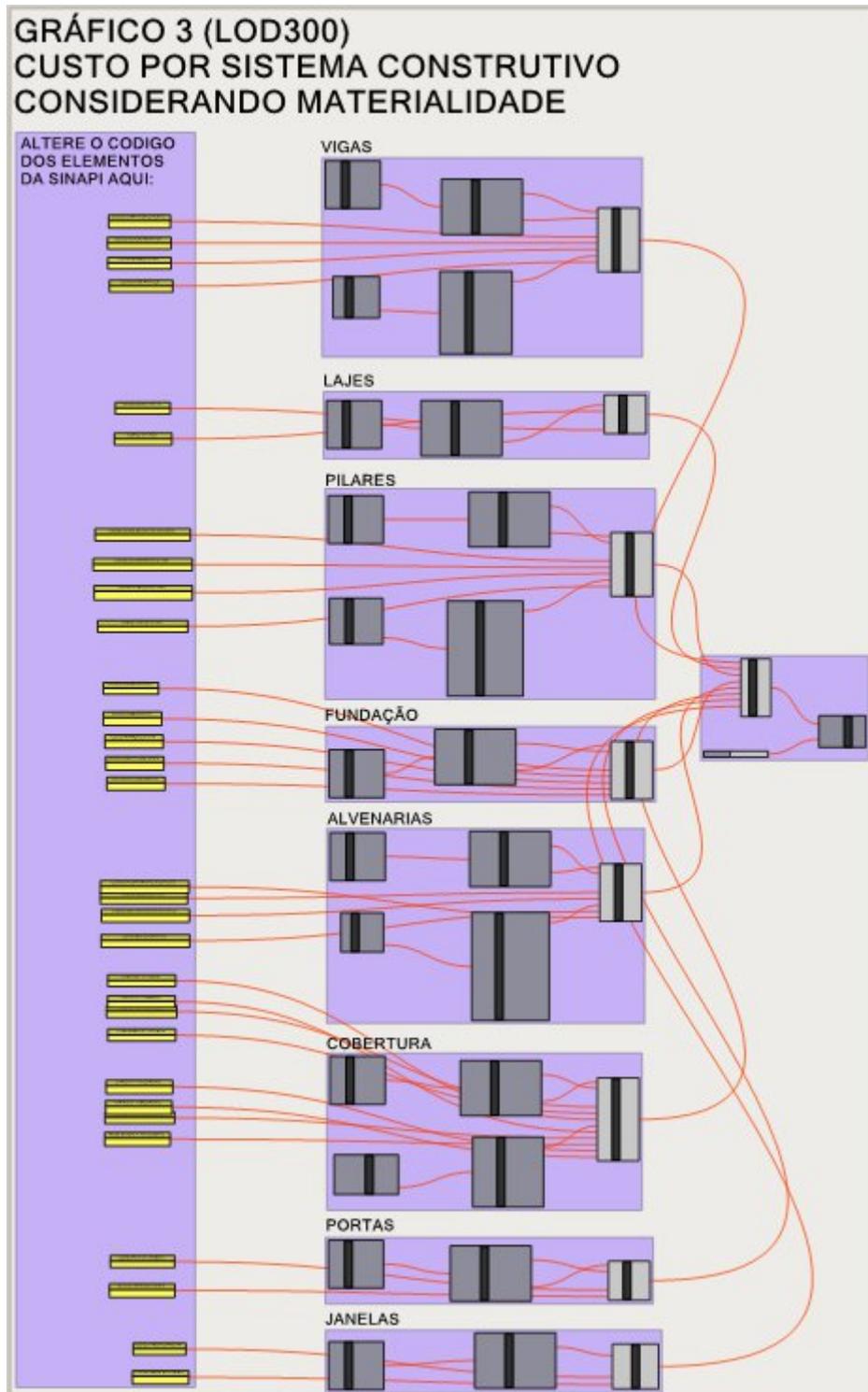
Fase	Classificação	Serviços Identificados	Critério de Medição (SINAPI)	Unid.	Parâmetro Bim Archicad	Material Archicad	Custo Unitário Sinapi (R\$)	Código Sinapi
COBERTURA	Cobertura fibrocimento	Trama de madeira composta por terças para telhados de até 2 águas para telha ondulada de fibrocimento	Área da projeção da cobertura em planta	m ²	Área (Parâmetro Geral)	MAD Madeira - Cobertura	21,69	92543
		Telhamento com telha ondulada de fibrocimento e = 6 mm, com recobrimento lateral de 1/4 de onda para telhado com inclinação maior que 10°, com até 2 águas	Área da projeção da cobertura em planta	m ²	Área (Parâmetro Geral)	GEN Genérico - Cobertura	59,33	94207
		Fabricação e instalação de pontaltes de madeira não aparelhada para telhados com até 2 águas e com telha ondulada de fibrocimento em edifício residencial de múltiplos pavimentos	Área da projeção da cobertura em planta	m ²	Área (Parâmetro Geral)	MAD Madeira - Cobertura	23,51	100383
		Cumeeira para telha de fibrocimento ondulada e = 6 mm	Comprimento total de cumeeira	m	Comprimento da cumeeira (Parâmetro Cobertura)	GEN Genérico - Cobertura	102,00	94223

Quadro 10 – Especificações dos sistemas construtivos do modelo BIM analisado para LOD 300 (continuação)

Fase	Classificação	Serviços Identificados	Critério de Medição (SINAPI)	Unid.	Parâmetro Bim Archicad	Material Archicad	Custo Unitário Sinapi (R\$)	Código Sinapi
ESQUADRIAS	Porta	Porta de madeira para pintura, semi-oca (leve ou média), 90x210CM	Quantidade de unidades	un	Quantidade (Parâmetro Geral)	MAD Madeira	422,43	90823
		Porta de alumínio de abrir com lambri, com guarnição, fixação com parafusos - fornecimento e instalação	Quantidade em metros quadrados de portas	m ²	Área da Superfície da Abertura no Lado Oposto ao Requadro da J/P (Parâmetro Porta/ Janela)	MTL Alumínio	765,90	91338
	Janela	Janela de alumínio de correr com 2 folhas para vidros e persiana integrada, com vidros, batente, acabamento com acetato ou brilhante e ferragens	Área total	m ²	Área da Superfície da Abertura no Lado Oposto ao Requadro da J/P (Parâmetro Porta/ Janela)	MTL Alumínio + VED Vidro = GEN Genérico Vedação Externa	490,05	94570
		Janela de madeira (pinus/eucalipto ou equiv.) de abrir com 4 folhas (2 venezianas e 2 guilhotinas para vidro), com batente, alizar e ferragens.	Área total	m ²	Área da Superfície da Abertura no Lado Oposto ao Requadro da J/P (Parâmetro Porta/ Janela)	MAD Madeira + VED Vidro	406,50	100666

Fonte: a autora.

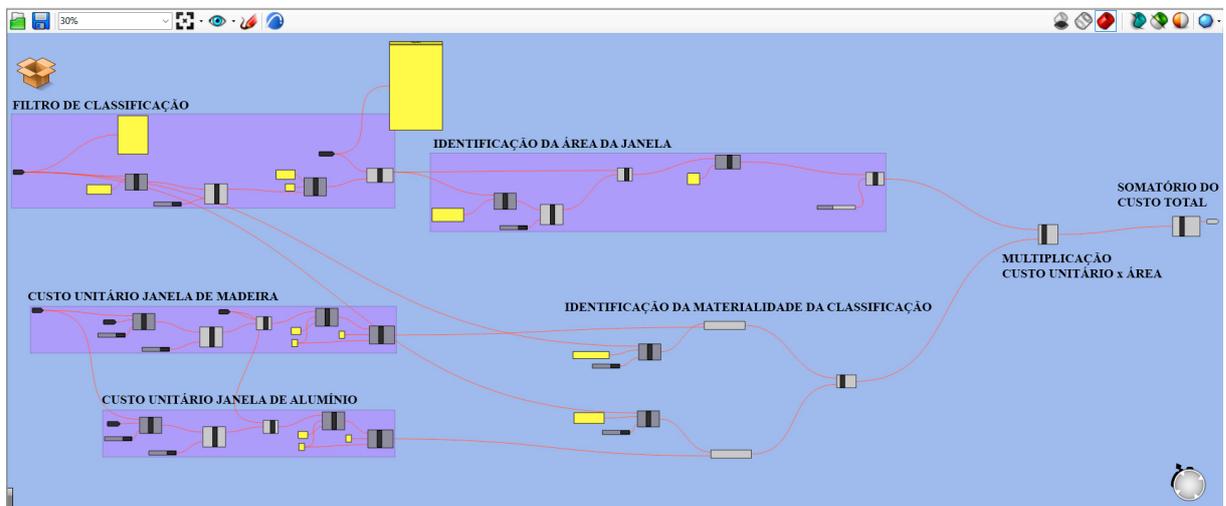
Figura 33 – Parte 1 do algoritmo relativa ao gráfico de porcentagem do custo por sistema construtivo considerando materialidade



Fonte: a autora.

Tendo como exemplo parte do algoritmo relacionada às “janelas” (Figura 34), em comparação com o gráfico anterior o que acontece é que após a identificação da classificação dos elementos como “Janelas” e da identificação da propriedade de área, o algoritmo cria uma condicional: se a classificação do elemento for “janela de madeira” ele será multiplicado por um custo unitário “x” e se a classificação for “janela de alumínio”, ele será multiplicado por um custo unitário “y”. Por fim, é realizado um somatório do custo de cada elemento janela e o resultado é levado até a parte de visualização dos gráficos.

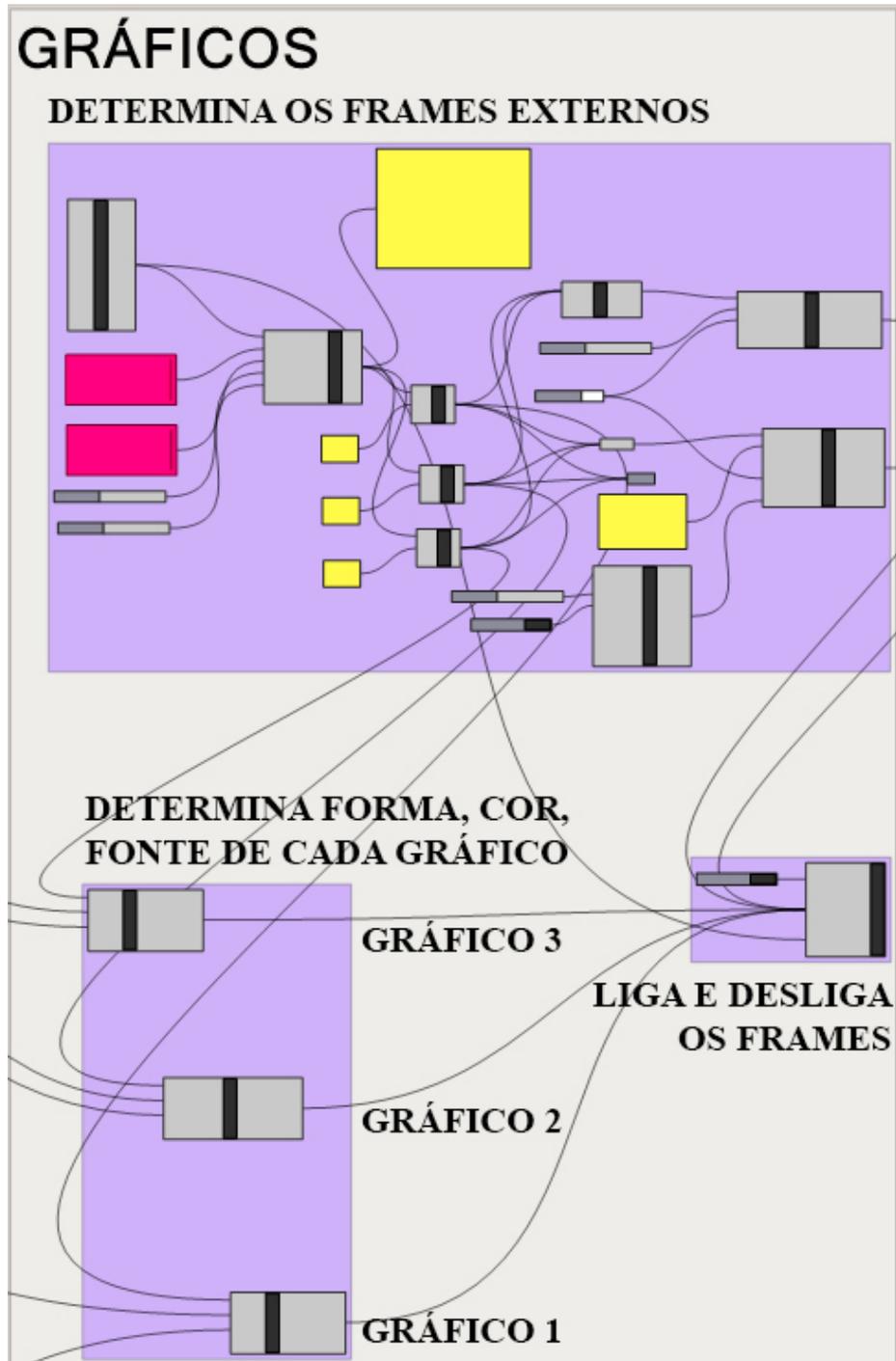
Figura 34 – Parte 2 do algoritmo relativa ao gráfico de porcentagem do custo por sistema construtivo, considerando materialidade, recorte no elemento “Janelas”



Fonte: a autora.

A parte do algoritmo relacionada à visualização (Figura 35), por sua vez, cria *grids* no Rhinoceros que se relacionam com gráficos do *plugin* Conduit. Esses *grids* e demais informações relativas à parte externa dos gráficos, como cor e espessura das molduras, fonte do título do gráfico, entre outras, são definidas no primeiro agrupamento. O agrupamento seguinte determina se essas informações externas aos gráficos estarão ligadas ou desligadas. Por fim, a última parte define essas mesmas informações para o interior dos gráficos: paleta de cores, tipo de gráfico, tamanho e cor da letra, entre outras.

Figura 35 – Parte do algoritmo relativa ao design dos gráficos

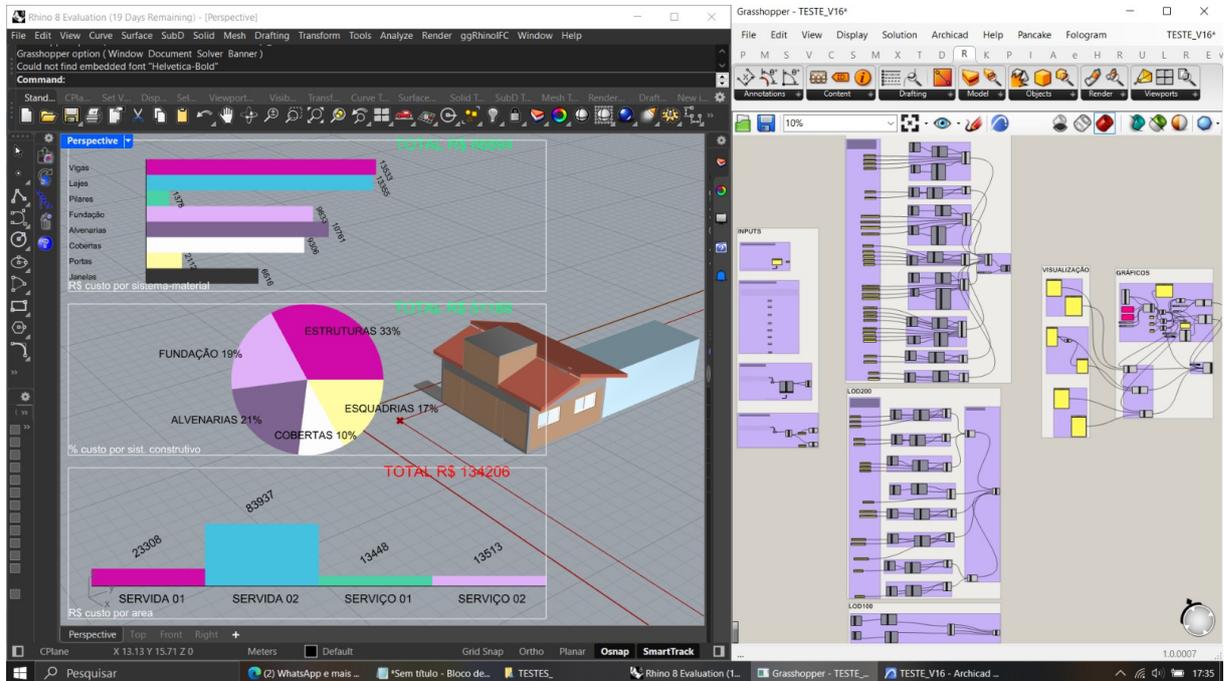


Fonte: a autora.

O *plugin* Conduit também foi utilizado para modificar a cor da informação de custo total para cada LOD, identificado em cada gráfico, a depender se atende o custo máximo estabelecido. Desse modo, supondo que o custo máximo determinado para o projeto seja

R\$ 90.000,00, se em um dos gráficos esse valor está abaixo ou igual a R\$ 90.000,00 ele terá a cor verde, se estiver acima, terá a cor vermelha (Figura 36).

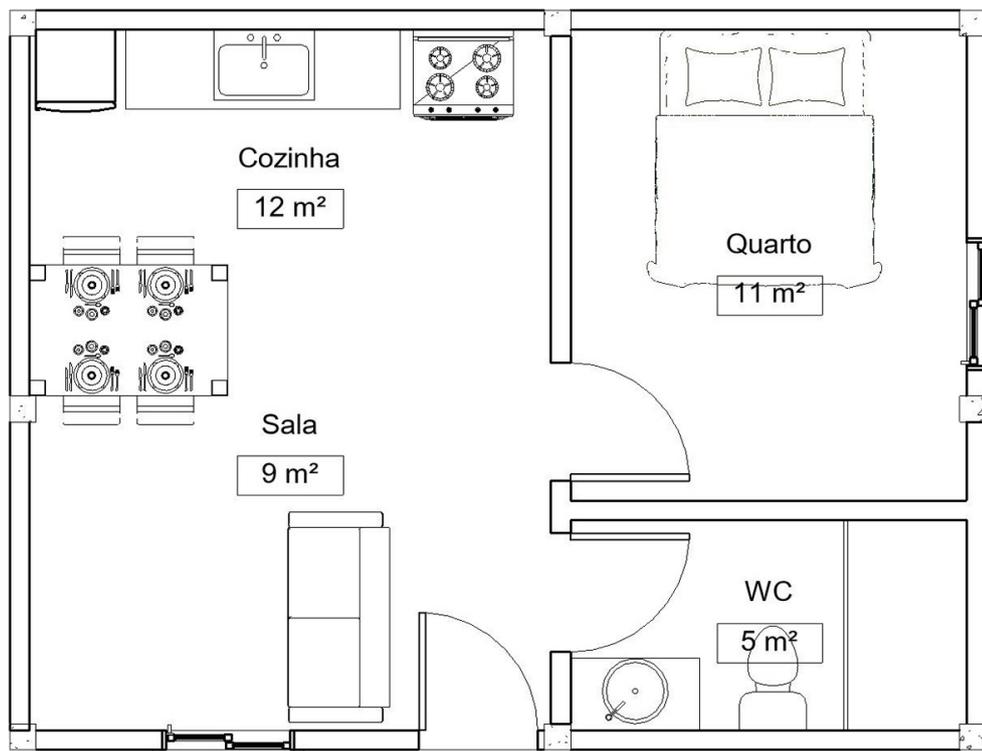
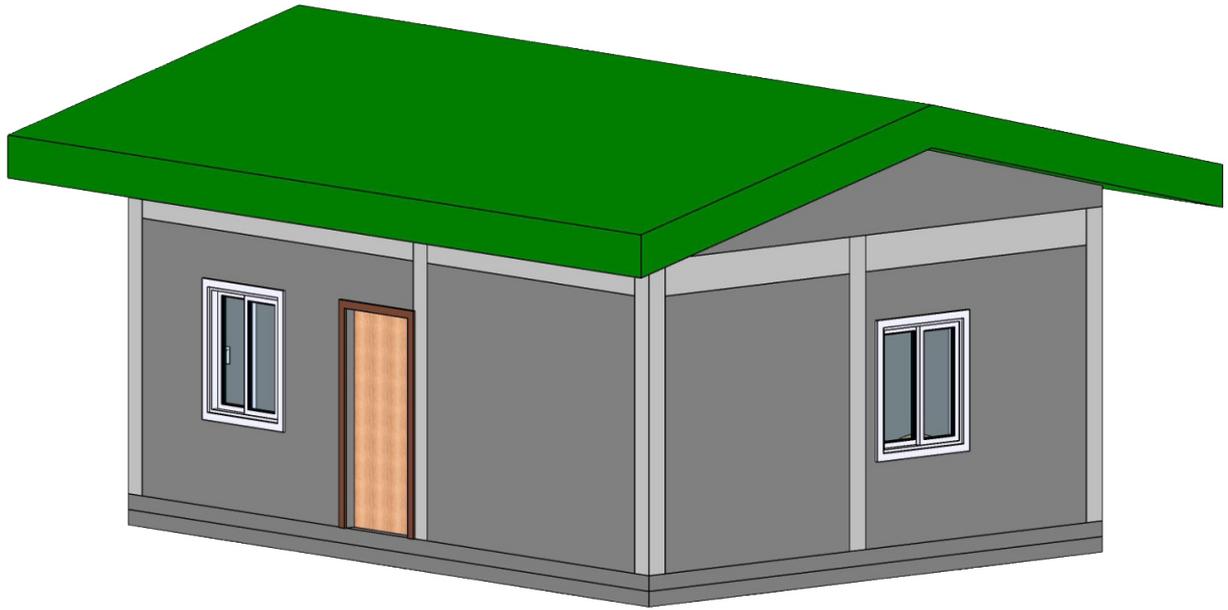
Figura 36 – Visualização do modelo BIM junto aos gráficos de custos acima do valor máximo estabelecido



Fonte: a autora.

Apesar da ferramenta ter sido concebida utilizando apenas o Archicad como *software* BIM, a fim de contornar essa restrição foi utilizado também um modelo IFC, modelado em Revit (Figura 37), e exportado em formato IFC para o Archicad (Figura 38), para a posterior conexão do arquivo com o algoritmo (Figura 39).

Figura 37 – Modelagem 3D em Revit de módulo habitacional de baixo padrão



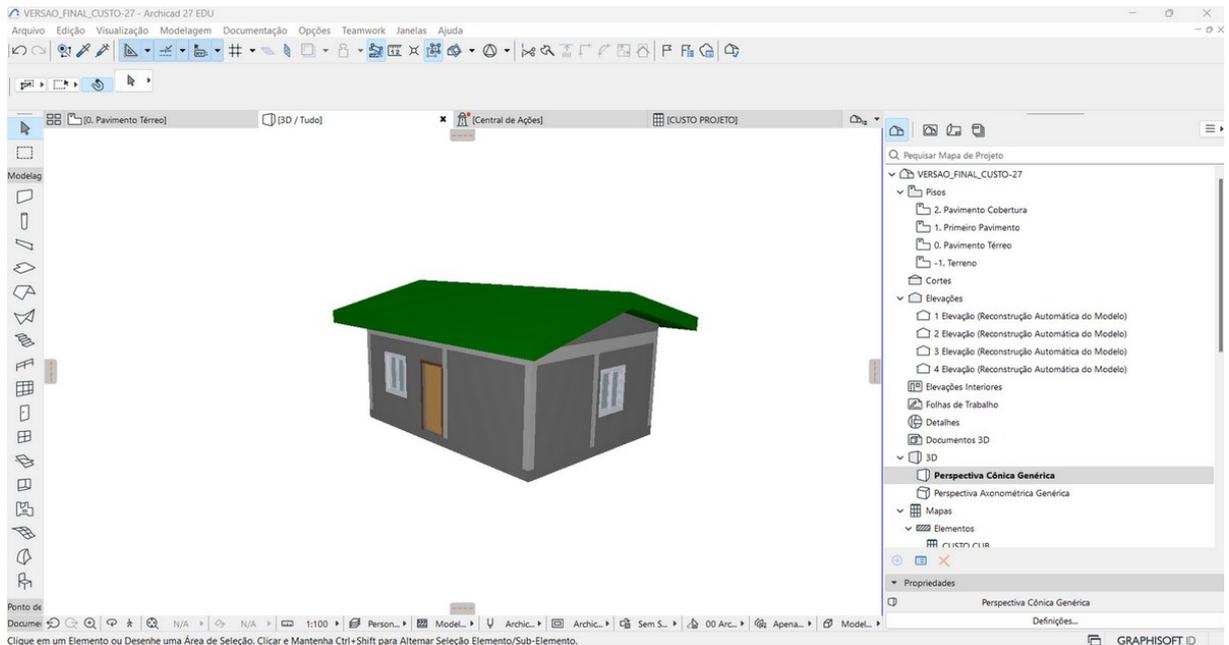
Fonte: a autora.

Esse modelo seguiu as mesmas diretrizes adotadas para o desenvolvimento do modelo em Archicad, ou seja, trata-se de um modelo BIM de um módulo habitacional de baixo padrão, térreo, cujo programa de necessidades é composto por 1 sala de estar/jantar, 1

cozinha/lavanderia, 1 quarto e 1 banheiro, com uma área máxima de 40 m². Os sistemas construtivos modelados foram fundações, alvenarias, estruturas, cobertura e esquadrias.

A fim de explicar como foi realizada essa modelagem e posterior exportação do modelo em Revit para formato IFC, foi produzido um manual demonstrando o passo a passo (APÊNDICE E). Esse manual buscou relatar como foi modelado cada um dos 5 sistemas construtivos determinados e os pormenores da exportação para o formato IFC, etapa de extrema relevância para garantir a compatibilidade entre os dois *softwares*.

Figura 38 – Modelo IFC visualizado em Archicad



Fonte: a autora.

Figura 39 – Modelo IFC conectado com a ferramenta elaborada



Fonte: a autora.

Em relação à performance do modelo IFC quando conectado ao algoritmo, não houve diferenças significativas em comparação ao modelo produzido diretamente em Archicad. A fluidez, velocidade de resposta e visualização das informações de custo se mantiveram. Entretanto foi preciso observar cuidadosamente a classificação dos sistemas construtivos e suas respectivas materialidades, uma vez que podem surgir problemas em ambos caso as configurações de exportação não estejam adequadas. Isto é, como cada um dos *softwares* de modelagem organiza as propriedades de seus elementos de forma distinta, pode haver erros na compatibilização entre eles por meio do IFC. Para citar um exemplo, em um primeiro teste as vigas do modelo IFC foram classificadas pelo Archicad como “objeto” e não como “elemento construtivo”, isso impactou no algoritmo já que ele não foi capaz de identificar as vigas e, conseqüentemente, não conseguiu extrair os quantitativos. Desse modo, foi preciso trocar as vigas de classificação para que o algoritmo pudesse reconhecê-las corretamente. Outro aspecto a levar em consideração é a materialidade do modelo, como pode ser percebido nas figuras 38 e 39. Foi preciso atribuir materiais pré-configurados no Archicad para que o algoritmo pudesse distingui-los, já que no Revit os materiais são configurados de forma diferente e possuem outras propriedades e a exportação para o formato IFC não as altera.

6 AVALIAÇÃO

Considerando as etapas da metodologia de *Design Science Research*, a etapa de avaliação se deu de duas formas: avaliação externa, na qual contou-se com a avaliação de arquitetos e projetistas alheios ao desenvolvimento da pesquisa, e avaliação interna, conduzida e executada pela autora e por bolsistas PIBIC. Esta pesquisa está constantemente ponderando dois pontos: quais os dados a serem trabalhados e como trabalhá-los, e a avaliação da ferramenta segue a mesma lógica. Assim, a etapa de avaliação buscou a validação da ferramenta sob duas perspectivas: a primeira se o usuário-alvo da ferramenta é capaz de usá-la, se ela funciona corretamente, e se possibilita a visualização das informações de custo, ou seja, a usabilidade; já a segunda perspectiva diz respeito à precisão desses resultados, isso porque não se quer que a ferramenta viabilize apenas gráficos atrativos, sem que suas informações estejam corretas.

6.1 Avaliação externa da ferramenta

A avaliação externa da ferramenta teve como principal objetivo verificar se o usuário-alvo conseguiria utilizá-la adequadamente. Para isso, essa avaliação ocorreu de duas formas: a primeira foi a aplicação da ferramenta em situações de ensino, por meio da simulação do processo de desenvolvimento de projeto, com a realização de três oficinas com alunos do curso de graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Ceará. A segunda forma foi a apresentação da ferramenta e posterior levantamento de *feedbacks* de um grupo focal composto por arquitetos do setor de projetos da Superintendência de Infraestrutura e Gestão Ambiental da UFC (também chamada UFC infra).

6.1.1 Aplicação da ferramenta em situações de ensino

Quanto à aplicação da ferramenta em situações de ensino, como dito anteriormente, foram realizadas três oficinas com alunos do curso de graduação de Arquitetura e Urbanismo da UFC, a partir do 3º semestre, com conhecimentos prévios em Archicad, Rhinoceros e Grasshopper. Em cada uma dessas simulações foi testada uma versão mais avançada da ferramenta, uma vez que, a cada realização foram observadas melhorias a serem feitas. Essas aplicações em ensino foram organizadas no formato de uma aula, com duração de três horas. Inicialmente foi apresentado o projeto de pesquisa no qual a ferramenta a ser aplicada estava

inserida, a fim de contextualizar os alunos; em seguida foram apresentados os conceitos de LOIN/LOD e CUB, com o intuito de garantir um nivelamento da turma sobre tais conceitos; o passo posterior foi apresentar a própria ferramenta: qual seu objetivo, qual o público-alvo e quais os *softwares* utilizados para montá-la; e, por fim, foi sugerida aos alunos uma atividade na qual a ferramenta seria utilizada.

Essa atividade consistiu em pedir que os alunos modelassem em Archicad uma residência térrea, de até 40 m², composta por 1 sala de estar/jantar, 1 cozinha/lavanderia, 1 quarto e 1 banheiro. Essa configuração foi determinada a partir da NBR 12721:2006, utilizando como base as características principais estabelecidas para os projetos-padrão de residência popular (RP1Q). O custo máximo dessa edificação não deveria ultrapassar R\$ 90.000,00, esse valor se refere à uma aproximação da multiplicação do valor do CUB no mês em que as simulações de ensino foram feitas, pela área identificada na NBR 12721:2006 para a tipologia trabalhada. Foram estipulados ainda quais elementos construtivos do Archicad poderiam ser utilizados: parede, pilar, viga, laje, cobertura, porta, janela e zonas e, identificados os materiais possíveis de serem empregados para esses sistemas construtivos: concreto armado estrutural, bloco de concreto de enchimento, tijolo cerâmico, aço estrutural, telha para cobertura e cobertura genérica (Figura 40).

Figura 40 – Elementos construtivos e materiais determinados para aplicação na experiência de ensino



Fonte: a autora.

Diante dessas explicações, foram dados aos alunos 10 minutos para a modelagem da residência em formatos de zonas, as quais deveriam corresponder a cada ambiente solicitado. Conforme dito anteriormente, os ambientes foram divididos em dois tipos de área: serviço e servidas, de modo que os banheiros são identificados como “serviço 01”, as cozinhas “serviço 02”, as salas como “servida 01” e os quartos como “servida 02”. Essa divisão ocorreu como uma forma de facilitar a comparação direta entre custos de áreas secas e áreas molhadas. É preciso destacar que não foram estipuladas restrições quanto ao formato e volumetria do modelo. Simultaneamente à modelagem das zonas, foi apresentado aos alunos o algoritmo da ferramenta e ensinado como fazer a conexão Archicad-Grasshopper, para que houvesse a visualização simultânea da modelagem e do gráfico de custo por metro quadrado, relativo ao LOD 100. Como mencionado anteriormente, no capítulo 5, os gráficos relativos aos LODs 200 e 300 ainda não apresentavam resultados nessa etapa.

Em seguida, foram dados mais 15 minutos para a modelagem de cada sistema construtivo: alvenarias, estruturas, fundação, esquadrias e cobertura e a simultânea conexão de cada um deles com o algoritmo, a fim de visualizar o gráfico de custo por sistema construtivo, sem a materialidade, relativo ao LOD 200. A parte seguinte da simulação de ensino, consistiu em realizar trocas de materiais em cada sistema construtivo com o intuito de visualizar o impacto dessas decisões no custo e possibilitar por fim a visualização do gráfico de custo por sistema construtivo considerando a materialidade, relativo ao LOD 300. Pediu-se ainda, que além das trocas de materiais, os alunos avaliassem se gostariam de fazer alguma alteração de forma ou de sistemas construtivos baseados nos custos apresentados pela ferramenta.

Por fim, pediu-se aos alunos que respondessem questionários atribuindo notas de 1 a 5 à ferramenta quanto à velocidade de *feedback*, intuitividade no uso, visualização da informação de custo, impacto no projeto arquitetônico e relevância para o processo de projeto. Além disso, foi pedido que os alunos identificassem as principais dificuldades e potencialidades da ferramenta e o que poderia ser feito para melhorá-la.

No total, a ferramenta foi testada por 17 alunos, divididos em 3 oficinas: a 1ª com 11 alunos, a 2ª com 3 alunos e 3ª com 3 alunos. No 1º teste da ferramenta, as melhorias identificadas pelos aplicadores foram: diminuir as quantidades de casas decimais dos números que apareciam nos gráficos, a princípio, a precisão era de 4 casas, depois optou-se por 2 casas decimais; aprimorar a paleta de cores escolhida para que as semelhanças entre tons não atrapalhasse a visualização; acrescentar a visualização do custo total em cada gráfico; solucionar problemas de correspondências entre os valores dados por cada gráfico: o esperado

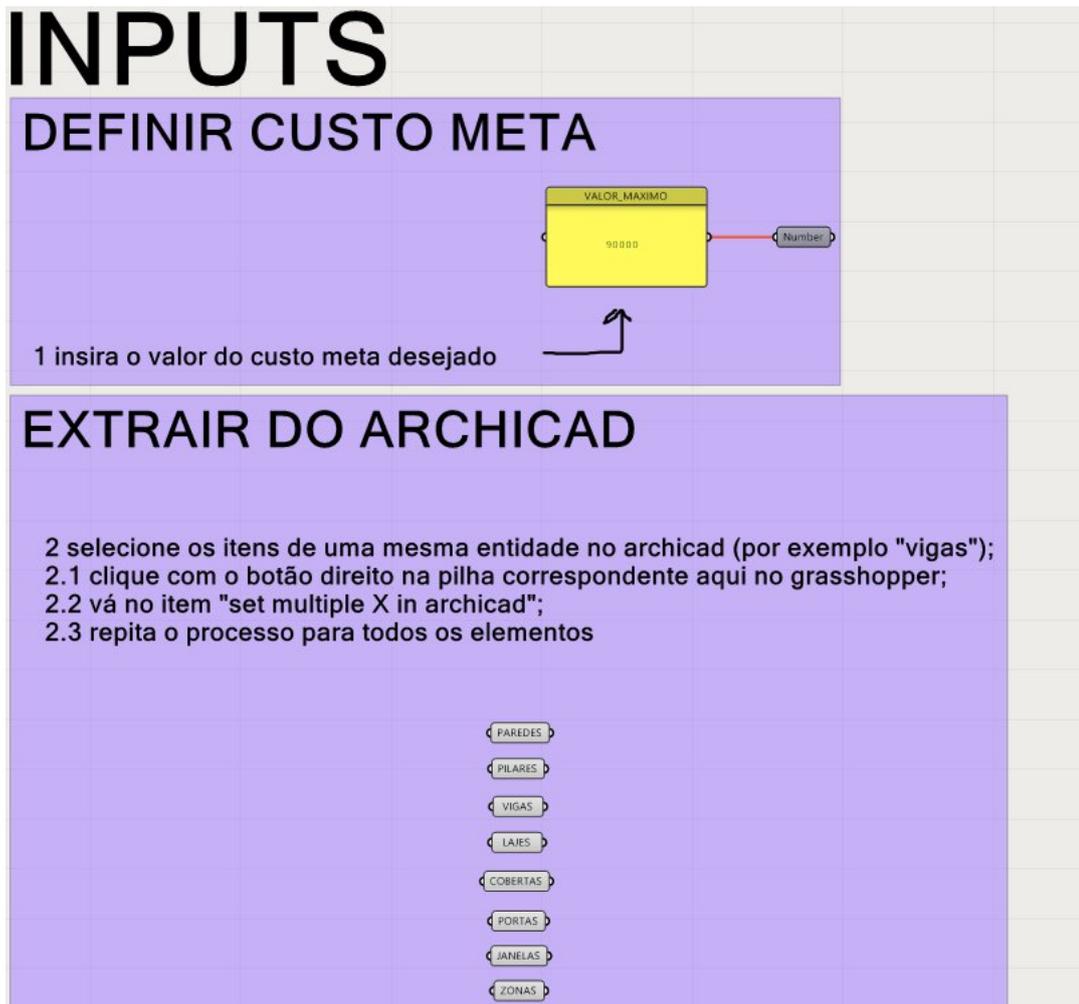
era que houvesse diferenças pequenas de valor, porém a disparidade entre o custo por área e o custo por sistema construtivo foi bem alta. Identificar essa disparidade foi complicado justamente por não haver, até aquele momento, um valor total por gráfico de forma direta, ou seja, era preciso somar os valores de cada área e os valores de cada sistema construtivo, para perceber a diferença no valor total. A discrepância dos valores ocorreu porque a extração de quantitativos estava sendo feita diretamente pelo Archicad, utilizando expressões criadas para extrair informações de cada sistema construtivo adotado. Algumas expressões, porém, não estavam coerentes e utilizaram parâmetros não adequados para a extração desses quantitativos, fazendo com que os valores finais não estivessem de acordo com a realidade do modelo.

Além disso, percebeu-se uma questão de modelagem, em relação à cobertura: para que o valor da cobertura aparecesse no gráfico, a modelagem deveria ser feita com uma água da coberta por vez, de modo que, se fosse utilizada a ferramenta para criar todas as águas do telhado de uma única vez, o seu valor não era identificado pelo algoritmo. Por fim, algumas falhas inesperadas foram percebidas, como barras dos gráficos desaparecendo por alguns instantes, os gráficos imediatamente após concluir o carregamento tinham formatos abstratos, e só depois assumiam a configuração correta e, ainda, o Rhinoceros fechando sem motivo aparente.

De uma situação de ensino para outra, esses problemas foram reduzidos ou solucionados. Na 2ª aplicação, as melhorias identificadas foram: enquanto a tela do computador estivesse dividida entre os programas Archicad, Rhinoceros e Grasshopper, os textos dos gráficos ficaram pequenos demais para uma leitura simples, sendo necessário aumentar o tamanho da fonte.

Outra questão, é que o algoritmo foi construído em inglês, uma vez que os *softwares* utilizados são nesse idioma e os conteúdos relacionados a eles, em sua maioria, também. A fim de facilitar a experiência do usuário e usabilidade da ferramenta, optou-se por acrescentar orientações do passo a passo da ferramenta dentro do Grasshopper em formato de texto (Figura 41), e por substituir os termos relacionados à extração das informações do modelo BIM, por termos em português, como por exemplo, substituir “*beams*” por “vigas”, “*walls*” por “paredes” e assim por diante.

Figura 41 – Instruções para o usuário inseridas no algoritmo



Fonte: a autora.

O próximo ponto ocorreu com um aluno no qual o algoritmo não extraia do modelo BIM o valor das janelas inseridas, nem das fundações. Foi identificado que se algum elemento modelado estivesse fora das classificações do *software* listadas na programação do algoritmo, o seu valor não seria mapeado. Como o *software* BIM trabalhado, Archicad, possui dezenas de classificações para cada elemento, não seria possível inserir todas no algoritmo devido ao poder computacional disponível. Desse modo, a modelagem precisa seguir determinadas diretrizes (APÊNDICE F) para evitar incompatibilidades e garantir seu funcionamento fluido.

Uma última correção que precisou ser feita, foi em relação à extração dos quantitativos de lajes, pilares e vigas. No decorrer da 2ª aplicação foi notado que os gráficos que apresentavam valores relativos à estrutura, só mostravam essas informações quando tanto vigas, quanto pilares, quanto lajes estavam modelados, e não individualmente. Isso se deu também porque a expressão criada no Archicad para extrair os quantitativos de estruturas

considerava o volume de concreto total, somando os três itens, portanto todos deveriam estar modelados para serem considerados. A correção feita separou uma expressão para cada um dos três quantitativos, e o problema na visualização foi conseqüentemente solucionado.

Na 3ª aplicação da ferramenta foram adicionados dois novos campos de interação: um código de cores para o custo total e um leitor de arquivos em formatos .pdf e .xlsx. O código de cores para o custo total funcionou da seguinte forma: dentro do algoritmo foi estabelecido um custo máximo para a residência a ser modelada e para cada um dos três gráficos gerados foi inserida uma condicional para que caso o somatório do custo total daquele gráfico ultrapassasse o custo máximo, a informação deveria aparecer em vermelho, e caso estivesse igual ou abaixo do custo máximo, em verde (Figura 36). Já o leitor de arquivos em .pdf e .xlsx serviu para que as tabelas de CUB e dos custos de insumos e serviços do SINAPI pudessem ser lidos automaticamente pelo algoritmo (Figura 26). Os alunos não apresentaram dificuldades para interagirem com essas duas novas funções. Além disso, verificou-se nessa 3ª experiência que mesmo com os nomes dos sistemas construtivos em português e as instruções de uso do algoritmo escritas em cada bloco dentro do algoritmo, os alunos ainda apresentaram dificuldades para utilizar a ferramenta sozinhos, em especial aqueles de semestres menos avançados da graduação. Supõe-se que esse obstáculo seja motivado pela falta de familiaridade dos alunos com a interface do Rhinoceros e Grasshopper, e com a lógica da ferramenta em si. Por último, nessa aplicação, as possíveis melhorias identificadas a serem feitas foram relacionadas apenas ao poder de processamento dos computadores utilizados e à conexão entre os *softwares* Archicad e Rhinoceros/Grasshopper.

Esses retornos e melhorias realizadas na ferramenta funcionaram como *looping* de aprendizado, ou como circunscrição (Vaishnavi and Kuechler, 2007), processo integrante da *Design Science Research*, fundamental para a melhor compreensão do que não funcionou como esperado, gerando um contraponto do resultado com a teoria existente (Dresch, 2015). A fim de deixar mais claro o que foi alterado em cada etapa, as informações foram organizadas no quadro abaixo (Quadro 11).

Quadro 11 – *Looping* de aprendizado da ferramenta

Versão	Melhorias	Visualização
1	<p>Diminuir a quantidade de casas decimais dos números que apareciam nos gráficos de 4 para 2</p> <p>Aprimorar a paleta de cores escolhida para que as semelhanças entre tons não atrapalhasse a visualização</p> <p>Acrescentar a visualização do custo total em cada gráfico</p> <p>Solucionar problemas de correspondências entre os valores dados por cada gráfico</p>	
2	<p>Aumentar o tamanho da fonte das letras dos gráficos</p> <p>Tradução dos nomes dos sistemas construtivos para Português</p> <p>Acréscimo de instruções para usar a ferramenta no próprio algoritmo</p> <p>Separação dos cálculos de vigas, pilares e lajes</p>	
3	<p>Adicionar um código de cores para o custo total (dentro do limite = verde/ fora do limite = vermelho)</p> <p>Acrescentar leitor de arquivos .xlsx e .pdf</p>	

Fonte: a autora.

No geral, uma parte considerável das dificuldades que os alunos tiveram nessa experiência foram relacionadas a orientações ao processo de modelagem ou uso dos *softwares* em si, e não do algoritmo propriamente dito. Primeiramente, foi preciso reforçar para os alunos que os elementos do Archicad devem estar “desprotegidos”, ou seja, habilitados para edição; explicar que para os gráficos do algoritmo funcionarem, após estabelecida a conexão por meio do Live-Connection, o Archicad deve estar na aba 3D de visualização; esclarecer que a modelagem das zonas deveria ser feita para dentro das paredes, considerando apenas área útil

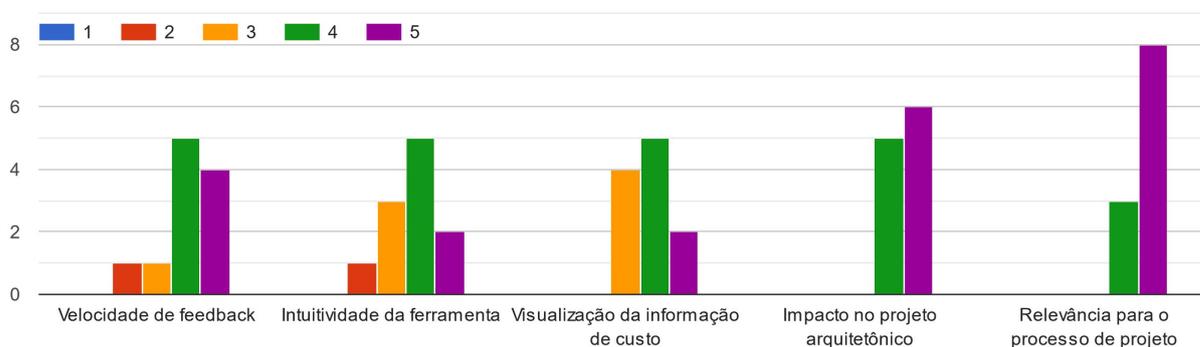
e, por fim, a última orientação necessária, foi que a modelagem das coberturas deveria ser feita utilizando o método de geometria de plano simples, criando uma água por vez.

Outra observação feita é relativa ao processo de como a atividade foi realizada. Pedir aos alunos que em um tempo tão curto modelem uma residência, fornecendo apenas o programa de necessidades, área e materiais, abre espaço para que o processo criativo fique livre, o que, de certa forma, atrapalha o teste da ferramenta, uma vez que o foco dos alunos acaba sendo dedicado à concepção do projeto e não ao uso da ferramenta. Mesmo que em todas as situações de ensino, antes da atividade ser explicada, fosse solicitado dos alunos que tivessem como foco principal a extração dos quantitativos do modelo e composição de uma estimativa de custos, pareceu natural aos participantes darem bastante atenção ao processo criativo em si, testando formas, volumetrias, tipos de esquadrias distintos, entre outras questões de projeto, como realmente ocorre em uma situação de projeto fora da sala de aula. A partir disso, percebeu-se que a ferramenta poderia ser melhor avaliada se fosse aplicada em um projeto que tivesse mais tempo para ser desenvolvido e com instruções mais específicas.

Em relação aos questionários aplicados com os alunos após as oficinas (APÊNDICE G), os resultados obtidos demonstraram, na 1ª oficina, que 6 dos 11 participantes já utilizavam Archicad para desenvolver estimativas de custos de projeto, e 3 dos 11 utilizavam Excel, porém se limitavam às ferramentas desses *softwares* para organizar e visualizar as informações de custo. Quanto à avaliação que os alunos fizeram da ferramenta em si, têm-se:

Figura 42 – Avaliação pelos alunos da 1ª oficina sobre a ferramenta

Avalie de 0 a 5, sendo 0 a nota mais baixa e 5 a nota mais alta, a ferramenta utilizada no workshop, conforme os seguintes aspectos:



Fonte: a autora.

A partir desses resultados, é possível observar que a maioria dos alunos considera a ferramenta de grande impacto e relevância para o projeto arquitetônico, porém sendo

necessárias melhorias para desenvolver ainda mais a velocidade de *feedback*, intuitividade da ferramenta e forma de visualização da informação de custo (Figura 42). O aspecto com menor nota média foi o de intuitividade da ferramenta. As maiores dificuldades no uso da ferramenta, apontadas diretamente pelos alunos no questionário, para a 1ª oficina, foram dificuldades para interpretar os gráficos, demora para processar os gráficos, falta de familiaridade com o Rhinoceros 3D e o Grasshopper e a frequência com que os programas fecharam sem nenhuma razão aparente.

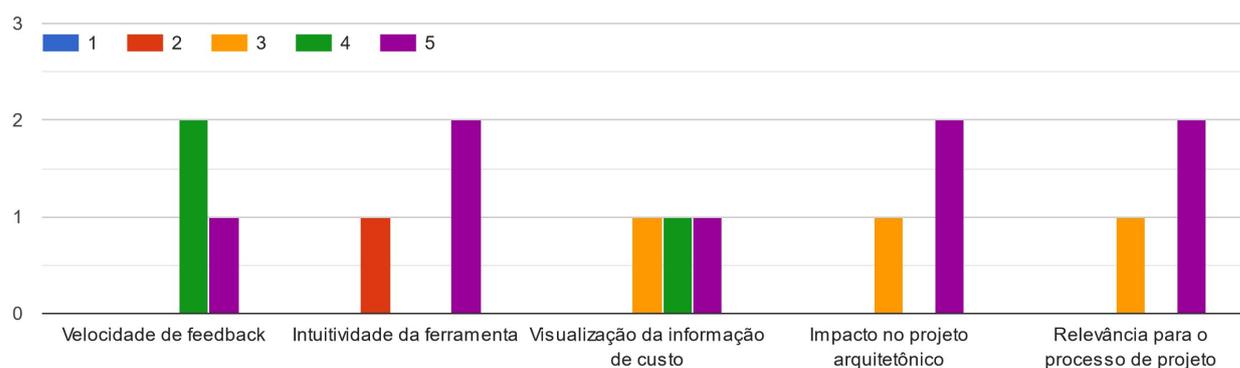
Quanto aos pontos positivos identificados pelos alunos no uso da ferramenta, foram apontados: consciência do impacto no custo da escolha de materiais; identificação de aspectos a serem considerados em caso de redução de custo; melhor visualização do custo, ajudando a tomar decisões projetuais; rapidez na visualização da informação de custo para mudanças de layouts e escolha dos sistemas construtivos e observação dos resultados das alterações no projeto de forma mais rápida e precisa.

Em relação às sugestões dos alunos para o que poderia ser melhorado no uso da ferramenta, têm-se: acrescentar a informação do custo total para cada gráfico de forma explícita; melhorar a legibilidade dos gráficos; melhorar o processamento dos gráficos para que seja mais rápido; evoluir a ferramenta para que possa abranger mais tipologias de projeto além da residencial e transformar essa ferramenta em um *plugin* único, dentro do Archicad, sem necessidade de empregar tantos *softwares* e *plugins* simultaneamente.

No caso da 2ª oficina, 2 dos 3 participantes afirmaram não usar o Archicad para desenvolver estimativas de custos, mas sim o Excel, e 1 deles afirmou não utilizar nenhum *software* para elaborar estimativas de custo. Em relação às avaliações da ferramenta, têm-se:

Figura 43 – Avaliação pelos alunos da 2ª oficina sobre a ferramenta

Avalie de 0 a 5, sendo 0 a nota mais baixa e 5 a nota mais alta, a ferramenta utilizada no workshop, conforme os seguintes aspectos:



Fonte: a autora.

A partir desses resultados, é possível extrair que sob os cinco aspectos avaliados, a nota média para cada um deles é igual ou acima de 4, mas assim como na 1ª oficina, o aspecto de intuitividade da ferramenta se mostra como o mais prejudicado, uma vez que recebeu a menor nota absoluta por um dos participantes: nota 2 (Figura 43). As maiores dificuldades no uso da ferramenta, apontadas diretamente pelos alunos no questionário, para a 2ª oficina, foram a falta de familiaridade com as ferramentas Rhinoceros 3D e Grasshopper e entraves para obter a licença desse *software*.

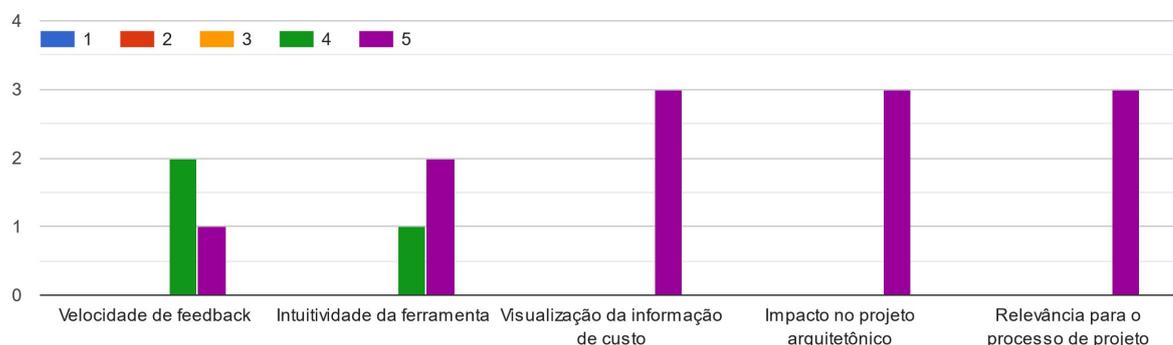
Em relação aos pontos positivos, foram apontados: identificar de modo mais simplificado e automatizado os custos de cada área do projeto e a materialidade em relação ao custo máximo estabelecido; facilidade para visualizar a proporção dos custos de cada sistema construtivo e a possibilidade de testar a mudanças de materiais e verificar qual é mais economicamente viável, possibilitando maior consciência na tomada de decisão de projeto.

Já sobre as melhorias sugeridas pelos alunos no uso da ferramenta, têm-se: a possibilidade de comparar gráficos do projeto antes e depois de determinada mudança; ter menos etapas no processo, implementando algum tipo de identificação automática dos elementos construtivos pelo Grasshopper, sem precisar selecionar cada grupo de elemento construtivo por vez e detalhar mais os custos avaliados.

Para a 3ª oficina, 2 dos 3 participantes afirmaram não usar nenhum *software* para elaborar estimativas de custo. Em relação às avaliações da ferramenta, têm-se:

Figura 44 – Avaliação pelos alunos da 3ª oficina sobre a ferramenta

Avalie de 0 a 5, sendo 0 a nota mais baixa e 5 a nota mais alta, a ferramenta utilizada no workshop, conforme os seguintes aspectos:



Fonte: a autora.

Com base no que pode ser observado na Figura 44, a 3ª aplicação da ferramenta foi a que teve a melhor avaliação sob todos os aspectos, mantendo nota máxima em três desses

cinco aspectos. A fim de facilitar a comparação direta entre as notas atribuídas pelos alunos em cada uma das três aplicações da ferramenta, foi organizado um quadro síntese com a média aritmética ponderada das notas para cada aspecto avaliado (Quadro 12).

Quadro 12 – Média ponderada das notas dos alunos atribuídas à ferramenta em cada aplicação

Aspecto Avaliado	Aplicação 1	Aplicação 2	Aplicação 3
Velocidade de feedback	4,09	4,33	4,33
Intuitividade da ferramenta	3,72	4,00	4,66
Visualização da informação de custo	3,81	4,00	5,00
Impacto no projeto arquitetônico	4,54	4,33	5,00
Relevância para o processo de projeto	4,72	4,33	5,00

Fonte: a autora.

As maiores dificuldades no uso da ferramenta, apontadas pelos alunos no questionário, foram precisar de auxílio dos monitores para utilizá-la, lentidão no retorno da conexão entre Archicad e Grasshopper e problemas técnicos com os computadores. Sobre os pontos positivos foram apontados a observação de quais materiais pesam mais na composição dos custos e a possibilidade de compensar o valor em outros componentes, facilidade e velocidade na visualização das informações de custo e possibilidade de acompanhar as mudanças no custo em tempo real, variando diretamente de acordo com a modelagem 3D. Em relação às melhorias sugeridas foi mencionada apenas a possibilidade de pausar o processamento do modelo 3D pelo Rhinoceros/Grasshopper, como forma de evitar a lentidão na conexão com o Archicad. A partir dessas respostas fornecidas pelos alunos, o resultado foi sintetizado e disposto em uma matriz FOFA (Figura 45).

Figura 45 – Divisão do *feedback* dos alunos das aplicações da ferramenta em situações de ensino organizado em matriz FOFA



Fonte: a autora.

Esta matriz foi construída a fim de facilitar a visualização do que foi apontado pelos alunos como pontos positivos, dificuldades e melhorias necessárias para a ferramenta. O resultado obtido com as respostas foi equilibrado em relação às forças e fraquezas.

6.1.2 Aplicação da ferramenta em grupo focal

Quanto à aplicação da ferramenta em grupo focal, o objetivo foi colher opiniões de profissionais experientes no ramo da construção civil acerca da ferramenta. Dessa forma, o grupo focal foi montado por 5 arquitetos do setor de projetos da Superintendência de Infraestrutura e Gestão Ambiental da UFC (também chamada UFC infra). Primeiro foi feita uma apresentação da ferramenta, explicando o público-alvo, objetivos, quais *softwares* utilizados e a forma como usá-la. Em seguida, foi feita uma demonstração a partir de um dos

projetos modelados por alunos nas oficinas realizadas anteriormente. Não foi realizada uma oficina com esses profissionais assim como foi feito com os alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo por duas principais razões: os computadores disponíveis no local de trabalho da equipe não possuíam poder de processamento necessário para instalação dos *softwares* utilizados pela ferramenta e a equipe não tinha disponibilidade de tempo para a realização da oficina e nem para se deslocar até outro local com computadores que pudessem suportar a ferramenta. Desse modo, a demonstração da ferramenta e coleta de *feedbacks* se provou a opção mais viável.

A discussão com o grupo focal após a demonstração da ferramenta foi iniciada com a caracterização do grupo. Foram feitas perguntas (APÊNDICE H) a fim de identificar quantos profissionais tinham familiaridade com projetos em BIM e com o Rhinoceros e Grasshopper, e em que contexto; quantos profissionais trabalhavam ou estavam de alguma forma envolvidos no processo de estimativa de custos dos projetos; se os membros do grupo já tinham utilizado algum dos *softwares* e *plugins* mencionados para estimativa de custos; como o grupo estava habituado a realizar as estimativas de custos dos projetos desenvolvidos, quais os *softwares*, qual o fluxo de processo e, por fim, quais as bases de dados para custos utilizadas e se eles estavam familiarizados com o SINAPI.

A fase de caracterização do grupo demonstrou que a minoria dos profissionais estava familiarizado com *softwares* em BIM: apenas 2 de 5 pessoas realizavam projetos com BIM, especificamente com o *software* Revit, e apenas em projetos pessoais. Também não havia familiaridade do grupo com Rhinoceros e Grasshopper, 3 pessoas afirmaram ter entrado em contato com o *software*, mas sem aprofundamento, e nos 3 casos em contextos de ensino (graduação ou pós-graduação). Dos 5 arquitetos entrevistados, 2 faziam parte do processo de estimativa de custos dos projetos e utilizavam diversas bases de dados. Todavia, todos estavam familiarizados com o SINAPI. Em relação ao processo atual seguido pelos profissionais do grupo focal para estimativa de custos dos projetos desenvolvidos, inicia-se com a concepção e elaboração do projeto em AutoCAD e, após a finalização do projeto, parte-se para a extração de quantitativos e orçamentação utilizando o SEOBRA.

Já no que se refere aos *feedbacks* sobre a ferramenta apresentada, as perguntas norteadoras da discussão foram divididas em quatro eixos de forma a compor uma matriz FOFA (Figura 46).

Figura 46 – Divisão de perguntas norteadoras para grupo focal em matriz FOFA



Fonte: a autora.

O retorno do grupo focal em relação à ferramenta apresentada demonstrou, de forma geral, que ela pode ser muito valiosa para apoiar a tomada de decisão projetual, porém a implantação em um contexto institucional demanda investimento em equipamentos e em qualificação dos profissionais.

Os aspectos positivos da ferramenta mais destacados pelos profissionais foram principalmente velocidade de resposta para embasar a tomada de decisão e possibilidade de definir estratégias projetuais. Para o primeiro aspecto, a velocidade de resposta impacta, segundo o grupo, na fase inicial de projeto, tornando possível ter uma noção dos custos gerais, o que se torna muito relevante para o que eles chamaram de “*go, no go*”, ou viabilidade do projeto. Se um projeto estiver ultrapassando muito o orçamento disponível, será preciso adaptá-lo ao máximo para se encaixar nessas restrições financeiras para torná-lo viável, ou mesmo abandoná-lo se for percebida essa impraticabilidade. Já para as estratégias projetuais, foi mencionado a necessidade de fazer um “projeto inteligente”, que possibilite que os projetistas decidam quais são as prioridades e o que é essencial. Segundo o grupo, muitas vezes o recurso

disponibilizado para a realização dos projetos é abaixo do que foi solicitado pelos arquitetos, gerando uma imposição de cortar gastos e manter apenas aquilo que é imprescindível, de forma estratégica. Um dos membros do grupo mencionou que em situações como essas, às vezes os arquitetos precisam optar por deixar de realizar uma fase completa do projeto, o que não necessariamente é a melhor decisão. Com o uso da ferramenta, haveria a possibilidade de visualizar o impacto no custo gerado por diferentes escolhas, substituições de materiais ou reduções de elementos em cada um dos sistemas construtivos, por exemplo. Dessa forma, a ferramenta poderia ser útil em ajudar os projetistas a identificarem quais as prioridades de um projeto e destinarem o recurso da forma mais otimizada possível.

Quanto ao que poderia ser alterado na ferramenta para que se tornasse mais eficaz para a tomada de decisão, foram apontados três pontos principais: primeiro a necessidade de incluir a estimativa de custos de instalações hidrossanitárias e elétricas, principalmente para as decisões relacionadas às configurações de plantas baixas e layouts; segundo, incluir estimativa de custos de reformas. O grupo afirmou que recebe uma demanda alta de reformas, de modo que seria necessário quantificar apenas uma parte dos sistemas construtivos, enquanto outros não seriam alterados. E terceiro ponto, incluir mais planilhas como base de dados, uma vez que são usados serviços de dezenas de bases de dados diferentes, como SINAPI, SEINFRA, SBC e a própria base de dados da universidade. O grupo também sugeriu como solução a esse ponto a possibilidade de criar uma planilha com os serviços utilizados no projeto considerando uma mistura dessas bases de dados, e usar essa planilha personalizada para alimentar o algoritmo, eliminando a necessidade de inserir nele todos os serviços de todas as bases de dados para não torná-lo impraticável de ser usado em um computador com menos poder de processamento.

Em relação à visualização das informações, as opiniões foram divergentes: três pessoas do grupo acreditam que a visualização em formato de gráficos facilita a identificação das informações, enquanto outras duas preferem a visualização em formato de tabelas. Porém todos estavam de acordo que a visualização em tabelas seria mais adequada para fases finais de projeto e orçamentação, e não para fases iniciais. Foi sugerido ainda que a ferramenta pudesse incorporar uma visualização das informações em tabelas, sem substituir os gráficos, para aqueles projetistas que não estivessem familiarizados com a interface de programação visual. Essa sugestão vai bem ao encontro da questão de partida (“como representar a informação do custo em etapas iniciais do projeto arquitetônico de modo a apoiar a tomada de decisão?”), sabendo que o foco é em etapas iniciais, os gráficos foram bem recebidos pelo grupo e podem ser uma forma eficaz de representar essas informações, mas não atendem à totalidade dos

arquitetos e projetistas, principalmente aqueles mais acostumados com *softwares* tradicionais de projeto e estimativa de custos, como Autocad e Excel. Outro problema mencionado foi o tamanho da fonte utilizada nos gráficos, apontada por alguns membros do grupo como um fator que dificultava o entendimento, por estar muito pequena.

No que se refere às dificuldades identificadas para o uso da ferramenta, o grupo apontou diversos fatores, mas a maioria deles não estava atrelada especificamente à ferramenta, mas sim ao uso de BIM para desenvolver projetos e às necessidades de *hardwares* e *softwares*. O grupo apontou a indispensabilidade de capacitar arquitetos e projetistas para trabalhar não apenas com BIM, que atualmente não é utilizado pelo grupo para desenvolver os projetos da instituição, mas também com Rhinoceros e Grasshopper, entre outros *plugins* como Conduit e Excel Reader and Writer utilizados na ferramenta. Ou seja, primeiro seria preciso que os profissionais aprendessem cada um desses *softwares* individualmente, para então poder aprender a ferramenta. Muito foi dito sobre o processo de transição do modo de projetar utilizando *softwares* 2D para *softwares* 3D e as dificuldades não apenas logísticas, como comprar licenças de *softwares* mais caros ou computadores mais potentes, mas também dificuldades pessoais em desconstruir o que se sabe de fluxo projetual, e aprender algo novo e a partir daí conseguir pôr em prática de forma ágil, sem a possibilidade de poder estacionar os projetos que já estão em andamento. Esse processo demandaria mais tempo e dinheiro do que a instituição oferece. O entrave apresentado em relação à ferramenta propriamente dita foi a demanda por mais serviços e materiais dentro do algoritmo desenvolvido, uma vez que a tipologia desenvolvida pela UFC infra é de prédios institucionais, o algoritmo teria que ser bem mais robusto, com serviços de diversas bases de dados como já foi mencionado.

Por fim, quanto à relevância da ferramenta, o grupo reconheceu de imediato seu papel e concordou sobre ser uma proposta interessante em relação ao que já existe no mercado. Também ficou claro para os profissionais do grupo focal e foi comentado por eles sobre o potencial da ferramenta para a diminuição do espaço entre projeto e estimativas de custos.

Figura 47 – Divisão do *feedback* do grupo focal em matriz FOFA



Fonte: a autora.

A partir dessas respostas colhidas do grupo focal, o resultado foi disposto em uma matriz FOFA (Figura 47) assim como as perguntas norteadoras, a fim de visualizar mais facilmente o que foi apontado pelos profissionais como virtudes e deficiências da ferramenta.

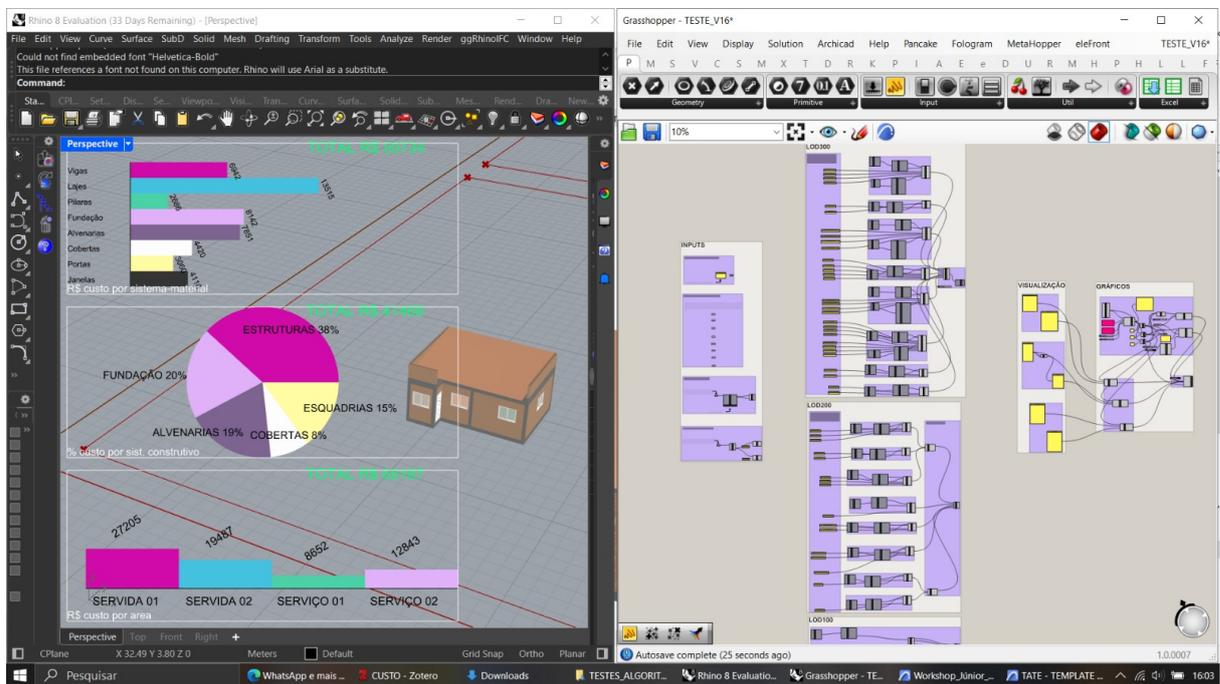
6.2 Avaliação interna da ferramenta

Com o intuito de realizar a avaliação interna e verificar se os valores obtidos pela ferramenta estavam coerentes, foram realizadas as estimativas de custos de três residências modeladas durante as oficinas com os alunos do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo, utilizando apenas o *software* de modelagem BIM (Archicad) e seu gestor de propriedades e mapas de quantitativos para obter as informações de custo, a fim de compará-las com os valores obtidos pela ferramenta no decorrer da experiência de ensino. É importante enfatizar que essas residências foram escolhidas aleatoriamente e foram usadas as mesmas referências de custos para ambos, ou seja, a base empregada foi a tabela SINAPI de referências

de custo, sintética, desonerada do mês de abril de 2024. A tabela selecionada foi a desonerada, o que significa que os valores lá dispostos não consideram a contribuição previdenciária de 20% sobre a folha de pagamento da mão-de-obra, com a finalidade de reduzir o impacto da variação dos encargos sociais sobre o preço da construção na análise do presente trabalho. Para cada uma das três residências foram avaliados os custos dos cinco sistemas construtivos modelados: fundações, estrutura, alvenaria, cobertura e esquadrias.

- **Casa 1:**

Figura 48 – Conexão do modelo 3D da “Casa 1” com o algoritmo



Fonte: a autora.

Por meio da Figura 48 é possível constatar que o custo total da Casa 1, considerando seu estágio de modelagem mais avançado, ou seja, os cinco sistemas construtivos modelados e incluindo materialidade, é R\$ 50.734,00. Para esse modelo a fundação empregada foi laje radier; as alvenarias foram de bloco cerâmico; a estrutura de concreto armado, com presença de laje de fôrro; a cobertura de telha fibrocimento; as portas tiveram duas variações, sendo quatro de madeira e uma de alumínio; e as janelas foram de alumínio, de correr.

Tabela 3 – Estimativa de custos Casa 1

CASA 1						
ALVENARIAS						
ID do Elemento	Comprimento da Parede na Face Externa (m)	Custo Unitário do Encunhamento (R\$)	Custo Total do Encunhamento (R\$)	Área da Superfície da Face Externa da Parede (Líquida) (m²)	Custo Unitário Bloco Cerâmico (R\$)	Custo Total Bloco Cerâmico (R\$)
Parede-001	7,65	10,71	81,93	22,74	78,71	1789,75
Parede-002	4,95	10,71	53,01	14,90	78,71	1172,85
Parede-003	5,70	10,71	61,05	11,38	78,71	895,72
Parede-004	1,06	10,71	11,40	0,46	78,71	36,05
Parede-005	1,95	10,71	20,88	4,78	78,71	376,23
Parede-006	6,02	10,71	64,52	16,11	78,71	1267,82
Parede-007	1,80	10,71	19,28	4,68	78,71	368,36
Parede-008	2,04	10,71	21,87	2,51	78,71	197,51
Parede-011	3,20	10,71	34,28	8,27	78,71	650,64
Parede-012	3,45	10,71	36,95	7,12	78,71	560,11
Parede-013	1,30	10,71	13,91	1,49	78,71	117,12
	39,12		419,08	94,44		7432,16
FUNDAÇÃO						
ID do Elemento	Área da Superfície do Topo (Líquida) (m²)		Custo Unitário Radier (R\$)	Custo Total Radier (R\$)		
Fundação	39,96		203,75	8141,93		
	39,96			8141,93		
ESTRUTURA						
LAJE PISO						
ID do Elemento	Área da Superfície do Topo (Líquida) (m²)		Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)		
Laje 01	39,96		175,28	7004,25		
	39,96			7004,25		
LAJE FÔRRO						
ID do Elemento	Área da Superfície do Topo (Líquida) (m²)		Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)		
Forro-010	39,77		163,74	6511,18		
	39,77			6511,18		

Tabela 3 – Estimativa de custos Casa 1 (continuação)

PILARES									
ID do Elemento	Volume (Líquido) (m³)	Custo Unitário Concreta gem (R\$)	Custo Total Concreta gem (R\$)	Taxa de forma	Custo Unitário Forma (R\$)	Custo Total Forma (R\$)	Taxa de aço	Custo Unitário Armação (R\$)	Custo total Armação (R\$)
P01	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P01	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P01	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P01	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P01	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P01	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P01	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P01	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P01	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P01	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
	0,9360		608,67			1193,76			884,07
VIGAS									
ID do Elemento	Volume (Líquido) (m³)	Custo Unitário Concreta gem (R\$)	Custo Total Concreta gem (R\$)	Taxa de forma	Custo Unitário Forma (R\$)	Custo Total Forma (R\$)	Taxa de aço	Custo Unitário Armação (R\$)	Custo Total Armação (R\$)
V01	0,432	628,13	271,35	12	160,70	833,07	83	11,38	408,04
V02	0,432	628,13	271,35	12	160,70	833,07	83	11,38	408,04
V03	0,297	628,13	186,54	12	160,70	572,70	83	11,38	280,51
V04	0,297	628,13	186,54	12	160,70	572,70	83	11,38	280,51
V05	0,3525	628,13	221,39	12	160,70	679,67	83	11,38	332,91
V06	0,0555	628,13	34,84	12	160,70	106,97	83	11,38	52,39
V07	0,117	628,13	73,49	12	160,70	225,62	83	11,38	110,51
	1,9830		1245,50			3823,80			1872,91
COBERTURA									
ID do Elemento	Área da Superfície (m²)	Custo Unitário das telhas (R\$)	Custo Total das telhas (R\$)	Custo Unitário da trama da cobertura (R\$)	Custo Total da trama da cobertura (R\$)	Custo Unitário da cumeeira (R\$)	Custo Total da cumeeira (R\$)	Custo Unitário dos pontaltes - Fibrocimento (R\$)	Custo Total dos Pontaltes - Fibrocimento (R\$)
Cobertura-010	42,28	59,33	2508,47	21,69	917,05	102,00	0	23,51	994,00
	42,28		2508,47		917,05				994,00

Tabela 3 – Estimativa de custos Casa 1 (continuação)

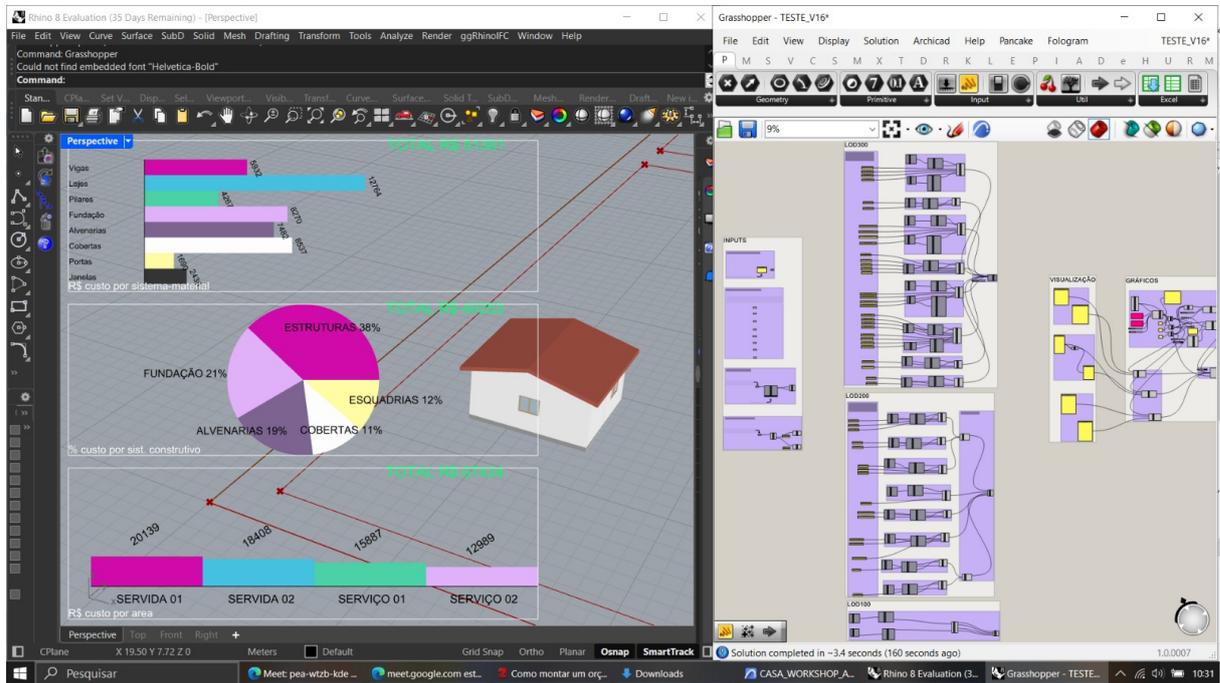
ESQUADRIAS					
PORTAS					
ID do Elemento	Quantidade (un)	Tamanho Nominal (L x A)	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	P/J Largura do Vão no Lado Oposto do Requadro (m)
P01	1	0,90×2,10	422,43	422,43	0,90
P01	1	0,90×2,10	422,43	422,43	0,90
P01	1	0,90×2,10	422,43	422,43	0,90
P01	1	0,90×2,10	422,43	422,43	0,90
P02	1	0,90×2,10	765,90	1447,55	0,85
	5			3137,27	
JANELAS					
ID do Elemento	Área (m²)	Tamanho Nominal (L x A)	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	P/J Largura do Vão no Lado Oposto do Requadro (m)
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,06	1,20
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,06	1,20
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,06	1,20
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,06	1,20
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,06	1,20
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,06	1,20
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,06	1,20
	8,40			4116,42	
TOTAL (R\$)					
50810,53					

Fonte: a autora.

O resultado obtido para a estimativa de custos da Casa 1 utilizando apenas o Archicad foi de R\$ 50.810,53, apontando uma diferença de R\$ 76,53 do custo obtido pela ferramenta durante a experiência de ensino.

- Casa 2:

Figura 49 – Conexão do modelo 3D da “Casa 2” com o algoritmo



Fonte: a autora.

Na Figura 49 pode-se observar que o custo total da Casa 2, considerando seu estágio de modelagem mais avançado, ou seja, os cinco sistemas construtivos modelados e incluindo materialidade, é R\$ 51.381,00. Para esse modelo a fundação empregada foi laje radier; as alvenarias foram de bloco cerâmico; a estrutura de concreto armado, com presença de laje de fôrro; a cobertura de telha cerâmica colonial; as portas não tiveram variações, sendo todas de madeira; e as janelas foram de madeira, de giro.

Tabela 4 – Estimativa de custos Casa 2

CASA 2						
ALVENARIAS						
ID do Elemento	Comprimento da Parede na Face Externa (m)	Custo Unitário do Encunhamento (R\$)	Custo Total do Encunhamento (R\$)	Área da Superfície da Face Externa da Parede (Líquida) (m ²)	Custo unitário bloco cerâmico (R\$)	Custo Total Bloco Cerâmico (R\$)
Parede-01	5,89	10,71	63,03	12,26	78,71	965,07
Parede-02	6,90	10,71	73,92	17,67	78,71	1391,13
Parede-03	5,88	10,71	62,94	12,48	78,71	981,96
Parede-04	6,91	10,71	73,96	18,47	78,71	1453,76
Parede-05	3,49	10,71	37,43	6,27	78,71	493,16
Parede-06	1,82	10,71	19,53	4,74	78,71	373,16

Tabela 4 – Estimativa de custos Casa 2 (continuação)

ALVENARIAS									
ID do Elemento	Comprimento da Parede na Face Externa (m)	Custo Unitário do Encunhamento (R\$)	Custo Total do Encunhamento (R\$)	Área da Superfície da Face Externa da Parede (Líquida) (m²)	Custo unitário bloco cerâmico (R\$)	Custo Total Bloco Cerâmico (R\$)			
Parede-07	4,72	10,71	50,57	10,20	78,71	802,60			
Parede-08	3,04	10,71	32,58	5,59	78,71	440,21			
	38,65		413,96	87,68		6901,05			
FUNDAÇÃO									
ID do Elemento	Área da Superfície do Topo (Líquida) (m²)		Custo unitário (R\$)		Custo Total (R\$)				
Fundação Radier	40,59		203,75		8270,03				
					8270,03				
ESTRUTURA									
LAJE PISO									
ID do Elemento	Área da Superfície do Topo (Líquida) (m²)		Custo Unitário (R\$)		Custo Total (R\$)				
Laje Piso	40,59		163,74		6646,06				
					6646,06				
LAJE FÔRRO									
ID do Elemento	Área da Superfície do Topo (Líquida) (m²)		Custo Unitário (R\$)		Custo Total (R\$)				
Laje Forro	37,46		163,74		6134,38				
					6134,38				
PILARES									
ID do Elemento	Volume (Líquido) (m³)	Custo Unitário Concreta gem (R\$)	Custo Total Concreta gem (R\$)	Taxa de forma	Custo Unitário Forma (R\$)	Custo Total Forma (R\$)	Taxa de aço	Custo Unitário Armação (R\$)	Custo total Armação (R\$)
P01	0,1381	650,29	89,78	12	106,28	176,08	83	11,38	130,41
P02	0,16	650,29	104,07	12	106,28	204,10	83	11,38	151,16
P03	0,1583	650,29	102,92	12	106,28	201,85	83	11,38	149,49
P04	0,138	650,29	89,75	12	106,28	176,03	83	11,38	130,37
P05	0,138	650,29	89,74	12	106,28	176,00	83	11,38	130,34
P06	0,16	650,29	104,05	12	106,28	204,07	83	11,38	151,14
P07	0,138	650,29	89,73	12	106,28	175,97	83	11,38	130,33
P08	0,1582	650,29	102,89	12	106,28	201,80	83	11,38	149,45
P09	0,16	650,29	104,04	12	106,28	204,05	83	11,38	151,12
P10	0,138	650,29	89,73	12	106,28	175,97	83	11,38	130,33
	1,4866		966,70			1895,92			1404,14

Tabela 4 – Estimativa de custos Casa 2 (continuação)

VIGAS									
ID do Elemento	Volume (Líquido) (m³)	Custo Unitário Concreta-gem (R\$)	Custo Total Concreta-gem (R\$)	Taxa de forma	Custo Unitário Forma (R\$)	Custo Total Forma (R\$)	Taxa de aço	Custo Unitário Armação (R\$)	Custo Total Armação (R\$)
V01	0,2768	628,13	173,89	12	160,70	533,86	83	11,38	261,49
V02	0,224	628,13	140,67	12	160,70	431,87	83	11,38	211,53
V03	0,277	628,13	173,99	12	160,70	534,16	83	11,38	261,64
V04	0,2379	628,13	149,40	12	160,70	458,68	83	11,38	224,66
V05	0,2376	628,13	149,22	12	160,70	458,12	83	11,38	224,39
V06	0,2298	628,13	144,32	12	160,70	443,08	83	11,38	217,02
V07	0,2114	628,13	132,82	12	160,70	407,76	83	11,38	199,72
	1,6945		1064,31			3267,53			1600,45
COBERTURA									
ID do Elemento	Área da Superfície (m²)	Custo Unitário das telhas (R\$)	Custo Total das telhas (R\$)	Custo Unitário da trama da cobertura (R\$)	Custo Total da trama da cobertura (R\$)	Custo Unitário da cumeeira (R\$)	Custo Total da cumeeira (R\$)	Custo Unitário dos pontaltes (R\$)	Custo Total dos Pontaltes - Cerâmico (R\$)
Cobertura-010	28,03	39,84	1116,55	77,56	2173,69	22,85	7,62	34,63	970,54
	28,03	39,84	1116,55	77,56	2173,69	22,85	7,62	34,63	970,54
	56,06		2233,10		4347,38		15,24		1941,08
ESQUADRIAS									
PORTAS									
ID do Elemento	Quantidade (un)	Tamanho Nominal (L x A)	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	P/J Largura do Vão no Lado Oposto do Requadro (m)				
P01	1	0,90×2,10	422,43	422,43	0,90				
P01	1	0,90×2,10	422,43	422,43	0,90				
P01	1	0,90×2,10	422,43	422,43	0,90				
P01	1	0,90×2,10	422,43	422,43	0,90				
	4			1689,72					
JANELAS									
ID do Elemento	Área (m²)	Tamanho Nominal (L x A)	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	P/J Largura do Vão no Lado Oposto do Requadro (m)				
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,08	1,20				
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,08	1,20				
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,08	1,20				
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,08	1,20				
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,08	1,20				
	6,00			2940,40					

Tabela 4 – Estimativa de custos Casa 2 (continuação)

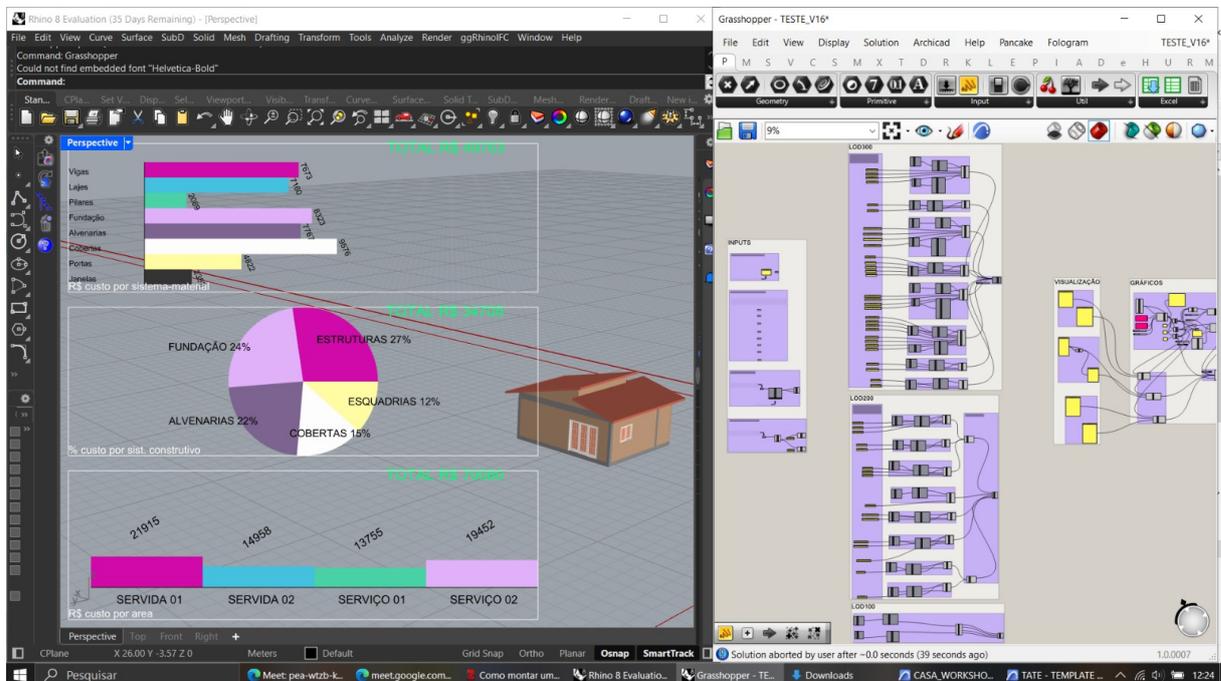
TOTAL (R\$)
51731,45

Fonte: a autora.

O resultado obtido para a estimativa de custos da Casa 2 utilizando apenas o Archicad foi de R\$ 51.731,45, apontando uma diferença de R\$ 350,45 do custo obtido pela ferramenta durante a experiência de ensino.

- **Casa 3:**

Figura 50 – Conexão do modelo 3D da “Casa 3” com o algoritmo



Fonte: a autora.

Na Figura 50 pode-se observar que o custo total da Casa 3, considerando seu estágio de modelagem mais avançado, ou seja, os cinco sistemas construtivos modelados e incluindo materialidade, é R\$ 49.763,00. Para esse modelo a fundação empregada foi laje radier; as alvenarias foram de bloco cerâmico; a estrutura de concreto armado, sem presença de laje de fôrro; a cobertura de telha cerâmica colonial; as portas tiveram duas variações, sendo três de madeira e uma de alumínio; e as janelas foram de alumínio, de correr.

Tabela 5 – Estimativa de custos Casa 3

CASA 3									
ALVENARIAS									
ID do Elemento	Comprimento da Parede na Face Externa (m)	Custo Unitário do Encunhamento (R\$)	Custo Total do Encunhamento (R\$)	Área da Superfície da Face Externa da Parede (Líquida) (m ²)	Custo unitário bloco cerâmico (R\$)	Custo Total Bloco Cerâmico (R\$)			
Parede-01	4,62	10,71	49,53	9,02	78,71	710,28			
Parede-02	4,57	10,71	48,97	12,58	78,71	990,16			
Parede-03	1,38	10,71	14,73	5,69	78,71	447,68			
Parede-04	2,43	10,71	26	7,24	78,71	569,67			
Parede-05	6,15	10,71	65,87	14,67	78,71	1155,02			
Parede-06	7,15	10,71	76,58	17,37	78,71	1366,86			
Parede-07	3,18	10,71	34	9,39	78,71	739,41			
Parede-08	4,62	10,71	49,53	11,44	78,71	900,40			
Parede-09	4,62	10,71	49,53	3,70	78,71	291,37			
	38,72		414,74	91,10		7170,85			
FUNDAÇÃO									
ID do Elemento	Área da Superfície do Topo (Líquida) (m ²)		Custo unitário (R\$)		Custo Total (R\$)				
Fundação	40,85		203,75		8323,38				
	40,85				8323,38				
ESTRUTURA									
LAJE PISO									
ID do Elemento	Área da Superfície do Topo (Líquida) (m ²)		Custo Unitário (R\$)		Custo Total (R\$)				
Laje de Piso	40,85		175,28		7160,36				
	40,85				7160,36				
PILARES									
ID do Elemento	Volume (Líquido)	Custo Unitário Concreta gem (R\$)	Custo Total Concreta gem (R\$)	Taxa de forma	Custo Unitário Forma (R\$)	Custo Total Forma (R\$)	Taxa de aço	Custo Unitário Armação (R\$)	Custo total Armação (R\$)
P01	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P02	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P03	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P04	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P05	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P06	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
P07	0,104	650,29	67,63	12	106,28	132,64	83	11,38	98,23
	0,7280		473,41			928,48			687,61

Tabela 5 – Estimativa de custos Casa 3 (continuação)

VIGAS									
ID do Elemento	Volume (Líquido) (m ³)	Custo Unitário Concreta gem (R\$)	Custo Total Concreta gem (R\$)	Taxa de forma	Custo Unitário Forma (R\$)	Custo Total Forma (R\$)	Taxa de aço	Custo Unitário Armação (R\$)	Custo Total Armação (R\$)
V01	0,2955	628,13	185,61	12	160,7	569,84	83	11,38	279,11
V01	0,429	628,13	269,47	12	160,7	827,28	83	11,38	405,21
V02	0,2865	628,13	179,96	12	160,7	552,49	83	11,38	270,61
V03	0,4335	628,13	272,29	12	160,7	835,96	83	11,38	409,46
V04	0,282	628,13	177,13	12	160,7	543,81	83	11,38	266,36
V05	0,2775	628,13	174,31	12	160,7	535,13	83	11,38	262,11
V06	0,1875	628,13	117,77	12	160,7	361,57	83	11,38	177,1
	2,1915		1376,54			4226,08			2069,96
COBERTURA									
ID do Elemento	Área da Superfície (m ²)	Custo Unitário das telhas (R\$)	Custo Total das telhas (R\$)	Custo Unitário da trama da cobertura (R\$)	Custo Total da trama da cobertura (R\$)	Custo Unitário da cumeeira (R\$)	Custo Total da cumeeira (R\$)	Custo Unitário dos pontales - Cerâmico (R\$)	Custo Total dos Pontales - Cerâmico (R\$)
Cobertura-010	25,03	39,84	997,06	77,56	1941,07	22,85	0	34,63	866,67
	37,96	39,84	1512,40	77,56	2944,32	22,85	0	34,63	1314,62
	62,99		2509,46		4885,39				2181,29
ESQUADRIAS									
PORTAS									
ID do Elemento	Quantidade (un)	Tamanho Nominal (L x A)	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	P/J Largura do Vão no Lado Oposto do Requadro (m)				
P01	1	0,90×2,10	422,43	422,43	0,90				
P01	1	0,90×2,10	422,43	422,43	0,90				
P01	1	0,90×2,10	422,43	422,43	0,90				
P02	1	2,21×2,10	765,90	3554,54	2,21				
	4			4821,83					
JANELAS									
ID do Elemento	Área (m ²)	Tamanho Nominal (L x A)	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	P/J Largura do Vão no Lado Oposto do Requadro (m)				
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,06	1,20				
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,06	1,20				
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,06	1,20				
J01	1,20	1,20×1,00	490,05	588,06	1,20				
	4,80			2352,24					

Tabela 5 – Estimativa de custos Casa 3 (continuação)

TOTAL (R\$)
49581,62

Fonte: a autora.

Tabela 6 – Síntese comparativa entre os resultados utilizando a ferramenta e o Archicad

MODELO	FERRAMENTA	ARCHICAD	DIFERENÇA
Casa 1	50.734,00	50.810,53	76,53
Casa 2	51.381,00	51.731,45	350,45
Casa 3	49.763,00	49.581,62	181,38

Fonte: a autora.

O resultado obtido para a estimativa de custos da Casa 3 utilizando apenas o Archicad foi de R\$ 49.581,62, apontando uma diferença de R\$ 181,38 do custo obtido pela ferramenta durante a experiência de ensino.

Esses resultados próximos entre as estimativas sugere que o algoritmo desenvolvido no Grasshopper é confiável, contribuindo para a validação do seu uso como uma ferramenta para estimativa de custos em projetos arquitetônicos. Além disso, destacam o potencial de integrar métodos computacionais ao processo de design, oferecendo tanto eficiência quanto precisão. Isso pode levar a fluxos de trabalho mais otimizados, reduzindo o tempo e o esforço necessários para a estimativa de custos, sem comprometer a precisão.

Destaca-se também que o uso dessas ferramentas em um ambiente educacional demonstra sua praticidade e potencial para aprimorar a experiência de aprendizado. Os alunos adquirem experiência prática com ferramentas digitais avançadas, preparando-os para as exigências da prática arquitetônica contemporânea. Essas observações demonstram que a integração de ferramentas computacionais, como o Grasshopper, nos processos de estimativa de custos não só apoia os métodos tradicionais, mas também oferece novas oportunidades de inovação no projeto arquitetônico.

Nesse sentido, as potencialidades de empregar a ferramenta desenvolvida ao invés de utilizar apenas os recursos do software de modelagem BIM são, principalmente: 1. visualização clara e intuitiva dos custos, permitindo uma comunicação mais eficaz com clientes e outros stakeholders, por exemplo, uma vez que o uso de tabelas pode ser considerado mais técnico e menos acessível para quem não está familiarizado com o processo; 2. automatização das informações necessárias para cada fase do desenvolvimento do projeto, ou seja, a precisão dos custos evolui conforme o nível de detalhe do modelo, fornecendo uma estimativa de custo

mais precisa ao longo do processo de modelagem. No caso das tabelas tradicionais, esse controle é feito de forma manual pelo usuário, exigindo que este monitore cuidadosamente o avanço do projeto e atualize as estimativas de acordo.

6.3 Versão final da ferramenta

Após passar pelas avaliações interna e externa a versão finalizada da ferramenta, com todas as melhorias acrescentadas, foi publicada no repositório internacional Zenodo (Ribeiro et. al, 2024). O material publicado (APÊNDICE I) inclui o modelo 3D desenvolvido como exemplo de residência de baixo padrão, modelado em Archicad, usado para demonstrar a aplicação prática de técnicas de estimativa de custos; o algoritmo da ferramenta, desenvolvido no Grasshopper, para gerar as estimativas de custos a partir de modelos BIM; um vídeo tutorial que serve para guiar, passo a passo, o usuário, mostrando como utilizar a ferramenta desenvolvida, facilitando o aprendizado e a aplicação do algoritmo em diversos contextos de projeto; e por fim, um tutorial em PDF que complementa o tutorial em vídeo, fornecendo instruções detalhadas e suporte adicional para o desenvolvimento de um modelo 3D em Archicad e para o uso da ferramenta.

Essa publicação serve para expandir a comunicação dos resultados alcançados por essa pesquisa, garantindo visibilidade global e permitindo que pesquisadores, profissionais e estudantes de diferentes países tenham acesso à ferramenta e possam utilizá-la, testá-la e contribuir para seu aprimoramento. Além disso, a publicação contribui para aumentar o impacto científico da pesquisa, podendo ser citada e referenciada por outros estudos, ampliando a relevância do trabalho no cenário acadêmico global. Cabe ainda destacar a preservação da ferramenta em um ambiente seguro e confiável, garantindo seu acesso a longo prazo, não ficando limitada à posse dos desenvolvedores, dependente exclusivamente de iniciativas individuais para ser compartilhada com interessados.

7 CONCLUSÃO

A investigação realizada buscou responder a seguinte pergunta: como representar a informação do custo em etapas iniciais do projeto arquitetônico de modo a apoiar a tomada de decisão? Para respondê-la foi formulado um artefato, com o objetivo de facilitar a visualização das variações de custo no decorrer do projeto arquitetônico, e verificar se essa forma de representação realmente trouxe maior respaldo à tomada de decisão. Desse modo, a ferramenta desenvolvida se provou, conforme as avaliações, uma forma adequada de representação da informação do custo respaldando a tomada de decisão em estágios iniciais de projeto, atendendo ao objetivo. Ademais, as limitações que essa ferramenta buscou resolver, tendo como base problemas identificados em dispositivos e ferramentas similares, foram: empregar o BIM no artefato desenvolvido; visualizar simultaneamente as variações de custo de uma atividade junto com a variação de custo total; desenvolver a modelagem já voltada para o processo de estimativa de custos, estruturando-a corretamente desde o princípio; aplicar um banco de dados que corresponda à tipologia trabalhada e empregar *softwares* de programação visual, de modo a facilitar o uso para usuários não familiarizados com programação tradicional. A ferramenta desenvolvida foi capaz de suprir todas essas limitações.

A seguir serão detalhadas as contribuições teóricas e práticas da pesquisa, as limitações e as sugestões para trabalhos futuros.

7.1 Contribuições da pesquisa

As contribuições desta pesquisa se dividem entre contribuições teóricas e contribuições práticas. As contribuições teóricas englobam a elaboração de um modelo conceitual que relaciona LOD, a estimativa de custos e o uso de BIM no processo de projeto arquitetônico. Há ainda os resultados de duas revisões da literatura: 1. identificação de outros trabalhos que mapearam previamente os parâmetros de projeto que mais afetam o custo, e como eles podem ser considerados ao longo do desenvolvimento do modelo BIM para apoiar a tomada de decisão e 2. identificação de outros trabalhos que buscaram relacionar as nomenclaturas e classificações dos itens de projeto segundo a NBR 15965, o SINAPI e as ferramentas BIM, ambas atualizam o estado da arte e fornecem um panorama abrangente das pesquisas e desenvolvimentos mais recentes nesses campos. A presente pesquisa também

contribui para redução da lacuna de trabalhos que abordam simultaneamente BIM, LOD, estimativa de custos e tomada de decisão projetual.

Quanto às contribuições práticas, houve o desenvolvimento de uma ferramenta que permite a visualização das informações de custo em estágios iniciais do projeto arquitetônico. Isso facilita a tomada de decisão por parte dos arquitetos e engenheiros, ao fornecer uma visualização clara e acessível dos custos envolvidos. Embora inicialmente focada em projetos residenciais, a ferramenta também serve como um protótipo que pode ser adaptado para outros tipos de projetos, mostrando seu potencial de aplicação em diversas áreas da construção civil. A ferramenta foi testada em situações de ensino, fornecendo uma validação inicial de sua eficácia. Essa avaliação em ambiente controlado permite identificar pontos fortes e áreas de melhoria, além de fornecer um *feedback* valioso para ajustes e refinamentos. Ademais, a avaliação com grupo focal motivou percepções qualitativas sobre a usabilidade e a utilidade da ferramenta, contribuindo para o seu aperfeiçoamento com base nas necessidades e expectativas dos usuários.

Ao facilitar a visualização das variações de custo no processo de projeto, a ferramenta contribui para uma gestão mais eficaz e informada dos projetos arquitetônicos, permitindo decisões mais estratégicas e fundamentadas. É importante destacar também que com uma estimativa de custos mais acessível desde os estágios iniciais, a ferramenta pode ajudar a reduzir os riscos financeiros associados a imprecisões e surpresas nos custos durante o desenvolvimento do projeto. Deve-se considerar também que a maioria dos *softwares* e *plugins* já existentes no mercado para estimativa de custo em projeto arquitetônico se integra com o Revit, gerando uma lacuna em relação ao Archicad, que este trabalho ajuda a reduzir.

A ferramenta desenvolvida, ao permitir a visualização de informações complexas de custo em tempo real, também se torna um exemplo prático de como a Modelagem e Design da Informação pode transformar a maneira como os profissionais lidam com a tomada de decisões no projeto. Ela atua como um suporte visual e técnico, fornecendo *feedbacks* dinâmicos aos usuários em tempo real sobre o impacto das suas escolhas de projeto, particularmente no que diz respeito ao custo. Isso permite que decisões projetuais sejam fundamentadas não apenas em aspectos estéticos e funcionais, mas também na viabilidade financeira, desde as fases iniciais do projeto. Essa articulação entre MDI e estimativa de custo leva a uma abordagem mais integrada do projeto arquitetônico, podendo refletir diretamente na sua qualidade.

Deve-se destacar ainda que esta pesquisa busca inserir a questão do custo e da MDI cada vez mais na seara da Arquitetura, atrelando esses temas a *softwares* e metodologias de projeto arquitetônico não apenas na teoria, mas também na prática, nas situações de ensino principalmente. A conexão entre teoria e prática fica evidente na ocasião em que os alunos que avaliaram a ferramenta precisaram iniciar um projeto arquitetônico já tendo em mente que suas escolhas iniciais, desde a forma até o layout, estavam sendo usadas para dimensionar o custo da edificação, e que havia um custo máximo a ser respeitado, porém sem desconsiderar diretrizes de um bom projeto arquitetônico, a exemplo de fluxos eficientes, conforto ambiental e uma estética interessante, por exemplo. Essa articulação entre custo, modelagem da informação e projeto arquitetônico permeia toda esta pesquisa e traz esta contribuição também.

Desse modo, esta pesquisa responde à hipótese de que a inclusão da visualização automatizada da informação de custo no processo de projeto facilita de forma relevante a tomada de decisão ao demonstrar, por meio de uma ferramenta desenvolvida e validada, que a visualização em tempo real dos custos ao longo das etapas iniciais do projeto arquitetônico permitem aos usuários fazer ajustes informados desde os estágios iniciais. Ao fornecer um *feedback* visual imediato há a facilitação da análise comparativa de diferentes soluções, aumentando a clareza das consequências de cada escolha projetual em termos de custo. Por fim, o objetivo de facilitar a visualização das variações de custo ao longo do projeto também foi atendido por meio da ferramenta, que possibilita uma compreensão mais clara das implicações financeiras desde os estágios iniciais de projeto.

7.2 Limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros

Quanto às limitações, as mais importantes a serem citadas no desenvolvimento da ferramenta proposta foram: inicialmente, foi percebido que a aplicação de Grasshopper e Conduit para a visualização da informação do custo agrega a possibilidade de gerar gráficos que permitem observar alterações de estimativa de custos simultaneamente às alterações realizadas no modelo BIM. Entretanto, caso tivesse sido possível aplicar essa conexão em tempo real entre Archicad e Excel, haveria mais possibilidades de visualização das informações do que foi possível no Conduit, uma vez que o Excel apresenta mais tipos de gráficos, é mais fácil de organizar a informação visualmente do que o Conduit e é também mais fácil transformar as informações do formato tabela para o formato gráfico. Foi percebido também que fazer mudanças estéticas nos gráficos é mais complicado no Conduit do que no Excel, mas fazer

mudanças nos valores é mais fácil, uma vez que é possível alterar os valores também pelo Archicad. Deve ser enfatizado ainda que para utilizar o Conduit, é preciso um grande poder computacional se comparado ao necessário para utilizar o Excel. Um último ponto a ser mencionado quanto à essa comparação é que enquanto existem alternativas gratuitas para o Excel, como OnlyOffice ou Google Planilhas, o Rhinoceros – *software* necessário para o uso de Grasshopper e Conduit – não tem semelhantes no mesmo nível e possui apenas uma licença temporária gratuita por 90 dias sem possibilidade renovação no mesmo *e-mail*.

Ademais, não foi possível acrescentar aos sistemas construtivos algo para quantificar a escada proposta no modelo BIM. Isso porque escadas são elementos bastante problemáticos tanto em termos de modelagem, quanto de medição (Monteiro e Martins, 2013). Além de não haver um critério padronizado para quantificação de escadas, o Grasshopper não tem a opção de extrair dados do elemento “escada” modelado a partir do Archicad. Anteriormente, enquanto o SINAPI fornecia as composições paramétricas em sua base de dados, era possível quantificá-las juntamente com a superestrutura, entretanto com a mudança do sistema e eliminação dessas informações, tornou-se inviável trabalhar com esse elemento. Além disso, também foi percebido que o processo de elaboração da ferramenta funcionou de maneira muito linear, de modo que o transporte das informações produzidas funcionou apenas no sentido Archicad → Rhinoceros, Grasshopper e Conduit, enquanto o fluxo contrário não existiu. Desse modo, a ferramenta entregue como um dos produtos dessa dissertação está no estágio de mínimo produto viável, ou seja, trata-se da versão mais simplificada do artefato, mas que ainda proporciona valor aos usuários e permite coletar *feedbacks* para futuras melhorias.

Em relação a essas melhorias e aos trabalhos futuros, sugere-se inserir à ferramenta o *plugin* Build Your Own, disponibilizado pela Graphisoft, para importar dados de uma base de dados para o Archicad, podendo ser a solução para a integração entre o SINAPI e *softwares* BIM. Ele foi testado no decorrer deste trabalho, porém percebeu-se que para que ele funcionasse adequadamente era preciso o desenvolvimento de uma API e um possível desenvolvimento de *script* em Python, o que não coube no escopo da dissertação.

Os testes em formato IFC também foram pouco explorados, para trabalhos futuros, indica-se investigar a integração da ferramenta com uma gama mais ampla de softwares BIM, usando o formato IFC, para aumentar sua flexibilidade e acessibilidade.

Além disso, recomenda-se que seja ampliada a classe de problemas abordada, considerando além da visualização de custos para estágios iniciais de projeto, etapas mais avançadas de modelagem desde a concepção até a conclusão, observando em que medida a

ferramenta influencia a tomada de decisão em diferentes fases. Recomenda-se também desenvolver e testar a ferramenta em diferentes tipologias de projetos além dos residenciais, como comerciais, industriais e institucionais, para verificar sua aplicabilidade e eficácia nesses contextos. É recomendado ainda expandir a avaliação da ferramenta em outros ambientes profissionais como escritórios de arquitetura e empresas de construção civil, observando sua eficácia em projetos reais e suas interações com profissionais no dia a dia.

REFERÊNCIAS

AACE. **International Recommended Practices nº 10S-90**: Cost engineering terminology. Morgantown, 2024. 141 p. Disponível em: <<https://web.aacei.org/docs/default-source/rps/10s-90.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2024.

AACE. **Prática Recomendada nº 18R-97**: Sistema de Classificação para Estimativa se Custos – Conforme Aplicado à Engenharia, Contratação e Construção para Processos Industriais. Morgantown, 2016. Disponível em: <http://www.brasil-aacei.org/wp-content/uploads/2016/09/18R-97_Sistema-de-Classificacao-para-Estimativa-de-Custos-Conforme-Aplicado-a-Engenharia-Contratacao-e-Construcao-para-processos-Industriais.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2023.

AIA. **Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents**. California, 2013. Disponível em: <https://zdassets.aiacontracts.org/ctrzdweb02/zdpdfs/digital-practice_guide.pdf>. Acesso em 18 abr. 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12721**: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento. Rio de Janeiro, p. 91. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15965**: Sistema de classificação da informação da construção. Rio de Janeiro, p. 222. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 19650**: Organização da informação acerca de trabalhos da construção – Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção. Rio de Janeiro, p. 40. 2022.

ASTROM, K..J.; MURRAY, R.M. **Feedback Systems**: an introduction for scientists and engineers. Nova Jersey: Princeton University Press. 2012. 408 p. ISBN-13: 978-0-691-13576-2

AUTODESK. **O que é BIM?** Autodesk, 2023. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/solutions/bim>>. Acesso em 01 de outubro de 2023.

BARCELOS, L.; ROMCY, N. M. e S. BIM 5D: Modelagem da informação como processo para levantamento de custos no desenvolvimento do projeto de equipamentos públicos para fins habitacionais. In: **Anais do 7º Seminário Ibero-americano Arquitetura e Documentação**. Anais...Belo Horizonte(MG) ON LINE, v7, 2021. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/arqedoc2021/395701-BIM-5D--MODELAGEM-DA-INFORMACAO-COMO-PROCESSO-PARA-LEVANTAMENTO-DE-CUSTOS-NO-DESENVOLVIMENTO-DO-PROJETO-DE-EQUIPA>. Acesso em: 14/05/2024

BARROS, R.A.M.L. **Processo de Projeto e Fluxo de Informações em BIM**: Estudos de Caso em Florianópolis/SC. Roberta Augusto Menezes Lopes de Barros, 2018. 219 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2018.

BAZJANAC, V. **The Promises and Disappointments of Computer-Aided Design.** Reflections on Computer Aids to Design and Architecture, ed. Nicholas Negroponte. Nova York: Petrocelli/Charter, 1975, p 17-26.

BONSIEPE, G. O design* como ferramenta para o metabolismo cognoscitivo: da produção à apresentação do conhecimento. *Arquitextos*, São Paulo, ano 02, n. 015.03, **Vitruvius**, ago. 2001. <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/02.015/856>>. Acesso em: 29 jul. 2024.

BOTELHO, M.H.C. **Concreto armado, eu te amo.** V2, 2ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2007. ISBN 978-85-212-0415-2

BRANCO, H. **Conheça o OrçaBIM e faça orçamentos em BIM muito mais rápido.** Blog Orçafascio, 2019. Disponível em: <<https://www.orcafascio.com/papodeengenheiro/orcabim>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

BRASIL. **Decreto Nº 10.306**, de 2 de abril de 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Brasília, DF: Secretaria Geral, subchefia para assuntos jurídicos, 2020. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm>. Acesso em 4 mai. 2023.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI: Correspondência entre a NBR 15.965 e Insumos do SINAPI – Lote 1 (materiais) e Lote 2 (mão de obra) / Caixa Econômica Federal.** – Brasília: CAIXA, 2022.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI: Notas / Caixa Econômica Federal.** – Brasília: CAIXA, 2024. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-errata-relatorios-insumo-e-composicao/Notas_SINAPI.pdf>. Acesso em 28 mai. 2024.

CHEUNG, F. K. T. et. al. Early stage multi-level cost estimation for schematic BIM models. **Automation in Construction**, 2012, v.27, p. 67–77. DOI: 10.1016/J.AUTCON.2012.05.008. Acesso em 30 mai. 2023.

COSTA, G.M. Compatibilização de projeto com auxílio do BIM: análise da redução de custos em uma obra de habitação de interesse social. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, 2022. ISSN 2525-3409. DOI:10.33448/rsd-v11i1.24625

COSTA, J. **La esquemática: visualizar la información.** Barcelona: Paidós Ibérica, 1998.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Design Science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** Porto Alegre: Bookman, 2015.

EASTMAN, C. et al. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.

ELBELTAGI, E. et al. BIM-Based Cost Estimation/ Monitoring For Building Construction. **International Journal of Engineering Research and Applications**, ISSN : 2248-9622, Vol. 4, n. 7 (Versão 4), 2014, pp.56-66. Disponível em: <https://www.academia.edu/68105015/BIM_Based_Cost_Estimation_Monitoring_For_Building_Construction>. Acesso em: 30 mai. 2023.

ELMOUSALAMI, H. H. Comparison of Artificial Intelligence Techniques for Project Conceptual Cost Prediction: A Case Study and Comparative Analysis. In: **IEEE Transactions on Engineering Management**, vol. 68, no. 1, pp. 183-196, Fev. 2021. DOI: 10.1109/TEM.2020.2972078.

FELISBERTO, A. D.; MARCHIORI, F. F.; LOVE, P.; SIGNOR, R. BIM cost estimation guidelines for Brazilian public sector infrastructure. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 12, p. e021004, 2021. DOI:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v12i00.8659766>

FERREIRA, R.; LEUSIN, S. **Guias de contratação BIM: conceitos básicos e requisitos para contratação BIM**. Volume 1, 1. ed, São Paulo: Bim Fórum Brasil - BFB: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2023. ISBN 978-65-980295-0-0

FORGUES, D. et. al. **Rethinking the Cost Estimating Process through 5D BIM**: a Case Study. Construction Research Congress, 2012. DOI: 10.1061/9780784412329.079

FORUM, BIM. **Level of Development (LOD) Specification – Part I and Commentary**. 2020. Disponível em: <<https://bimforum.org/resource/level-of-development-specification/>>. Acesso em: 01 jun. 2023.

GERBER, D. et al. **Associative Parametric Design And Financial optimisation - Cash Back 1.0**: Parametric design for visualizing and optimising return on investment for early stage design decision-making. Proceedings of the 17th Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). 2012. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2012_109.content.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

GHAZARYAN, M. BIM and Cost Estimation Issues (5D): Case of Armenia. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 698, 2019. DOI:10.1088/1757-899X/698/2/022076

GIANNELLA, J. **Visualização da informação e prática social**: novos cenários para atuação do Design. Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. São Paulo, 2014. Blucher. DOI: 10.5151/designpro-ped-00842.

GIL, J.; BEIRÃO, J.; MONTENEGRO, N.; DUARTE, J. (2010). Assessing Computational Tools for Urban Design: Towards a “city information model”. **FUTURE CITIES - 28th eCAADe Conference Proceedings**. ISBN 978-0-9541183-9-6 ETH Zurich (Switzerland) 15-18 Setembro 2010, pp.361-369. 361-369. DOI: 10.52842/conf.ecaade.2010.361.

GONG, L.; ZIGO, T.; TAUBE, R. **Vico Workflow—5D BIM Case Study for a Hospital Project from Estimator’s Perspective**. Autodesk, 2023. Disponível em:

<<https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Vico-Workflow-5D-BIM-Case-Study-Hospital-Project-Estimators-Perspective-2017>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

GRAPHISOFT. **Can We Work with External Database in Archicad**. Graphisoft Community, 2006. Disponível em: <community.graphisoft.com/t5/Collaboration-with-other/Can-we-work-with-external-database-in-Archicad/td-p/93497>. Acesso em: 21 mai. 2024.

GRAPHISOFT. **Trabalhar com IFC**. Graphisoft.com, 2021. Disponível em: <help.graphisoft.com/AC/25/BRA/_AC25_Help/121_IFC/121_IFC-1.htm> Acesso em: 8 out. 2024.

GRILO, A.; GONÇALVES, R.J. **Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments**. Automation in Construction. Volume 19, ed 5, 2010. pp 522-530. ISSN 0926-5805. DOI: 10.1016/j.autcon.2009.11.003. Acesso em 31 mar. 2023.

HONG, Y; HAMMAD, A. W. A.; AKBARNEZHAD, A. Forecasting the net costs to organizations of Building Information Modelling (BIM) implementation at different levels of development (LOD). **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, Special issue: 'Virtual, Augmented and Mixed: New Realities in Construction', Vol. 24, p. 588-603, 2019. DOI: 10.36680/j.itcon.2019.033. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/337736313_Forecasting_the_net_costs_to_organisations_of_Building_Information_Modelling_BIM_implementation_at_different_levels_of_development_LOD> Acesso em: 01 jun. 2023.

IBM. **What is Data Modeling?** IBM, 2023. Disponível em: <<https://www.ibm.com/topics/data-modeling>>. Acesso em 01 out. 2023.

INTERNATIONAL SOCIETY OF PARAMETRIC ANALYSTS (ISPA). **Parametric Estimating Handbook**. 4 ed. Viena: US Government. 2008. 488 p. Disponível em: <<https://www.dau.edu/tools/Lists/DAUTools/Attachments/112/Parametric%20Handbook%204th%20Edition.pdf>>. Acesso em 18 mai. 2023.

ISMAIL, N.A.A.et. al. **Exploring Accuracy Factors in Cost Estimating Practice towards Implementing Building Information Modelling (BIM)**. Proceedings of the 6th International Conference on Engineering, Project, and Production Management, 2015. p.364-373. DOI: 10.32738/CEPPM.201509.0036.

JACOB, F. Orçamento Rápido de Estruturas Metálicas. **Calculista de Aço**, 2017. Disponível em: <calculistadeaco.com.br/orcamento-rapido-de-estruturas-metalicas/>. Acesso em 23 mai. 2024.

JUNGSIK, C., HANSAEM, K., INHAN, K. Open BIM-based quantity take-off system for schematic estimation of building frame in early design stage. **Journal of Computational Design and Engineering**, Volume 2, Issue 1, January 2015, p. 16–25, DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.jcde.2014.11.002>> Acesso em: 01 jun. 2023.

KATKE, S.S. Time and Cost Control of Construction Project using 5D BIM process. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, v.7, n.8, 2020. p. 3247-3257. e-ISSN: 2395-0056; p-ISSN: 2395-0072

LEE, J. et al. BIM-based preliminary estimation method considering the life cycle cost for decision-making in the early design phase. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, vol. 19, n 4, pg 384-399, 2020. DOI: 10.1080/13467581.2020.1748635. Acesso em: 31 out. 2023.

LIMA, M.M.X de. **Metamodelo para integração de multidesempenhos em projeto de arquitetura**. 2016. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, 2016.

LUKKA, K. **The Constructive Research Approach**. In Ojala, L. & Hilmola, OP.(eds.) Case Study Research in Logistics. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B1, p.83-101, 2003.

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

MASCARÓ, J.L. **O custo das decisões arquitetônicas: como explorar boas ideias com o orçamento limitado**. 2ª edição revista e ampliada. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1998.

MATTOS, A.D. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos**. São Paulo: Editora Pini, 2006. ISBN: 85-7266-176-X

MENGES, A.; AHLQUIST, S. **Computational Design Thinking**. Chichester: John Wiley and Sons, 2011. 224 p. ISBN 9780470665657

MIRANDA, S.L.C. et. al. Predictive Analytics for Early-Stage Construction Costs Estimation. **Buildings**, 2022, v.12, n.1043. DOI: 10.3390/buildings12071043

MONTEIRO, A.; MARTINS, J.P. A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design. **Automation in Construction**, v. 35, p. 238-253, 2013. ISSN 0926-5805. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.05.005. Acesso em: 29 fev. 2024.

MONTEIRO, F.P. et. al. Cost Modeling from the Contractor Perspective: Application to Residential and Office Buildings. **Buildings**, 2021, v. 11, n. 529. DOI:10.3390/buildings11110529

MORAES, A. F. S.; PICCHI, F.; GRANJA, A. D. **Variáveis e índices geométricos de projeto arquitetônico relacionados ao custo de empreendimentos residenciais**. In: Encontro Nacional De Tecnológico Ambiente Construído, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

MOTA, A.C. **A “curva de macleamy” prova que investir no projeto compensa**. Portobello Engenharia, 2022. Disponível em: <<https://www.portobelloengenharia.com.br/curva-de-macleamy/>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MULTIPLUS. **Software para Orçamento de Obras - Arquimedes**. 2023. Disponível em: <<https://multiplus.com/software/arquimedes/index.html>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

OTERO, J.A. **Análise paramétrica de dados orçamentários para estimativa de custos na construção de edifícios**: estudo de caso voltado para a questão da variabilidade. Florianópolis, 2000. 214p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, nº 27, p. 229-265. 2006. DOI: 10.1016/j.destud.2005.11.002

PENTTILÄ, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, 11 Special Issue The Effects of CAD on Building Form and Design Quality, 2006, p. 395–408.

PETTERSON, R. **Information Design – Basic ID-concepts**. IIID Public Library. 2013. 552 p. Disponível em: <<https://www.iiid.net/PublicLibrary/Pettersson-Rune-ID-Basic-ID-Concepts.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2024.

RAMAJI, I. J., RICHARDSON, N., MOSTAVI, E., KERMANSHACHI, S. **Investigation of Leveraging BIM Information Exchange Standards for Conducting LOD-Based Cost Estimating**. Construction Research Congress, 2018. DOI:10.1061/9780784481264.047. Acesso em: 01 jun. 2023.

RASHIDI, M. et. al. Decision Support Systems. **Management of Information Systems**, Reino Unido, p. 19-38. 2018. DOI: 10.5772/intechopen.79390. Acesso em 18 de maio de 2023.

RIBEIRO, L. P. B. **BIM 5D**: Modelagem da informação como processo para levantamento de custos no desenvolvimento do projeto de equipamentos públicos para fins habitacionais. 2022. 168 f. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

RIBEIRO, L. P. B., CASTRO, L. A. S. de., LIMA, M. M. X. de.; CARDOSO, D. R. **The representation of cost information in the architectural design process**. Zenodo, 2024. Disponível em:<<https://doi.org/10.5281/zenodo.13737657>>. Acesso em 09 out. 2024.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. 293 p.

RUNDELL, R. **1-2-3 Revit: BIM and Cost Estimating**, Part 1. Cadalyst, 2006. Disponível em: <<https://www.cadalyst.com/cad/building-design/1-2-3-revit-bim-and-cost-estimating-part-1-3350>>. Acesso em: 11 out. 2023.

SABOL, L. Challenges in cost estimating with Building Information Modeling. **Design + Construction Strategies**. 2008.

SAKAMORI, M.M. **Modelagem 5D (BIM)**: processo de orçamentação com estudo sobre controle de custos e valor agregado para empreendimentos de construção civil. Curitiba, 2015. 178 p.

SOUZA E. A. et al. Alternativas epistemológicas para o design da informação: a forma enquanto conteúdo. **Revista Brasileira de Design da Informação**. São Paulo, v. 13, n. 2. 2016. p. 107 – 118. ISSN 1808-5377

SUCCAR, B. Building Information Modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, 2009. p. 357-375. DOI: 10.1016/j.autcon.2008.10.003.

TAIHAIRAN, R.B.R.; ISMAIL, Z. BIM: Integrating Cost Estimates at Initial/Design Stage. **International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology**, vol 6, n 12015, 2015. ISSN: 2180-3242

TERZIDIS, K. **Expressive Form**: A conceptual approach to computational design. Spon Press (Abingdon) - Taylor & Francis Group, Nova York, 2003. 104 p.

VAISHNAVI, V.K; KUECHLER, W. **Design Science Research Methods and Patterns**: Innovating Information and Communication Technology (1ª ed.). Auerbach Publications. 2007. DOI: 10.1201/9781420059335

VASCONCELOS, I.M.P. **Construção civil: cenário atual e perspectivas**. Portal da Indústria. 2022. Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/artigos/ieda-maria-pereira-vasconcelos/construcao-civil-cenario-atual-e-perspectivas/>>. Acesso em: 31 out. 2023.

WOOD, J., PANUWATWANICH, K., DOH, J.H. Using LOD in Structural Cost Estimation during Building Design Stage: Pilot Study. **Procedia Engineering**, 85, 543–552. 2014. DOI:10.1016/J.PROENG.2014.10.582. Acesso em: 31 mai. 2023.

WU, S.; WOOD, G.; GINIGE, K.; JONG, S.W. A technical review of BIM based cost estimating in UK quantity surveying practice, standards and tools. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**. Vol. 19, p. 534-562. 2014. Disponível em <<https://www.itcon.org/2014/31>>. Acesso em 01 jun. 2023.

WURMAN, R.S. **Ansiedade da informação 2**: um guia para quem comunica e dá instruções. São Paulo: Editora de Cultura, 2005. 328 p. ISBN: 85-239-0096-3

XIMENES, N. **Levantamento aponta que 2021 foi marcado pelo aumento no custo da construção**. AECweb, 2021. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/noticias/levantamento-aponta-que-2021-foi-marcado-pelo-aumento-no-custo-da-construcao/22877>>. Acesso em: 12 abr. 2023.

YANG, S.W. et. al. Parametric Method and Building Information Modeling-Based Cost Estimation Model for Construction Cost Prediction in Architectural Planning. **Applied Sciences**, vol. 12, no. 19, 2022, p. 9553. DOI: 10.3390/app12199553.

ZANNI, M. et. al. Standardization of Whole Life Cost Estimation for Early Design Decision-Making Utilizing BIM. **Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering**, 2019. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-00220-6_93

APÊNDICE A – RESULTADOS 1ª REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Quadro 6 expandido – Resultados da 1ª Revisão Sistemática da Literatura

Texto	Proposta de estudo	Principais resultados	Principais contribuições	Principais limitações dos artefatos
a) CHEUNG, F.K.T. et. al (2012)	Ferramenta	Ferramenta desenvolvida ajuda a incorporar a visualização do custo em estágios iniciais de projeto usando o Sketchup.	Além de incorporar o custo em estágios iniciais de projeto em Sketchup, também pode ter alguma conexão com BIM (sem testes)	A ferramenta foi desenvolvida exclusivamente para estágios iniciais de projeto. Não foi testado esse protótipo em conexão com BIM.
b) FORGUES, D. et. al (2012)	Estudo de caso + <i>Design Science Research</i>	Comprova que a adoção da estimativa de custos baseada em BIM permite um processo de entrega de projetos mais rápido, econômico, com maior qualidade, controle e previsibilidade para o proprietário	Realizou, na prática, um teste do uso de ferramentas de estimativa de custo em BIM em uma empresa. Foram mapeados os objetivos de cada fase, os resultados e as dificuldades para diferentes <i>softwares</i> .	-
c) GERBER, D. et. al (2012)	Ferramenta	Apresenta uma solução parcial para o problema de ponderação dos fatores construtivos sobre custo, cujo processo é impossível sem computação. Percebeu-se que o lucro do edifício usado como exemplo aumenta enquanto a altura do piso e o volume são alterados.	Apresenta um protótipo feito para ilustrar a visualização das decisões de projeto em estágios iniciais e seus impactos cumulativos nas metas e restrições financeiras	Necessita de implementações mais robustas em várias plataformas, incluindo Gehry Technologies Digital Project, Revit e Green Building

Quadro 6 expandido – Resultados da 1ª Revisão Sistemática da Literatura (continuação)

Texto	Proposta de estudo	Principais resultados	Principais contribuições	Principais limitações dos artefatos
d) MONTEIRO, A.; MARTINS, J.P. (2013)	Estudo de caso	Identifica um <i>workflow</i> do elemento a ser modelado para fim de orçamentação. Identifica limitações das ferramentas para a modelagem para orçamentação de vários sistemas construtivos no Archicad	Identifica que a adaptação do modelo para fins de orçamentação pode gerar conflitos com projetos complementares. Programas BIM incluem a extração de dados, mas não é possível processar esses dados, sendo necessários outros programas para a interoperabilidade. Importância de ter uma estrutura organizada da gestão de informação do modelo (IDs e <i>layers</i>). É possível adaptar as ferramentas e utilizá-las para outros fins, por exemplo modelar uma fundação com a ferramenta viga.	-
e) ELBELTAGI, E. et. al (2014)	Ferramenta	Apresenta e testa um modelo de estimativa e monitoramento de custos atrelado ao BIM.	Possibilidade de visualizar o custo real gasto em diferentes elementos de construção e compará-lo com o orçado em diferentes intervalos de tempo. Adicionou um código de cores ajudando a identificar as áreas que precisam de ações corretivas imediatas	Necessita de muita memória do computador e poder de processamento para percorrer e controlar de forma interativa projetos. Não é possível ver simultaneamente as variações de custo para uma atividade junto com a variação de custo total

Quadro 6 expandido – Resultados da 1ª Revisão Sistemática da Literatura (continuação)

Texto	Proposta de estudo	Principais resultados	Principais contribuições	Principais limitações dos artefatos
f) WOOD, J.; PANUWATWAN ICH, K. (2014)	Ferramenta + Estudo de caso	A ferramenta permitiu aos usuários uma referência para avaliar o desempenho econômico de uma estrutura projeto. Também deu uma indicação de onde o custo do projeto provavelmente chegará e quanto o design precisa ser refinado para chegar lá.	Desenvolveu um <i>framework</i> para extrair informações de material do BIM e, em seguida, fornecer um algoritmo para combinar os objetos BIM de maneira difusa com dados de custo. Usando o conceito LOD, a informação econômica pode ser determinada na dimensão temporal.	O <i>framework</i> não foi testado em um projeto em tempo real para analisar qual benefício de economia de tempo oferece mais do que os procedimentos tradicionais
g) ISMAIL, N.A.A. et. al (2015)	RSL + Entrevistas	Sumarização dos principais fatores que influenciam a estimativa de custo em 6 categorias. As entrevistas ratificaram o resultado da revisão da literatura sobre os fatores que influenciam o custo	Identificação dos principais fatores que influenciam a estimativa de custo em seis categorias. Conclui que a estimativa de custos baseada em BIM deve ser abordada de modo a garantir que as informações dos repositórios BIM abordem essas seis categorias.	-
h) JUNGSIK, C. et. al (2015)	Proposição de um sistema QTO (<i>quantity take-off</i>) extração de quantitativo) usando Open BIM	Os métodos aplicados foram úteis para aumentar a precisão em QTO e também para verificar a qualidade no modelo IFC	Melhora a confiabilidade da estimativa de custo na fase inicial do projeto por meio da diminuição dos fatores de risco e redução do tempo necessário	O escopo dos métodos QTO aplicados foi limitado pela estrutura do edifício. Sugeri-se pesquisas futuras baseando as estimativas de custo especificamente em IFC.

Quadro 6 expandido – Resultados da 1ª Revisão Sistemática da Literatura (continuação)

Texto	Proposta de estudo	Principais resultados	Principais contribuições	Principais limitações dos artefatos
i) TAIHAIRAN, R.B.R.; ISMAIL, Z. (2015)	RSL + Questionários	Foi indicado que informações insuficientes relacionadas ao projeto, má comunicação entre equipe de projeto e complexidade do projeto e construção são os três fatores que mais influenciaram negativamente a precisão de estimativas de custo	Verifica que a aplicação do BIM para reduzir a imprecisão nas estimativas de custos, a colaboração e compartilhamento de informações entre a equipe do projeto são considerados os fatores mais relevantes para o sucesso em estimativas de custo projetuais.	-
j) MORAES, A.F.S. et. al (2016)	RSL	Identifica índices e variáveis de projeto da fase de projeto do produto, e sua influência no custo do projeto. Esses índices e variáveis foram comparados; padronizou-se as diferentes nomenclaturas de diferentes autores para o mesmo indicador; e agrupou-se em três classificações: índices de planos horizontais, índices verticais e níveis de qualidade das soluções adotadas.	Identifica quinze índices e variáveis geométricos	-

Quadro 6 expandido – Resultados da 1ª Revisão Sistemática da Literatura (continuação)

Texto	Proposta de estudo	Principais resultados	Principais contribuições	Principais limitações dos artefatos
k) RAMAJI, I. J. et. al (2018)	<i>Framework</i>	<i>Framework</i> de estimativa de custo baseado em LOD que usa padrões de modelagem de informações abertas para lidar com ineficiências em diferentes LODs da estimativa de custo	Facilita as trocas automatizadas de informações com uso do BIM para estimativa de custos desde os estágios iniciais dos projetos. Três categorias são definidas para a estimativa de custos: 1) mapeamento manual de dados, 2) estimativa de custo baseada em BIM e 3) modelos vinculados.	Sugere o uso de modelos vinculados, porém percebeu-se que na indústria sua implementação total é difícil. Não houve testes para verificar possíveis deficiências no esquema IFC para transportar as informações para a estimativa de custos. Nem houve estudo de caso.
l) GHAZARYAN, M.(2019)	Estudo de caso	Identificou várias barreiras para a incorporação da tecnologia BIM para estimativa de custos	Confirma que para a implementação do BIM no processo de projeto deve haver padronização desde as fases iniciais, garantindo o LOD ideal de elementos e codificação de cada etapa.	-
m) HONG, Y. et. al (2019)	Método de avaliação e estudo de caso	O estudo de caso sugere que o LOD 300 resulta em mais economia de custos quando for implantar BIM em uma empresa	O método proposto deve auxiliar os tomadores de decisão a encontrar o LOD mais econômico ao investir recursos para a implementação do BIM em empresas	Não estimou se a seleção de LOD ideal seria afetada pelas fases do projeto. Sugere que estudos futuros também devem considerar a demanda dos clientes ao cogitar a implementação do BIM

Quadro 6 expandido – Resultados da 1ª Revisão Sistemática da Literatura (continuação)

Texto	Proposta de estudo	Principais resultados	Principais contribuições	Principais limitações dos artefatos
n) ZANNI, M. et al (2019)	Desenvolvimento e validação de um modelo	Realiza a análise de programas indicados para a orçamentação do ciclo de vida do projeto	Comprova que os <i>softwares</i> BIM podem ser utilizados para suporte do WLC, desde fases iniciais de design. Ampliação do escopo da pesquisa não só para a orçamentação da construção, mas também considerando o ciclo de vida do edifício.	Modelos não voltados para a orçamentação contêm informações insuficientes e não estruturadas propriamente. Limitações tecnológicas para a interoperabilidade entre BIM e dados do WLC. Falta de precisão e de disponibilidade dos dados de custo e performance. Falta de experiência da equipe de modelagem para verificar as avaliações produzidas. Estratégias voltadas para CapEx em vez de OpEx
o) KATKE, S.S. (2020)	Estudo de caso	Percebeu-se que os quantitativos eram fáceis de obter a partir do modelo. Tornou o processo de tomada de decisão mais preciso e mais rápido.	Projeta um modelo 3D usando o <i>software</i> BIM e integra-o com dados de cronograma e dados de estimativa de custos	-
p) LEE, J. et al (2020)	Método de estimativa de custo + Protótipo <i>Web</i>	Os resultados da estimativa de custo obtiveram alta precisão quando comparados ao custo real. É possível considerar o ciclo de vida dos sistemas na estimativa de custo	Integração entre um modelo BIM e uma base de dados externa. Definição de um processo para as decisões projetuais preliminares e para a determinação dos elementos básicos do modelo nessa fase, com o intuito de fazer comparações entre as possibilidades.	Feita estimativa de custos de um edifício cujos dados referentes à tipologia dele não existia no banco de dados usado. Os critérios de estimativa usados foram examinados com base nos padrões do governo, mas sua classificação é limitada e seu escopo é restrito

Quadro 6 expandido – Resultados da 1ª Revisão Sistemática da Literatura (continuação)

Texto	Proposta de estudo	Principais resultados	Principais contribuições	Principais limitações dos artefatos
q) COSTA, G.M. et. al (2021)	Estudo de caso	Comprovou-se na prática que a tecnologia BIM contribui significativamente para a gestão de projetos, possibilitando grande economia nos custos de construção e no custo da casa em estudo.	Descreve e analisa o trabalho de uma empresa, usuária do BIM e gestora de projetos, na redução dos custos da obra supracitada.	-
r) FELISBERTO, A.D. et. al (2021)	<i>Design Science Research</i>	Aplicou a metodologia ao modelo BIM de uma casa multifamiliar, edifício residencial e um CRAS	Obtenção de dados detalhados de orçamentos utilizando até LOD 300, facilitando os trabalhos de orçamento e modelagem na fase de preparação do projeto básico usando parâmetros de texto	-
s) MONTEIRO, F.P. et al (2021)	Estudo de caso	Confirmou que os desvios de custo dependem mais de aspectos particulares de cada projeto do que características gerais, apesar da relação estatisticamente significativa positiva entre número de pisos subterrâneos e os desvios de custo.	Desenvolveu modelos de estimativa de custo no estágio inicial de projeto, incluindo variáveis endógenas e exógenas a partir da análise de 23 edifícios e comparou o peso de parâmetros de custo entre edifícios residenciais e comerciais	-
t) MIRANDA, S.L.C. et. al (2022)	RSL	Técnicas analíticas preditivas são apropriadas para a prática projetual devido ao seu alto nível de precisão	Pode ser uma referência para os tomadores de decisão de alto nível implementarem análises preditivas na estimativa de custo	-

Quadro 6 expandido – Resultados da 1ª Revisão Sistemática da Literatura (continuação)

Texto	Proposta de estudo	Principais resultados	Principais contribuições	Principais limitações dos artefatos
u) YANG, S.W.et. al (2022)	Modelo	A validação do modelo confirmou maior precisão do que o modelo convencional baseado em área útil, chegando a superar a faixa de precisão pretendida. Comprovou também que outros parâmetros além da área útil precisam ser considerados para a estimativa do custo na fase inicial de um projeto.	Foi desenvolvido um modelo de estimativa de custo que pode ser utilizado na fase inicial de um projeto, baseado na etapa de planejamento do projeto em BIM.	O modelo de estimativa de custo proposto não reflete características como o local do projeto e projetos de reconstrução. Exige que o usuário do modelo além de conhecimento em BIM, tenha habilidades em programação. O modelo foi desenvolvido usando como base edifícios públicos, portanto pode haver variações em construções privadas. Todos os edifícios usados como base para o modelo final se localizam na Coreia.

Fonte: a autora.

APÊNDICE B – PARÂMETROS DE PROJETO QUE MAIS INFLUENCIAM O CUSTO, ASSOCIADOS AO LOD NECESSÁRIO: DIVISÃO POR AUTORES

Quadro 7 expandido – Parâmetros de projeto que mais influenciam o custo, associados ao LOD necessário

AUTORES	LOD 100				LOD 200		LOD 300	LOD 350
CHEUNG, F.K.T. et al (2012)	Área térreo	Área interna	Perímetro paredes externas	Altura do andar	Qtd. e tipo de escadas e rampas	Qtd. de paredes internas e divisórias	Qtd. e tipo de elementos	Acabamentos
FORGUES, D. et. al (2012)	LOD 300				LOD 500			
	Tipo de elemento		Tipo de material		Custo unitário por elemento		Custo unitário por material	
GERBER, D. et. al (2012)	LOD 100							
	Área	Forma	Nº de andares		Altura do andar		Comprimento da base de um lado do volume	
MONTEIRO A.; MARTINS, J.P. (2013)	LOD 200					LOD 300		
	Fundação	Alvenaria	Aberturas	Escadas	Elementos de concreto	Reforços	Tubos e cabos	Revestimentos
	LOD 500							
	Fôrmas		Movimentação de terra		Custos unitários por material		Custo de mão de obra	
ELBELTAGI E. et. al (2014)	LOD 100		LOD 350			LOD 500		
	Área	Volume de espaços	Qtd. de componentes		Qtd. de materiais		Custo unitário do material	
WOOD, J.; PANUWAT WANICH, K. (2014)	LOD 100			LOD 350			LOD 500	
	Área	Volume	Orientação	Qtd. de elementos			Custo unitário por elemento	
JUNGSIK, C. et. al (2015)	LOD 100					LOD 350		
	Área	Volume	Zonas	Forma	Orientação	Material	Qtd. e tipo de elemento	
ISMAIL, N.A.A. et. al (2015)	LOD 100						LOD 200	
	Tamanho	Área útil	Volume	Compacidade	Nº de andares	Aberturas		
TAIHAIRAN, R.B.R.; ISMAIL, Z. (2015)	LOD 100					LOD 350		
	Tamanho			Forma		Especificações		

Quadro 7 expandido – Parâmetros de projeto que mais influenciam o custo, associados ao LOD necessário (continuação)

MORAES, A.F.S. et al (2016)	LOD 100			LOD 200	LOD 300			
	Índice de aproveitamento de áreas de uso comum em relação às áreas privativas	Índice de aproveitamento de área de uso comum no pavimento tipo	Índice de compactação da forma geométrica do pavimento tipo	Índice de aproveitamento da área de uso comum nos pavimentos de garagem	Densidade de paredes	Nº de segmentos de parede	Nº de junções duplas	
	LOD 500							
	Índice de espaciosidade plano horizontal	Índice de configuração plano vertical	Área nominal	Índice de qualificação da configuração interna	Índice de qualificação da configuração externa	Índice de qualificação da configuração espacial	Índice de qualidade geométrica	Índice de qualidade nominal
RAMAJI, I.J et al (2018)	LOD 100		LOD 350			LOD 500		
	Área	Nº de andares	Qtd. de elementos	Materiais		Custo unitário por elemento		
HONG, Y. et al (2019)	LOD 100						LOD 350	
	Tamanho		Forma		Orientação		Qtd. de elementos	
KATKE, S.S. (2020)	LOD 100	LOD 200			LOD 300		LOD 350	
	Altura do andar	Definições de estrutura	Espessura da parede	Definições de esquadrias	Definições de sistema hidráulico	Definições de sistema elétrico	Qtd. de elementos	Materiais
LEE, J. et al (2020)	LOD 100			LOD 300		LOD 350		
	Zonas	Tamanho	Informação espacial	Acabamentos	Tipos de elementos	Detalhamentos	Texturas	Cores
COSTA, G.M. et al (2021)	LOD 100	LOD 200	LOD 300			LOD 350		
	Área	Tipo de telhado	Volume de concreto na estrutura	Definições de sistema hidráulico	Definições de sistema elétrico	Revestimentos		

Quadro 7 expandido – Parâmetros de projeto que mais influenciam o custo, associados ao LOD necessário (continuação)

FELISBERTO A.D. et al (2021)	LOD 100		LOD 200					LOD 350
	Área	Perímetro	Tipo e qtd. de fundação	Tipo e qtd. superestrutura	Tipo e qtd. de paredes	Tipo e qtd. de telhado	Tipo e qtd. de esquadria	Tipo e qtd. acabamentos internos
	LOD 400							LOD 500
	Tipo e qtd. de acabamentos externos		Tipo e qtd. acabamento de piso		Tipo e qtd. de acabamentos de teto		Pavimentação	Custo unitário por elemento
MONTERO, F.P et. al (2021)	LOD 100					LOD 200		LOD 300
	Área	Altura	Nº de andares	Nº de andares com pilotis	Nº de unidades	Tipo de estrutura	Tipo de “envelopes”	Nº de elevador
MIRANDA, S.LC. et. al (2022)	LOD 100				LOD 200			LOD 300
	Área bruta de piso	Nº de andares	Nº de unidades	Nº de unidades por andar	Tipo de fundação	Tipo de telhado	Tipo de estrutura	Nº de elevador
YANG, S.W. et. al (2022)	LOD 100					LOD 200		
	Área bruta de piso	Área de construção	Área de sítio	Nº pisos subterrâneo	Nº máx. de andares	Área paisagismo	Nº máx. vagas estacionamento	

Fonte: a autora.

APÊNDICE C – MATRIZ DO MODELO CONCEITUAL

Matriz do modelo conceitual

Parâmetros da construção	Parâmetros projetuais associado RSL	Critério de quantificação (base SINAPI)	Parâmetros do modelo de informação	LOD requerido
Movimentação de terra				
Escavação e botafora - subsolos	Movimentação de terra (MONTEIRO, MARTINS)	Volume geométrico do material a ser escavado	Volume líquido (Parâmetro Geral)	LOD 200
Fundações				
Fundações Indiretas (Estacas)	Tipo e quantidade de fundação (FELISBERTO); Tipo de fundação (MIRANDA)	Comprimento total da estaca	Altura (Parâmetro Geral)	LOD 200
Fundações Diretas (Radier)	Fundação (MONTEIRO, MARTINS)	Área de projeção da fundação direta	Área de superfície da base da laje (Parâmetro Laje)	
Estruturas				
Estruturas de Concreto	Definições de estrutura (KATKE); Volume de concreto na estrutura (COSTA); Tipo e quantidade de superestrutura (FELISBERTO); Tipo de estrutura (MONTEIRO, MIRANDA) Elementos de concreto (MONTEIRO, MARTINS)	Volume de concreto	Volume líquido (Parâmetro Geral)	LOD 200
Paredes e painéis				
Alvenarias de Bloco de Concreto	Perímetro de paredes externas, Quantidade de paredes internas e divisórias (CHEUNG); Espessura da parede (KATKE); Densidade de paredes, N° de segmentos de parede, N° de junções duplas (MORAES); Tipo e quantidade de paredes (FELISBERTO)	Área líquida	Área de superfície externa da parede líquida (Parâmetro de Parede) Material de construção (Parâmetro Geral)	LOD 200
Alvenarias de Blocos Cerâmicos	Alvenarias (MONTEIRO, MARTINS)			

Matriz do modelo conceitual (continuação)

Parâmetros da construção	Parâmetros projetuais associado RSL	Critério de quantificação (base SINAPI)	Parâmetros do modelo de informação	LOD requerido
Esquadrias				
Esquadrias de alumínio	Aberturas (ISMAIL) Definições de esquadria (KATKE); Tipo e quantidade de esquadria (FELISBERTO)	Porta - Quantidade de unidades; Janela - Área total	Porta - Quantidade (Parâmetro geral) Janela - Área da Superfície da Abertura no Lado Oposto ao Requadro da J/P (Parâmetro Porta/Janela) Material de construção (Parâmetro Geral)	LOD 200
Esquadrias de aço				
Esquadrias de madeira				
Impermeabilizações e tratamentos				
Impermeabilizações	Acabamentos (CHEUNG, LEE); Tipo e quantidade de acabamentos internos e externos (FELISBERTO)	Área da superfície que receberá a aplicação	Área de superfície da base da laje (Parâmetro Laje)	LOD 200
Isolamentos				
Serviços complementares				
Paisagismo	Área de paisagismo (YANG)	Área do terreno a receber paisagismo	Área medida (Parâmetro de zona)	LOD 200
Instalações gerais				
Instalações Elétricas	Definições do sistema elétrico (COSTA, KATKE)	Comprimento dos cabos	Comprimento A (Parâmetro Objeto)	LOD 200
Instalações Hidrossanitárias	Definições do sistema hidráulico (COSTA, KATKE)			
Instalações de Voz e Dados	Tubos e cabos (MONTEIRO, MARTINS)			
Instalações de Combate a Incêndios				
Instalações de Gás				
Instalações de Ar-condicionado e Exaustão		Quantidade de aparelhos	Quantidade (Parâmetro Geral)	

Matriz do modelo conceitual (continuação)

Parâmetros da construção	Parâmetros projetuais associado RSL	Critério de quantificação (base SINAPI)	Parâmetros do modelo de informação	LOD requerido
Pinturas				
Pinturas internas	Materiais (JUNGSIK, KATKE, RAMAJI); Tipo de material (FORGUES); texturas e cores (LEE)	Área de pintura	Área de superfície (Parâmetro Geral); Material de construção (Parâmetro Geral)	LOD 300
Pinturas externas				
Revestimentos paredes e tetos				
Revestimentos Internos	Revestimentos (COSTA); Tipo e quantidade de acabamentos de teto, Tipo e quantidade de acabamentos internos (FELISBERTO); Tipo de material (FORGUES); Quantidade de materiais (ELBERTAGI); Materiais (JUNGSIK, KATKE, RAMAJI)	Área do revestimento; Tipo de revestimento	Área de superfície (Parâmetro Geral); Material de construção (Parâmetro Geral)	LOD 300
Revestimento de gesso				
Revestimento argamassado				
Revestimentos de fachadas				
Revestimentos de Fachadas e Varandas	Perímetro de paredes externas (CHEUNG); Tipo e quantidade de revestimentos externos (FELISBERTO); Tipo de "envelope" (MONTEIRO) Tipo de material (FORGUES); Quantidade de materiais (ELBERTAGI); Materiais (JUNGSIK, KATKE, RAMAJI)	Área da fachada	Área de superfície da face externa (Parâmetro Parede); Material de construção (Parâmetro Geral)	LOD 300

Matriz do modelo conceitual (continuação)

Parâmetros da construção	Parâmetros projetuais associado RSL	Critério de quantificação (base SINAPI)	Parâmetros do modelo de informação	LOD requerido
Revestimentos de pisos				
Revestimentos Pisos Internos - Preparação	Tipo e quantidade de acabamento de piso (FELISBERTO); Área bruta de piso (MIRANDA, YANG);	Área do contrapiso	Área de superfície (Parâmetro Geral); Material de construção (Parâmetro Geral)	LOD 300
Revestimentos Pisos Internos - Acabamento	Tipo de material (FORGUES); Quantidade de materiais (ELBERTAGI);	Área do revestimento; Tipo de revestimento		
Revestimentos Pisos Externos - Acabamento	Materiais (JUNGSIK, KATKE, RAMAJI); Pavimentação (FELISBERTO)			
Bancadas, louças e metais				
Bancadas	Quantidade e tipo de elementos (CHEUNG, JUNGSIK);	Área	Área de superfície da base (Parâmetro Geral)	LOD 300
Louças e Acessórios	Quantidade de elementos (HONG, KATKE, RAMAJI, WOOD); Tipo de elemento (FORGUES, LEE);	Quantidade	Quantidade (Parâmetro geral)	
Metais	Quantidade de componentes (ELBERTAGI);			
Despesas indiretas				
Administração da obra e benefícios	Custo da mão de obra (MONTEIRO, MARTINS)	Horas à disposição do serviço	-	LOD 500
Canteiro de obras	-	Área construída de canteiro	Área (Parâmetro Geral)	
Segurança do Trabalho	-	Soma dos perímetros dos pavimentos	Perímetro na planta (Parâmetro Geral)	
Máquinas e Ferramentas	-	Horas à disposição do serviço	-	

**APÊNDICE D – ANÁLISE DE DISPOSITIVOS E INSTRUMENTOS PARA
VISUALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO DE CUSTO**

Quadro 9 expandido – Análise de dispositivos e instrumentos para visualização da informação de custo

Dispositivo	Função	Código aberto	Interoperabilidade	Visualização em tempo real	Licença	Fragilidades
Excel	Foi utilizado para organização de dados e visualização da informação	<input type="checkbox"/>	Archicad	<input type="checkbox"/>	Gratuito	Sem conexão em tempo real, necessita exportar/importar arquivos
Script Phyton	Utilizado para extração de dados e visualização da informação	<input checked="" type="checkbox"/>	Excel, Grasshopper	<input type="checkbox"/>	Gratuito	Necessidade de conhecimentos prévios em programação
Speckle	Colaboração em tempo real, gerenciamento de dados, controle de versão e automação.	<input checked="" type="checkbox"/>	Archicad, Rhinoceros, Grasshopper	<input type="checkbox"/>	Gratuito	Sem conexão simultânea, precisa importar/exportar
Conduit	Permite que os designers criem visualizações de dados personalizadas, painéis e heads-up displays (HUDs) que são atualizados com suas ferramentas de design computacional e modelos paramétricos	<input checked="" type="checkbox"/>	Grasshopper	<input checked="" type="checkbox"/>	Gratuito	Não foram encontradas formas de puxar os mapas do Archicad direto para o Grasshopper, sendo preciso criá-los novamente sob uma interface menos amigável; Alguns elementos não são identificados pelo Grasshopper para extração de dados, como escadas, por exemplo.
Tracer for IFC	Extrai dados de modelos IFC e inclui recursos visuais 2D e 3D para Microsoft Power BI, criando visualizações interativas do BIM para dashboards e apresentações	<input type="checkbox"/>	Archicad, Revit, Tekla, Power BI	<input type="checkbox"/>	Trial de 15 dias + Licença vitalícia de R\$ 1459,84 (\$295)	Sem conexão simultânea, precisa importar/exportar

Quadro 9 expandido – Análise de dispositivos e instrumentos para visualização da informação de custo (continuação)

Dispositivo	Função	Código aberto	Interoperabilidade	Visualização em tempo real	Licença	Fragilidades
Semantic	<i>Plugin</i> de design baseado em dados para Rhino 3D. Os usuários podem criar propriedades de objetos personalizadas e criar relatórios com sua interface simples	<input type="checkbox"/>	Rhinoceros	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Trial</i> de 15 dias + Licença vitalícia de R\$ 2078,41 (\$420)	Não apresenta gráficos, apenas interage com a modelagem e oferece tabelas
Spacio.ai	Ferramenta <i>Web</i> para simulações e análise de performance a partir da modelagem do edifício, seja em outra ferramenta, ou no próprio Spacio	<input type="checkbox"/>	BIM Rhinoceros SketchUp	<input checked="" type="checkbox"/>	-	Sem conexão simultânea, precisa importar/exportar Não avalia custos
Digital Blue Foam	Ferramenta para colaboração online e uso de inteligência artificial para design generativo	<input type="checkbox"/>	Archicad, Revit	<input checked="" type="checkbox"/>	-	Está na versão Beta, oferece uma demonstração por 7 dias, mas não foi lançado oficialmente ainda
5D Estimating Pack Contrabim	Oferece templates de quantitativos detalhados; é possível importar propriedades, importar templates, designar elementos, publicar e atualizar o Excel	<input type="checkbox"/>	BIM, Excel	<input type="checkbox"/>	Sem <i>trial</i> + Licença vitalícia de R\$ 2954,31 (\$597)	Valor elevado, sem <i>trial</i>

Quadro 9 expandido – Análise de dispositivos e instrumentos para visualização da informação de custo (continuação)

Dispositivo	Função	Código aberto	Interoperabilidade	Visualização em tempo real	Licença	Fragilidades
Vico Office 5D	<i>Software</i> para orçamentação e gestão de obras	<input type="checkbox"/>	BIM, AutoCAD, SketchUp, Rhinoceros	<input type="checkbox"/>	<i>Trial</i> de 30 dias + Licença	Sem conexão simultânea, precisa importar/exportar; parou de ser vendido
OrçaBIM	<i>Plugin</i> para a extração automática de quantitativos de projetos em BIM	<input type="checkbox"/>	Revit; bancos de dados de custo diversos	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Trial</i> de 7 dias + Licença anual de R\$ 1199,00	Visualização dos dados de custo apenas em tabelas
Arquimedes	<i>Software</i> para orçamentação e gestão de obras. Fornece mapa de quantidades, orçamentos, caderno de encargos, plano de trabalho, cronograma físico-financeiro, relatórios de curva "ABC" e gráficos de curva "S".	<input type="checkbox"/>	Revit; bancos de dados de custo diversos	<input type="checkbox"/>	Sem <i>trial</i> + Licença vitalícia R\$ 1361,25	Sem conexão simultânea, precisa importar/exportar; Visualização dos dados de custo apenas em tabelas
DESTINI Estimator	<i>Software</i> para orçamentação e gestão de obras	<input type="checkbox"/>	Revit; Power BI; bancos de dados de custo diversos	<input type="checkbox"/>	Não deu retorno à tentativa de contato para informar preços	Sem conexão simultânea, precisa importar/exportar

APÊNDICE E – TUTORIAL DE MODELAGEM REVIT

Tutorial de Modelagem no Revit e Importação de IFC

Representação do custo no projeto arquitetônico

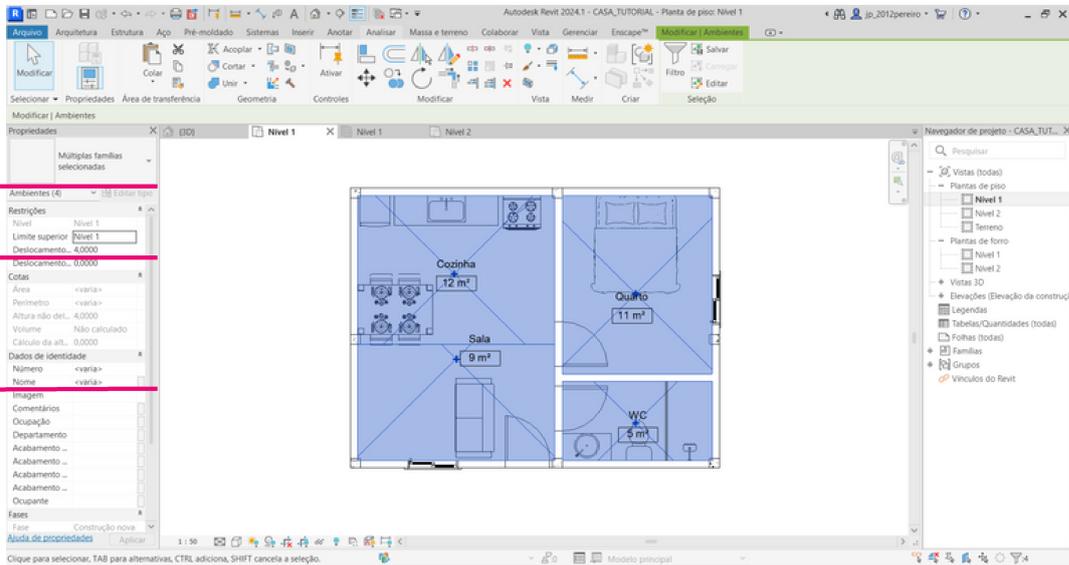


Ambientes Para delimitar e nomear cada ambiente do modelo, é necessário seguir os seguintes passos: Arquitetura > Ambiente (Atalho: RM)

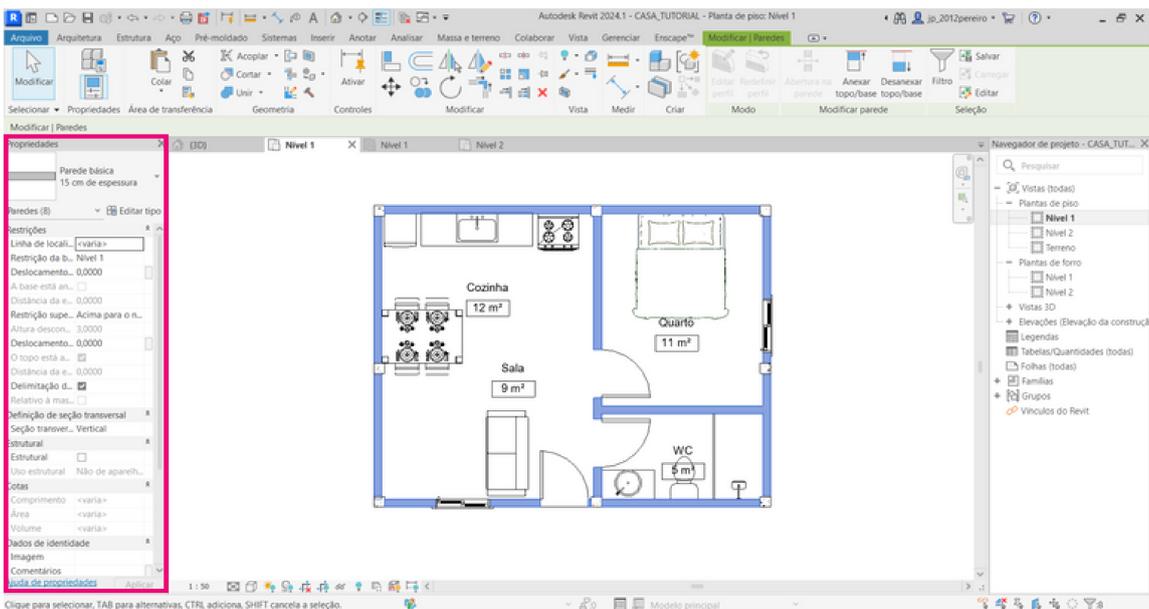
Configure o identificador para expor a área

Altura do ambiente

Coloque aqui o nome do ambiente desejado



Paredes Para modelagem das paredes no Revit, é importante que sejam definidas as faces da paredes (externa ou interna), antes de iniciar o desenho. (Arquitetura > Paredes)



Na aba a esquerda, é possível definir as famílias das composição das paredes. Na mesma área é delimitado até onde o elemento irá, podendo ser o pavimento seguinte ou não. Além de por fim, durante o desenho da geometria deve-se estabelecer as faces externas ou internas delas como balizador do desenho.



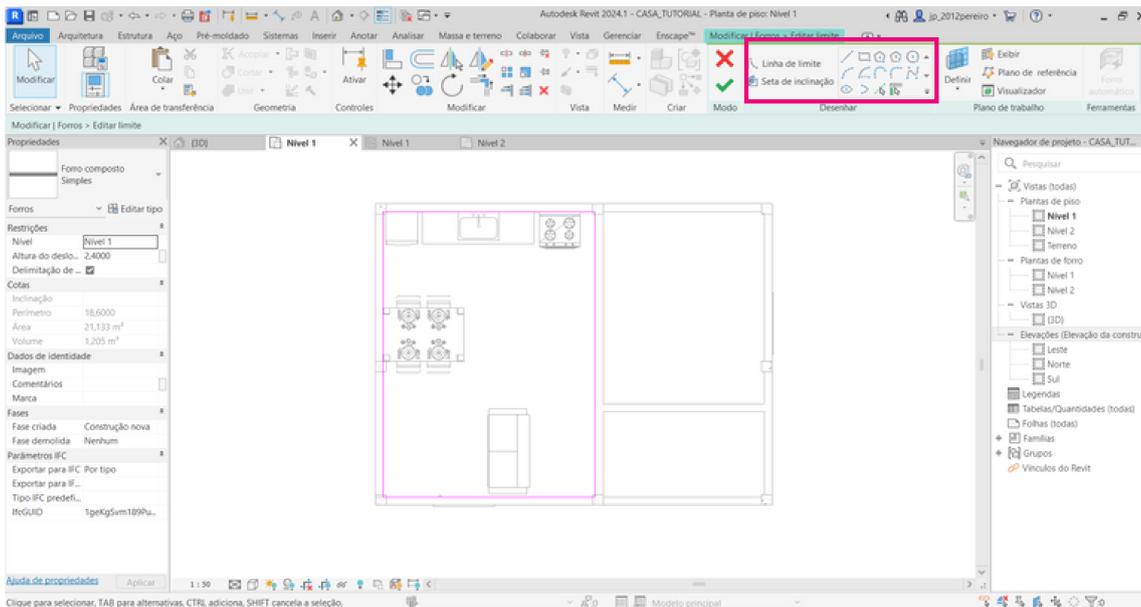
UFC

PPG
au+d
UFC

Modelagem
& Design da
Informação



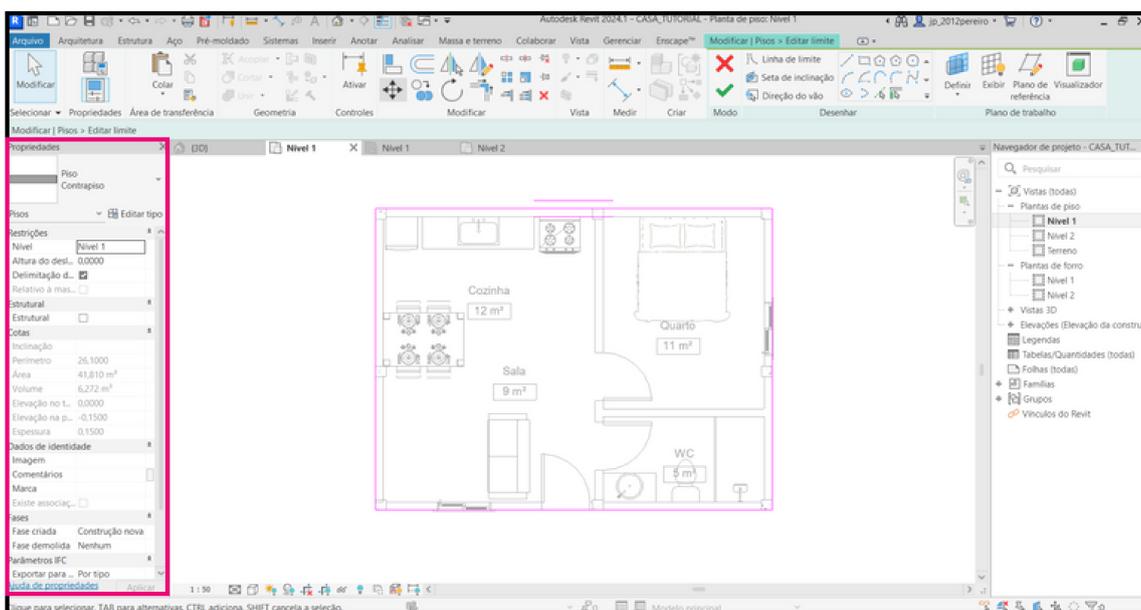
Fôrro Para realização do forro, segue o mesmo processo que os passos anteriores:
Arquitetura > Forro



É importante destacar que para atribuir o forro, é necessário que seja desenhado o elemento na planta de forro, destacado a direita. No entanto, na imagem o plano de corte foi aumentado para conseguir visualiza-lo.

Observação: o ARCHICAD não reconhece o forro como laje, dessa forma recomenda-se o uso do piso como forro.

Pisos Para inserir piso, vá em Arquitetura > Piso A a partir dessa opção, você deve escolher o tipo de piso que será anexado ao modelo, como também desenhar os limites dele.



Na opção destacada em azul é necessário escolher o tipo de geometria que será incorporado ao seu piso e se este apresenta algum tipo de inclinação. É importante que seja selecionada essa opção, para assim desenhar o perímetro que será pavimentado.



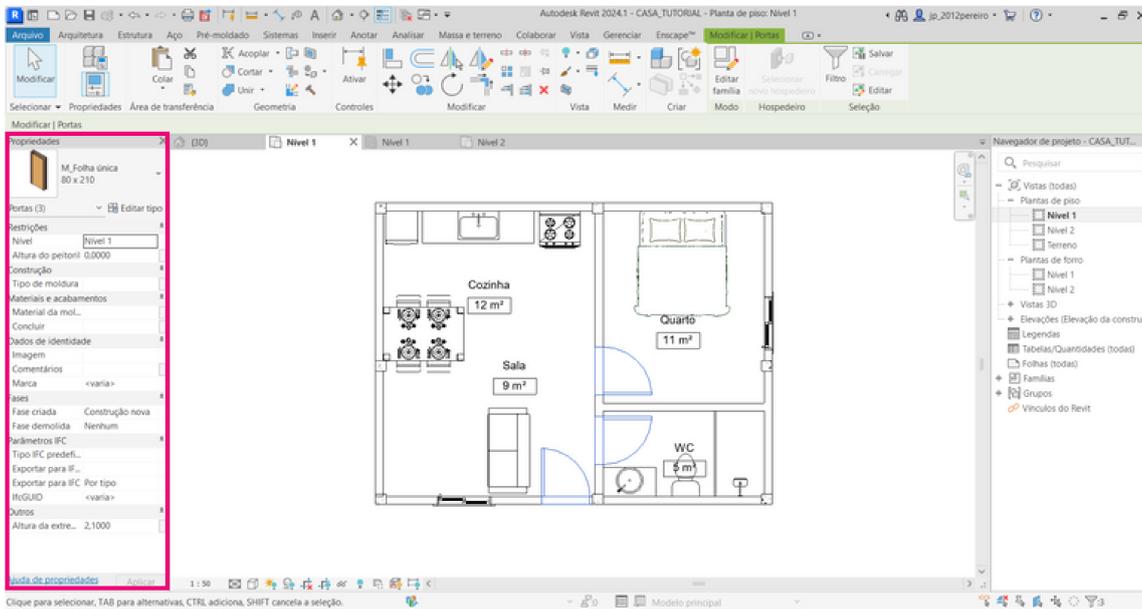
UFC

PPG
au+d
UFC

Modelagem
& Design da
Informação

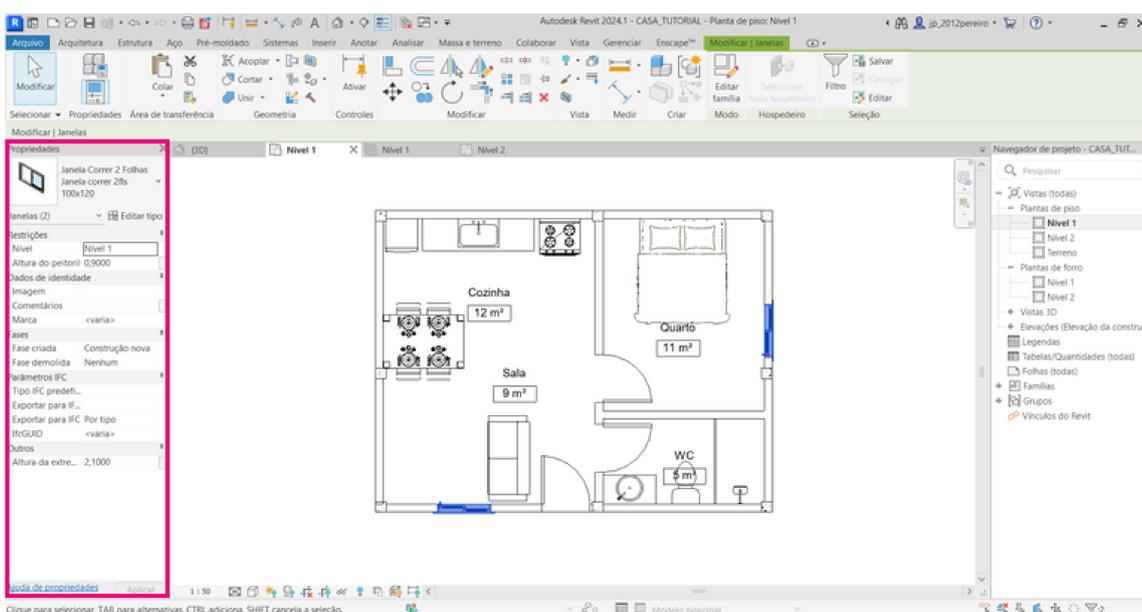


Portas Para inserir as portas, selecione a opção em Arquitetura > Portas. A partir disso, poderá escolher a família de portas que deseja incorporar ao modelo, e posiciona-la em planta.



Atente-se em duplicar as famílias, caso use as existentes no Revit, e deseje mudar as dimensões conforme o seu projeto.

Janelas Para inserir janelas, o processo é bastante similar ao da Porta. Arquitetura > Janela (Atalho: WN)



Atente-se em duplicar as famílias, caso use as existentes no Revit, e deseje mudar as dimensões conforme o seu projeto.



UFC

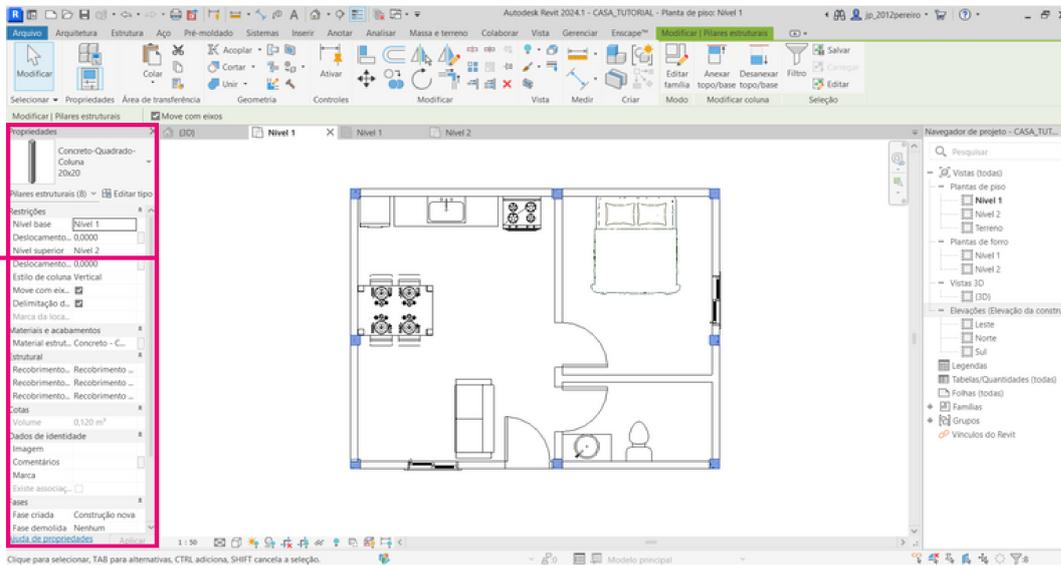
PPG
au+d
UFC



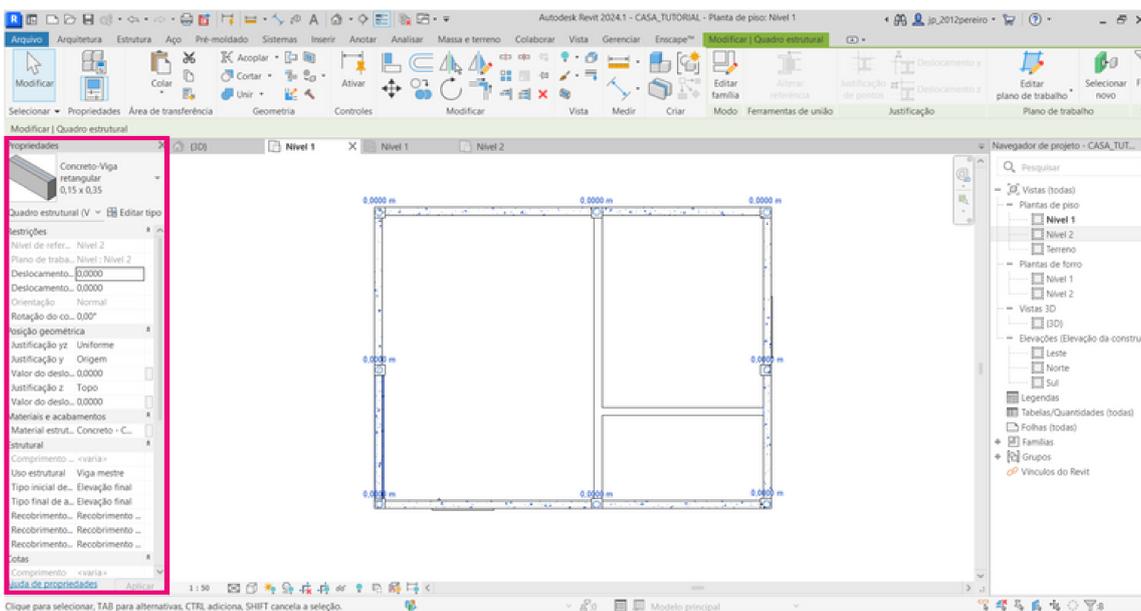
Modelagem
& Design da
Informação



Pilares Para adicionar pilares ao projeto é necessário importar famílias de pilares. Grande parte das famílias permitem que sejam alteradas as dimensões. Deve ser seguido o seguinte passo-a-passo: Estrutura > Coluna



Vigas Para inserir as vigas, o processo é similar aos pilares, no entanto, é importante se atentar a família que será adicionada e sua forma de ser inserida no modelo.



A família de vigas, dada como exemplo, é necessário que seja inserida na planta de forro, e que seja especificada as coordenadas (ou altura do piso) que ela se encontrará. No entanto, para visualização, aumentou-se o plano de corte. Observação: na exportação IFC, é necessário que se verifique se as vigas estão conectadas, e foram desenhadas de forma contínua.



UFPA

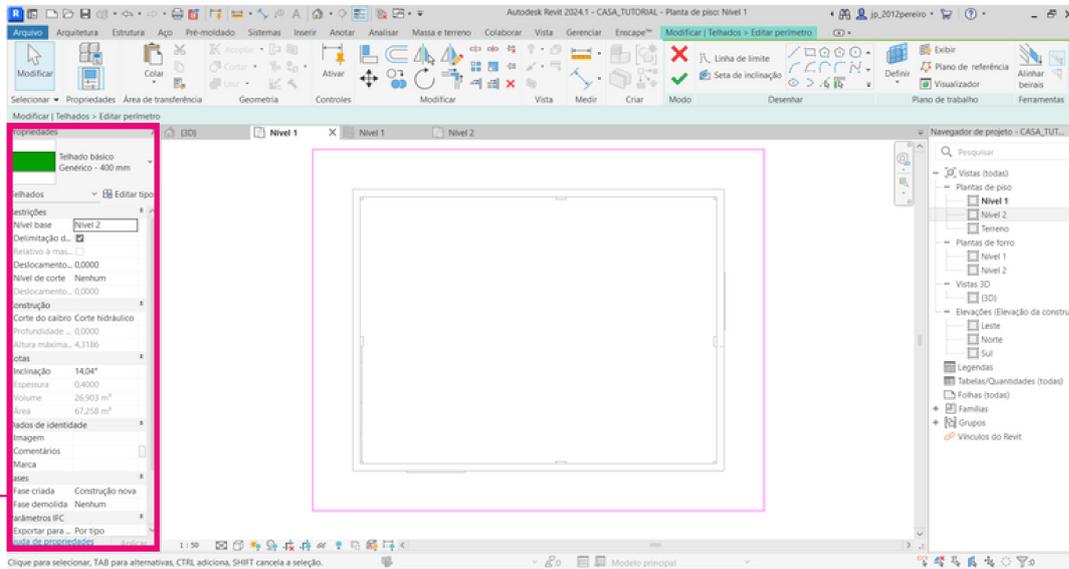
PPG
au+d
UFPA



Modelagem
& Design da
Informação

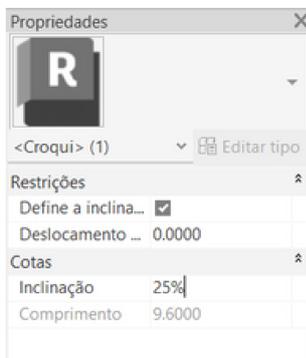


Cobertura Para inserir um telhado no projeto é necessário que seja realizado os seguintes passos :
Arquitetura > Coberta



Propriedades do telhado

É necessário que seja desenhado os limites do telhado. No perímetro desenhado é possível que seja atribuído inclinações em cada aresta.



Ao desenhar o perímetro do telhado, e clicar em qualquer aresta, aparecerá a caixa acima.

Obs: Ao ser digitado a porcentagem, é dado em graus o valor correspondente a inclinação



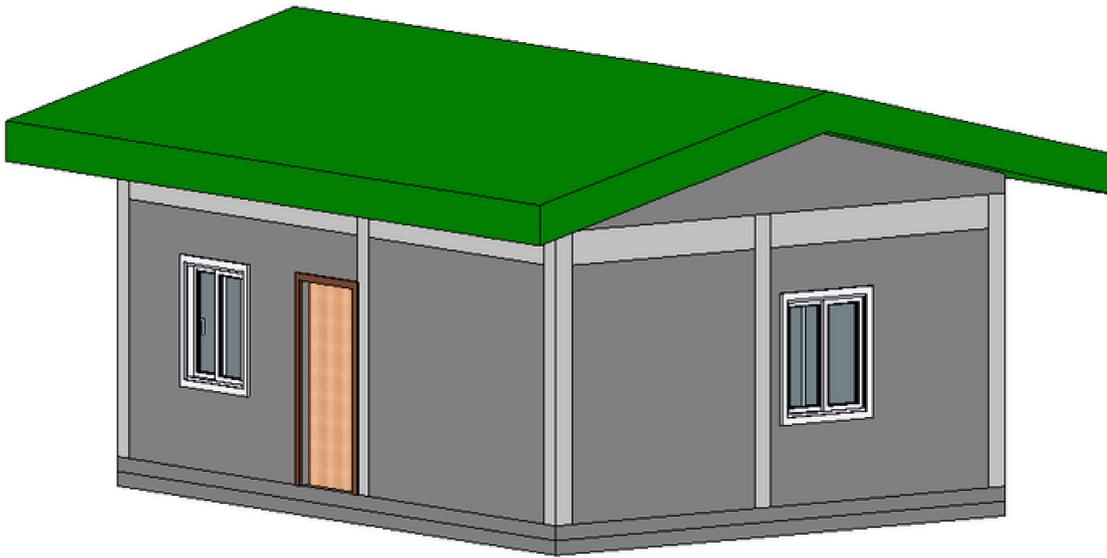
UFC

PPG
au+d
UFC

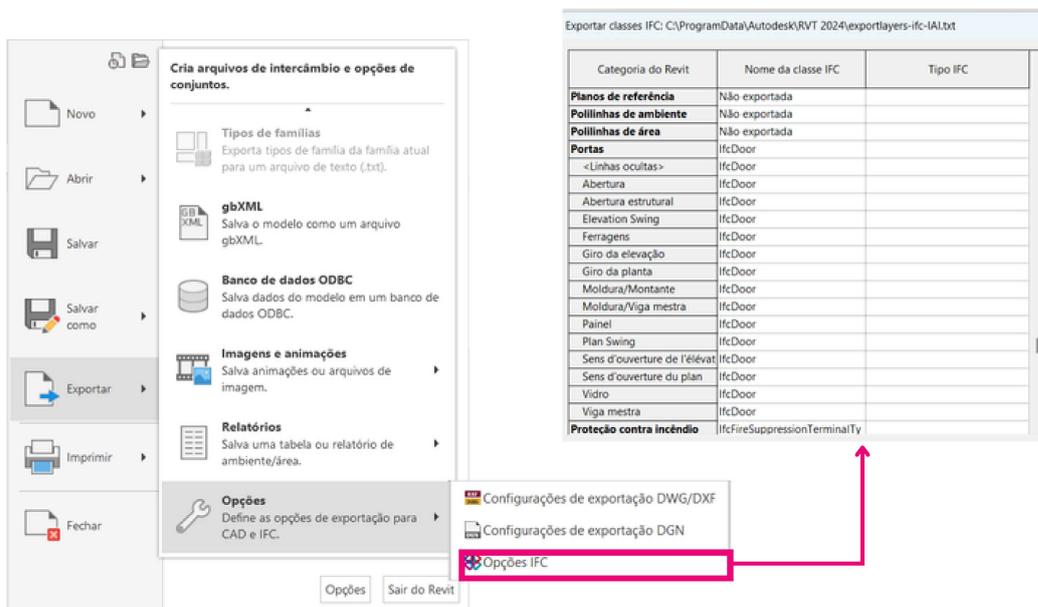
Modelagem
& Design da
Informação

LED

Modelo 3D O passo-a-passo descrito neste tutorial teve como resultado a produção de uma residência unifamiliar demonstrada abaixo. Para acessá-la, vá em Vista > Vista 3D



Exportação IFC Antes de Exportar o modelo, é verifique se todos os elementos estão associados aos seus IFCs.



The screenshot shows the Revit software interface. On the left, the 'Export' menu is open, with 'Opções IFC' highlighted. On the right, the 'Exportar classes IFC' dialog box is displayed, showing a table of Revit categories and their corresponding IFC class names and types.

Categoria do Revit	Nome da classe IFC	Tipo IFC
Planos de referência	Não exportada	
Painéis de ambiente	Não exportada	
Painéis de área	Não exportada	
Portas	IfcDoor	
<Linhas ocultas>	IfcDoor	
Abertura	IfcDoor	
Abertura estrutural	IfcDoor	
Elevation Swing	IfcDoor	
Ferragens	IfcDoor	
Giro da elevação	IfcDoor	
Giro da planta	IfcDoor	
Moldura/Montante	IfcDoor	
Moldura/Viga mestra	IfcDoor	
Painel	IfcDoor	
Plan Swing	IfcDoor	
Sens d'ouverture de l'élevat	IfcDoor	
Sens d'ouverture du plan	IfcDoor	
Vidro	IfcDoor	
Viga mestra	IfcDoor	
Proteção contra incêndio	IfcFireSuppressionTerminalTy	

Cada elemento construtivo é traduzido a partir de nomenclaturas IFC nome do elemento construtivo em inglês.
Ex: IfcWall, IfcCollumm, IfcSlab



UFC

PPG
au+d
UFC



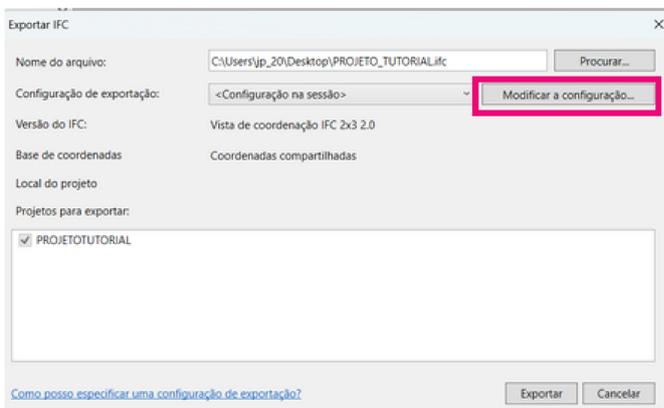
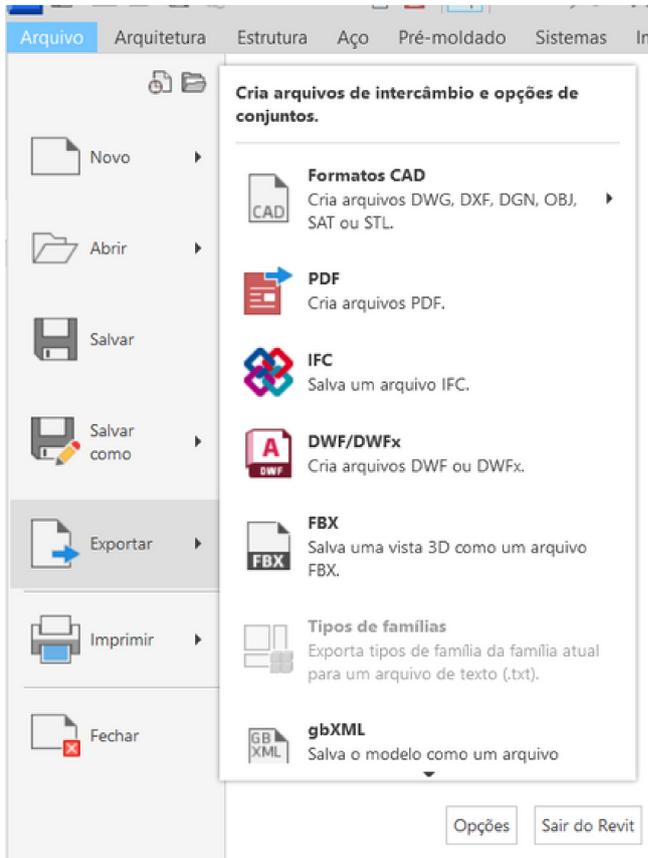
Modelagem
& Design da
Informação



LED

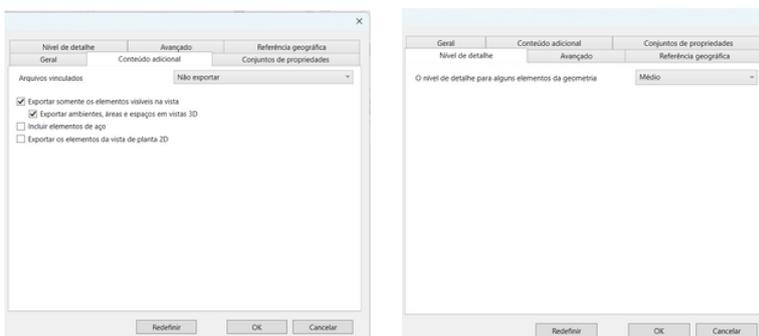
Exportação IFC

Para exportação do projeto produzido em Revit no formato IFC, é necessário seguir os seguintes passos: Arquivo > Exportar > IFC



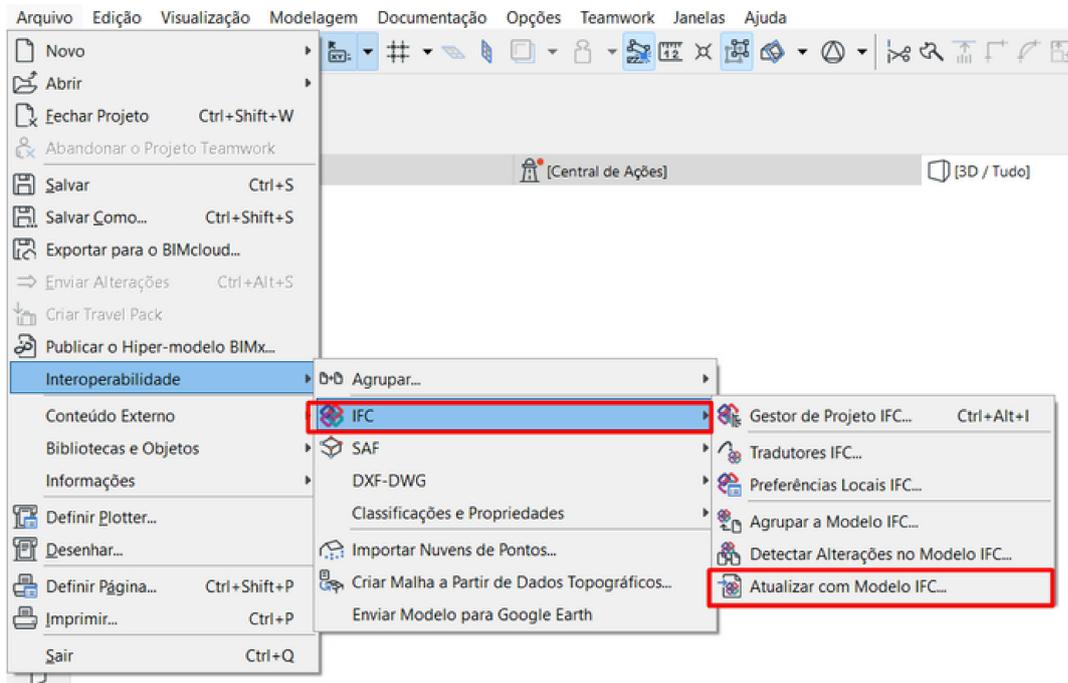
Para exportação, escolha o local que será salvo o seu IFC no computador. Além de também escolher o tipo de arquivo IFC será exportado.

Para alterar as configurações padrões e definir o que será exportado e o seu nível de detalhe. Clique em “modificar a configuração...”

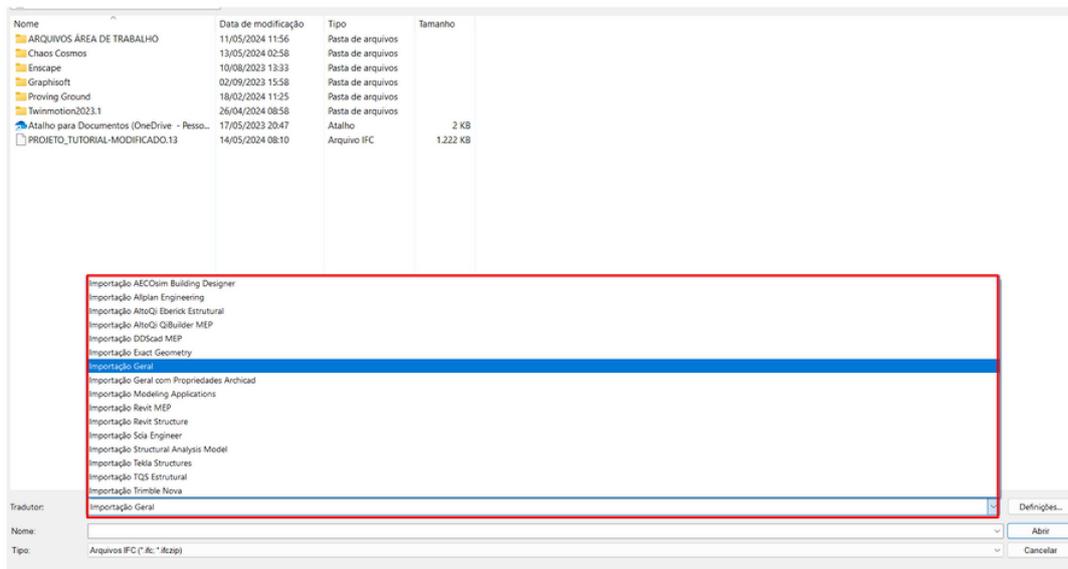


Importação IFC

Para importar IFC no Archicad, é necessário escolher o tradutor que irá interpretar os dados do IFC



Para importar o modelo IFC, selecione a opção Arquivo > Interoperabilidade > Atualizar com modelo IFC ou Agrupar



Para importar é necessário escolher o tradutor que irá traduzir os dados do IFC.



UFC

PPG
au+d
UFC

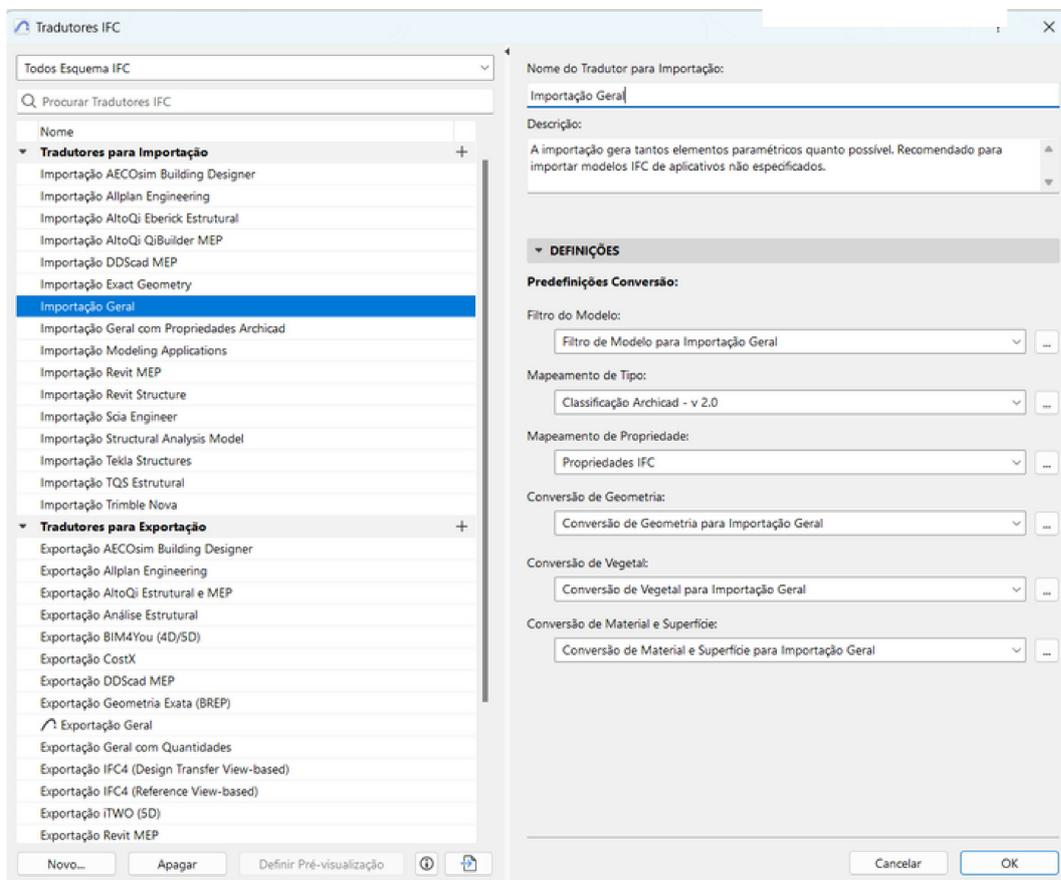
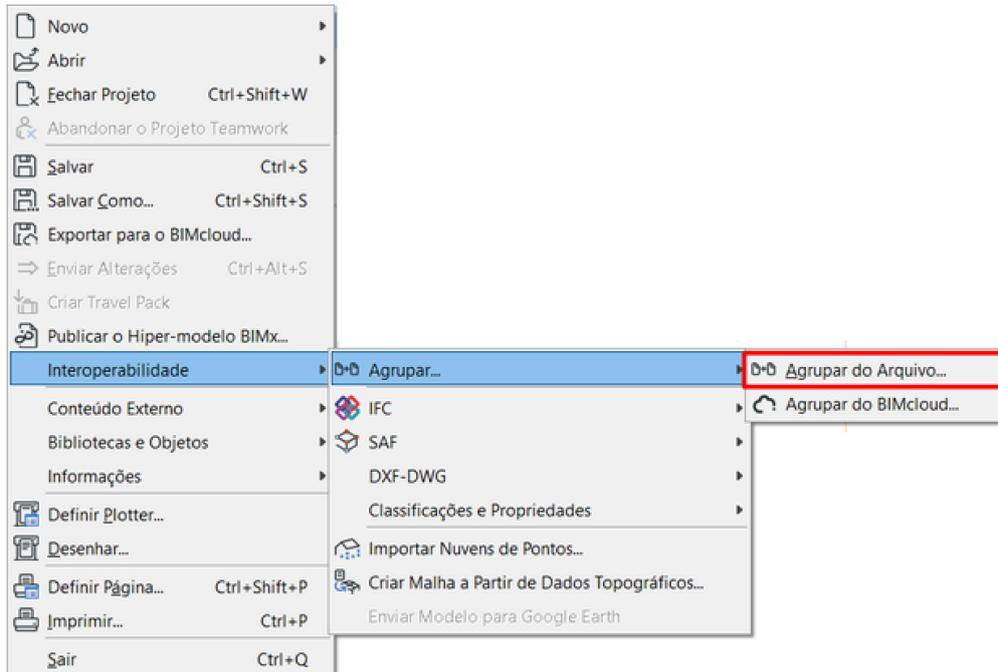


Modelagem
& Design da
Informação



Importação IFC

Para importar IFC no Archicad, é necessário escolher o tradutor que irá interpretar os dados do IFC



No Archicad, é possível você delimitar quais tradutores serão usados tanto para importação como para exportação. Essas opções devem ser verificadas antes de importar o modelo.



UFPE

PPG
au+d
UFPE



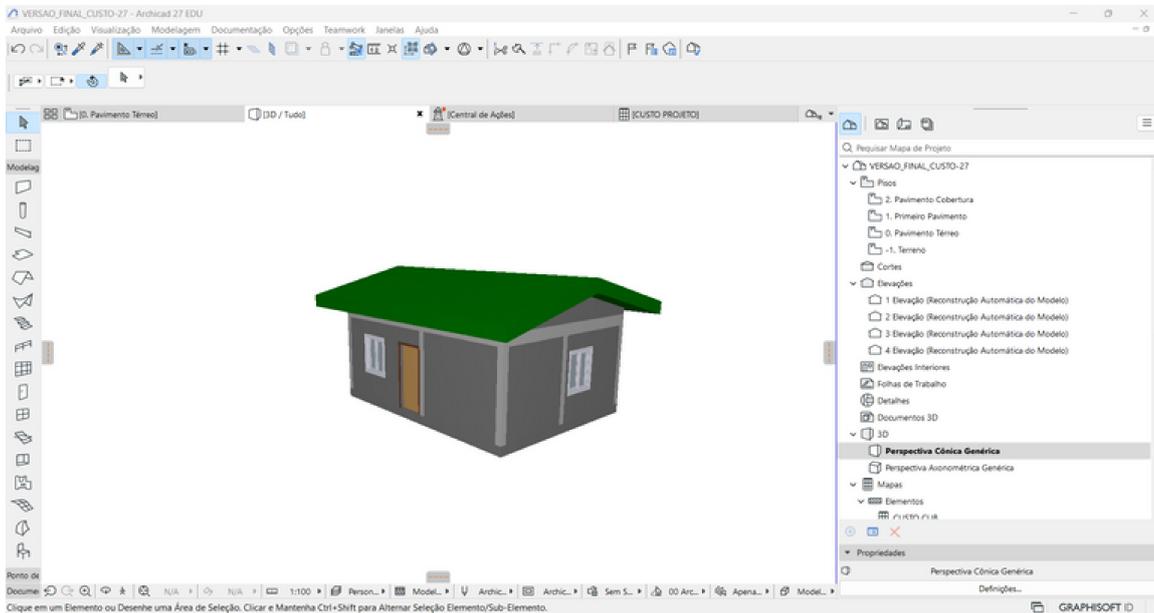
Modelagem
& Design da
Informação



LED

Modelo IFC importado no Archicad

Ao realizar os passos anteriores, o modelo é importado. É válido destacar que em caso dos elementos do IFC não corresponderem aos elementos do Archicad, é importante revisar a modelagem original.



Os elementos do IFC que não apresentam semelhanças com o Archicad, serão associados aos elementos “Objetos” ou “Morph”



UFC

PPG
au+d
UFC



Modelagem
& Design da
Informação



LED

APÊNDICE F – TUTORIAL DE MODELAGEM ARCHICAD

Tutorial de Modelagem no Archicad

Representação do custo no projeto arquitetônico



PPG
au+d
UFC



Elementos construtivos e materiais

Para melhor funcionamento da ferramenta foram determinados elementos construtivos e materiais a serem utilizados para a realização da modelagem, com respectiva correspondência aos serviços do SINAPI escolhidos.



	Concreto Armado - Estrutural	CON
	Bloco de Concreto - Enchimento	VED
	Tijolo - Cerâmico	VED
	Aço - Estrutural	MTL
	Telha - Cobertura	VED
	GENÉRICO - COBERTURA	GEN

Os revestimentos (como pintura, cerâmica...) não serão refletidos no orçamento, uma vez que não acompanha o LOD que está sendo trabalhado na ferramenta



UFC

PPG
au+d
UFC



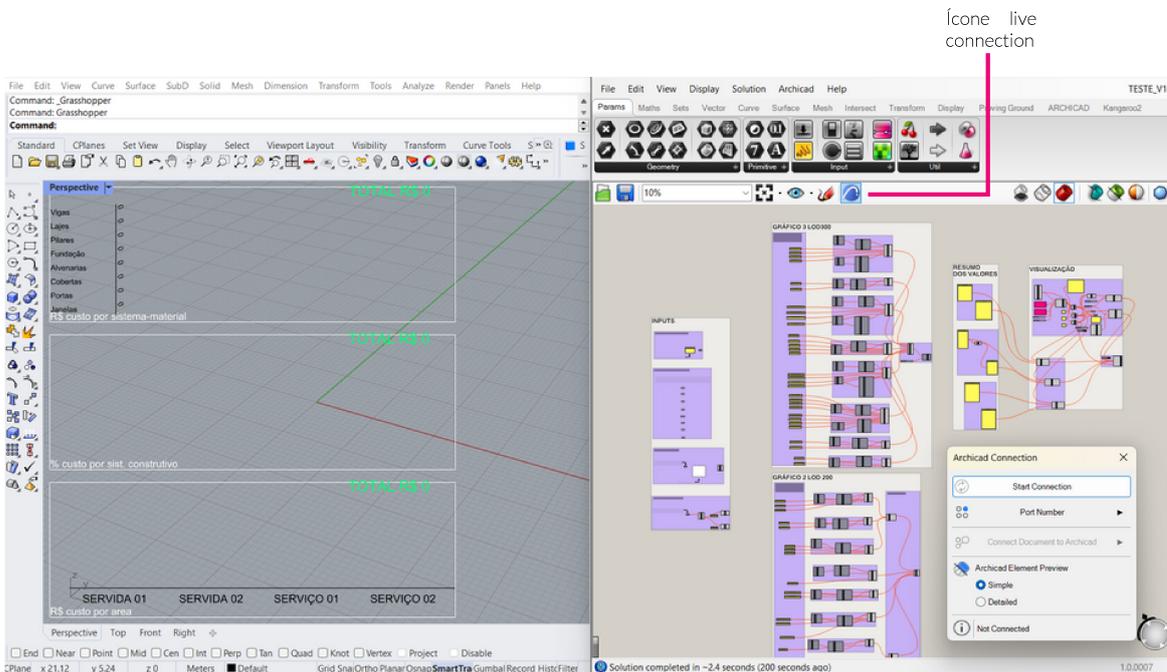
Modelagem
& Design da
Informação



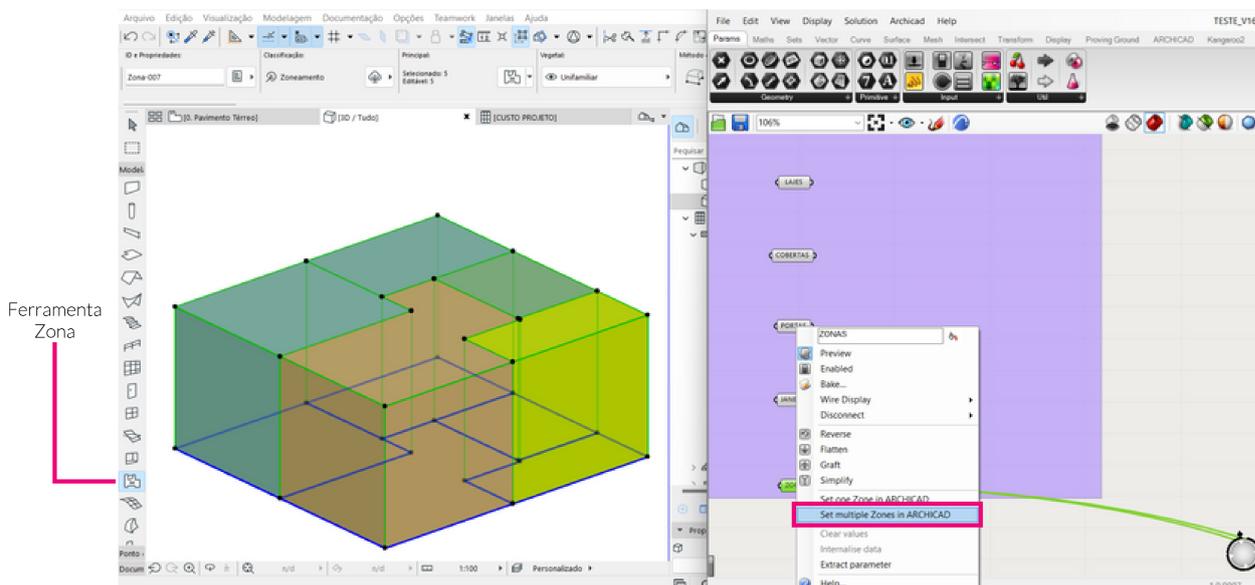
LED

Grasshopper- Archicad Live Connection

Abrir o Rhinoceros 3D >
Comando Grasshopper >
Abrir template da ferramenta no formato .gh >
Clicar no ícone live connection >
Clicar em start connection



Zonas Archicad >
Clicar na ferramenta zona (barra de ferramentas lateral) >
Selecionar todas as zonas (atalho: ctrl + a) >
Grasshopper >
Clicar com botão direito sobre “zonas” >
Set multiple zones in Archicad



A modelagem das zonas pode ser feita sem necessidade das paredes estarem modeladas, porém elas devem ser ajustadas para os limites internos das alvenarias quando estas forem desenhadas.



UFC

PPG
au+d
UFC

Modelagem
& Design da
Informação

LED

Paredes Archicad >

Clicar na ferramenta parede (barra de ferramentas lateral) >

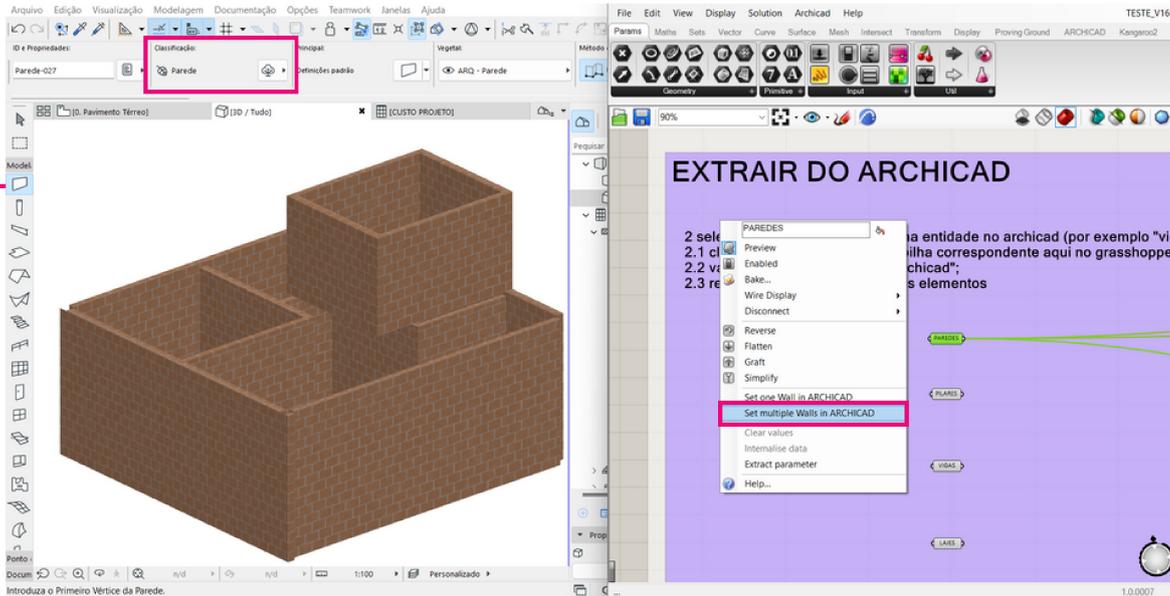
Selecionar todas as paredes (atalho: ctrl + a) >

Grasshopper >

Clicar com botão direito sobre “paredes” >

Set multiple walls in Archicad

Ferramenta
Parede



Pilares Archicad >

Clicar na ferramenta pilar (barra de ferramentas lateral) >

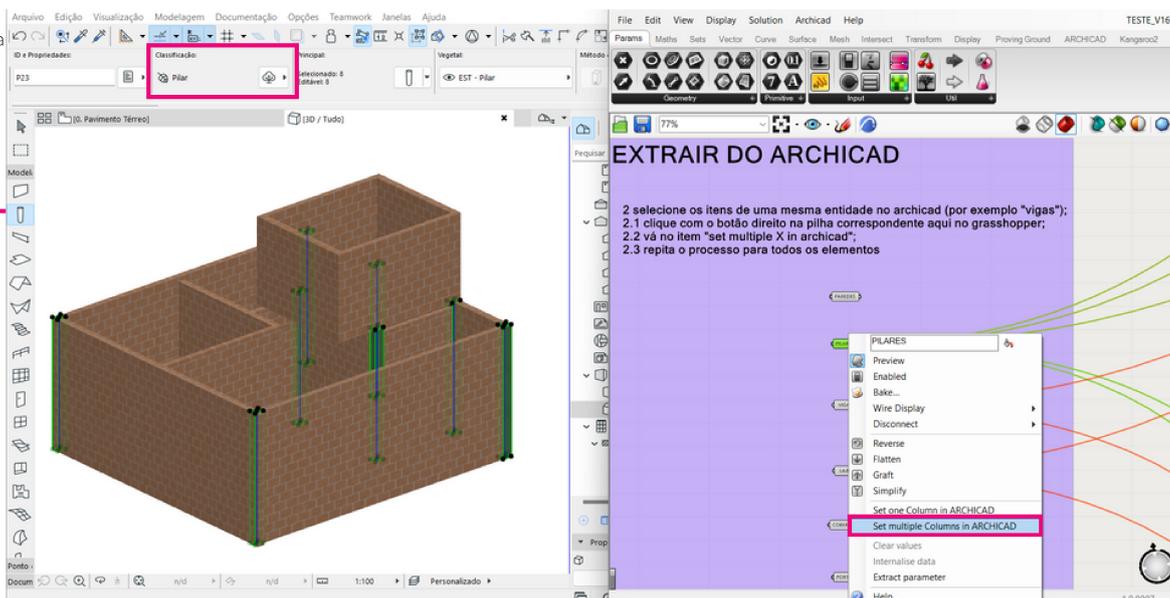
Selecionar todos os pilares (atalho: ctrl + a) >

Grasshopper >

Clicar com botão direito sobre “pilares” >

Set multiple columns in Archicad

Ferramenta
Pilar



UFMG

PPG
au+d
UFMG

Modelagem
& Design da
Informação



LED

Vigas Archicad >

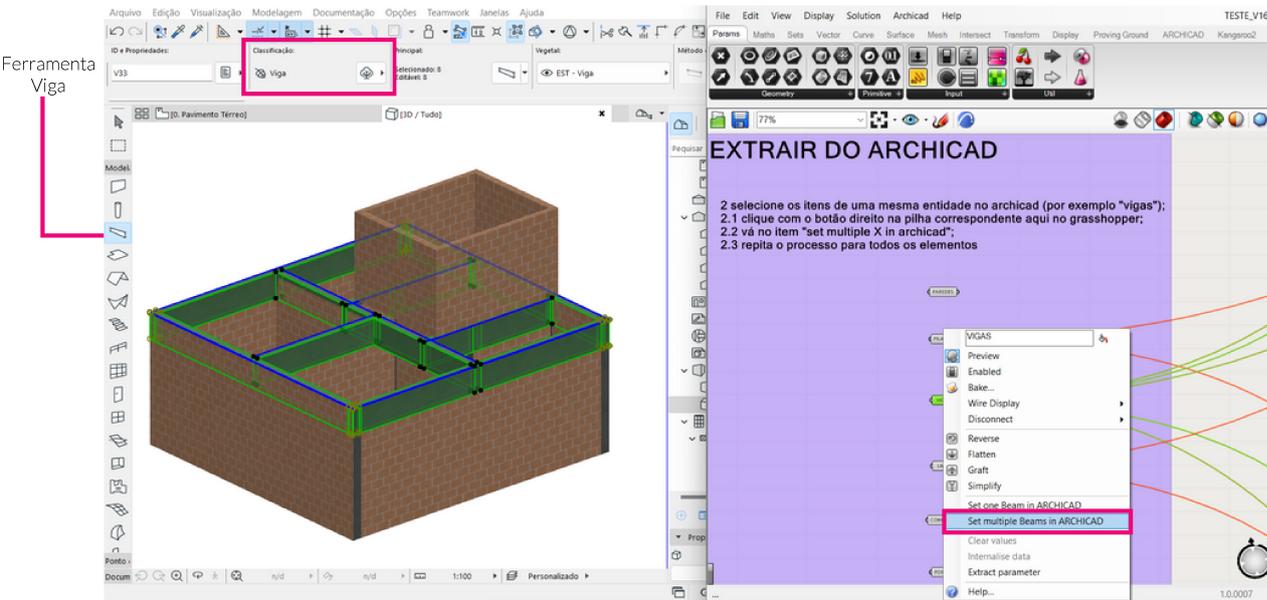
Clicar na ferramenta viga (barra de ferramentas lateral) >

Selecionar todas as vigas (atalho: ctrl + a) >

Grasshopper >

Clicar com botão direito sobre “vigas” >

Set multiple beams in Archicad



Lajes Archicad >

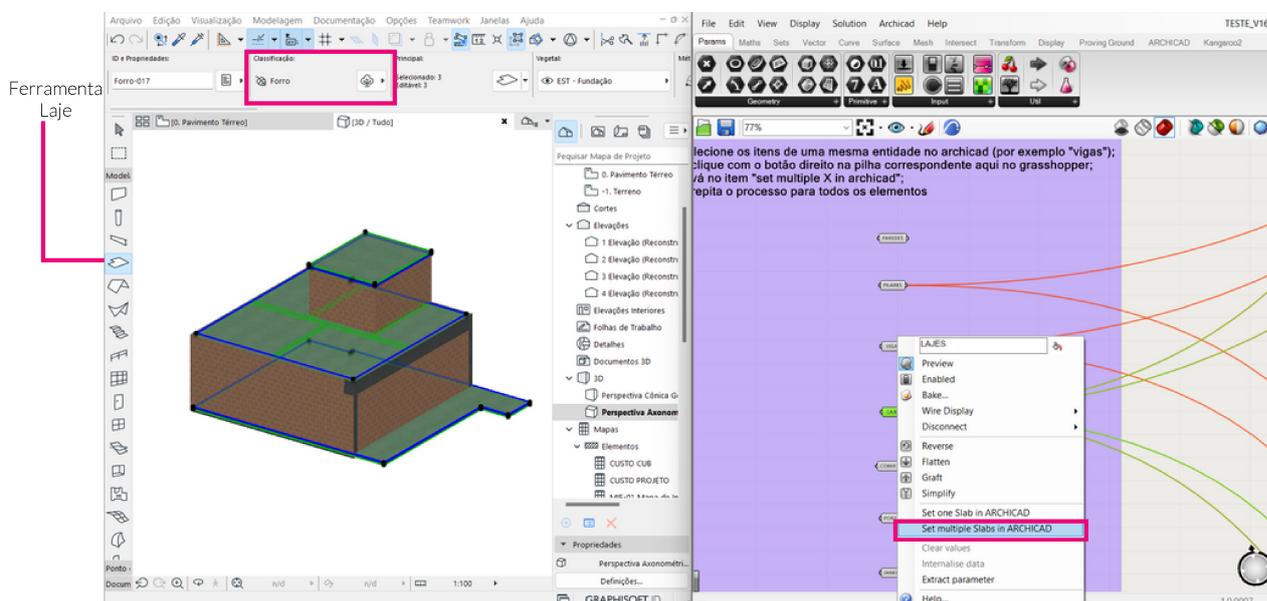
Clicar na ferramenta laje (barra de ferramentas lateral) >

Selecionar todas as lajes (atalho: ctrl + a) >

Grasshopper >

Clicar com botão direito sobre “lajes” >

Set multiple slabs in Archicad



As lajes podem ter 3 tipos de classificações nesse template: forro, laje estrutural ou fundação radier.



UFC

PPG
au+d
UFC

Modelagem
& Design da
Informação



Fundação (ex.: radier)

Archicad >

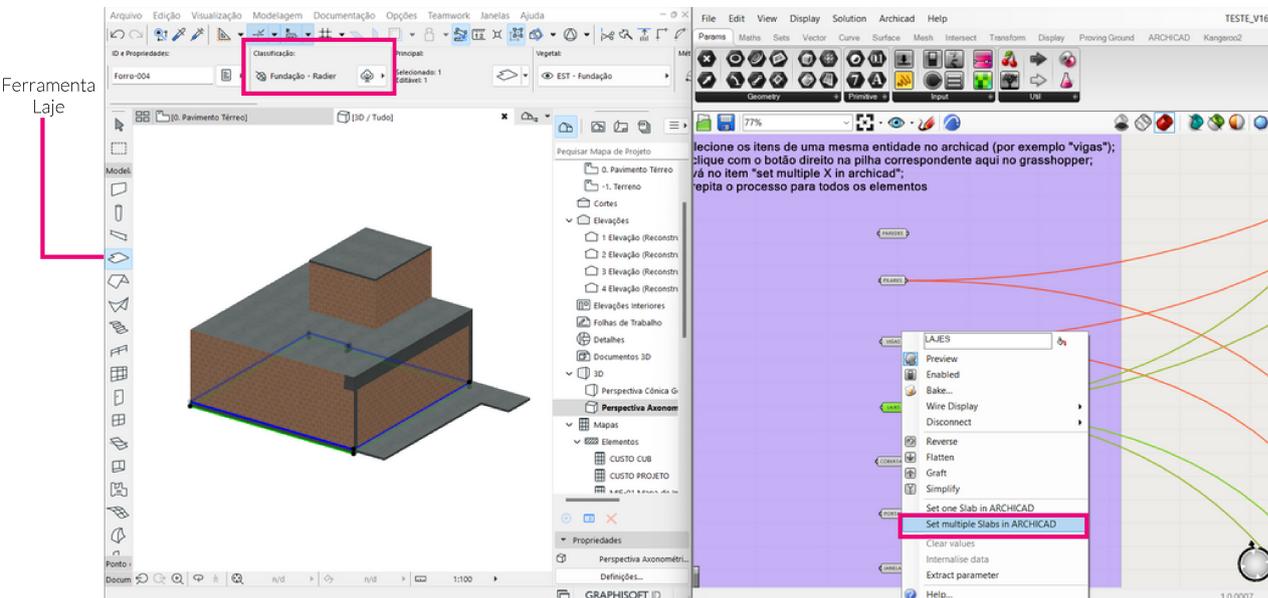
Clicar na ferramenta laje (barra de ferramentas lateral)>

Selecionar todas as lajes (atalho: ctrl + a) >

Grasshopper >

Clicar com botão direito sobre “lajes” >

Set multiple slabs in Archicad



A fundação pode ser construída com quaisquer elementos a depender do tipo escolhido. É importante, porém, se atentar para a classificação do material.

Cobertura

Archicad >

Clicar na ferramenta cobertura (barra de ferramentas lateral)>

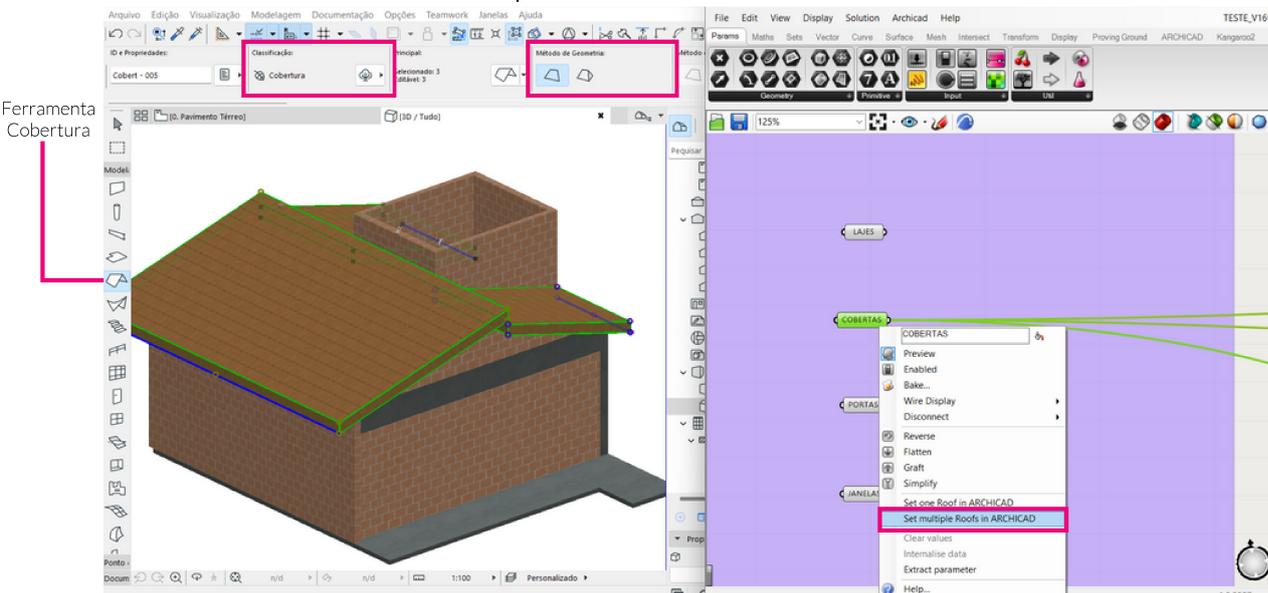
Selecionar todas as coberturas (atalho: ctrl + a)

>

Grasshopper >

Clicar com botão direito sobre “coberturas” >

Set multiple roofs in Archicad



A cobertura deve ser construída com o método de geometria “plano simples”, independente da quantidade de águas.



UFC

PPG
au+d
UFC

Modelagem
& Design da
Informação

LED

Portas Archicad >

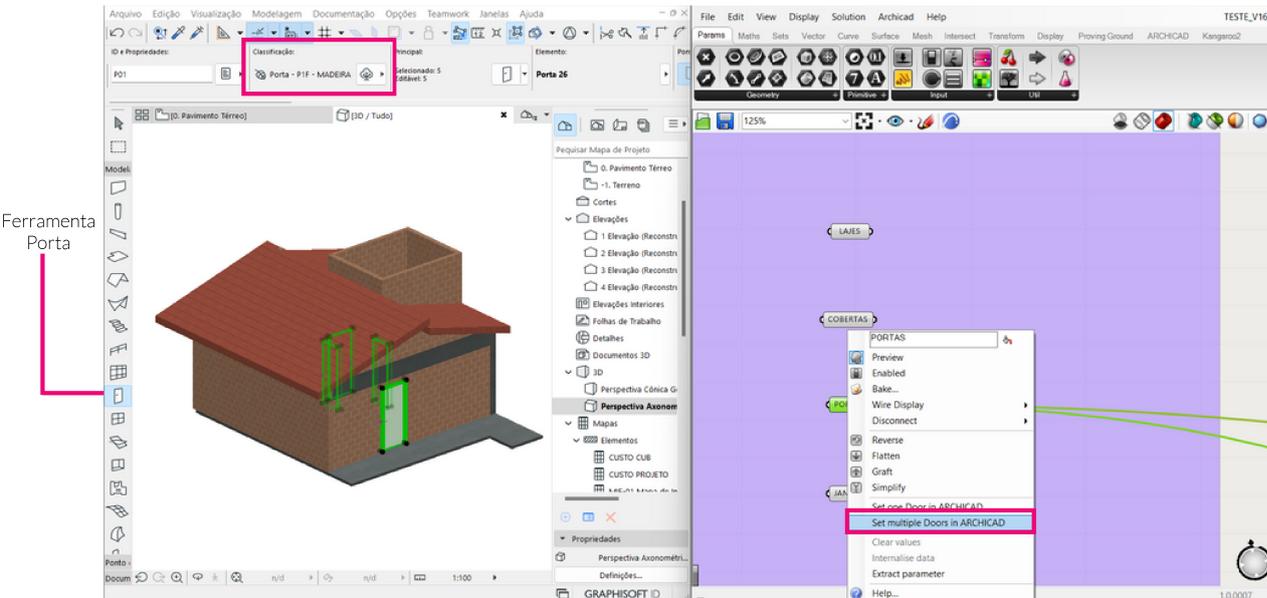
Clicar na ferramenta porta (barra de ferramentas lateral) >

Selecionar todas as portas (atalho: ctrl + a) >

Grasshopper >

Clicar com botão direito sobre “portas” >

Set multiple doors in Archicad



Janelas Archicad >

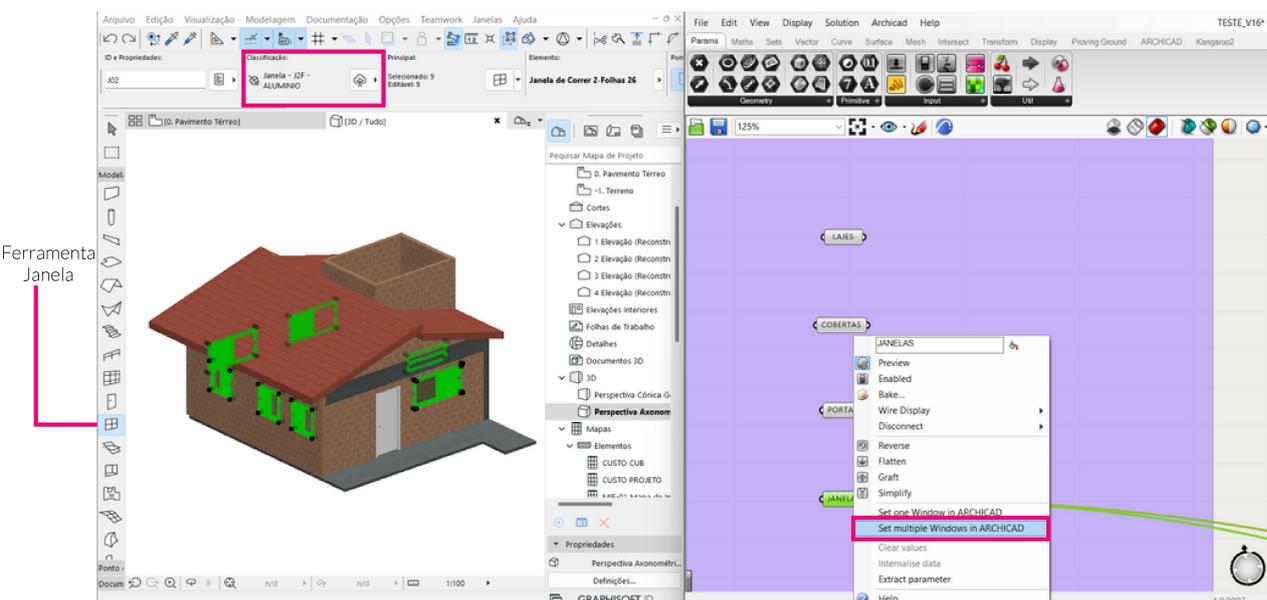
Clicar na ferramenta janela (barra de ferramentas lateral) >

Selecionar todas as janelas (atalho: ctrl + a) >

Grasshopper >

Clicar com botão direito sobre “janelas” >

Set multiple windows in Archicad



Portas e Janelas podem ter classificações quanto aos materiais (madeira ou alumínio) e quanto à quantidade de folhas (2 ou 4) nesse template.



UFMG

PPG
au+d
UFMG

Modelagem
& Design da
Informação

LED

**APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO REALIZADO COM OS ALUNOS APÓS AS
APLICAÇÕES DA FERRAMENTA EM SITUAÇÕES DE ENSINO**

Caracterização do grupo

1. Email?
2. Está cursando qual semestre no curso de Arquitetura e Urbanismo?
3. Avalie de 0 a 5, sendo 0 a nota mais baixa e 5 a nota mais alta, seu nível de familiaridade com o Archicad: 0 1 2 3 4 5
4. Avalie de 0 a 5, sendo 0 a nota mais baixa e 5 a nota mais alta, seu nível de familiaridade com o Rhinoceros 3D: 0 1 2 3 4 5
5. Avalie de 0 a 5, sendo 0 a nota mais baixa e 5 a nota mais alta, seu nível de familiaridade com o Grasshopper: 0 1 2 3 4 5
6. Avalie de 0 a 5, sendo 0 a nota mais baixa e 5 a nota mais alta, seu nível de familiaridade com o Conduit: 0 1 2 3 4 5
7. Antes do workshop, você já havia utilizado Archicad, Rhinoceros 3D, Grasshopper ou Conduit voltados para análise de custo?
8. Avalie de 0 a 5, sendo 0 a nota mais baixa e 5 a nota mais alta, quanto você costuma considerar questões de custo nos seus projetos arquitetônicos: 0 1 2 3 4 5
9. Quais softwares você utiliza para organizar essas informações de custo nos seus projetos arquitetônicos?

Avaliação da ferramenta

10. Avalie de 0 a 5, sendo 0 a nota mais baixa e 5 a nota mais alta, a ferramenta utilizada no workshop, conforme os seguintes aspectos:
 - a) Velocidade de feedback: 0 1 2 3 4 5
 - b) Intuitividade da ferramenta: 0 1 2 3 4 5
 - c) Visualização da informação de custo: 0 1 2 3 4 5
 - d) Impacto no projeto arquitetônico: 0 1 2 3 4 5
 - e) Relevância para o processo de projeto: 0 1 2 3 4 5
11. Quais foram as maiores dificuldades sentidas no uso da ferramenta?
12. Você identificou algum aspecto positivo em relação ao seu projeto a partir do uso da ferramenta? Quais?
13. O que você acha que poderia ser alterado na ferramenta para que se tornasse mais eficaz para o desenvolvimento do seu projeto?
14. Você sentiu alguma diferença no projeto ao modelar fazendo uso da ferramenta avaliada em comparação ao método tradicional?

APÊNDICE H – PERGUNTAS NORTEADORAS PARA O GRUPO FOCAL

Caracterização do grupo

1. Quantos do grupo fazem uso de softwares BIM?
2. De 0 a 5, qual o nível de familiaridade com esses softwares? São utilizados em que ocasiões?
3. Quantos do grupo fazem uso de Rhinoceros 3D/ Grasshopper?
4. De 0 a 5, qual o nível de familiaridade com esses softwares? São utilizados em que ocasiões?
5. Alguém do grupo trabalha com orçamentação de projeto arquitetônico?
6. Alguém do grupo já fez uso desses softwares (BIM + Rhinoceros + Grasshopper) para análise de custo?
7. Os membros do grupo focal utilizam o SINAPI para consultar informações de custo?
8. Atualmente, nos projetos arquitetônicos realizados pelo grupo, como são organizadas as informações de custo? Quais os softwares utilizados?
9. Essas informações são organizadas no decorrer do processo de projeto ou apenas ao fim? Como funciona o fluxo desse processo?

Avaliação da ferramenta

10. Foram identificados aspectos positivos que o uso da ferramenta poderia agregar ao projeto arquitetônico? Quais?
11. Em comparação ao método tradicional de estimativa de custos de projeto, foram identificados aspectos em que a ferramenta avaliada é melhor? Quais?
12. Quais foram as maiores dificuldades observadas para o uso da ferramenta?
13. Se essa ferramenta pudesse ser utilizada em contato com o AutoCAD, por exemplo, essa dificuldade seria menor?
14. O que poderia ser alterado na ferramenta para que se tornasse mais eficaz para o desenvolvimento do projeto arquitetônico?
15. Quanto à visualização da informação, ficaram claras as informações demonstradas? Foi possível identificá-las com facilidade?
16. Visualizar essas informações em formato de gráfico ajuda ou atrapalha?
17. Quanto à relevância dessa ferramenta para o projeto arquitetônico, ela preenche uma lacuna ou já existem outros softwares que já suprem essa demanda?
18. O que outros softwares já utilizados pelo grupo possuem que faltou na ferramenta?

APÊNDICE I – PUBLICAÇÃO NO REPOSITÓRIO ZENODO



Published September 9, 2024 | Version v1

Model Open

The representation of cost information in the architectural design process

Ribeiro, Letícia Pereira Barcelos¹ ; Castro, Leônidas Avelino Souza de¹; Lima, Mariana Monteiro Xavier de¹ ; Cardoso, Daniel Ribeiro¹

Hide affiliations

1. Universidade Federal do Ceará

This set of files complements the dissertation "The Representation of Cost Information in the Architectural Design Process," by Letícia Pereira Barcelos, supervised by Mariana Monteiro Xavier de Lima and Daniel Cardoso Ribeiro, at the Federal University of Ceará. The dissertation explores the integration of cost estimation into the conception and development process of architectural projects using BIM technologies and computational algorithms. The available materials include:

- **3D Model:** A standard example of a residential model created in Archicad, used to demonstrate the practical application of cost estimation techniques.
- **Cost Estimation Algorithm:** The algorithm developed in Grasshopper for generating cost estimates from BIM models. This algorithm has been tested and evaluated, showing reliable results and contributing to more informed design decision-making.
- **Video Tutorial:** A step-by-step video guide showing how to use the developed cost estimation tool, facilitating learning and the application of the algorithm in various project contexts.
- **PDF Tutorial:** A PDF document that complements the video tutorial, providing detailed instructions and additional support for using the tool.

These files offer a comprehensive resource for visualizing and analyzing costs in architectural design, contributing to a more integrated and efficient design practice.

Files

Tutorial Archicad.pdf

Vigas Archicad >
Clicar na ferramenta viga (barra de ferramentas lateral) >
Selecionar todas as vigas (atalho: ctrl + a) >
Grasshopper >
Clicar com botão direito sobre "vigas" >
Set multiple beams in Archicad

Vigas Archicad >
Clicar na ferramenta viga (barra de ferramentas lateral) >
Selecionar todas as vigas (atalho: ctrl + a) >
Grasshopper >

Name	Size	Download all
Algoritmo.gh	347.8 kB	Download
Modelo 3D Archicad.pln	54.5 MB	Download
Tutorial Archicad.pdf	4.3 MB	Preview Download
Video Tutorial.mkv	241.9 MB	Download

Additional details

Funding Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Citations

Show only: Literature (0) Dataset (0) Software (0) Unknown (0) Citations To This Version

Search for citation ... Search

No citations found

31
VIEWS29
DOWNLOADS

Show more details

Versions

Version v1 Sep 9, 2024
10.5281/zenodo.13737657

Cite all versions? You can cite all versions by using the DOI 10.5281/zenodo.13737656. This DOI represents all versions, and will always resolve to the latest one. [Read more.](#)

External resources

Indexed in

OpenAIRE

Communities

Laboratory of Digital Experience - LED

Keywords and subjects

Information visualization
Decision making in architectural project Cost estimation
BIM

EuroSciVoc

Architectural design

Details

DOI
DOI 10.5281/zenodo.13737657Resource type
ModelPublisher
ZenodoLanguages
Portuguese

Rights

Creative Commons Attribution 4.0 International

Apache License 2.0

Citation

Ribeiro, L. P. B., Castro, L. A. S. de., Lima, M. M. X. de., & Cardoso, D. R. (2024). The representation of cost information in the architectural design process. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13737657>

Style APA

Export

JSON Export

Technical metadata

Created September 9, 2024

Modified September 9, 2024