

ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES DURANTE A FASE DE PROJETO COM O USO DA PLATAFORMA BIM

⁽¹⁾ Érica Nayara Mendes dos Santos

⁽²⁾ Maria Cláudia Sousa Alvarenga

⁽¹⁾ Estudante do curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

⁽²⁾ Professora Adjunta do curso de Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

Presidente da Banca: Maria Cláudia Sousa Alvarenga

Membro: Bianca de Melo Soares Leão

Membro: Vinícius Gonçalves de Almeida

17 de janeiro de 2020.

RESUMO: Nos últimos anos, os elevados índices de consumo energético e as perspectivas de aumento deste tem demandado a elaboração e execução de projetos mais eficientes. O consumo de energia elétrica é um dos indicadores utilizados para se avaliar o desempenho energético em uma edificação, assim, a classificação de eficiência está relacionada com sua capacidade de proporcionar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com o menor consumo de energia possível. A utilização de ferramentas computacionais é uma alternativa que pode ser explorada pelos projetistas para modelagem e realização de simulações. Sendo assim, neste trabalho foi desenvolvido um estudo de caso em uma edificação residencial unifamiliar, ainda em fase de projeto, para demonstrar o uso de software BIM e de simulação computacional para análise de desempenho energético. Inicialmente, foi feita a modelagem dos elementos construtivos e da edificação no software Autodesk Revit Architecture, baseados em critérios estabelecidos pelas Normas de Desempenho brasileira. Em seguida, foi gerado um modelo de energia nesta mesma plataforma e enviado ao *Green Building Studio* para simulações energéticas com base na plataforma DOE-2. Os resultados deste estudo indicam que o uso de software BIM no processo de modelagem é eficiente e que as simulações fornecem informações relevantes sobre o desempenho energético que podem ser exploradas na elaboração de projetos mais eficientes. No entanto, é necessário explorar com mais profundidade as ferramentas computacionais a fim de conhecer seus recursos e limitações para auxiliar na escolha do software mais adequado e assim produzir modelos mais próximos a realidade e que atendam a diferentes finalidades e etapas de projeto.

PALAVRAS-CHAVE: eficiência energética, modelagem da informação da construção, simulação computacional.

ABSTRACT – In recent years, the high levels of energy consumption and the prospects for its increase have demanded the elaboration and execution of more efficient projects. Electricity consumption is one of the indicators used to assess the energy performance of a building. Thus, the efficiency rating is related to the building's ability to provide thermal, visual and acoustic comfort to

36 users with the lowest possible energy consumption. The use of computational tools is an alternative
37 that can be explored by designers for modeling and conducting simulations. Therefore, in this work,
38 a case study was developed in a single-family residential building, still in the design phase, to
39 demonstrate the use of BIM software and computer simulation to analyze energy performance.
40 Initially, the building elements and edification were modeled using Autodesk Revit Architecture
41 software, based on criteria established by the Brazilian Performance Standards. Then, an energy
42 model was generated on this same platform and sent to the Green Building Studio for energy
43 simulations based on the DOE-2 platform. The results of this study indicate that the use of BIM
44 software in the modeling process is efficient and that the simulations provide relevant information
45 about the energy performance that can be explored in the elaboration of more efficient projects.
46 However, it is necessary to explore computational tools in more depth in order to know their resources
47 and limitations to assist in choosing the most appropriate software and thus produce models that are
48 closer to reality and that meet different purposes and design stages.

49 **KEYWORDS:** energy efficiency, building information modeling, computational simulation.

50 1. INTRODUÇÃO

51 A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) no Brasil é responsável pela
52 emissão anual de 19.923 mil toneladas de gás carbônico na atmosfera (LOPES *et al.*, 2016), pelo
53 consumo de 16% da água potável, 40% das pedras e areias e 25% da madeira extraída (SINDUSCON-
54 RS, 2016). Além disso, produz-se cerca de 45 milhões de toneladas de resíduos sólidos (ABRALPE,
55 2015). De toda energia produzida no país, estima-se que 46,7% é destinada às edificações, sendo que
56 o setor residencial representa 23,3% deste consumo, o setor comercial 15,4% e o público 8,0%
57 (LAMBERTS *et al.*, 2013)

58 Nas últimas décadas o consumo de energia tem aumentado devido a diversos fatores, como a
59 crescente demanda por melhorias nos níveis de conforto e o maior tempo gasto pelas pessoas dentro
60 das edificações, além do aumento da população urbana e da renda per capita (LOPES *et al.*, 2016).

61 Em edifícios, o consumo de energia elétrica é destinado basicamente ao aquecimento de água
62 (24%), iluminação (14%), condicionamento de ar (20%), refrigeração (27%) e outros equipamentos
63 como lava-roupas, micro-ondas, ferro, TV, etc (15%). No entanto, essa distribuição média varia entre
64 as regiões no país, devido às condições climáticas e ambientais específicas de cada uma (LAMBERTS
65 *et al.*, 2013). Diante deste cenário, tem se tornado frequente a busca por técnicas construtivas, de
66 projeto e materiais que reduzam o impacto ao meio ambiente.

67 As técnicas propostas pela Arquitetura Bioclimática estão inseridas neste panorama ao adaptar
68 de modo eficaz a edificação ao seu contexto climático, e esta interação produz um ganho potencial
69 na redução do consumo de energia bem como permite a adoção de estratégias sustentáveis com menor
70 impacto ao ambiente (OLIVEIRA; LUNARDI, 2018).

71 As etapas iniciais de projeto e pré-construção de um edifício são os momentos mais críticos
72 com relação à tomada de decisões sobre suas características de sustentabilidade (AZHAR, 2010).
73 Para Azhar (2010), o resultado da fase de projetos é indutor da racionalização da construção, da
74 qualidade do produto final e de sua sustentabilidade, e é nessa fase que os investimentos são muito
75 baixos e têm alto reflexo sobre o custo final. Além disso, se o projeto não for adequadamente
76 elaborado, as etapas seguintes terão sua qualidade comprometida, independente do grau de
77 automatização ou da técnica utilizados. Para se alcançar um padrão razoável de qualidade dos projetos
78 em termos de técnicas sustentáveis e mais eficientes, espera-se que os projetistas tenham
79 conhecimento aprofundado das normas técnicas e requisitos de eficiência, além de meios de avaliação
80 e controle.

81 Segundo Kats *et. al* (2003), um aumento de cerca de 2% dos custos iniciais para viabilizar um
82 projeto sustentável resulta numa economia, durante o ciclo de vida, de aproximadamente 20% dos
83 custos totais da construção, o que prova que edifícios sustentáveis também são economicamente
84 viáveis.

85 Uma edificação é dada como eficiente, em termos energéticos, quando consegue proporcionar
86 conforto térmico, visual e acústico aos usuários com o menor consumo de energia possível
87 ((LAMBERTS *et al.*, 2013).

88 O processo de análise de eficiência energética de uma edificação é uma tarefa complexa e
89 que requer conhecimentos multidisciplinares, extenso volume de dados sobre geometria da
90 edificação, propriedades termo físicas dos elementos construtivos, padrão de uso e ocupação da
91 edificação, dentre outras variáveis, conforme os níveis de detalhamento da análise. Mesmo as
92 aplicações em software ainda são pouco exploradas, e quando simulações são realizadas, se
93 concentram nas fases finais dos projetos, estando comumente relacionadas ao dimensionamento dos
94 sistemas de HVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) (MOAKHER, PIMPLIKAR (2012);
95 LAMBERTS *et al.*,2010).

96 Atualmente as simulações energéticas aparecem como uma ferramenta de apoio à decisão do
97 projetista, no que se refere à elaboração de projetos mais sustentáveis, e podem ser realizadas com o
98 auxílio de softwares específicos, ou através de cálculos manuais baseados em equações de regressão
99 obtidas a partir de simulações computacionais (BRACHT, 2016). De acordo com o Departamento de
100 Energia dos Estados Unidos da América, atualmente existem mais de 400 aplicações em software
101 disponíveis para avaliar a eficiência energética, energia renovável e sustentabilidade em edifícios e
102 muitos já possibilitam a troca de informações com outros softwares de modelagem geométrica, como
103 softwares em plataforma BIM (ABANDA, BYERS, 2016; KIM *et al.*, 2015)

104 Neste contexto, este estudo teve por objetivo explorar a interação entre software em
105 plataforma BIM e software de simulação energética para análise de desempenho energético durante

106 a fase de projeto, através da criação de protótipo virtual de uma edificação residencial e realização de
107 simulações, aplicando diferentes elementos construtivos da envoltória, de modo a discutir a
108 contribuição do BIM na busca por uma AEC mais limpa e sustentável.

109 **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

110 **2.1. Desempenho Energético em Edificações**

111 Impulsionados pelas consequências da crise energética que se instaurou na década de 90,
112 muitos países se viram obrigados a implementar leis mais rigorosas sobre conservação de energia, já
113 que o crescimento urbano e consequente aumento na demanda por energia eram inevitáveis. Em
114 resposta a esse cenário, foi promulgada em 17 de outubro de 2001 a Lei nº 10.295, intitulada de Lei
115 da Eficiência Energética, que determinou o estabelecimento de níveis máximos de consumo e
116 mínimos de eficiência energética.

117 Essa lei promoveu também a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações
118 (PBE-Edifica) em 2003, com a finalidade de desenvolver atividades com vistas à divulgação e ao
119 estímulo à aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações.

120 Uma edificação que se inicia com um projeto eficiente tem potencial de economizar 50% de
121 energia elétrica. Já as edificações construídas que recebam um retrofit, o ganho em termos de
122 economia de energia pode atingir 30% (Eletrobrás/ PROCEL, 2017). Para tanto, é necessário adequar
123 as edificações às condições climáticas locais, usando materiais e técnicas apropriadas, tendo em vista
124 o uso racional de energia (MARTINEZ *et al.*, 2009).

125 O extenso território brasileiro abrange diferentes realidades climáticas que exigem estratégias
126 distintas para alcançar condições de conforto térmico e eficiência energética. A ABNT NBR 15.220-
127 3 (2005) propõe a divisão do território em oito zonas bioclimáticas, onde as condições climáticas têm
128 um efeito semelhante na relação entre o ambiente construído e o conforto humano. (CARLO,
129 LAMBERTS, 2008).

130 Diversas variáveis interferem no desempenho energético das edificações, como as
131 características da envoltória (paredes externas, telhados, janelas etc.), comportamento dos ocupantes,
132 a forma, o tamanho, a orientação da edificação e as propriedades térmicas dos materiais utilizados
133 também tem impacto no consumo de energia (ABANDA, BYERS, 2016; OLIVEIRA, LUNARDI,
134 2018, RODRIGUES, 2015).

135 **2.2. Modelagem da Informação da Construção - BIM**

136 De acordo com Eastman *et al.* (2014), Modelagem da Informação da Construção (BIM) se
137 define “como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir,
138 comunicar e analisar modelos de construções”. Estes modelos possuem componentes construtivos
139 (objetos) cuja representação está associada a regras paramétricas e componentes de dados, que
140 descrevem como os objetos se comportam. Esta tecnologia é capaz de produzir modelos

141 tridimensionais, compatibilizar projetos, gerar orçamento, executar análises de comportamento da
142 estrutura, analisar e monitorar o ciclo de vida da edificação, bem como, ser utilizado como fonte de
143 dados para softwares de análises mais específicas, como simulações energéticas.

144 A modelagem paramétrica é o que difere aplicativos para projetos em BIM e outros sistemas
145 CAD. Nela não se representam os objetos com propriedades fixas e geométricas, mas, por parâmetros
146 e regras que definem a geometria.

147 Na indústria da AEC a tecnologia BIM é relativamente nova e está muito restrita a
148 implementação de software, apesar de ainda não existir uma capaz de abranger todos os critérios da
149 tecnologia, “isso reflete nossa crença de que o BIM não é uma coisa ou um tipo de software, mas uma
150 atividade humana que envolve mudanças amplas no processo de construção.” (EASTMAN *et al.*,
151 2014). Além disso, estudos apontam que cerca de 60% dos profissionais utilizam os softwares no
152 desenvolvimento mais rápido de modelos geométricos e coordenação 3D, enquanto 27% e 25%,
153 respectivamente, utilizam para análises estruturais e de energia (KAMEL; MEMARI, 2019).

154 Krygiel e Nies (2008) indicam alguns aspectos do projeto sustentável que podem ser obtidos
155 com auxílio do BIM: orientação do edifício; construção de massa; análise de luz natural; coleta de
156 água; a modelagem energética; materiais; gestão do local e da logística.

157 Quando se trata da modelagem energética, um dos principais benefícios da aplicação do BIM
158 é a automação do processo de modelagem, o que proporciona economia de tempo, redução de custos
159 e de erros humanos em comparação com o processo convencional de modelagem de energia, no qual
160 os dados do modelo de energia são inseridos manualmente pelo projetista. Outra contribuição do BIM
161 é facilitar a apresentação dos resultados das simulações (KAMEL; MEMARI, 2019).

162 Outro diferencial das aplicações em softwares baseadas no BIM é a possibilidade da
163 interoperabilidade, que é a capacidade de troca de informações entre dois ou mais sistemas. Este
164 processo permite o intercâmbio contínuo de informações entre ferramentas, elimina a necessidade da
165 reinserção manual de dados de entrada e permite atualizações bidirecionais de tal forma que as
166 mudanças em um programa sejam espelhadas em outros programas de forma automatizada.
167 (QUEIRÓZ *et al.*, 2019)

168 Os principais softwares BIM disponíveis no mercado são: o Revit da Autodesk, atual líder no
169 mercado para uso em BIM, inclui o Revit Architecture, Revit MEP e Revit Structure; o Bentley
170 Systems e; o ArchiCAD, da Graphisoft, que é a mais antiga ferramenta BIM para projetos de
171 arquitetura, no mercado desde 1980.

172 **2.3. Simulações energéticas**

173 Simulações energéticas são modelos matemáticos computacionais que representam a
174 edificação e permitem a realização de análises detalhadas do uso energético num edifício, bem como
175 estudos de iluminação, ventilação natural, conforto dos usuários, entre outros. É necessário destacar

176 que os modelos são aproximações da realidade, e o desafio é torna-los o mais próximo possível do
177 comportamento real do edifício para validar as simulações e análises. (BRACHT, 2016)

178 Um modelo de energia contém dados que podem ser usados para criar alternativas de projeto
179 mais eficientes de maneira rápida e econômica (ABANDA, BYERS, 2016), pois é capaz de prever o
180 uso e comportamento da edificação, estimar e comparar o desempenho de várias alternativas de
181 projeto e identificar alterações potenciais para reduzir o consumo de energia (REEVES, 2012)

182 A simulação computacional de desempenho termoenergético estima a quantidade de calor que
183 a edificação recebe ou perde ao longo do tempo a partir das interações térmicas entre a edificação e
184 o meio externo, que são determinadas pela atuação dos condicionantes climáticos, por características
185 da envoltória e dos elementos internos da edificação, das instalações prediais e pela dinâmica de
186 funcionamento da edificação (OLIVEIRA; LUNARDI, 2018).

187 Em geral, modelos de energia necessitam de informações sobre a estrutura do edifício (por
188 exemplo, orientação, sombreamento, geometria, materiais de construção e zonas térmicas), sistemas
189 de HVAC, dados climáticos e propriedades da simulação (por exemplo, período de execução e
190 padrões de uso e ocupação) (KAMEL; MEMARI, 2019). A geometria é a base para qualquer modelo
191 de energia, pois contém todas as outras propriedades físicas da construção, assim como as condições
192 do local. (QUEIRÓZ *et al.*, 2019)

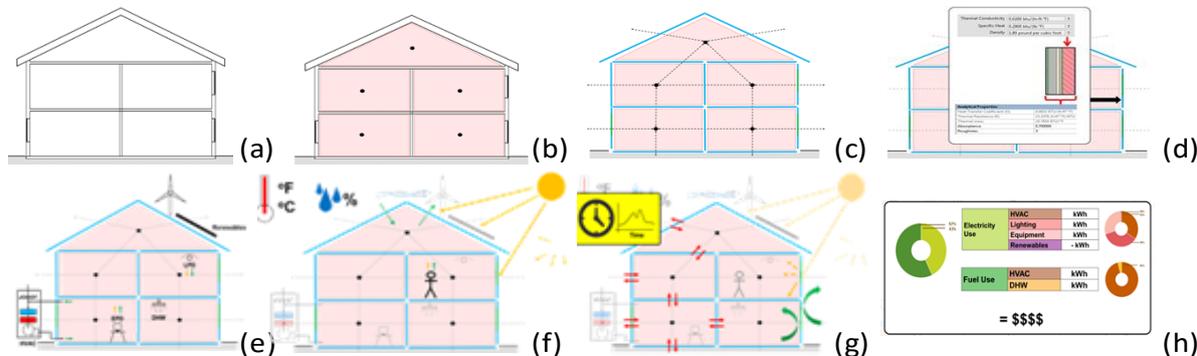
193 As simulações são processadas por mecanismos de simulação, como o EnergyPlus ou o
194 DOE2, no entanto, não possuem uma interface gráfica muito intuitiva, por isso outras aplicações são
195 requeridas, as chamadas interfaces de simulação (GUI), que tem por finalidade facilitar o processo
196 de modelagem de energia, fornecendo interfaces mais gráficas para entradas e saídas. As GUI's não
197 realizam a simulação, sendo necessária a integração com o mecanismos de simulação. São exemplos
198 de interfaces o *OpenStudio*, *Green Building Studio*, *DesignBuilder*, *BEopt* ou *eQuest*. (KAMEL;
199 MEMARI, 2019).

200 O *Green Building Studio* (GBS) funciona como suplemento do Autodesk Revit e utiliza o
201 DOE2 como mecanismo de simulação. Dependendo do tipo de modelo criado (modelo de arquitetura
202 ou modelo MEP), a categoria de exportação é configurada para ambientes ou espaços,
203 respectivamente (KIM *et al.*, 2015)).

204 O processo de simulação energética do GBS está esquematizado na Figura 1 e ocorre da
205 seguinte maneira: a partir da geometria da edificação (a) é criado um modelo de energia no qual são
206 feitas as considerações sobre espaços e conforto térmico (b) e superfícies e transferência de calor (c),
207 onde os espaços representam o ar dentro do edifício (as caixas cor de rosa) e possui pontos de conforto
208 térmico (os pontos) e as transferência de calor ocorre nas superfícies do modelo, representando as
209 paredes, o teto, os pisos e as janelas do edifício (linhas azuis e verdes). A transferência de calor é
210 determinada pelas propriedades dos materiais que a compõe (concreto, vidro, isolamento, etc.) (d).

211 Em seguida são consideradas as informações sobre os Sistemas de Construção (e) e também sobre as
212 Cargas de ocupação e condições exteriores (f). Em seguida são simuladas as Transferência de calor
213 ao longo do tempo (g) a partir de ferramentas matemáticas e equações da termodinâmica e por fim,
214 são geradas previsões de uso e custo de energia (h).

215 Figura 1 – Resumo esquemático do processo de simulação do GBS.



216
217 Fonte: AUTODESK (b), 2019 (Adaptado)

218 3. MATERIAIS E MÉTODOS

219 A metodologia aplicada no desenvolvimento deste trabalho foi desenvolvida em quatro
220 estágios:

- 221 • realização da revisão sobre desempenho energético em edificações, modelagem BIM e
222 simulações energéticas;
- 223 • modelagem de elementos da envoltória no software Autodesk Revit Architecture 2020 com
224 os parâmetros necessários para análises energéticas;
- 225 • modelagem de um protótipo virtual de uma unidade residencial unifamiliar e geração do
226 modelo de energia deste protótipo;
- 227 • realização de um estudo de caso para validação do modelo de energia a partir da simulação
228 energética através do *Green Building Studio*.

229 Para fins de simplificação e objetividade, as simulações da envoltória envolveram apenas a
230 alteração dos elementos de paredes e coberturas. Sendo assim, não foram analisadas as influências
231 das demais variáveis como pisos, sombreamento, aberturas, portas e janelas, sistemas de ventilação,
232 padrões de ocupação, orientação da edificação, infiltração tendo sido mantidas as definições
233 utilizadas para o Caso de Referência.

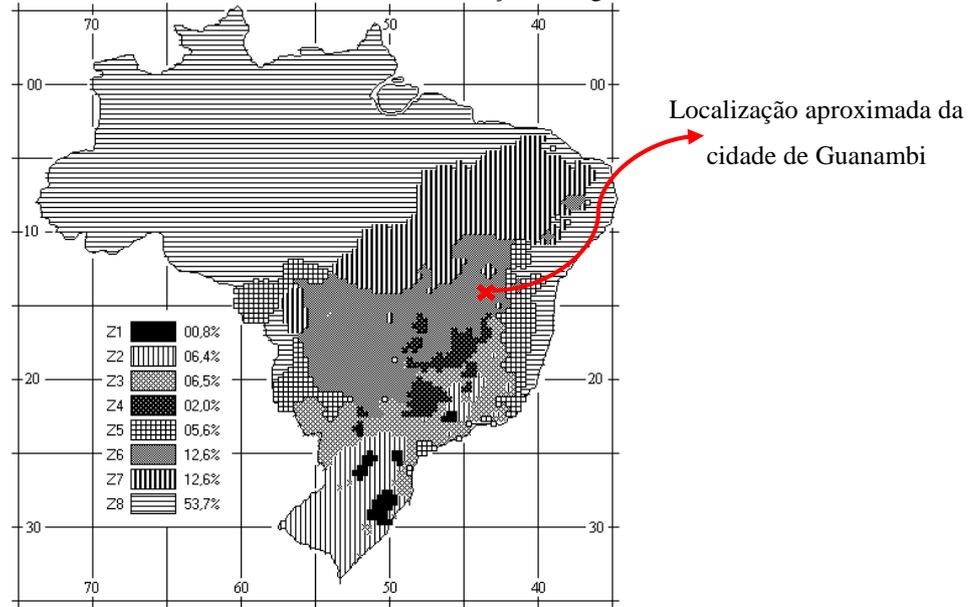
234 Como cenário para desenvolvimento do trabalho foi escolhida a cidade de Guanambi,
235 localizada na região Sudoeste do estado da Bahia, situada à cerca de 700 km da capital Salvador,
236 pertencente à Zona Bioclimática 6, conforme indicado na Figura 2.

237 3.1. Parâmetros e critérios de desempenho energético

238 Este primeiro estágio consistiu numa extensa revisão da literatura acerca da temática do
239 trabalho, mais especificamente sobre as variáveis que afetam o consumo de energia numa edificação,
240 softwares BIM e simulações energéticas.

241

Figura 2 - Zoneamento bioclimático brasileiro com indicação da região em estudo.



Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005), adaptado.

242

243

244

245

246

247

248

Das normas ABNT NBR 15.220-2 e 15.220-3 (2005) e ABNT NBR 15.575-4 e 15.575-5 (2013) foram extraídas as exigências mínimas para edificações de acordo com a zona bioclimática 6, na qual a edificação será implantada, e as propriedades térmicas dos materiais a serem aplicados nos elementos construtivos, conforme resumo apresentado nas Tabela 1 e Tabela 2, respectivamente.

Tabela 1 – Exigências mínimas para edificações de acordo com a zona bioclimática 6

ELEMENTO	Tipo de vedações	ABNT NBR 15.220			ABNT NBR 15.575		
		U W/m².K	ϕ (H)	FS _o	α	U W/m².K	(CT) kJ / m2.K
Paredes externas	Pesada	$U \leq 2,2$	$\phi \geq 6,5$	$FS \leq 3,5$	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,7$	CT ≥ 130
					$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,5$	
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,0$	$\phi \geq 3,3$	$FS \leq 6,5$	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,3$	S/ exigência
					$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,5$	S/ exigência

249

Fonte: ABNT NBR 15.220-3 (2005) e ABNT NBR 15.575-4 (2013); 15.575-5(2013) (adaptado).

250

Em que:

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

- Transmitância térmica (U) é a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo;
- Atraso térmico (ϕ) é o Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo;
- Fator solar de elementos opacos (FS_o) é o quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo;
- Absortância solar (α) é uma propriedade do material referente à parcela da radiação absorvida pelo mesmo, geralmente relacionada à cor.
- Capacidade Térmica (CT) é a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema;

Tabela 2 - Propriedades térmicas dos materiais dos elementos construtivos adotados.

MATERIAL	α	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Argamassa comum	0,65-0,80	1800-2100	1,15	1,00
Cerâmica	0,78-0,80	1600	0,90	0,92
Tijolo e tela de barro		1000-1300	0,70	
	0,78-0,80	1300-1600	0,90	0,92
		1600-1800	1,00	
		1800-2000	1,05	
Concreto normal	0,65-0,80	2200-2400	1,75	1,00
Placa de gesso cartonado		750-1000	0,35	0,84
Lã de rocha		20-200	0,045	0,75
Câmara de ar				
Vidro comum	0,06-0,25	2500	1,000	0,84
Pintura branca	0,2			

Fonte: ABNT NBR 15.220-3(2005) (adaptado).

Em que:

- Densidade de massa aparente (ρ) é o quociente da massa pelo volume aparente do material.
- Condutividade térmica (λ) é a quantidade de calor transmitida devido a uma variação de temperatura;

Capacidade térmica específica (c) é a quantidade de energia necessária para aumentar a temperatura de 1 kg de material/líquido em 1 K; A plataforma web Projeteee, mantida pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), em cooperação com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), disponibiliza uma vasta gama de informações sobre dados climáticos a partir da localização do projeto, além da indicação de estratégias bioclimáticas recomendadas para a mesma localização, elementos construtivos e equipamentos. A plataforma disponibiliza ainda uma calculadora de propriedades térmicas de elementos que podem ser criados pelo usuário, quando não consta em arquivos de referência (BRASIL, 2019).

Foram utilizados três critérios para definir os elementos construtivos da envoltória: o primeiro baseou-se nas definições do projeto original, com materiais comumente empregados nas edificações locais (Convencional); o segundo foi baseado nos requisitos de Transmitância e Capacidade Térmica da zona climática, apresentados pela ABNT NBR 15.220-3 (Normativo), e; o terceiro baseou-se no filtro “Inércia Térmica” da plataforma Projeteee (BRASIL, 2019), como uma estratégia bioclimática (Bioclimático). Os elementos construtivos selecionados para este estudo encontram-se na Tabela 3 e o detalhamento consta no Apêndice A – Detalhamento dos elementos construtivos.

A inércia térmica é uma propriedade que indica a tendência do material de resistir a mudanças de temperatura, isso significa que elementos com elevada inércia térmica proporciona uma diminuição das amplitudes térmicas internas e aumento do atraso térmico, devido a sua alta capacidade de armazenar calor.

288 O indicador de desempenho energético explorado neste estudo é o consumo médio anual de
 289 energia elétrica, dado em kWh/ano.

290 Tabela 3 - Elementos construtivos selecionados para o estudo

ELEMENTO	CRITÉRIO	DESCRIÇÃO	U[W/m²K]	CT[kJ/m²K]
Paredes	Convencional	Parede de bloco cerâmico 9x19x19cm, revestida com argamassa e pintura em ambas as faces - espessura 14cm	2,39	151
	Normativo	Parede de bloco de concreto 9x19x9cm, revestida com argamassa e pintura em ambas as faces - espessura 14cm	2,78	209
	Bioclimático	Parede dupla de bloco de concreto 14x19x39cm, com manta isolante de lã de rocha, revestida com argamassa e pintura em ambas as faces - espessura 37cm	0,9	441
Cobertura	Convencional	Cobertura com telha de fibrocimento, com câmara de ar e laje pré-moldada 12cm (camada de concreto 4cm, lajotas cerâmicas de 7cm revestida com argamassa 1cm)	1,79	180
	Normativo	Cobertura com telha cerâmica, com câmara de ar e forro de gesso com 3cm	1,94	37
	Bioclimático	Cobertura vegetada sobre laje pré-moldada 12cm (camada de concreto 4cm, lajotas cerâmicas de 7cm revestida com argamassa 1cm) - espessura 22cm	1,88	310

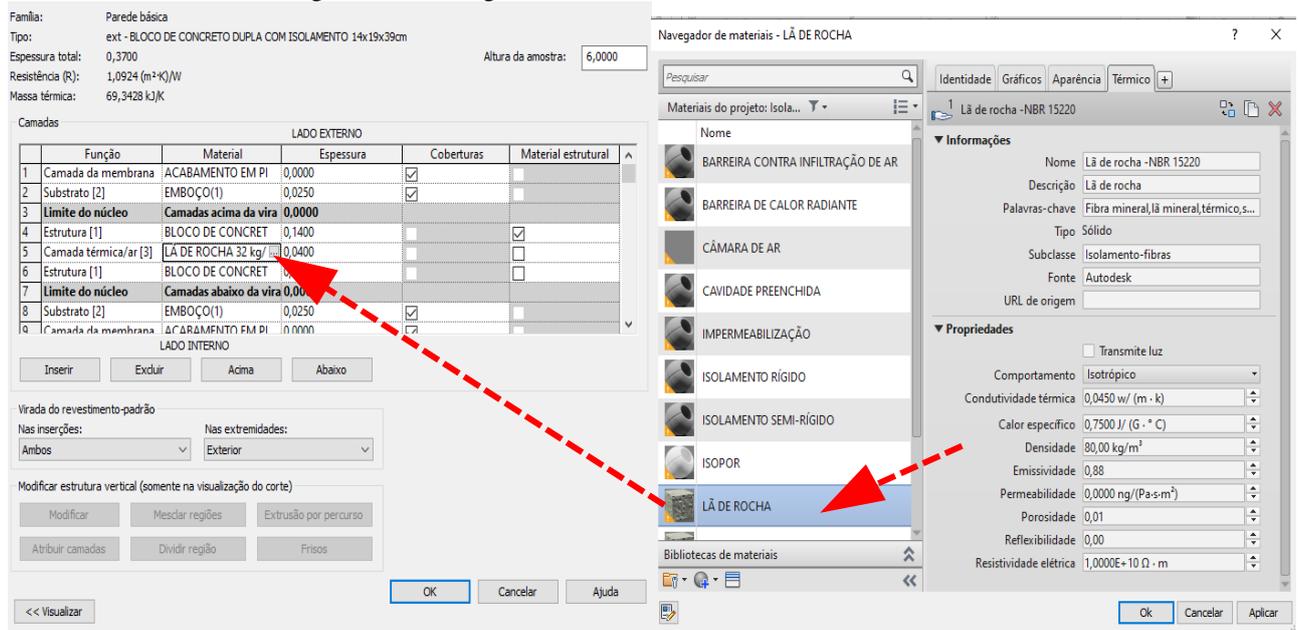
291 Fonte: ABNT NBR 15.220-3 (2005); BRASIL (2019) (adaptado)

292 3.2. Modelagem dos elementos construtivos da envoltória

293 Neste estudo foi utilizado o Autodesk Revit Architecture 2020. O software permite a criação
 294 de elementos construtivos com riqueza de detalhes. Para isso foi necessário entender o funcionamento
 295 do software e a hierarquia dos elementos.

296 A Figura 3 traz o detalhamento da modelagem do elemento PAREDE DUPLA DE BLOCO
 297 DE CONCRETO, desde a configuração das propriedades térmicas do material até a montagem das
 298 camadas que constituem a parede.

299 Figura 3 - Modelagem de elementos e materiais no Autodesk Revit.



300
 301 Fonte: AUTODESK (a), 2019. (Adaptado)

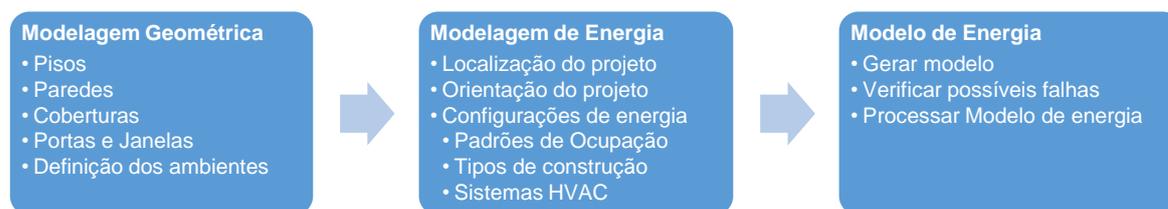
302

3.3. Modelagem do protótipo e modelo de Energia

O protótipo virtual, denominado Caso de Referência, foi elaborado com os padrões construtivos comumente empregados na região onde o projeto será implantado, o qual prevê a utilização de cobertura de fibrocimento sobre laje pré-moldada, paredes simples de tijolo cerâmico sem isolamento térmico e janelas com vidros simples, sem proteções solares.

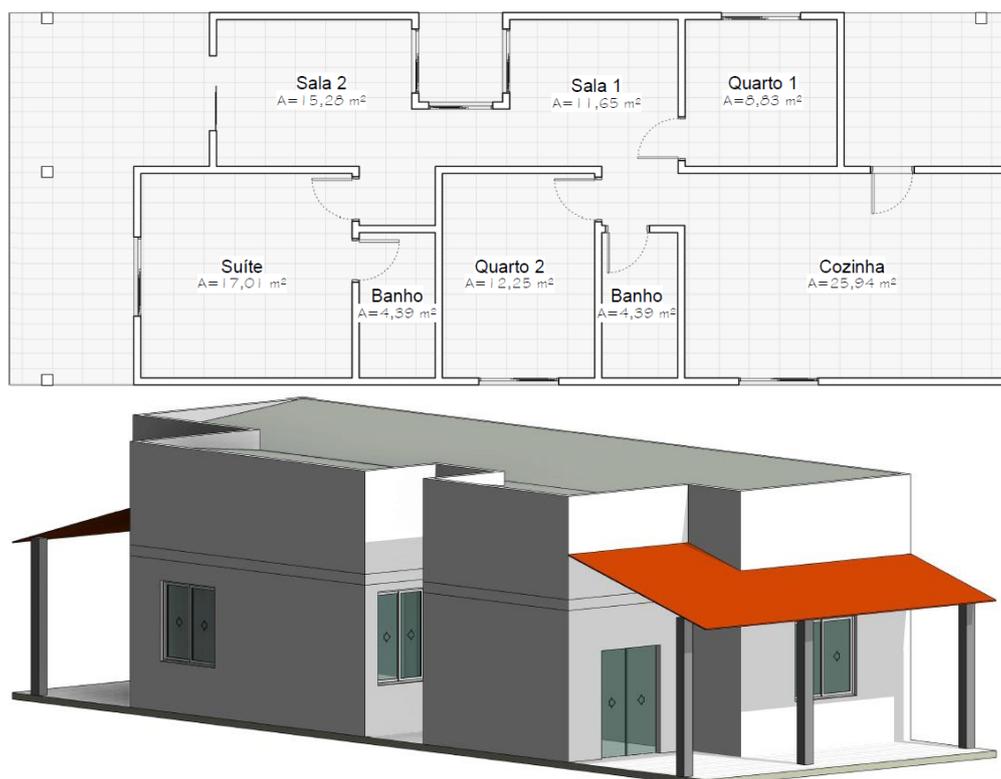
O processo de modelagem abrange uma extensa sequência de ações, no entanto, serão apresentados apenas as etapas relacionadas à temática do trabalho, de acordo com o fluxo de trabalho apresentado na Figura 4. Foram suprimidos os procedimentos complementares de personalização do modelo, como geração de folhas, níveis, elevações, simbologia, etc.

Figura 4 – Fluxo de trabalho para modelagem do protótipo virtual.



A modelagem geométrica da edificação conta nas Figura 5 através da planta baixa e vista 3D.

Figura 5 – Planta baixa e vista 3D da edificação.



Fonte: AUTODESK (a), 2019. (Adaptado)

O passo seguinte foi preparar o modelo de energia, a começar pela localização geográfica da edificação e orientação de acordo com o norte verdadeiro. Estas são configurações importantes pois fornecem ao modelo a base para localização e carregamento de dados climáticos das estações meteorológicas mais próximas e orientação das fachadas, respectivamente.

323 Para realização deste estudo assumiu-se que a análise de energia será a partir dos Elementos
324 Construtivos, utilizando o tipo de construção Unifamiliar com tabela de ocupação padrão. A escolha
325 do sistema de AVAC se restringe às opções oferecidas pelo software, portanto, foi escolhida a opção
326 que mais se aproxima das definições da edificação. Foi selecionada a opção “exportar a categoria
327 ambiente” pois a geometria foi modelada a partir de um modelo de arquitetura. A Figura 6 apresenta
328 tela de inserção destes dados no Autodesk Revit, sendo destacados os campos alterados.

329 Figura 6 – Configurações de energia no Autodesk Revit.

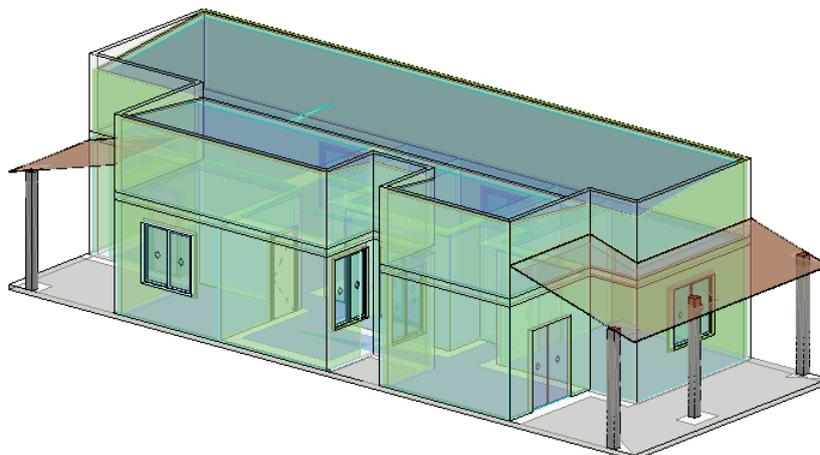
330

Parâmetro	Valor
Modelo analítico de energia	
Modo	Utilizar massas conceituais e eleme
Nível de referência	TERREO
Fase do projeto	New Construction
Resolução do espaço analítico	0,4572
Resolução da superfície analítica	0,3048
Profundidade da zona do perímetr	0,0000
Divisão de zonas do perímetro	<input checked="" type="checkbox"/>
Modelo detalhado	
Percentual de destino da vidraça	40%
Altura de destino do parapeito	0,7620
A vidraça está sombreada	<input type="checkbox"/>
Profundidade da sombra	0,6096
Percentual de claraboias do destin	0%
Largura e profundidade da &clara	0,9144
Dados de construção	
Tipo de construção	Unifamiliar
Tabela de operações de construçã	Padrão
Sistema AVAC	Ventilação/Ar-condicionado compact
Informações sobre o ar exterior	Editar...
Ambiente/Espaço de dados	
Exportar categoria	Ambientes
Propriedades térmicas do materi	
Tipos conceituais	Editar...
Tipos esquemáticos	<Construção>
Elementos detalhados	<input checked="" type="checkbox"/>

331
332 Fonte: AUTODESK (a), 2019. (Adaptado)

333 Por fim, o modelo de energia foi gerado, validado e enviado para análise, conforme esquema
334 3D apresentado na Figura 7. Nesta etapa é possível verificar se houve falhas no lançamento da
335 geometria da edificação.

336 Figura 7 – Modelo de energia da edificação.



337
338 Fonte: AUTODESK (a), 2019. (Adaptado)

339 **3.4. Simulações Energéticas com o Green Building Studio**

340 Para realizar o estudo de caso foram definidos sete cenários para a serem simulados, cada um
341 com uma alternativa de projeto baseada nos critérios definidos na Tabela 3 e em combinação entre
342 eles. A Tabela 4 apresenta o resumo das estratégias simuladas.

343 Tabela 4 – Modelos de simulação.

ALTERNATIVAS SIMULADAS		ELEMENTOS ALTERADOS	
MODELO 1:	Caso de Referência	Padrões construtivos comumente empregados	
MODELO 2:	MODELO 1+ Paredes com transmitância térmica recomendada pela NBR 15575	Uso de paredes de bloco de concreto revestidas com argamassa, espessura de 14cm	
MODELO 3:	MODELO 1+ Paredes com elevada inércia térmica	Uso de paredes duplas de bloco de concreto, com manta isolante de lã de rocha, revestidas com argamassa, espessura de 37cm	
MODELO 4:	MODELO 1+ Coberturas com transmitância térmica recomendada pela NBR 15575	Uso de câmara de ar, forro de gesso e telha cerâmica	
MODELO 5:	MODELO 1+ Cobertura com transmitância térmica recomendada pela NBR 15575	Uso de cobertura vegetada sobre laje pré-moldada de 12cm	
MODELO 6:	MODELO 1+ MODELO 4	MODELO 2 +	Projeto inicial com a incorporação das tecnologias empregadas nos modelos 2 e 4
MODELO 7:	MODELO 1+ MODELO 5	MODELO 3 +	Projeto inicial com a incorporação das tecnologias empregadas nos modelos 3 e 5

344 O modelo de energia gerado foi transmitido ao GBS onde a simulação energética foi
345 processada. Para a modelagem dos demais cenários foi feita apenas a alteração do elemento
346 construtivo indicado para o novo modelo. As demais configurações descritas na etapa de modelagem
347 do protótipo foram mantidas constantes e repetidos somente os passo de geração e envio do modelo
348 de energia para análise.

349 **4. RESULTADOS**

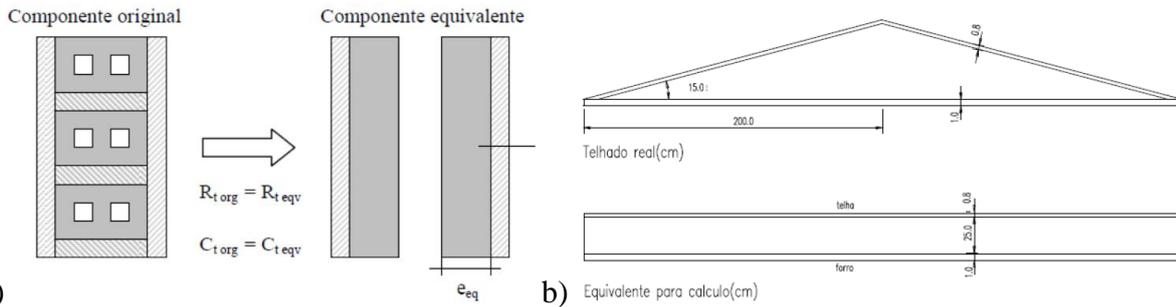
350 Na etapa inicial de revisão da literatura, percebeu-se que há divergências entre as normas
351 quanto aos critérios mínimos de desempenho para a mesma zona bioclimática, e isso ocorre devido
352 ao tipo de edificação utilizada como referência. Enquanto a ABNT NBR 15.220-2 (2005) faz
353 referência à edificações unifamiliares de interesse social, a ABNT NBR 15.575 (2013) abrange
354 edifícios de até 5 pavimentos. Apesar disso, as referências utilizadas ofereceram um nível de
355 detalhamento adequado para modelagem dos elementos, mesmo estando limitadas às opções
356 disponibilizadas.

357 Durante o processo de modelagem dos elementos, o software utilizou os dados dos materiais
358 para calcular suas propriedades de capacidade térmica (CT) e a transmitância térmica (U). No entanto,
359 os valores calculados divergiam daqueles apurados nas referências, mesmo com a representação
360 idêntica dos elementos.

361 A solução encontrada para garantir que os valores destas propriedades fossem equivalentes às
362 das normas foi utilizar elementos equivalentes, baseado no método proposto por Ordenes (ORDENES

363 *apud* WEBER, 2003), conforme esquema representado na Figura 8. Assim, manteve-se as
 364 propriedades de cada material, alterando apenas as espessuras de suas camadas e a resistência do ar.
 365

Figura 8 - Determinação do modelo equivalente.



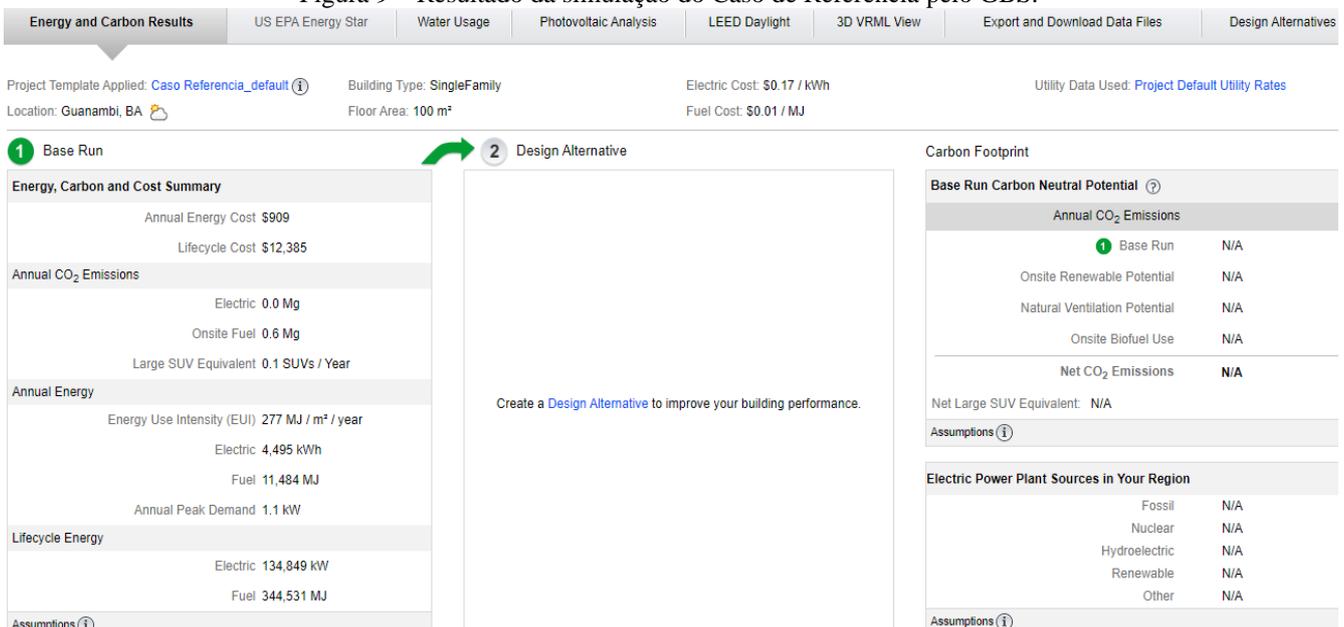
366 a)
 367 Fonte: a) Modelo equivalente para paredes; b) Modelo equivalente para coberturas (*ORDENES apud* WEBER, 2003)

368 4.1. Simulações Energéticas com o Green Building Studio

369 O processamento das simulações pelo GBS foi relativamente rápido, no entanto deve-se
 370 ressaltar que isso depende do tamanho do projeto e do nível de detalhamento do mesmo. Na
 371 plataforma web do GBS foi possível verificar se os dados informados no processo de criação do
 372 protótipo foram corretamente transmitidos para o software de simulação, para isso comparou-se dados
 373 como área total do projeto, descrição dos elementos construtivos e propriedades térmicas, arquivo
 374 climático carregado e visualização 3D do modelo de energia. Além disso, o GBS prevê a inserção
 375 manual de dados, o que pode melhorar a precisão dos modelos.

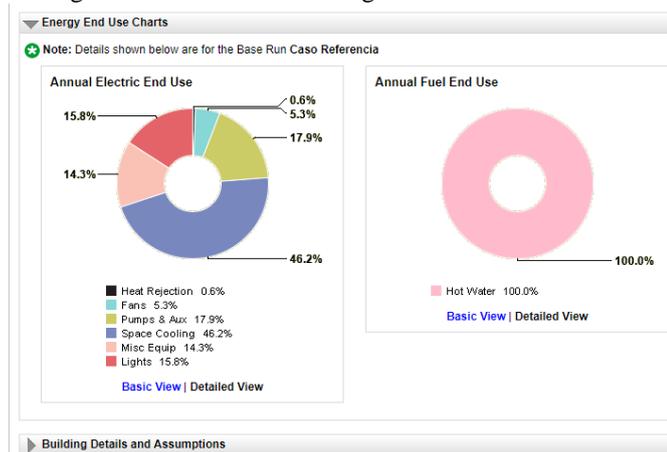
376 O resultados podem ser acompanhados na plataforma web do GBS, que traz o detalhamento
 377 de todas as interações realizadas, quais variáveis foram alteradas para cada interação, gráficos sobre
 378 o uso da energia, temperaturas, ventos e outros. A Figura 9 apresenta a tela de resultados da simulação
 379 pelo GBS para o Caso de Referência. Todos os resultados da simulação do Modelo 1 consta no
 380 Apêndice B.

381 Figura 9 – Resultado da simulação do Caso de Referência pelo GBS.



383 O consumo de combustíveis que aparecem nos resultados das simulações é devido às
384 configurações do sistema de AVAC que propõem um mecanismo de resfriamento e outro de
385 aquecimento, sendo que em algum momento pode-se utilizar qualquer tipo de combustível. No caso
386 deste estudo, todo o consumo de combustíveis projetado foi para suprir a demanda para aquecimento
387 de água, como pode ser observado na Figura 10. Para a realidade brasileira, o aquecimento de água
388 geralmente é feito utilizando-se o chuveiro elétrico.
389

Figura 10 – Uso final da energia do Modelo 1.



390

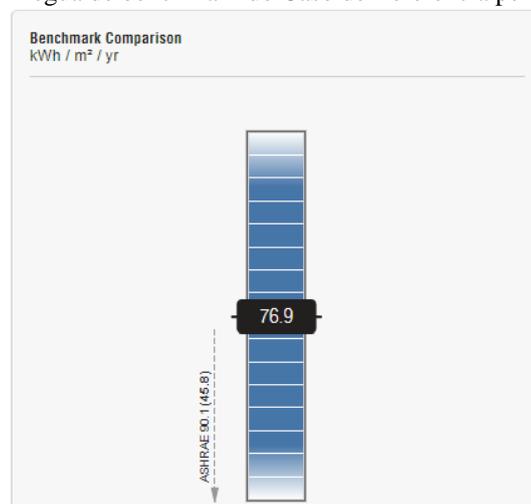
391

Fonte: AUTODESK (b), 2019. (Adaptado)

392 Os resultados também podem ser visualizado por meio do Insight 360, um plug-in do Revit,
393 que apresenta a situação projetada e também outros cenários sugeridos e/ ou criados pelo projetista e
394 funciona como uma bandeja de mixagem, onde o usuário poder fazer ajustes em cada parâmetro do
395 projeto na busca de soluções mais eficientes. O Insight traz também uma régua de benchmark que
396 compara o desempenho da edificação com os padrões da ASHRAE 90.1 e Architecture 2030, que são
397 referências de sustentabilidade mundialmente utilizadas, o que fornece uma boa referência na busca
398 por soluções mais eficientes. A Figura 11 traz a régua de benchmark para a simulação do Caso de
399 Referência.

400

Figura 11 – Régua de benchmark do Caso de Referência pelo Insight 360.



401

402

Fonte: AUTODESK (a), 2019. (Adaptado)

403 Apesar de apresentar diversas alternativas para os elementos de paredes e telhados, destaca-
404 se que não são usuais no contexto da região em estudo, tendo portanto, pouca relevância para este
405 estudo. Cabe ressaltar que outras alternativas como sombreamento e percentual das aberturas
406 apresentam resultados interessantes para uma análise mais abrangente.

407 4.2. Estudo de caso

408 A Tabela 5 traz os resultados das simulações geradas para o Estudo de caso, representados
409 pelo consumo energético anual obtidos para cada cenário e pelos custos anuais. Para estimar os custos
410 anuais do consumo de energia foi necessário informar as tarifas atuais, obtidas na plataforma on line
411 da concessionária local, no valor de R\$ 0,75355/kWh sem a incidência dos impostos.

412 Tabela 5 - Consumo energético anual dos Modelos simulados.

MODELO	Consumo Anual (kWh/ano)	Custo Anual (R\$/ano)	Varição* (%)
MODELO 1: Caso de Referência	4.495	3.387,21	
MODELO 2: MODELO 1+ Paredes com transmitância térmica recomendada pela NBR 15575	4.491	3.384,19	-0,09%
MODELO 3: MODELO 1+ Paredes com elevada inércia térmica	3.612	2.721,82	-19,64%
MODELO 4: MODELO 1+ Coberturas com transmitância térmica recomendada pela NBR 15575	4.502	3.392,48	0,16%
MODELO 5: MODELO 1+ Cobertura com transmitância térmica recomendada pela NBR 15575	4.495	3.387,21	0,00%
MODELO 6: MODELO 1+ MODELO 2 + MODELO 4	4.496	3.387,96	0,02%
MODELO 7: MODELO 1+ MODELO 3 + MODELO 5	3.608	2.718,81	-19,73%

413 * Calculada com base no Caso de Referência

414 O Modelo 1 - Caso de Referência obteve um consumo anual de 4.495kWh. Os elementos
415 construtivos utilizados neste modelo não atendiam aos parâmetros de transmitância térmica (U) e
416 capacidade térmica (CT) apresentados nas referências consultadas, apesar de estarem bem próximos.
417 Por isso, o este modelo obteve desempenho muito próximo aos modelos com estratégias baseadas na
418 ABNT NBR 15.575-4 e 15.575-5 (2013), sendo até superior nos modelos 4 e 6.

419 O Modelo 3 utilizou um elemento de parede com elevada inércia térmica, que é uma das
420 estratégias bioclimáticas recomendada para a região. Estes resultados corroboram com os obtidos por
421 Oliveira e Lunardi (2018) ao demonstrar que a estratégia bioclimática simulada resultou numa
422 redução de 19,64% no consumo anual de energia elétrica, quando comparada ao Caso de Referência
423 – Modelo 1. Isso representa uma economia mensal de R\$55,45, e durante o ciclo de vida da
424 edificação, projetado em 20 anos, representa uma economia de aproximadamente R\$13.000,00. Os
425 cálculos para esta estimativa não consideraram a atualização do valor ao longo do tempo.

426 As estratégias de alteração da cobertura não trouxeram mudanças significativas ao projeto,
427 como pode ser observado pela variação de consumo entre os Modelos 1, 4 e 5. Isso pode ser devido
428 ao método de entrada de dados para simulação, no qual os elementos tiveram sua estrutura redefinida
429 para atender aos parâmetros do software de simulação, o que pode ter ocasionado perda de dados ou
430 informações que não representavam de maneira adequada ao modelo de projeto.

431 O GBS possui um rico e extenso banco de dados com padrões construtivos, cargas internas,
432 equipamentos de HVAC, porém por se tratar de padrões baseados nos resultados de Pesquisas de
433 Consumo de Energia de Edifícios Comerciais Consumo de Energia de Edifícios Comerciais nos EUA
434 (CBECS), não são aplicados de maneira muito eficaz à realidade brasileira (Autodesk (b), 2019).
435 Apesar dessas predefinições serem passíveis de edição, não se trata de um processo simples e intuitivo
436 e requer conhecimentos avançados sobre as ferramentas. Isso reforça os resultados obtidos por Bracht
437 (2016) que complementa sugerindo que o GBS é mais útil nas fases mais iniciais de estudos
438 conceituais de orientação e volumetria.

439 A utilização do software Autodesk Revit para modelagem geométrica e de energia se mostrou
440 muito eficiente pois simplificou o processo de entrada de dados, com significativos ganhos em
441 produtividade e eficiência, além de demonstrar que os elementos construtivos da envoltória podem
442 influenciar significativamente no consumo de energia elétrica da edificação, conforme previsto por
443 Kamel e Memari (2019).

444 **5. CONCLUSÃO**

445 Muitos fatores interferem no desempenho energético de uma edificação, incluindo as decisões
446 sobre os elementos de envoltória, como paredes e coberturas. Além disso, estratégias de adaptação às
447 condições climáticas locais também podem gerar impacto sobre o consumo energético da edificação.

448 Este estudo demonstrou a importância da realização de análises de energia durante a fase de
449 projeto, quando é possível verificar o impacto da escolha de um ou outro material ou técnica
450 construtiva no desempenho da edificação e que mudanças previamente planejadas e analisadas podem
451 gerar ganhos em economia e conforto para os usuários das edificações.

452 Além disso, verificou-se que a utilização de ferramentas computacionais, tanto de modelagem
453 quanto de simulação podem contribuir para a elaboração de projetos mais sustentáveis, seja pela
454 agilidade no processamento dos dados, ou pela facilidade em realizar interações, como também pela
455 dinâmica de apresentação dos resultados.

456 A utilização do GBS como ferramenta de análise energética apresentou limitações na
457 personalização de algumas características da edificação, por utilizar uma base pré-definida de
458 parâmetros que não representam à realidade das edificações usuais ao contexto do projeto analisado.
459 Isso pode gerar resultados distorcidos e não condizentes com a realidade do projeto. Cabe então ao
460 projetista, dispor de conhecimento aprofundado acerca dos mecanismos de transferência de calor nas
461 edificações, do comportamento da edificação quanto às condições bioclimáticas e das propriedades
462 dos materiais utilizados para fazer a escolha do software mais adequado à finalidade da análise.

463 Sugere-se para outras pesquisas: 1) a realização de simulações energéticas incorporando
464 outros elementos construtivos, como pisos, telhados, portas, janelas, etc.; 2) a elaboração de uma
465 biblioteca de elementos a serem utilizados em análises energéticas, devido à relativa demora no

466 processo de modelagem dos elementos e; 3) a utilização de outros softwares de simulação energética,
467 a título de comparação de resultados.

468 6. REFERÊNCIAS

469 ABANDA, F. H.; BYERS, L., **An investigation of the impact of building orientation on energy**
470 **consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling).**
471 Energy, 15 February 2016, Vol.97, pp.517-527 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.135>
472 Disponível em: < <https://www-sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/> >.
473 Acesso em: 20 dez. 2019

474
475 Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRALPE.
476 **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015.** 2015. Disponível em: <
477 <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2019

478
479 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT (a). **NBR 15220-2 -**
480 **Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da**
481 **capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.**
482 Rio de Janeiro, 2005.

483
484 _____(b). **NBR 15220-3 - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático**
485 **brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro,
486 2005.

487
488 _____(c). **NBR 15.575-4. Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações**
489 **verticais internas e externas – SVVIE.** Rio de Janeiro, 2013.

490
491 _____(d). **NBR 15.575-5. Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para**
492 **sistemas de coberturas.** Rio de Janeiro, 2013.

493
494 AUTODESK (a). Autodesk Revit Architecture. 2019

495
496 _____(b). Autodesk Green Building Studio. 2019

497
498 AZHAR, S.; CARLTON, W. A.; OLSEN, D.; AHMAD, I., **Building information modeling for**
499 **sustainable design and LEED® rating analysis.** Auburn, AL, USA. Data da Produção: 2010.
500 Publicado em: Automation in Construction, 2011, Vol.20(2), pp.217-224 [Periódico revisado por
501 pares]. ISSN: 0926-5805; DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.019. Fonte: ScienceDirect (Elsevier B.V.)
502 Disponível em: <http://dx.doi.org.ez35.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.autcon.2010.09.019> Acesso
503 em: 27 out. 2016

504
505 BRACHT, M. K., **Estudo de alternativas de projeto com foco em eficiência energética**
506 **utilizando BIM.** Trabalho de Conclusão de Curso. Florianópolis. 2016. Disponível em:
507 <<http://www.labee.ufsc.br/node/690> >. Acesso em: 20 dez. 2019

508
509 BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeteee – Projetando Edificações Energeticamente**
510 **Eficientes.** 2019. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/>>. Acesso em: 14 dez. 2019.

511
512 EASTMAN, C.; TEICHOLSZ, P.; SACKS, R.; & LISTON, K., **Manual de BIM: Um guia de**
513 **modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e**
514 **incorporadores.** Tradução: Cervantes Gonçalves Ayres Filho et al.; Porto Alegre – 2014, Bookman.

515 KATS, G.; ALEVANTIS, L.; BERMAN, A.; MILLS, E.; PERLMAN, J., **The costs and financial**
516 **benefits of green buildings**, A Report for California's Sustainable Building Task Force, CA, 2003.
517

518 ELETROBRAS/ PROCEL. **Manual para Aplicação do RTQ-R**. Versão 4.2. Disponível em:
519 <<http://www.pbeedifica.com.br>>. Acesso em: 16 jun. 2016.
520

521 KAMEL, E.; MEMARI, A. M., **Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues,**
522 **and solutions**. Automation in Construction, January 2019, Vol.97, pp.164-180. DOI:
523 <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008>. Disponível em: <[https://www-](https://www-sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926580517304958?via%3Dihub)
524 [sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926580517304958?via%3Dihub](https://www-sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926580517304958?via%3Dihub)>.
525 Acesso em: 23 dez. 2019.
526

527 KIM, J. B.; JEONG, W.; CLAYTON, M. J.; HABERL, J. S.; YAN, W., **Developing a physical**
528 **BIMlibrary for building thermal energy simulation**. Automation in Construction, February
529 2015, Vol.50, pp.16-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.011>. Disponível em: <
530 [https://www-](https://www-sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926580514002222?via%3Dihub)
531 [sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926580514002222?via%3Dihub](https://www-sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926580514002222?via%3Dihub)>.
532 Acesso em: 02 jan. 2020.
533

534 KRYGIEL, E.; NIES, B. **Green BIM : successful sustainable design with building information**
535 **modeling** 1st ed. p. cm. Wiley Publishing, IN, Indianapolis, 2008.
536

537 LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3^a
538 Edição. Rio de Janeiro, 2013
539

540 CARLO, J.; LAMBERTS, R. **Development of envelope efficiency labels for commercial**
541 **buildings: Effect of different variables on electricity consumption**. Energy And Buildings, 2008,
542 Vol.40(11), pp.2002-2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.05.002>. Disponível em: <
543 [https://www-](https://www-sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378778808001114?via%3Dihub)
544 [sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378778808001114?via%3Dihub](https://www-sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378778808001114?via%3Dihub) >.
545 Acesso em: 02 jan. 2020
546

547 LAMBERTS, R. (ed.) **Casa eficiente: simulação computacional do desempenho termo-**
548 **energético**. Florianópolis : UFSC/LabEEE; 2010. v. 4 (53 p.). ISBN: 978-85-7426-099-0
549 Disponível em: <
550 http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_IV_WEB.pdf >.
551 Acesso em: 20 dez. 2019
552

553 LOPES, A. C. P.; OLIVEIRA FILHO, D.; ALTOE, L.; CARLO, J. C.; LIMA, B .B. **Energy**
554 **efficiency labeling program for buildings in Brazil compared to the United States' and**
555 **Portugal's**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 66 (2016) 207–219. 2016. DOI:
556 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.033>. Disponível em: < [https://www-](https://www-sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1364032116303616?via%3Dihub)
557 [sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1364032116303616?via%3Dihub](https://www-sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1364032116303616?via%3Dihub) >.
558 Acesso em: 20 dez. 2019
559

560 MARTINEZ, M. F.; ALVES, M. B.; PEREIRA, L. A.; BEYER, P. O., **Redução de consumo de**
561 **energia elétrica através de conceito *Green Building***. Eletrônica de Potência, vol. 14, no. 2, Maio
562 de 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.18618/REP.2009.2.141148>. Disponível em: <
563 [https://sobraep.org.br/artigo/reducao-de-consumo-de-energia-eletrica-atraves-de-conceitos-green-](https://sobraep.org.br/artigo/reducao-de-consumo-de-energia-eletrica-atraves-de-conceitos-green-building/)
564 [building/](https://sobraep.org.br/artigo/reducao-de-consumo-de-energia-eletrica-atraves-de-conceitos-green-building/) >. Acesso em: 20 dez. 2019
565

566 MOAKHER, P. E.; PIMPLIKAR, S. S., **Building Information Modeling (BIM) and**
567 **Sustainability – Using Design Technology in Energy Efficient Modeling.** Figshare. 2014. DOI:
568 10.6084/M9.FIGSHARE.1138880 Disponível em: < [https://dx.doi-
570 org.ez35.periodicos.capes.gov.br/10.6084/M9.FIGSHARE.1138880](https://dx.doi-
569 org.ez35.periodicos.capes.gov.br/10.6084/M9.FIGSHARE.1138880) >. Acesso em: 20 dez. 2019

571 OLIVEIRA, P. A.; LUNARDI, D. G., **Influência da envoltória no desempenho termoenergético**
572 **de edificações institucionais no semiárido.** PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção,
573 Campinas, SP, v. 9, n. 4, p. 276-289, dez. 2018. ISSN 1980-6809.
574 DOI:<https://doi.org/10.20396/parc.v9i4.8651048>. Disponível em:
575 <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8651048>> . Acesso em: 21 nov.
576 2018.

577

578 RODRIGUES, M. V. P., **Avaliação da eficiência energética de edificações residenciais em fase**
579 **de projeto:** Análise de desempenho energético pelo método prescritivo e por simulação
580 computacional aplicados a estudo de caso de Projeto-Tipo do Exército Brasileiro. Dissertação de
581 Mestrado. Campinas. 2015. Disponível em: <
582 [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258363/1/Rodrigues_MarcusViniciusdePaiva_M.
583 pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258363/1/Rodrigues_MarcusViniciusdePaiva_M.pdf) >. Acesso em: 02 jan. 2020

584

585 QUEIRÓZ, G. R.; GRIGOLETTI, G. C; SANTOS, J. C. P., **Interoperabilidade entre os**
586 **programas AutoDesk Revit e EnergyPlus para simulação térmica de edificações.** PARC
587 Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 10, p. e019005, jan. 2019. ISSN 1980-
588 6809. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652852>. Disponível em:
589 <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652852>>. Acesso em: 02 jan.
590 2019.

591

592 REEVES, T.; OLBINA, S.; ISSA, R., **Validation of building energy modeling tools: Ecotect™,**
593 **Green Building Studio™ and IES<VE>™.** Proceedings - Winter Simulation Conference, 2012.
594 DOI: 10.1109/WSC.2012.6465223. Disponível em: < [https://ieeexplore-ieee-
596 org.ez35.periodicos.capes.gov.br/document/6465223](https://ieeexplore-ieee-
595 org.ez35.periodicos.capes.gov.br/document/6465223) >. Acesso em: 02 jan. 2020

597 SINDUSCON-RS, **Guia de Sustentabilidade na Construção Civil no Rio Grande do Sul.** 2016.
598 Disponível em: <<http://www.sinduscon-rs.com.br>> Acesso em: 15 jan. 2017

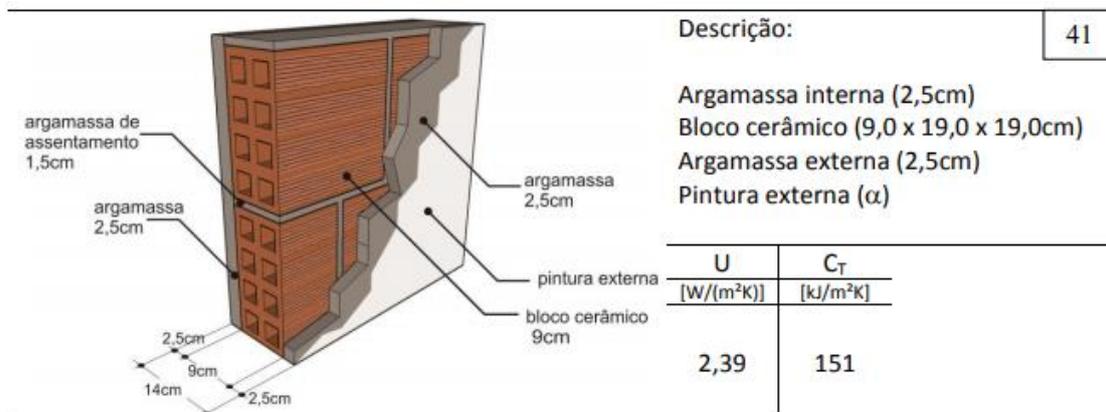
599

600 WEBER, F. S.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D.; LAMBERTS, R. **Elaboração de uma biblioteca**
601 **de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** Florianópolis.
602 2017 Disponível em: < [http://projeteee.mma.gov.br/wp-
604 content/uploads/2017/02/Biblioteca_ComponentesConstrutivos-1.pdf](http://projeteee.mma.gov.br/wp-
603 content/uploads/2017/02/Biblioteca_ComponentesConstrutivos-1.pdf) >. Acesso em: 02 jan. 2020

APÊNDICE A - Detalhamento dos elementos construtivos

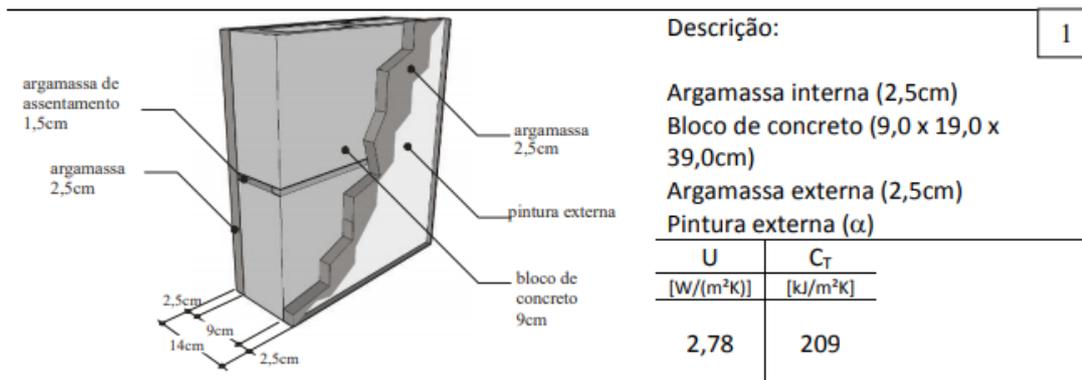
Elemento: Parede

Critério: Convencional



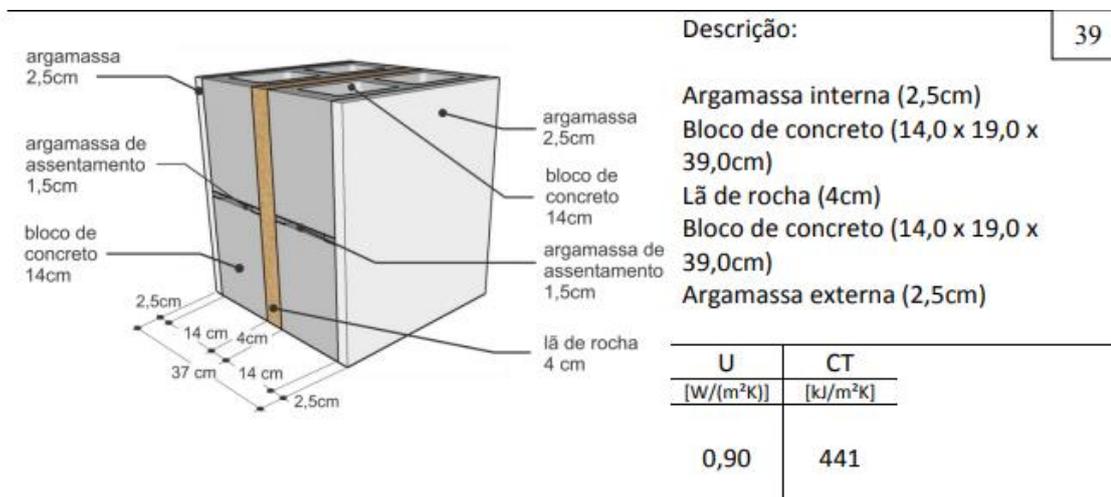
Elemento: Parede

Critério: Normativa



Elemento: Parede

Critério: Bioclimático



Elemento: Cobertura

Critério: Convencional

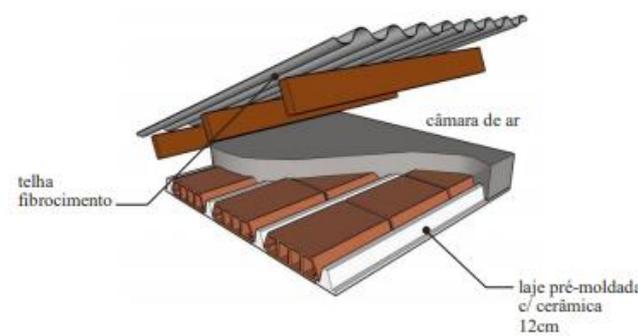


Diagram illustrating a conventional roof assembly. The assembly consists of a fibrocimento tile (telha fibrocimento) on top, followed by a precast concrete slab with ceramic tiles (laje pré-moldada c/ cerâmica 12cm) and an air chamber (câmara de ar).

Descrição: 10

Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm)
Câmara de ar (> 5,0 cm)
Telha fibrocimento 0,8cm

U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]
1,79	180

Elemento: Cobertura

Critério: Convencional

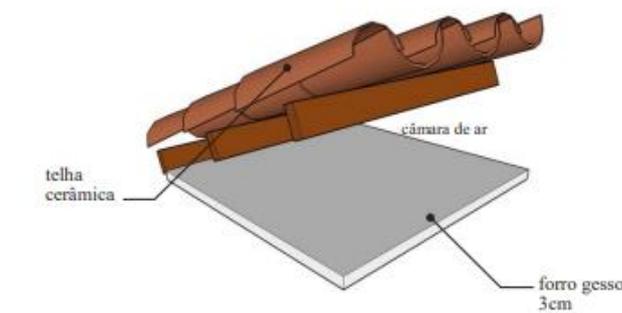


Diagram illustrating a conventional roof assembly. The assembly consists of a ceramic tile (telha cerâmica) on top, followed by a gypsum board (forro gesso 3cm) and an air chamber (câmara de ar).

Descrição: 8

Forro gesso (3,0cm)
Câmara de ar (> 5,0 cm)
Telha cerâmica (1cm)

U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]
1,94	37

Elemento: Cobertura

Critério: Convencional

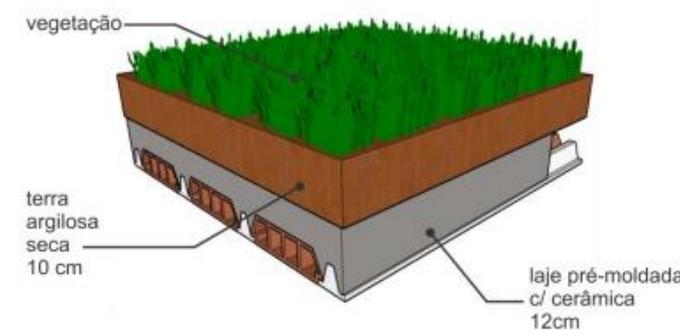


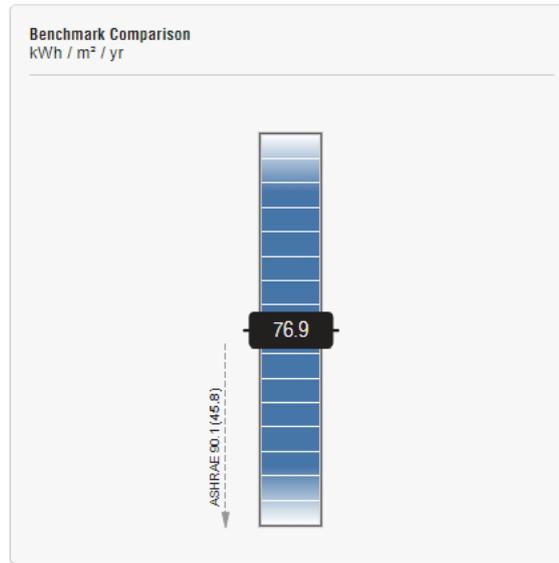
Diagram illustrating an extensive vegetated roof assembly. The assembly consists of a precast concrete slab with ceramic tiles (laje pré-moldada c/ cerâmica 12cm) on top, followed by a layer of dry clay soil (terra argilosa seca 10 cm) and a layer of vegetation (vegetação).

Descrição: 29

Telhado vegetado extensivo:
Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm)
Terra argilosa seca (10cm)
Vegetação

U [W/(m²K)]	C _T [kJ/m²K]
1,88	310

APÊNDICE B - Resultados das simulações do Modelo 1 (Caso de Referência)



Energy and Carbon Results | US EPA Energy Star | Water Usage | Photovoltaic Analysis | LEED Daylight | 3D VRML View | Export and Download Data Files | Design Alternatives

Project Template Applied: [Caso Referencia_default](#) ⓘ | Building Type: SingleFamily | Electric Cost: \$0.17 / kWh | Utility Data Used: [Project Default Utility Rates](#)
 Location: Guanambi, BA ⓘ | Floor Area: 100 m² | Fuel Cost: \$0.01 / MJ

1 Base Run → **2 Design Alternative**

Energy, Carbon and Cost Summary

Annual Energy Cost \$909
Lifecycle Cost \$12,385

Annual CO₂ Emissions

Electric 0.0 Mg
Onsite Fuel 0.6 Mg
Large SUV Equivalent 0.1 SUVs / Year

Annual Energy

Energy Use Intensity (EUI) 277 MJ / m² / year
Electric 4,495 kWh
Fuel 11,484 MJ
Annual Peak Demand 1.1 kW

Lifecycle Energy

Electric 134,849 kWh
Fuel 344,531 MJ

Assumptions ⓘ

Create a [Design Alternative](#) to improve your building performance.

Carbon Footprint

Base Run Carbon Neutral Potential ⓘ

Annual CO₂ Emissions

1 Base Run	N/A
Onsite Renewable Potential	N/A
Natural Ventilation Potential	N/A
Onsite Biofuel Use	N/A
Net CO₂ Emissions	N/A

Net Large SUV Equivalent: N/A

Assumptions ⓘ

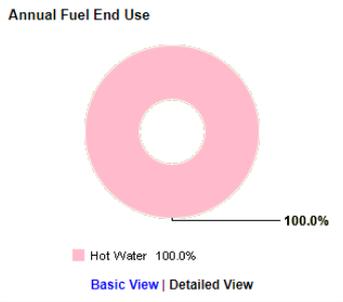
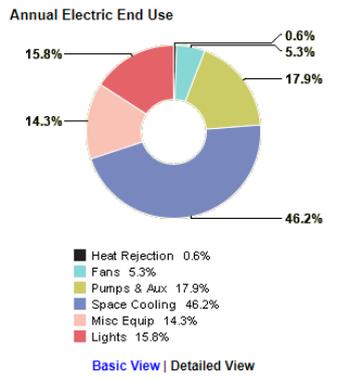
Electric Power Plant Sources in Your Region

Fossil	N/A
Nuclear	N/A
Hydroelectric	N/A
Renewable	N/A
Other	N/A

Assumptions ⓘ

Energy End Use Charts

Note: Details shown below are for the Base Run Caso Referencia



Building Details and Assumptions

Building Details and Assumptions

Note: Details shown below are for the Base Run Caso Referencia

Updating your building assumptions

Number of People:	4 people
Average Lighting Power Density:	5.49 W / m ² ↓
Average Equipment Power Density:	1.50 W / m ² ↓
Specific Fan Flow:	1.7 LPerSec / m ² ↓
Specific Fan Power:	-1,772,674.120 W / LPerSec ↓
Specific Cooling:	0 m ² / kW ↓
Specific Heating:	0 m ² / kW ↓
Total Fan Flow:	169 LPerSec
Total Cooling Capacity:	-87,916 kW
Total Heating Capacity:	87,920 kW

↑ higher than typical value
↓ lower than typical value

Category	Description	Area (m ²)
Roofs	Piso: Cobertura Fibrocimento e laje premoldada U-Value: 1.79 ⓘ	100 m ²
Exterior Walls	Parede b7sica: Alvenaria de bloco ceramico 9x19x19cm - exterior U-Value: 2.39 ⓘ	137 m ²
	Parede b7sica: Alvenaria de bloco ceramico 9x19x19cm - exterior U-Value: 2.39 ⓘ	15 m ²
	R15 Wood Frame Wall U-Value: 0.31 ⓘ	10 m ²
Interior Walls	Parede b7sica: Alvenaria de bloco cer?mico 9x19x19cm - Interior U-Value: 1.86 ⓘ	83 m ²
	Uninsulated Interior Wall U-Value: 2.35 ⓘ	7 m ²
Slabs On Grade	Piso: str - LAJE DE CONCRETO e=10cm U-Value: 12.06 ⓘ	100 m ²
Nonsliding Doors	R2 Default Door (7 doors) U-Value: 2.39 ⓘ	12 m ²
Operable Windows	Non-South Facing Windows: Double Clear U-SI 3.16, U-IP 0.56, SHGC 0.69, VLT 0.78 (3 windows) U-Value: 3.16 W / (m ² -K), SHGC: 0.69, Vit: 0.78	7 m ²

> 3D VRML View

Category	Equipment	Value
Primary Chilled Water ⓘ	Electric Chiller Capacity	15,540
	Pump Flow	0 LPerSec
Condenser Water ⓘ	Pump Flow	0 LPerSec
	Cooling Tower Capacity (Approach 2.8)	17,853
Domestic Hot Water ⓘ	Average Demand	1,562

Note: this information should not be used for sizing purposes.

Category	Equipment	Value
Variable Air Volume ⓘ	Supply Fan Flow	40 LPerSec
	Annual Supply Fan Run Time	8,760 Hours
	Cooling Capacity	-29,306
	Heating Capacity	29,307
Variable Air Volume ⓘ	Supply Fan Flow	129 LPerSec
	Annual Supply Fan Run Time	8,760 Hours
	Cooling Capacity	-58,610
	Heating Capacity	58,614

Note: this information should not be used for sizing purposes.

Weather Summary

Weather Frequency

Wind Roses

Design Conditions

Download Weather Data

Weather Station: [GBS_06M12_13_278169](#) 
 Distance to your project 2.6 mi (4.1 km)
 Latitude = -14.2500 , Longitude = -42.7833

Cooling Degree Day		Heating Degree Day	
Threshold	Value	Threshold	Value
18.3 °C	1713	18.3 °C	2
21.1 °C	798	15.6 °C	0
23.9 °C	156	12.8 °C	0
26.7 °C	0	10 °C	0

IP SI

Threshold	Cooling		Heating	
	Dry Bulb(°C)	MCWB(°C)	Dry Bulb(°C)	MCWB(°C)
0.1 %	33.4	19.9	11.6	10.8
0.2 %	33.1	20.2	11.9	11.0
0.4 %	32.5	21.2	12.5	11.4
0.5 %	32.4	21.0	12.7	11.5
1 %	32.0	20.8	13.6	12.6
2 %	31.5	20.6	14.5	13.3
2.5 %	31.1	21.2	14.9	13.8
5 %	30.1	21.4	16.0	14.4

