



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

**LUIZ EDUARDO TEODORO DOS SANTOS**

**USO DE BIM PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA POR  
ENERGIA INCORPORADA E CO<sub>2</sub> INCORPORADO: aplicado à  
ECOVILLA**

Palmas – TO

2017



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

Luiz Eduardo Teodoro Dos Santos

## **USO DE BIM PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA POR ENERGIA INCORPORADA E CO<sub>2</sub> INCORPORADO: aplicado à ECOVILLA**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II do curso de Engenharia Civil, orientado pela Professora Doutora Angela Ruriko Sakamoto.

Palmas – TO

2017



# CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

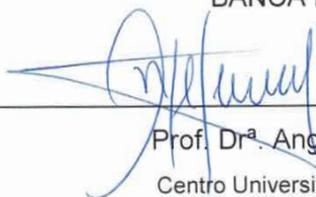
Luiz Eduardo Teodoro Dos Santos

## USO DE BIM PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA POR ENERGIA INCORPORADA E CO<sub>2</sub> INCORPORADO: aplicado à ECOVILLA

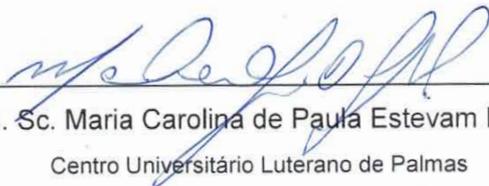
Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil, orientado pela Professora Doutora Angela Ruriko Sakamoto.

Aprovado em 08 junho de 2017

### BANCA EXAMINADORA



Prof. Drª. Angela Ruriko Sakamoto  
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M. Sc. Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira  
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Drª. Elizabeth Hernández Zubeldia  
Centro Universitário Luterano de Palmas

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais e irmão, por todo carinho, suporte e compreensão nesses anos, dedico também aos amigos que tenho como irmãos.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, dedico toda hora dessa conquista, e agradeço pela oportunidade conquista-la. Obrigado, ainda, por ter escrito a melhor história que eu poderia viver.

Aos meus pais, agradeço por sempre me apoiarem, mesmo não tendo a mesma opinião em muitos momentos, vocês ficaram ao meu lado nos dias alegres e nos tristes. Vocês foram a principal razão pelo qual eu venci mais uma fase. Nesses 24 anos vocês sempre me fizeram ter orgulho de ser seu filho.

Às minhas irmãs, pelo carinho, ajuda, e palavras de consolo nos dias ruins, vocês são parte importante nessa jornada.

Aos meus avós, por me ensinarem a simplicidade da vida, e por mostrar que o amor vence todas as distâncias.

Aos meus amigos, obrigado por serem irmãos, amigos, consolo, e muitas vezes a sabedoria em pessoa, com a palavra certa no momento que era precisa. Vocês fazem os meus dias valerem a pena nessa terra.

À professora, doutora Ângela Ruriko Sakamoto, obrigado pela confiança depositada em mim, como orientado. Obrigado por não desistir de mim, e me ajudar nessa jornada, mostrando os caminhos para busca do conhecimento e pesquisa científica. Obrigado por tolerar meus atrasos, desculpas e falta de compromisso durante esses últimos meses.

Aos professores, coordenadores e funcionários de outras áreas no CEULP, os quais tive a oportunidade de conhecer e conviver de perto, obrigado por me apoiarem, ajudarem e fazerem da minha jornada na Ulbra uma jornada menos pesada e mais repleta de amizades e vínculos.

## RESUMO

SANTOS, Luiz Eduardo Teodoro. **Uso de BIM para a análise da eficiência energética por energia incorporada e CO<sub>2</sub> incorporado: aplicado à ECOVILLA.** 2017. 60 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas – TO, Palmas, 2017.

A indústria da construção civil é provedora de 6 das 10 atividades que mais consomem energia. Essas mesmas atividades também incorporam números alarmantes de CO<sub>2</sub>. Visando minimizar o impacto ambiental causado pelo consumo ineficiente do potencial energético do país e de emissões desordenadas de CO<sub>2</sub>, se faz necessário adotar medidas que contribuam para redução do uso de materiais que possuem altos índices de energia incorporada e CO<sub>2</sub> incorporado. Há uma necessidade de traçar diretrizes para a escolha de materiais sustentáveis para habitações de interesses sociais. Sendo assim, o mercado da construção deve adotar tipos de análises que contribuam para a redução do uso de materiais nada sustentáveis; uma dessas diretrizes seria a adoção da análise da eficiência energética para como base para seleção de materiais a ser usado em habitações de interesses sociais. A pesquisa, portanto, parte de um levantamento bibliográfico e aplicação de análise de eficiência energética em uma vila sustentável de baixa renda, chamada ECOVILLA, que visa a possibilidade de usar BIM para análise e seleção de materiais sustentáveis para projetos habitacionais de interesses sociais, visando selecionar modelos de construção sustentáveis por meio da análise da eficiência energética por energia incorporada e CO<sub>2</sub> incorporado, comparando a matriz energética modelos iguais, variando apenas o material escolhido para compor a edificação. Após a análise feita, foram apontados pontos positivos e negativos da análise, bem como a contribuição da mesma para a melhoria dos projetos de habitação de interesse social.

**PALAVRAS CHAVE:** Impacto ambiental; energia incorporada; CO<sub>2</sub> incorporado; ECOVILLA; BIM; materiais sustentáveis; eficiência energética; matriz energética.

## ABSTRACT

SANTOS, Luiz Eduardo Teodoro. **Use of BIM for analysis of energy efficiency by embodied energy and embodied CO<sub>2</sub>: applied to ECOVILLA**. 2017. 60 pages. Major Project (Graduation) – Civil Engineering Course, Centro Universitário Luterano de Palmas – TO, Palmas, 2017.

The construction industry retains 6 of the 10 most energy consuming activities. These activities also incorporate alarming numbers of CO<sub>2</sub>. In order to minimize the environmental impact caused by the inefficient consumption of the country's energy potential and disordered CO<sub>2</sub> emissions, it is necessary to adopt measures that contribute to reduce the use of materials that have high levels of embodied energy and embodied CO<sub>2</sub>. There is a need to draw up guidelines in order to select sustainable materials for housing of social interests. Therefore, the construction Market must adopt different types of analyzes that contribute to the reduction of the use of unsustainable materials; one of these guidelines would be the adoption of energy efficiency analysis as support for the selection of the materials to be used in social interest housing. The research, therefore, is part of a bibliographic survey and an energy efficiency analysis in a low income sustainable village, called ECOVILLA, which aims at the possibility of using BIM to analyze and to select sustainable materials for housing projects of social interest, in order to select models of sustainable construction through the energy efficiency analysis by embodied energy and embodied CO<sub>2</sub>, comparing the energy matrix of similar models, varying only the material chosen to compose the building project. After the analysis, positive and negative points of the analysis were pointed out, as well as the contribution of it to the improvement of sustainable housing projects of social interest.

**PALAVRAS CHAVE:** Environmental Impact; Embodied Energy; Embodied CO<sub>2</sub>; ECOVILLA; BIM; Sustainable Materials; Energy Efficiency; Energy Matrix.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro 1 - Índices de emissão de CO <sub>2</sub> extraídos do ArchiCad - Alvenaria convencional .....	29
Quadro 2 - Índices de emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>2</sup> de parede de alvenaria.....	29
Quadro 3 - Índices de emissão de CO <sub>2</sub> extraídos do ArchiCad - casa em madeira	29
Quadro 4 - Índices de emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>2</sup> de parede de madeira .....	29
Quadro 5 - Protocolo de pesquisa.....	38
Quadro 6 - Parâmetros da análise .....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices de CO <sub>2</sub> incorporado e Energia Incorporada nos principais materiais da construção civil brasileira.....	32
Tabela 2 - CO <sub>2</sub> e Energia Incorporada por Alvenarias .....	48
Tabela 3 - CO <sub>2</sub> e Energia Incorporada por pisos.....	50
Tabela 4 - CO <sub>2</sub> e Energia Incorporada por telhado .....	51
Tabela 5 - Montantes totais de CO <sub>2</sub> incorporado e energia incorporada no modelo	51
Tabela 6 - CO <sub>2</sub> e Energia Incorporada por Alvenarias .....	54
Tabela 7 - CO <sub>2</sub> e Energia Incorporada por pisos .....	55
Tabela 8 - CO <sub>2</sub> e Energia Incorporada por telhado.....	57
Tabela 9 - Montantes CO <sub>2</sub> total incorporado e energia incorporada no modelo .....	57

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Plantas, modelo casa-alvenaria e modelo casa-madeira .....	29
Figura 2 - Modelo de teste .....	30
Figura 3 - Quantitativo de emissões gerado no Revit .....	31
Figura 4 - Diagrama de fluxo dos processos do estudo.....	36
Figura 5 – Projeto Arquitetônico .....	41
Figura 6 – Dados de CO <sub>2</sub> incorporado e energia incorporada .....	43
Figura 7 - CO <sub>2</sub> incorporado e energia incorporada na família parede.....	47
Figura 8 - CO <sub>2</sub> e energia incorporada na família Piso.....	49
Figura 9 - CO <sub>2</sub> e energia incorporada na família telhado.....	50
Figura 10 - CO <sub>2</sub> e energia incorporada na família parede.....	53
Figura 11 - CO <sub>2</sub> e energia incorporada na família Piso.....	55
Figura 12 - CO <sub>2</sub> e energia incorporada na família telhado .....	56

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Problema de Pesquisa .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Hipótese .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>15</b>
1.3.1 Objetivo Geral.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos .....	15
<b>1.4 Justificativa .....</b>	<b>16</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Habitação .....</b>	<b>18</b>
2.1.1 Definição de Habitação.....	18
2.1.2 Habitação de Interesse Social.....	18
2.1.3 ECOVILLA .....	20
<b>2.2 Conceituando BIM (Building Information Modeling) .....</b>	<b>20</b>
2.2.1 BIM ( <i>Building Information Modeling</i> ) para Análise da Eficiência Energética .....	21
<b>2.3 Matriz Energética .....</b>	<b>22</b>
2.3.1 Conceito de Matriz Energética .....	22
2.3.2 Eficiência Energética (EE).....	23
2.3.3 Energia Incorporada (EI) e CO2 Incorporado .....	24
<b>2.4 Ferramentas BIM para análise de Eficiência Energética .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5 Exemplos de Análise de Eficiência Energética usando ferramenta BIM.....</b>	<b>27</b>
2.5.1 Eficiência Energética e o <i>ArchiCAD</i> .....	28
2.5.1 Um caso no <i>Revit Architecture</i> .....	29
<b>2.6 Materiais de Construção .....</b>	<b>31</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Desenho do Estudo.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 Objeto do Estudo.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Parametrização dentro do processo ECOVILLA.....</b>	<b>39</b>
<b>4. MATRIZ ENERGÉTICA da ECOVILLA.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Projeto Arquitetônico .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Configurações iniciais no software <i>Revit</i> .....</b>	<b>42</b>
4.2.1 Parâmetros de CO <sub>2</sub> incorporado e energia incorporada no <i>Revit Architecture 2017</i> .....	42
<b>4.3 Modelos a analisar .....</b>	<b>43</b>
4.3.1 Modelo Econômico.....	44
4.3.2 Modelo Sustentável.....	44
<b>5. RESULTADOS E CONCLUSÕES.....</b>	<b>46</b>
<b>5.2 Modelo Econômico .....</b>	<b>46</b>
5.2.1 <i>Família</i> Alvenarias.....	46
5.2.2 <i>Família</i> Pisos .....	49
5.2.3 <i>Família</i> Telhado .....	50
4.2.4 Composição Final da Matriz Energética do Modelo Econômico.....	51
<b>5.3 Modelo Sustentável.....</b>	<b>52</b>
5.3.1 <i>Família</i> Alvenarias.....	52

5.3.2 <i>Família</i> Pisos .....	55
5.3.3 <i>Família</i> Telhado .....	56
5.3.4 Composição Final da Matriz Energética do Modelo Sustentável.....	57
<b>5.4 Análise comparativa dos modelos .....</b>	<b>57</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>62</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Cerca de 45,3% da matriz energética gerada no Brasil é proveniente de fontes renováveis como biomassa e etanol, eólica e solar e recursos hídricos, sendo que 75% desses 45% é o montante de eletricidade gerado pelas hidrelétricas do país. (BRASIL, 2014 apud POSTAY et al., 2014). Se considerado apenas o percentual de energia elétrica renovável, a geração alcança cerca de 85%. Mas, embora o Brasil apresente índices altos de energia elétrica vindoura de recursos renováveis, a preocupação com a redução do consumo ainda é pautada.

A indústria da construção e o ambiente construído são peças-chaves no tabuleiro da indústria da construção sustentável; nelas estão a chave para o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis e energeticamente eficientes (HALLIDAY, 1997 apud POSTAY et al., 2014). A Indústria da Construção Civil (ICC) pode colaborar na redução do consumo energético do país, e assim redirecionar o montante para outras áreas, podendo substituir energias não renováveis e poluentes, em outros setores.

Na construção civil os materiais recebem um tipo de tratamento, e esse processamento de material consome altos índices de energia e libera montantes assustadores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Partindo desse fato surgiu então a necessidade mundial de fazer construções mais verdes, ao fazer uma análise da eficiência energética quanto aos índices de energia incorporada e CO<sub>2</sub> nos materiais, buscando integrar meio ambiente e ambiente construído de uma maneira mais sustentável possível. Com essa preocupação, se fez necessário adotar materiais menos agressivos ao meio ambiente, já que uma construção nada mais é que conjunto de materiais que formam uma edificação. Na busca de materiais mais verdes, que diminuíssem o montante de energia incorporada e ajudasse na redução do uso do potencial energético do país, chegou-se na análise da matriz energética de uma edificação.

A matriz energética se resume ao potencial energético disponibilizado para ser transformado, distribuído e consumido nos processos produtivos, de manutenção e de operação. É uma representação quantitativa de um montante de energia. No contexto da construção civil, a matriz energética está diretamente ligada aos processos de construção da edificação, pois em cada etapa da obra há consumo de energia. Essa energia embutida em cada etapa gera a matriz energética da

edificação, que pode ser uma matriz limpa, ou suja. Uma matriz limpa faz uso de materiais mais sustentáveis, onde o processamento dos mesmos incorpora baixos índices de energia e usa fontes renováveis. Já uma matriz suja é aquela onde as fontes energéticas usadas e incorporadas no processo não são renováveis, ou que possuam fontes não renováveis como maiores contribuintes.

De acordo com a IEA (2011) a necessidade de se proteger contra as mudanças climáticas rápidas e a preocupação com a segurança energética fizeram com que o mundo voltasse os olhos para políticas de eficiência energética. A chave para uma matriz energética mais limpa e menor está diretamente ligada à eficiência energética. Adotar políticas de uso mais eficiente do potencial energético deve ser pautada assiduamente na busca de níveis mais sustentáveis de construção. Uma vez que, ao reduzir a quantidade de energia na edificação, há adoção de materiais mais sustentáveis, há contribuição direta para o uso eficiente do potencial energético e para a geração de uma matriz energética mais sustentável.

O foco principal desse trabalho é propor uma análise da eficiência energética de um Empreendimento Habitacional de Interesse social (EHIS), que nesse caso é a ECOVILLA, focando apenas na análise dos índices de energia incorporada e CO<sub>2</sub> incorporado nos materiais de construção ainda na fase pré-operacional da edificação. Este estudo colabora na seleção de um modelo mais verde, adotando materiais que requeiram um montante menor de energia para serem processados, e emitam menos CO<sub>2</sub> nesse processo. E assim visando construções mais eficientes no que tange à escolha do material a ser implementado na edificação, contribuindo para redução do consumo energético do país e automaticamente prevenindo escassez no setor, além da contribuição efetiva na redução de CO<sub>2</sub> no setor construtivo.

## **1.1 Problema de Pesquisa**

O *Building Information Modeling*, (BIM) é um modelo que possibilite uma efetiva compatibilização de projeto. O mesmo consegue associar todas as etapas do projeto em um modelo computacional e a partir de dados pré-configurados pode-se gerar uma análise completa da matriz energética do escopo. Na lista das 10 atividades consideradas maiores consumidoras de energia do país, 6 são da construção civil (POSTAY et al., 2014), são elas: cimento, cerâmica, metais não ferrosos, aço, produtos químicos de uso na construção e mineração.

Visto que, a Indústria da Construção Civil agrega em seu currículo seis dessas dez atividades que mais consomem energia no país, se faz necessário traçar diretrizes que contribuam para redução do consumo de energia. Nesse contexto surge o questionamento: como a adoção do BIM pode contribuir para a análise da eficiência energética de um projeto habitacional de interesse social?

## 1.2 Hipótese

As hipóteses que norteiam este projeto de pesquisa são:

- A integração de ferramentas preconizada pelo BIM possibilita uma análise confiável da matriz energética;
- A análise da eficiência energética é pouco praticada, pois soluções sustentáveis são vistas como um adicional de custos;
- A análise da eficiência energética por energia incorporada e por CO<sub>2</sub> incorporado possibilita a execução de um projeto mais sustentável quanto a decisão da escolha dos materiais.

## 1.3 Objetivos

Para abordar o problema foram traçados os seguintes objetivos:

### 1.3.1 Objetivo Geral

Mensurar impactos ambientais na ECOVILLA por energia incorporada e CO<sub>2</sub> incorporado, com auxílio de ferramenta e conceito BIM, usando diferentes materiais de construção.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar literaturas recentes sobre o uso do BIM associado à eficiência energética, afim de aplica-las à ECOVILLA.
- Analisar a quantidade energia incorporada e CO<sub>2</sub> incorporado na ECOVILLA ainda na fase pré-operacional do projeto usando a ferramenta *Revit Architecture*.
- Verificar e apontar, por meio da análise no software, quais os modelos – usando os materiais classificados no referencial teórico e previamente estudados pelo NEI (Núcleo de Empreendedorismo e Inovação) – geram uma matriz energética mais eficiente e limpa, com base nos índices de

energia incorporada e CO<sub>2</sub> incorporado.

#### **1.4 Justificativa**

As práticas sustentáveis na engenharia civil e arquitetura dos Estados Unidos, Europa e alguns países da Ásia, como Cingapura e Japão, tem sido referência para os demais países que caminham à passos lentos no mercado verde da construção civil. Práticas essas que trazem consigo retornos incalculáveis aos países que as praticam, gerando resultados que vêm conquistando e tomando lugar no mercado mundial da construção civil.

Os países em desenvolvimento têm procurado seguir essas práticas, incorporando as em seus estilos de construção e arquitetura, na busca de economias na seleção de materiais, o reuso de recursos outrora inutilizáveis e, principalmente, na eficiência energética. Entretanto, para que uma proposta de projeto sustentável alcance patamares mais altos e aceitáveis se faz necessário o uso de tecnologias que darão suporte desde a fase de planejamento até a entrega da obra, e é exatamente nesse ponto onde o conceito de BIM se aplica. Para um projeto sustentável ser eficiente, quanto a análise da matriz energética, é necessário a adoção de ferramentas que vinculem os diferentes projetos ao modelo computacional da edificação, assim permitindo avaliar o uso de energia incorporada e energia final necessária para manter o empreendimento. Para então, realizar uma análise sistemática e detalhada dos índices de CO<sub>2</sub> incorporado ainda em seu estágio inicial (EASTMAN et al. 2014).

Um design sustentável é uma proposta de projeto que oferece qualidade de vida ao morador, respeitando o meio ambiente e com excelência no processo de construção, além de minimizar os impactos dos pontos negativos do ambiente natural (IWARO et al. 2014). Partindo dessa premissa, podemos afirmar que, assim como em grandes projetos, o uso de tecnologias verdes também pode, e deve ser aplicado à EHS. Proporcionando assim, um ambiente mais sustentável à população, diminuindo impactos negativos, incorporando a iluminação natural com conforto térmico, reduzindo custos para manter a construção e otimizando os recursos hídricos. Por isso, uma análise da matriz energética da ECOVILLA, influenciará a escolha do material menos agressor ao meio ambiente, reduzindo assim emissões de CO<sub>2</sub>, e visando um design que reduza os índices de energia incorporada na fase

de construção da edificação, bem como o montante de energia necessário para manter a edificação.

Neste contexto, a importância desta pesquisa está em integrar numa plataforma BIM um EHIS, no caso proposto a ECOVILLA, usando o software *Revit Architecture*, a análise da matriz energética. Fator não só importante para controlar o ciclo de vida da edificação, bem como para o futuro da Indústria da Construção Civil (ICC) no Brasil. Essa análise se faz necessária pois, garantirá ao empreendimento gerência efetiva e padronizada do projeto, possibilitando a redução dos índices de energia e CO<sub>2</sub> incorporado, gerando para o modelo incorporado uma base de dados para monitorar a eficiência energética.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Este tópico tem como objetivo apresentar o referencial teórico e as pesquisas recentes que suportam o entendimento que embasam a abordagem metodológica proposta no presente trabalho. Os temas centrais da pesquisa evidenciam o uso de tecnologias BIM para análise da eficiência energética em empreendimentos de interesses sociais, e qual o impacto final no meio ambiente e no empreendimento de acordo com os materiais adotados na construção.

### **2.1 Habitação**

#### **2.1.1 Definição de Habitação**

De acordo com Abiko (1995), a habitação no contexto geral nada mais é que um sinônimo da palavra abrigo. E abrigo é uma necessidade humana desde os primórdios da humanidade. Os povos primitivos se abrigavam em cavernas, árvores ou quaisquer outros espaços que os permitiam se esconderem (abrigarem) de intempéries, fossem elas chuva, sol, frio ou calor. Essa necessidade de abrigo sempre fez parte do ser vivo, seja ele humano ou animal, todos sempre procuram um lugar de mínimo conforto possível.

Assim como o ser humano foi desenvolvendo suas habilidades, o mesmo também buscou aprimorar o meio em que ele vivia. O homem passou a usar diversos materiais que a natureza proporcionava para aprimorar seu abrigo, usando de madeira até couro animal para fazer do seu abrigo um lugar mais confortável.

Posteriormente, começaram a surgir aglomerados habitacionais. O homem viu a necessidade de partilhar o ambiente com outros grupos ou famílias. Com isso surgiram vilas que posteriormente viriam a ser cidades. E assim a habitação humana foi evoluindo até chegar aos modelos diversos que hoje conhecemos. E assim como o homem, esse processo de aprimoramento também continuará em evolução.

#### **2.1.2 Habitação de Interesse Social**

Segundo Abiko (1995), para que uma boa habitação cumpra seu papel, é necessário que a mesma, não só possua um espaço aconchegante e confortável, mas que possua também uma integração harmoniosa entre ambiente interno e meio ambiente externo. E essa é a grande preocupação quando é posto à mesa o contexto habitação de interesse social (HIS). Fischer (2003), conceitua que, a habitação de interesse social, jamais deve ser tratada como um produto barato,

muito pelo contrário, deve ser vista como o produto de complexidade que ela é, com resolutivos políticos, econômicos, jurídicos, tecnológicos, ecológicos e sociais. E é essa visão que falta na indústria da construção civil, quando falamos em HIS.

A indústria construtiva não trata um EHIS na esfera que o mesmo deve ser tratado, deixando os empreendimentos aquém do que os mesmos deveriam ser. Para que isso não continue ocorrendo daqui a cem anos é necessário começar a priorizar alguns padrões. E essa decisão deve partir das autoridades responsáveis.

Embora muitos dos EHIS apresentem baixa qualidade, podemos perceber ao visitar muitos desses empreendimentos, após entregue aos respectivos donos, que, a satisfação com a nova habitação vai variar de acordo com cada morador. E ainda, segundo Marcos (2009), pode ser notado que mesmo satisfeito com o empreendimento, a necessidade da família muda bastante com o tempo, de acordo com a evolução econômica e social do grupo familiar.

Sendo assim, se houver mudança nas necessidades, claramente terá que haver alterações e melhorias no empreendimento social. Ampliações que partirão do bolso dos proprietários, mas que devem ser consideradas no projeto inicial. Coisa que não acontece na prática. Além disso, deve ser priorizado padrões e materiais que proporcionem ao empreendimento redução de energia, ou seja, um empreendimento o mais autossuficiente possível. Adotando matérias que proporcionem maior conforto térmico, design que permita maximizar o uso da luz externa e diversas outras pequenas diretrizes que tragam mais humanidade aos projetos, e maior eficiência.

Olhando por esse lado da moeda, não pode-se deixar de dizer que o uso de BIM na fase inicial é de suma importância para viabilizar futuras mudanças de acordo com o aumento da necessidade da família e de acordo também com seu aumento financeiro. Além disso, a adoção de materiais mais sustentáveis e que proporcionem economia para manter a habitação é, dentre os dois, ampliação e economia, o mais importante, pois são em suma, famílias de baixa renda que vivem nessas habitações.

O termo HIS abrange as moradias proposta para famílias com até três salários mínimos caracterizadas baixa renda. Abiko (1995) ainda qualifica alguns outros tipos de termos usados para descrever HIS:

- Habitação para População de Baixa Renda (*housing for low-income*): são habitações de interesse social, que visam atender famílias com renda mensal pré-

definida;

- Habitação de Baixo Custo (*low-cost housing*): que significa habitação de baixo custo, ou habitação barata, não necessariamente para população de baixa renda;

- Habitação Popular: Termo bastante usado e genérico, que abrange soluções que atendam as necessidades habitacionais popular.

### **2.1.3 ECOVILLA**

A ECOVILLA é uma iniciativa do NEI que busca a elaboração de um plano de construção que adote diretrizes sustentáveis acoplada à um modelo de ‘como fazer’ que seja eficaz. O projeto procura usar práticas de gerência de projetos que possam ser de fácil compreensão do público leigo, retomando a ideia de mutirão, e associar esse ‘como fazer’ à um modelo que seja, barato, sustentável e duradouro de habitação popular.

Para a elaboração de um modelo preciso, eficaz e acessível é necessário começar certo. E a ECOVILLA tem essa visão, o modelo já vem sendo estudado, construído e constantemente revisto desde 2014. O mesmo procura firmar bases concisas e que sejam eficientes, garantindo ainda, a facilidade de implementação, o cooperativismo entre iniciativa pública e privada, a sustentabilidade e a criação de um modelo que permita ser reproduzido em outras localidades e que permita alterações quanto aos materiais a serem implementados e os métodos de execuções sem comprometimento do modelo.

Ou seja, é um projeto habitacional de interesse social, que seja BIM e sustentável. Um projeto de baixo custo, para população de baixa renda familiar, e que tenha padrões de qualidades e métodos executivos acessíveis.

## **2.2 Conceituando BIM (Building Information Modeling)**

A modelagem da Informação na construção, o termo vem do inglês *Building Information Modeling*, é tido como um conceito promissor para a arquitetura, engenharia e construção (AEC). Usando uma tecnologia BIM é possível elaborar um modelo digital efetivo e bem próximo do real, onde, possibilita-se fazer diversas análises em variadas etapas do processo, permitindo mudanças sem perda de informação e sem prejuízos.

Embora muitos acreditem ser algo novo no mercado, o conceito BIM não é tão atual assim. Estudos que culminaram no que se conhece hoje como BIM, datam de meados da década de 1970, e foram sendo desenvolvidas até chegar a ser o que hoje conhecemos como BIM.

Segundo Eastman et al. (2014), a indústria da construção civil (ICC) adota, na atualidade, processos bastante fragmentados para a implementação de um empreendimento, onde a comunicação de todas as etapas do projeto ainda acontece no papel. Essa comunicação é tida como conservadora por muitos e ultrapassada por outros é a maior contribuinte para a perda de informações e causa de erros. Esses erros e perdas sem sombra de dúvidas são o que forçam a ICC a trabalhar com gastos não quantificados, ou seja, adicionais de custos não previstos no orçamento. E trabalharem também com atraso; visto que, atraso é tempo, e tempo é dinheiro, pode-se dizer que esse adicional no cronograma de obra não pode ser caracterizado de outra forma se não como um prejuízo financeiro.

Visando maximizar os ganhos e minimizar as perdas é de suma importância a adoção de BIM logo na etapa inicial da obra. A ferramenta irá auxiliar nesse trabalho de informação (que não são poucas por sinal), permitindo que as mesmas sejam acessadas de forma eficaz em qualquer estágio do projeto. Permitindo ainda a interoperabilidade entre uma ferramenta e outra, caso necessário. O BIM permite que o modelo tenha uma conversa aberta entre ambientes e as informações, quando passado de uma ferramenta para outra.

### **2.2.1 BIM (*Building Information Modeling*) para Análise da Eficiência Energética**

A busca por edificações verdes tem levado tanto o proprietário, quanto o profissional projetista a incluírem a eficiência energética em suas edificações (EASTMAN *et al.*, 2014). O objetivo de fazer a avaliação da eficiência energética da edificação é mostrar a redução de consumo precisa, que pode ser alcançada em determinado projeto, seja ele por seu design eficiente, por materiais mais verdes, ou pela junção dos dois. Ou seja, mesmo sendo um adicional de custo no empreendimento, o BIM para a análise energética da edificação é nada mais que diretrizes que visam primeiramente a sustentabilidade, mas que também, trazem consigo, vantagens econômicas para o projeto quando, com reduções do montante de energia para construir e manter a edificação, que é viabilizado na análise.

A avaliação permitirá otimizar o espaço, por meio de tomada de decisões, e

essas tomadas de decisões dependerão do tipo de projeto e tipo de material que terá maior eficiência com um design aceitável. E para que essas decisões sejam tomadas a partir de um modelo, é preciso informações que ajudem neste processo e o BIM dará suporte à escolha. Em outras palavras, é necessário o uso de uma ferramenta eficaz que comporte o modelo, que permita a modelagem do mesmo, e que consiga passar todas as informações necessárias para análise da eficiência energética. E somente uma ferramenta BIM consegue abranger esses três parâmetros sem perder informações.

## **2.3 Matriz Energética**

### **2.3.1 Conceito de Matriz Energética**

Matriz energética é o conceito usado para definir o potencial energético de um modelo, seja ele uma residência, um maquinário, ou até mesmo um país. Uma matriz energética tem a característica de possuir diversas fontes, nesse caso fontes energéticas, associando-as a um único conjunto, formando assim a matriz propriamente dita.

A matriz energética brasileira, apesar de ter algumas diversidades, tem 80% de seu potencial proveniente de energia hidráulica, gerada pelas inúmeras hidroelétricas por todo país (BRASIL, 2013, apud GRAZIERA; REI, 2015). Embora, muitos ambientalistas defendam o fim das hidrelétricas pelo impacto ambiental que as mesmas causam, ela é tida como um gerador energético limpo. Deixando o Brasil, segundo Graziera e Rei (2015), em uma posição bastante privilegiada, mundialmente falando, se destacando por seu potencial energético renovável e limpo, com cerca de 42,4% do seu potencial dentro desses padrões.

Há uma corrida mundial em busca de uma matriz mais limpa e renovável. Atualmente o setor continua buscando suas fontes principais em combustíveis fósseis e derivados (IEA, 2008), fazendo da matriz energética desses países, uma matriz suja, que contribui fortemente com emissões de carbono para a atmosfera.

Concluindo, pode-se afirmar que o conceito de matriz energética é bastante simples. É interpretado como um conjunto composto por diversas fontes energéticas disponíveis e em uso; assim como o potencial que foi consumido e o potencial energético que está embutido.

Quando trazida para o contexto dessa análise proposta no estudo, a matriz

energética se resume à quantidade de energia que um material incorpora em sua fabricação e a quantidade de CO<sub>2</sub> esses mesmo materiais embutem nesse processo de fabricação.

### **2.3.1.1 Matriz Energética na Construção Civil**

Tavares (2006) afirma que das dez atividades que mais consomem o potencial energético, ou a matriz energética de um país, seis são atividades da construção civil; são elas: cimento, metais não ferrosos, cerâmica, produtos químicos de uso na construção, aço e mineração. Tendo indicadores tão alto de consumo energético, é claramente visível que a matriz energética de uma edificação que adotarem os materiais acima será uma matriz rica em consumo, tendo em vista que esses materiais consomem (incorporam) bastante energia para serem transformado em produtos.

É importante traçar diretrizes que reduzam a matriz energética primária de uma edificação. Essa matriz energética primária depende da Energia Embutida (ou incorporada) Inicial, que Tavares (2006) define como um conjunto dos montantes energéticos diretos ou indiretos que são consumidos para erguer uma edificação. E essa redução dependerá da escolha dos materiais a serem usados no empreendimento, onde, a escolha, dependerá dos índices de energia incorporado. Se há uso de material rico em consumo energético, claramente resulta numa matriz energética primária muito suja. Suja, pois, é composta de materiais não sustentáveis, em sua maioria provenientes do petróleo, ou que usam combustíveis fósseis para fabricação e que requerem bastante energia para serem processados.

### **2.3.2 Eficiência Energética (EE)**

Como o próprio nome já diz, eficiência, algo que seja eficaz, que não tenha perdas e que reduza o desperdício. Graf e Marcos (2009) pontuam que as pesquisas voltadas para as áreas de eficiência energética têm focado principalmente no montante de energia necessário para manter o edifício, ao passo que, muitos desprezam a energia incorporada no empreendimento. Essa ideia é errônea, visto que, se eu busco gerar uma análise energética, eu estou claramente buscando saber o índice total de energia que um empreendimento, ferramenta, maquinário ou quaisquer outros modelos que dependa de energia para fabricação e funcionamento.

A ideia de usar a energia de forma eficiente tem se tornado um padrão de

busca para criar diretrizes que assegurem essa eficiência em muitos países, tendo em vista que, muitos países, bem como o Brasil, enfrentaram e veem enfrentado crises energéticas. Graf e Marcos (2009) veem a eficiência energética nas edificações como um assunto de relevância mundial, tendo em vista que o crescimento populacional tem impactado cada dia mais o meio ambiente na busca por mais espaços urbanos.

Na obra *Energias Renováveis* (2014), é ressaltada a ideia de que, se a indústria encontrar possibilidade de mais ganhos, em forma de incentivos em pesquisas conjuntas, isso acarretar em ações mais eficientes para melhoria da eficiência energética. De fato, esse é o calcanhar de Aquiles do setor energético em muitos países, a falta de incentivos fiscais e apoio à pesquisa por alguns governos.

Uma abordagem a curto prazo deve focar no alcance de uma maior eficiência no setor energético e no aumento de fornecimentos locais, particularmente fontes renováveis de energia (*ENERGIAS RENOVÁVEIS*, 2014). Essa deve ser a ideia e o incentivo governamental, conscientizar os setores energéticos e incentivá-los a produzir uma matriz mais limpa e mais eficiente, visando alcançar patamares mais sustentáveis. Reduzindo então, os impactos ambientais causados pelo mal-uso das fontes energéticas ou pelas fontes energéticas sujas.

### **2.3.3 Energia Incorporada (EI) e CO<sub>2</sub> Incorporado**

Todos os materiais que chegam ao canteiro de obra precisam passar por algum tipo de processamento, esse processo, que é o de transformar matéria prima em material de construção impacta o meio ambiente (GRAF; MARCOS, 2009). Durante o processo de fabricação que o material passa, são liberados CO<sub>2</sub> para camada e ozônio e há como quantificar o montante liberado por cada material. Além de liberar CO<sub>2</sub>, todos os materiais precisam de uma energia para serem fabricados. Esses dois fenômenos decorrentes do processo de fabricação do material são chamados de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada.

Esse processo de liberar CO<sub>2</sub> e consumir energia para serem produzidos é visto como uma atividade prejudicial ao meio ambiente. Graf e Marcos (2009), afirmam que, a energia incorporada e o CO<sub>2</sub> incorporado são uma forma de quantificar os impactos ambientais, além de serem de fundamental importância para a tomada de decisão na escolha do material.

### 2.3.3.1 Energia Incorporada

É visto como energia incorporada o montante de energia usado para extração da matéria-prima, processo de transformação em produto, transporte da matéria, aplicação *in loco*, manutenção e demolição da mesma (MATEUS, 2012).

Seguindo essa linha de produto inicial até produto final, que é a matéria até aplicação *in loco*, Berge (2000) subdivide essa energia incorporada entre primária e secundária, sendo a primária a PEC - (*Primary Energy Consumption*) – aquela que inclui apenas a extração, produção e transporte. A PEC é responsável por 80% da energia incorporada. Ainda de acordo com Berge, essa energia primária pode ser subdividida em três etapas. São elas:

- . A energia direta consumida na extração da matéria prima e no processo de produção que varia de acordo com o maquinário usado para processar a matéria prima.

- . O consumo secundário no processo de fabricação. Essa é referente ao consumo do maquinário, iluminação, aquecimento e operação do ambiente de trabalho.

- . A energia gasta em transporte da matéria prima e do material processado, onde é considerado o transporte que tem um importante papel no consumo de energia.

Concluindo, energia incorporada (EI) entende-se como o montante de energia que o material consome desde a extração até sua demolição.

### 2.3.3.2 CO<sub>2</sub> Incorporado

O CO<sub>2</sub> incorporado em um material é o montante de dióxido de carbono liberado durante o processo de manufatura do material. O portal da construção sustentável, cita Mateus (2012) que afirma: 50% do que é extraído da natureza é usado na construção civil, essa matéria extraída precisa ser processada para o uso, durante esse processo de fabricação do material são produzidos resíduos em grandes quantidades, que são emitidos durante esse processo, sendo 30% de CO<sub>2</sub> jogado na atmosfera.

A indústria da construção civil tem uma parcela razoável de culpa quando se fala em emissão de dióxido de carbono. Isso se dá pelo uso constante de materiais provenientes de combustíveis fósseis, ou pela queima do próprio material para ser processado e se tornar produto de consumo da construção civil. Tavares (2006)

afirma que, a ICC é responsável por 1/5 da geração total de CO<sub>2</sub> do Brasil, ultrapassando até a parcela de contribuição das queimadas no país.

Portanto o CO<sub>2</sub> incorporado como o montante de dióxido de carbono que um material produz desde o estágio de matéria prima, até a chegada no canteiro de obra.

#### **2.4 Ferramentas BIM para análise de Eficiência Energética**

O COBIM, *Common BIM Requirements*, é um guia com um conjunto de diretrizes baseadas no modelo BIM para construção civil; foi financiado em 2012 pelo *Senate Properties* (uma estatal finlandesa que gerencia os imóveis do governo) em parceria com a *BuildingSMART* (mais conhecida como *IAI* - Aliança internacional de interoperabilidade, que busca melhorar a troca de informação entre softwares usados na construção civil) e com diversos proprietários imobiliários, com intuito de espalhar o modelo e implementá-lo em toda Finlândia. De acordo com o COBIM (2012), há ferramentas de análise de eficiência energética já a algum tempo. A medida que ferramentas CAD foram alcançando patamares mais evoluídos e a procura por compartilhamento de informações pelos usuários foi crescendo, a indústria de modelagem computacional focou em construção de dados em 3D (EASTMAN et al. 2014). Essa pressão pela troca de informação entre modelos e programas levou a indústria a investir em ferramentas 3D BIM que pudessem sanar esse desejo do operador por uma modelagem mais próxima do real. E de fato a ferramenta BIM atingiu o seu foco principal, segundo Eastman et al. (2014), um escopo de uma construção que for modelado por uma ferramenta BIM consegue dar suporte a múltiplas vistas de todas as informações contidas na modelagem, seja ela 2D ou 3D. Ou seja, uma ferramenta BIM permite acesso direto, preciso e claro a todas as informações do modelo de construção, do início, meio e fim.

Há hoje no mercado inúmeras ferramentas BIM que permitem a modelagem eficiente, seja ela tridimensional ou não. Entretanto, a visão do mercado é investir em ferramentas tridimensionais, deixando os modelos 2D caminhar à passos lentos. Embora haja algumas dezenas de ferramentas BIM para modelagem na construção civil, não se pode contar com todas elas para a análise da eficiência energética de uma edificação.

De acordo com Eastman et al. (2014), uma ferramenta BIM de análise

energética vinculada aos modelos da edificação permitirá gerar uma matriz energética nas fases iniciais do projeto. Permitindo assim, fazer melhorias na fase pré-operacional do projeto.

Há duas ferramentas BIM de análise energética que são mais usadas no mercado que permitem uma análise mais precisa, sem perda de informações: o *Revit Architecture* e o ArchCAD. As duas ferramentas são bastante conceituadas e bem conhecidos no mercado e pelos profissionais da arquitetura, por permitirem também uma boa modelagem arquitetônica. De acordo com o capítulo 10 do guia COBIM (2012), há apenas um requisito para que programas sejam usados para análise energética, o software tem que ser capaz de importar arquivos de modelo IFC. Tanto o *Revit Architecture*, quanto *ArchiCAD* afirmam importar e ler arquivos de modelo IFC, por isso são os mais usados no mercado para esse tipo de análise.

. *Revit Architecture* é uma ferramenta da empresa Autodesk, bastante usado para modelagem arquitetônica, é um software com inúmeras ferramentas, que permite o operador modelar de seus projetos. Segundo, Eastman et al. (2014), dentre as ferramentas BIM, ele é o líder de mercado e foi lançado em 2002 após ser comprado de uma empresa iniciante. Ainda de acordo com Eastman, a ferramenta não se assemelha em nada ao AutoCAD, tem estrutura e códigos diferentes.

. *ArchiCAD*: É um software da empresa Graphisoft e é uma ferramenta BIM, assim como o *Revit*. De acordo com Eastman et al. (2014), a ferramenta é uma das mais antigas ferramentas BIM, voltada pra projeto arquitetônico ainda em uso. É bastante usada pelos profissionais da arquitetura. Ainda segundo Eastman, o *ArchiCAD* possui uma interface bem simples e de fácil uso.

## **2.5 Exemplos de Análise de Eficiência Energética usando ferramenta BIM**

A partir da pesquisa bibliográfica, foram selecionados dois modelos a serem explorados, que usam ferramentas BIM para análise de eficiência energética por CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada em materiais. Esses dois modelos, usam o mesmo processo, que é a construção de uma matriz através dos índices de CO<sub>2</sub> incorporado e EI nos materiais adotados. E a partir de dados dos materiais configurados no software ocorre a geração matricial, com um mesmo modelo, apenas adotando outros tipos de materiais de construção.

As análises ocorrem em duas ferramentas distintas: *Revit Architecture* e

*ArchiCAD*, ambos casos foram caracterizados no item 2.5.1.

Para a análise os autores estabeleceram alguns parâmetros em ambos os casos, para que fosse possível analisar diferentes modelos com diferentes materiais, citados a seguir:

- Modelos arquitetônicos distintos ou iguais contendo dimensões de paredes, forro, piso, etc. – se distintos, os modelos devem conter mesma área e mesmo volume;
- Densidade dos Materiais;
- Energia de Fabricação – Energia Incorporada na fabricação;
- Matriz energética – qual combustível usado na fabricação, ou seja, energia incorporada primária;
- Energia de Transporte – considerar a distância percorrida do material até a obra e combustível usado no transporte;
- Geração de CO<sub>2</sub> por fonte de energia – quantidade de CO<sub>2</sub> liberada por fonte de energia usada na fabricação do material;

Os parâmetros acima foram usados como base para configuração de modelo nos softwares. A partir desses dados parametrizados, pôde-se então, gerar a análise dos modelos, e mensurar o montante de energia incorporada e CO<sub>2</sub> incorporado em toda edificação na fase pré-operacional. Gerando a matriz energética, em forma de tabela com informação de emissões e a partir disso apontar qual modelo foi o mais eficiente.

### **2.5.1 Eficiência Energética e o *ArchiCAD***

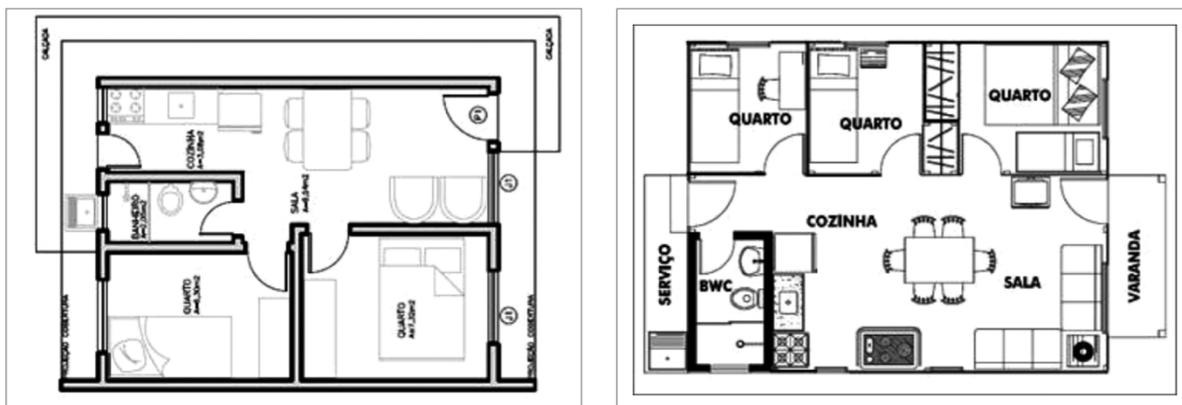
O exemplo 1 trata-se de dois modelos habitacionais de interesse social. O primeiro é uma casa em alvenaria cerâmica, e o segundo, uma casa de madeira, permitindo, assim a análise de duas estruturas distintas, onde cada uma apresenta índices de CO<sub>2</sub> incorporado na edificação.

Os processos de desenvolvimento e análise se deram da seguinte forma:

“Foi realizada uma análise em dois modelos de habitação de interesse social, uma construída nos métodos convencionais e outra construída em madeira. Após escolhidas as habitações como estudo de caso, analisa-se o quantitativo de materiais das duas residências. Através desses materiais, o banco de dados do CAD-BIM é alimentado com resultados equivalentes ao total de quilos de materiais por m<sup>2</sup> de construção. Assim sendo, cada material terá seu próprio índice de emissão. Ao final, cada habitação será projetada no ARCHICAD, o que irá gerar o índice total de emissão, por habitação, na fase pré-operacional da construção” (MARCOS, 2009, p. 54).

As plantas escolhidas para elaboração desse estudo são mostradas abaixo na figura 1, para evidenciar a diferença entre os modelos, para compreensão melhor da análise dos dados.

Figura 1 – Plantas, modelo casa-alvenaria e modelo casa-madeira



Fonte: Graf Marcos (2009)

Após a elaboração do modelo e configuração no software, o *ArchiCAD* foi capaz de gerar as duas matrizes de cada modelo, uma evidenciando os índices de CO<sub>2</sub> incorporados na edificação. Por essa razão foram adotadas modelos diferentes de residências, para que no final fosse emitido relatórios de emissões diferentes (HUANG et al., 2007 apud MARCOS, 2009). Assim, após o experimento as matrizes pudessem ser comparadas de acordo com suas respectivas matrizes.

Os quadros 1, 2, 3 e 4 abaixo são as matrizes dos dois modelos das residências, com os índices de CO<sub>2</sub>.

Quadro 1 - Quadro 1 - Índices de emissão de CO<sub>2</sub> extraídos do ArchiCad - Alvenaria convencional

Material	CO2 (fabricação e transporte)
Azulejo	24,06 kg
Concreto	1423,18 kg
Cimento	149,72 kg
Tijolo de barro	968,28 kg
Telha de barro	215,5 kg
Vidro	54,97 kg
Argamassa	1693,13 kg
Tinta óleo	5,31 kg
Tinta PVA	211,5 kg
PVC	377,22 kg
Aço	618,69 kg
Madeira	202,84 kg
<b>TOTAL</b>	<b>5944,4 kg</b>

Fonte: Graf e Marcos (2009)

Quadro 2 - Índices de emissão de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de parede de alvenaria

Componentes	CO2 por 1m <sup>2</sup>
CO2 emissão - fabricação	546 kg
CO2 emissão - transporte	16 kg
<b>TOTAL</b>	<b>562 kg</b>

Graf e Marcos (2009)

Quadro 3 - Índices de emissão de CO<sub>2</sub> extraídos do ArchiCad - casa em madeira

Material	CO2 (fabricação e transporte)
Azulejo	30,39 kg
Concreto	377,37 kg
Cimento	179,05 kg
Tijolo	160,2 kg
Argamassa	193,1 kg
Tinta óleo	1,37 kg
Tinta PVA	392,84 kg
Aço	147,52 kg
Madeira	486,11 kg
<b>TOTAL</b>	<b>1968,00 k</b>

Fonte: Graf e Marcos (2009)

Quadro 4 - Índices de emissão de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de parede de madeira

Componentes	CO2 por 1m <sup>2</sup>
CO2 emissão - fabricação	4,92 kg
CO2 emissão - transporte	0,06 kg
<b>TOTAL</b>	<b>4,98 kg</b>

Fonte: Graf e Marcos (2009)

É claramente visível nos quadros 2 e 4 que, apesar de aparentemente ter um tamanho um pouco menor, o modelo casa-alvenaria apresenta índices de emissão de CO<sub>2</sub> cem vezes maior por metro quadrado que o modelo casa-madeira. Isso acontece devido aos materiais empregados em ambos os modelos. As figuras 2 e 3 mostra que o modelo casa-alvenaria usou apenas 3 vezes mais a quantidade de materiais que o modelo casa-madeira, porém, o modelo casa-alvenaria usou bastante argamassa, aço, concreto e tijolo, que são um dos componentes que mais emitem CO<sub>2</sub> durante o processo de fabricação.

### 2.5.1 Um caso no Revit Architecture

O exemplo 2 trata-se de um modelo único e simples da construção do modelo

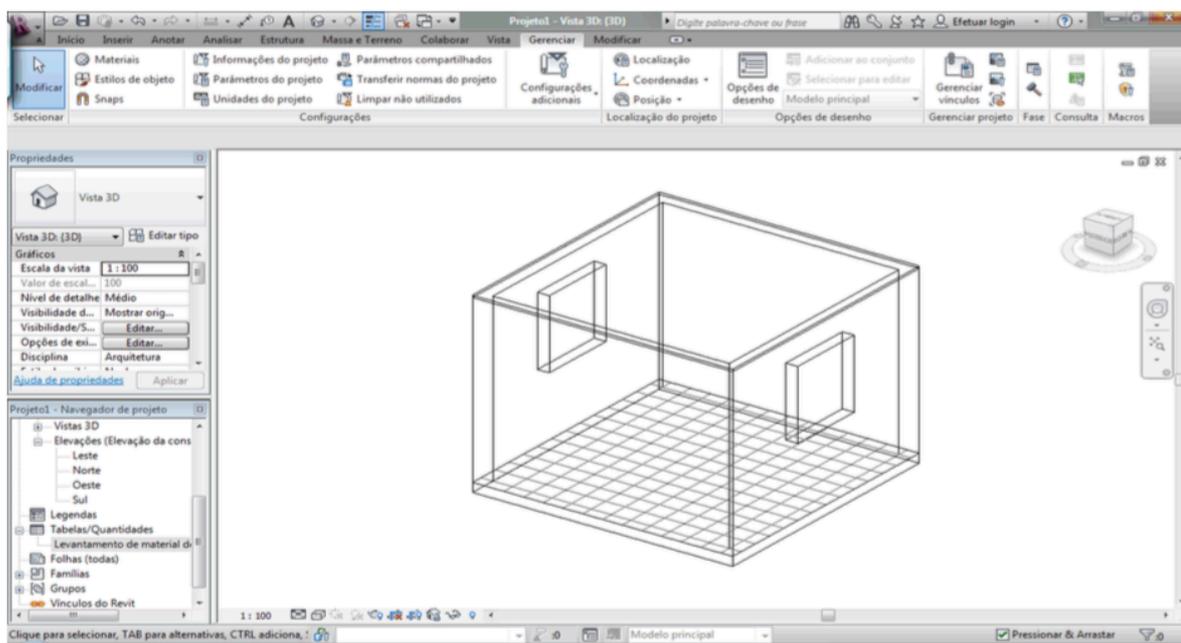
parte da mesma premissa do exemplo 1, que visou quantificar não só o montante de CO2 incorporado no modelo, mas, buscou também, quantificar os índices de energia incorporada no modelo.

Os processos de desenvolvimento e análise se deram da seguinte foram:

“O modelo de teste criado (objeto de estudo) é composto por fechamentos em paredes de alvenaria com acabamento em argamassa e pintura tinta látex, laje inferior em concreto com revestimento de piso cerâmico e forro de madeira peroba-rosa. Para permitir a comparação dos resultados e verificar a viabilidade do uso do BIM para mensurar impactos ambientais de edificações, cálculos analíticos são realizados, com o auxílio de uma planilha eletrônica, para o mesmo objeto de estudo. Os resultados dos dois estudos (com apoio de uma planilha e com o apoio do Revit Architecture 2012) são comparados. Sendo o estudo pelos cálculos com planilha eletrônica o método convencionalmente utilizado, a comparação permite validar o estudo pela ferramenta *Revit Architecture 2012*” (GRAF e MARCOS, 2012).

O modelo escolhido para o teste é mostradas abaixo na figura 2.

Figura 2 - Modelo de teste



Fonte: Graf e Marcos (2009)

Após a elaboração do modelo e configuração no software, o *Revit* foi capaz de gerar uma matriz, evidenciando os índices de CO2 incorporados na edificação e de energia incorporada. A figura 3 abaixo mostra em números o montante de energia incorporada e de CO2 incorporado no modelo, de acordo com o materiais escolhidos pelo autor, que não necessitam ser explicitados aqui nesse capítulo.

Figura 3 - Quantitativo de emissões gerado no Revit

Tabela de parede				
Energia incorporada	CO <sup>2</sup> incorporado	Área	Energia incorp. Total (MJ)	CO <sup>2</sup> incorp. Total (Kg/MJ)
1381.6	151.43	7.92 m <sup>2</sup>	10942.27	1199.33
1381.6	151.43	6.56 m <sup>2</sup>	9063.30	993.38
1381.6	151.43	7.56 m <sup>2</sup>	10444.90	1144.81
1381.6	151.43	6.20 m <sup>2</sup>	8565.92	938.87
Tabela de piso				
Energia incorporada	CO <sup>2</sup> incorporado	Área	Energia incorp. Total (MJ)	CO <sup>2</sup> incorp. Total (Kg/MJ)
457.8	45.28	10.89 m	4985.44	493.10
Tabela de forro				
Energia incorporada	CO <sup>2</sup> incorporado	Área	Energia incorp. Total (MJ)	CO <sup>2</sup> incorp. Total (Kg/MJ)
11.85	0.82	10.89 m <sup>2</sup>	129.05	8.93

Fonte: Graf e Marcos (2009)

A matriz gerada pelo *Revit* mostrou ser tão eficaz quanto a tabela de cálculos do Excel usada pelos autores, provando assim a eficiência do *Revit* em análise da eficiência energética de um modelo.

## 2.6 Materiais de Construção

Os materiais de construção podem ser caracterizados por dois critérios, quanto a sua origem e a sua função (SILVA, 1985, apud HAGEMANN, 2011). E de acordo com Bauer (2008), eles podem ser definidos por propriedades, como peso, massa, volume, densidade, porosidade, dureza, etc. Uma coisa é certa, cada material possui uma característica diferente e se comporta diferente do outro.

A indústria da construção brasileira possui uma gama ampla de materiais de construção, sejam eles para fundação, revestimento, vedação, estrutural ou cobertura, a diversidade é ampla.

O intuito dessa pesquisa não é estudar os materiais de construção, mas sim selecionar os de mercados, discorrendo rapidamente sobre eles, e selecionar os que menos impactam o meio ambiente, de acordo com a energia incorporada e o CO<sub>2</sub> incorporado de cada um deles.

Os materiais abaixo são alguns dos mais presentes no canteiro de obra brasileiro e que possuem estudos preliminares de emissões de CO<sub>2</sub> e de energia incorporada. A tabela 1 abaixo representa em numero, a quantidade de CO<sub>2</sub> e

Energia Incorporada (EI) dos principais materiais presentes no mercado construtivo brasileiro:

Tabela 1 - Índices de CO<sub>2</sub> incorporado e Energia Incorporada nos principais materiais da construção civil brasileira

Material	Índices de CO <sub>2</sub> Incorporado em (kg/m <sup>3</sup> )	Índices de Energia Incorporada em (MJ/kg)	Índices de Energia Incorporada em (MJ/m <sup>3</sup> )
Aço CA 50	16628,420	30,00	235500,00
Alumínio	23886,576	98,20	265140,00
Alvenaria convencional	9		
Areia	6,335	0,05	80,00
Argamassa	299,246	2,10	3906,00
Cerâmica	5731,58		52075
Cimento Portland	478,845	4,20	8190,00
Concreto	203,133	1,20	2760,00
Madeira lamina colada	145,553	7,50	2100,00
Madeira seca ao ar livre	20,793	0,50	300,00
Mármore	179,890	1,00	2550,00
Pavimentação Asfáltica	59878,00		658979,13
Placa de Gesso	284,616	4,50	4500,00
Telha Cerâmica	4,055878 (kg/m <sup>2</sup> )	5,40	10260,00
Telha Fibrocimento	679,987	6,00	9600,00
Tinta Acrílica	0,934217 (kg/m <sup>2</sup> )	61,00	79300,00
Tinta óleo	1,502405 (kg/m <sup>2</sup> )	98,10	127530,00
Tinta PVA	1,119912 (kg/m <sup>2</sup> )	65,00	84500,00
Tubo PVC	5465,200	80,00	104000,00
Vidro plano	1545,675	18,50	46250,00

Fonte: Tavares (2006) adaptado

Há ainda alguns materiais que são sustentáveis, mas que ainda não possuem estudos preliminares de emissões de CO<sub>2</sub> e energia incorporada. Esses materiais são aqui ressaltados como uma proposta de uso na análise, mas que não entrará na mesma, pois é necessário conhecer os índices de CO<sub>2</sub> e energia incorporada que os mesmos emitem no seu processo de fabricação. Muitos deles precisam de simples

tratamentos, o que leva a crer que emitem baixos índices de dióxido de carbono e incorporam pouca energia, sendo assim mais sustentáveis. Eles são frisados aqui como exemplo de materiais mais sustentáveis, e como proposta para estudos futuros, assim que esses índices sejam quantificados em laboratório será possível incorporá-los no tipo de análise desse estudo. São eles:

- Bambu – Matéria que cresce rapidamente, pode chegar 18 metros de altura em 3 meses e tem um amadurecimento médio de 3 anos; é renovável quando extraído corretamente e é uma opção para ser usado como madeira tradicional em assoalho, cobertura e vedação (MATEUS, 2012).
- Vernizes de óleos naturais – São misturas compostas por água e recursos renováveis originários vegetais ou minerais, o impacto por eles causados é menor que o de produtos sintéticos (MATEUS, 2012).
- Fibras de côco – São caracterizadas por Mateus (2012), como renováveis, naturais, biodegradáveis e natural. As fibras mostram-se bastante resistente a umidade e bastante duráveis. Seu único impacto negativo é no transporte, pois não é achada em grandes quantidades em todos os lugares. Podem ser utilizadas para isolamento acústico e também pode ser aplicada como revestimento em paredes.
- Lã animal – É um produto provindo da lã de ovelhas, sendo encontrado em toda parte do mundo reduz o custo com transporte. Mateus (2012) conceitua a lã animal como inovadora na construção civil no uso eficaz de isolamento térmico e acústico.
- Fibras de madeira – Provenientes da serragem da madeira, é bastante encontrado em serrarias e tem propriedades propícias para uso em isolamento térmico e acústico (MATEUS, 2012).
- Espuma de poliuretano de base de soja – Integra a soja substituindo o petróleo como matéria prima (COSTA 2010). De acordo com Mateus (2012), apresenta excelentes características no isolamento, pois preenche todos os vazios.
- Telhas de fibras vegetais ou materiais reciclados – Mateus (2012) afirma que, hoje em dia é possível usar fibras vegetais ou materiais recicláveis para a fabricação de telhas, usando fibras de bananeira,

pinho, eucalipto, etc., ou papel, plástico, borracha e alumínio na produção.

Esses foram alguns dos materiais que priorizam o conceito sustentável e que estão ganhando força no mercado.

### 3. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos por essa pesquisa foi definido um procedimento de pesquisa apresentado neste capítulo.

A metodologia empregada neste presente trabalho é focada no método de estudo de casos, com uma abordagem qualitativa e com objetivo metodológico predominantemente exploratório, dispondo de várias fontes científicas para o embasamento.

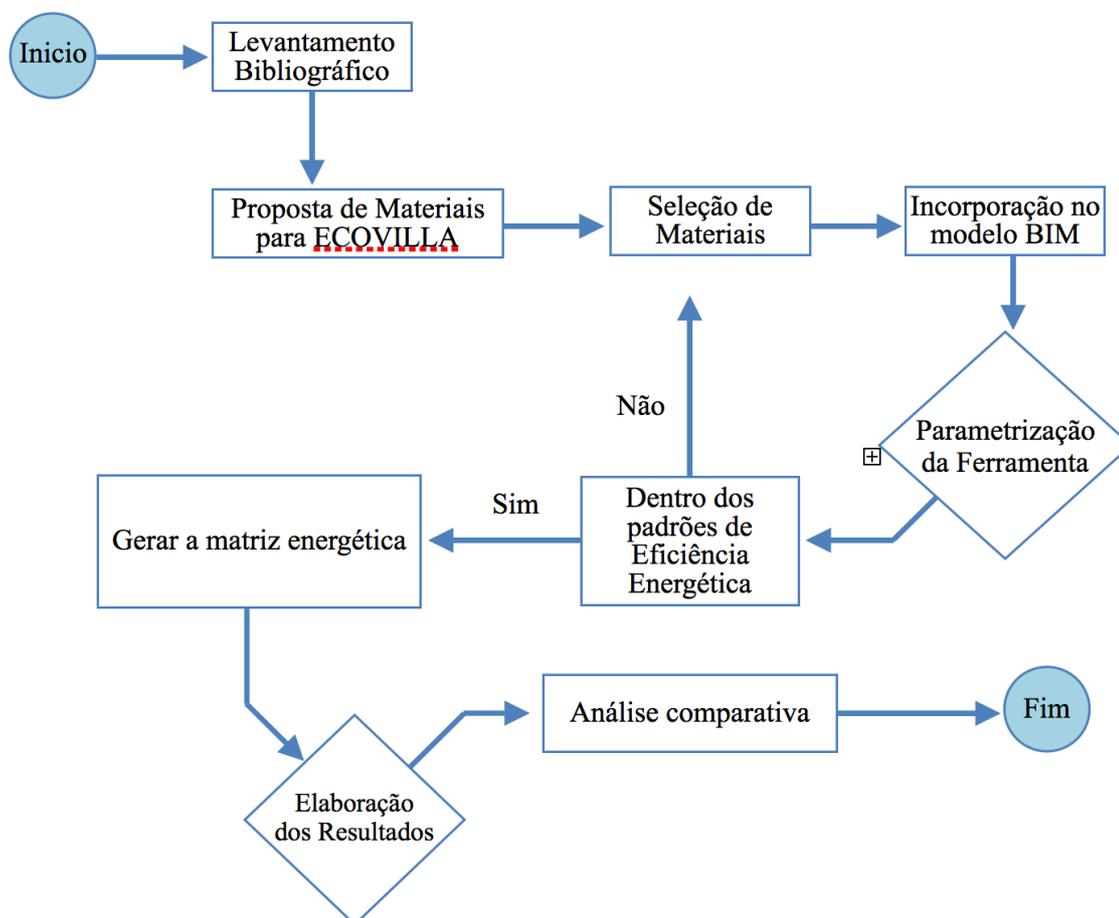
Severino (2007) define a pesquisa exploratória como, aquela pesquisa que visa levantar informações sobre um determinado assunto ou objeto, demarcando uma zona de trabalho, e mapeando as condições em que o objeto se manifesta. Em suma, a maioria das pesquisas exploratórias são compostas de levantamento bibliográfico, e posteriormente uma análise dos exemplos contidos nesses referencias com a finalidade de serem usados para garantir a compreensão, retomando o método de estudo de casos. Para sua aplicação qualitativa, Prodanov e Freitas (2013) afirmam que, a pesquisa assume uma característica de interpretação básica dos fenômenos e da atribuição dos significados, não requerendo métodos estatísticos. O método e o significado do mesmo são os pontos principais da abordagem (PRODANOV e FREITAS 2013).

A pesquisa é predominantemente exploratória, pois o pesquisador estudará o modelo de análise de eficiência energética, e com abordagem qualitativa aplicada à ECOVILLA, pois os resultados dispensam métodos estatísticos para chegar ao resultado da pesquisa.

#### 3.1 Desenho do Estudo

O estudo presente neste trabalho foi dividido em etapas. Primordialmente foi realizado a pesquisas bibliográficas afim de aprimorar o conhecimento no conceito estudado, e analisar exemplos de aplicação do BIM para análise de eficiência energética onde se fosse possível conhecer etapas de um processo afim de usar o *Revit* para análise da eficiência energética do escopo da ECOVILLA. Posteriormente, foi selecionado, dentre as pesquisas, critérios mais específicos para dar continuidade e ter embasamento para executar a análise, etapa por etapa. A figura 8 abaixo descreve o fluxograma detalhado dos processos do estudo:

Figura 4 - Diagrama de fluxo dos processos do estudo



Fonte: Autor (2016)

- O levantamento bibliográfico é a etapa inicial da pesquisa, que embasou o referencial teórico por meio de pesquisas que abordaram temas similares;
- Na seleção de materiais adotou-se materiais com potencial a serem incorporados no modelo, materiais esses que possuem índices de CO<sub>2</sub> incorporado e Energia incorporada e que possuem características sustentáveis;
- Posteriormente, em incorporação no modelo BIM, usaremos o software *Revit architecture* para modelar o escopo. Esta modelagem será feita em um projeto criado por Ribeiro Junior (2017) exclusivamente para a ECOVILLA;
- Após incorporar o modelo BIM, a ferramenta será parametrizada para poder compor a matriz. Essa parametrização se faz necessária pois o software por si só, não possui uma ferramenta direta de análise da matriz energética, para tanto se faz necessário padronizar funções, tabelas e atribuição de

características para que o mesmo seja capaz de gerar uma análise eficiente. Além disso, é nessa parametrização que subdividimos a análise em *famílias*, afim de particionar e melhor detalhar a análise, pois a edificação poderá possuir uma gama muito grande de materiais dificultando a análise e avaliação de cada material. Por isso essa fragmentação da análise, chamada de *família*, é importante;

- Após feita a parametrização da ferramenta, dá-se início a modelagem dos materiais no escopo criado por Ribeiro Junior (2017) e avaliação dos mesmos quanto a sua eficiência. Se um material possuir números alarmantes de emissões de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada o mesmo será descartado e o modelo voltará para o estágio de seleção de materiais para compor uma nova modelagem. Se o material emitir índices de emissões e energia incorporada aceitáveis passa-se então para o próximo estágio;
- A geração da matriz energética particionada por *famílias* é o passo posterior a aprovação do material, nesse estágio será feita a análise energética separadamente de cada componente (*família*), para que seja composta a matriz final do modelo;
- A geração da matriz final do modelo se dar através da incorporação dos dados finais dos índices de CO<sub>2</sub> incorporado e de Energia Incorporada de cada de cada família em uma única tabela, onde através dessa será gerado o montante final de energia embutida e emissões de CO<sub>2</sub>.
- Após a geração da matriz energética são extraídos os montantes finais de CO<sub>2</sub> incorporado e de Energia Incorporada, esses dois dados são o resultado final da matriz energética do modelo.
- Após gerado o modelo seguinte, será feito uma análise comparativa entre os dois modelos, afim de avaliar o mais eficiente e o menos eficiente, bem como avaliar quais melhorias podem ser feita em relação ao custo e substituição do material, visando encontrar um modelo que seja sustentável e economicamente viável.

### 3.2 Objeto do Estudo

Mensurar impactos ambientais na ECOVILLA por energia incorporada e CO<sub>2</sub> incorporado, com auxílio de ferramenta e do conceito BIM, usando diferentes materiais de construção.

O Quadro abaixo apresenta o protocolo de pesquisa, assim como o

recomendado por Yin (2010), com a finalidade de nortear a pesquisa, aumentando assim, a confiabilidade do estudo.

Quadro 5 - Protocolo de pesquisa

<b>Visão Geral do Projeto</b>
<p><b>Objetivo:</b> Mensurar impactos ambientais na ECOVILLA por energia incorporada e CO<sub>2</sub> incorporado, com auxílio de ferramenta e do conceito BIM, usando diferentes materiais de construção.</p> <p><b>Assuntos do estudo:</b> Conceito BIM; Análise da eficiência energética; Energia Incorporada; CO<sub>2</sub> Incorporado.</p> <p><b>Leituras relevantes:</b> Manual do BIM, Análise da Eficiência Energética por Energia Incorporada e CO<sub>2</sub> Incorporado, Materiais de Construção e Tecnologias Construtivas.</p>
<b>Procedimentos de Campo</b>
<p><b>Apresentação das credenciais:</b> Não se aplica.</p> <p><b>Acesso aos Locais:</b> Não se aplica.</p> <p><b>Fonte de Dados:</b> Secundárias (bibliográfica e documental).</p> <p><b>Advertências de Procedimento:</b> Não se aplica.</p>
<b>Questões investigadas no estudo:</b>
<p>a. Mensurar impactos ambientais por energia incorporada em materiais de construção;</p> <p>b. BIM integrado à análise de eficiência energética;</p> <p>c. Materiais produzem menos CO<sub>2</sub>;</p> <p>d. Materiais necessitam de menos energia no processo de fabricação.</p>
<b>Esboço para o relatório final:</b>
<p>Apresentar a relação entre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiência da adoção do BIM para análise da eficiência energética;</li> <li>• Materiais que menos emitem CO<sub>2</sub>, e que necessitam de menores índices de energia no processo de fabricação;</li> <li>• Análise da matriz energética no escopo da ECOVILLA;</li> <li>• Identificar os principais desafios para análise de eficiência energética em EHIS;</li> <li>• Apresentar o modelo mais eficiente energeticamente, de acordo com materiais adotados e gerados no Software <i>Revit</i>.</li> </ul>

Fonte: Autor, adaptado de Yin (2010).

### 3.3 Parametrização dentro do processo ECOVILLA

Para a análise da eficiência energética da ECOVILLA por Energia Incorporada CO<sub>2</sub> incorporado foram traçados alguns parâmetros a serem analisados previamente, durante e após a própria análise. Esses parâmetros asseguraram que a análise ocorresse de forma efetiva e auxiliou a mesma em suas etapas. O quadro 6 abaixo compõe os parâmetros traçados para a análise.

Quadro 6 - Parâmetros da análise

Parâmetro	Etapa	Ferramentas	Critério
Modelo Arquitetônico	Primeira	Revit Architecture, ArchiCAD, e eventuais ferramentas BIM que permitam modelagem tridimensional.	Definir a geometria dos modelos a serem analisados – é importante que os modelos contenham mesma geometria – caso haja necessidade de mudar a geometria os modelos devem possuir mesma área e mesmo volume.
Possuir dados prévio de CO <sub>2</sub> incorporado	Segunda	*	A escolha do material deve ser baseada em seu estudo prévio. Escolher materiais que contem com dados de CO <sub>2</sub> incorporado já mensurado previamente em ensaios laboratoriais, podem ser dados mensurados por estudos nacionais ou internacionais.
Possuir dados prévio de Energia Incorporado	Segunda	*	A escolha do material deve ser baseada em seu estudo prévio. Escolher materiais que contem com dado de Energia Incorporado mensurado previamente em ensaios laboratoriais, podem ser dados mensurados por estudos nacionais ou internacionais.
Material	Segunda	*	Não há parâmetro de tipos de material a ser escolhido. Há apenas os parâmetros de estudo prévio dos materiais citados nos dois itens acima. Pois sem os dados de EI e CO <sub>2</sub> incorporados é

			impossível fazer a análise.
<b>Modelagem</b>	Terceira	Revit – Software escolhido para análise	O parâmetro de modelagem se baseia na escolha de diferentes tipos de material para cada escopo no momento da modelagem no software.
<b>Avaliar a Modelagem</b>	Quarta	*	Ter certeza de que modelagem dos escopos foram feitas com conjuntos de materiais diferentes para cada modelo.
<b>Modelo mais eficiente</b>	Quinta	Revit – Software escolhido para análise	A escolha do modelo mais eficiente parte da análise da matriz gerada pelo software. O modelo mais eficiente será claramente aquele em que os índices de energia incorporada e CO <sub>2</sub> incorporado forem menores.

Fonte: Autor (2016)

(\*) Não necessita de ferramenta para a análise

## 4. MATRIZ ENERGÉTICA da ECOVILLA

Afim de dar continuidade no projeto ECOVILLA, que é a aplicação principal desse estudo, foi considerado para a análise, o projeto arquitetônico criado pelo estudante de arquitetura Ribeiro Junior (2017), também colaborador do projeto ECOVILLA e do NEI.

Ribeiro Junior (2017) fez a modelagem do projeto arquitetônico no software *Revit Architecture* separando por famílias cada um dos componentes construtivos, o que contribuiu fortemente para análise, visto que a mesma dispõe de um quantitativo volumétrico de cada componente para ser efetiva. Embora o projeto tenha alcançado seu papel original conforto, sustentabilidade e funcionalidade, alguns passos da modelagem deixaram a desejar, e impediram uma análise energética por CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada mais eficiente.

Essas falhas na modelagem comprometeram parte da análise e serão especificadas abaixo no decorrer do processo.

### 4.1 Projeto Arquitetônico

O projeto criado por Ribeiro Junior (2017) tem características sustentáveis quanto aos materiais adotados; possui um zoneamento preciso; dispõe-se de uma característica arquitetônica contemporânea e funcional; e proporciona conforto aos futuros moradores da ECOVILLA.

A figura 5 abaixo ilustra a modelagem, extraída do software, do projeto criado por Ribeiro Junior e que servirá de base para a análise.

Figura 5 – Projeto Arquitetônico



Fonte: Autor (2017)

## 4.2 Configurações iniciais no software Revit

O software Revit, apesar de fazer a análise de eficiência energética por CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada, o mesmo não vem pré-configurado para executar a mesma. Há alguns parâmetros que devem ser configurados para que o mesmo consiga efetuar a análise. Sem a criação desses parâmetros e configuração dos mesmos se faz inviável a análise pelo software.

### 4.2.1 Parâmetros de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada no Revit Architecture 2017

Existe no Revit a possibilidade de criar *parâmetros*, partindo dessa premissa foram criados *parâmetros compartilhados* através de um novo documento txt nomeado pelo autor como *Sustentabilidade.txt*, esse documento foi salvo no diretório dos documentos do software. Dentro de *parâmetros compartilhados* foi criado um novo grupo de parâmetros nomeado de *Impacto ambiental* e os parâmetros criados dentro desses grupos foram, respectivamente, *CO<sub>2</sub> Incorporado* e *Energia Incorporada*. A ferramenta Revit também permite a criação de tabelas e é nessas tabelas onde todo o processo de cálculo dos montantes incorporados é feito, dispondo de área ou volume em função dos montantes, encontrados na bibliografia, de quantidade por volume ou por área de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada obtendo assim o resultado final.

As tabelas foram separadas por paredes, pisos, forro e telhado. Após criada a tabela separada de cada elemento, foram inseridos os *parâmetros compartilhados* recém criados na parte *campos* de dados em cada uma delas como um *genótipo* que será mantido para todos os objetos da edificação. Feito isso, foi possível configurar os dados de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada de cada elemento. Também foi inserido, manualmente, na tabela, os componentes *família*, *volume* e/ou *área* com o intuito de embasar as etapas subsequentes. Após obtido os dados de cada elemento, quanto a área (m<sup>2</sup>) ou volume (m<sup>3</sup>), voltou-se então na parte *campos*, em tabelas, para configurar mais duas novas *propriedades* que compõem a parte final da tabela para a análise. Foram criados os dois novos *campos* em *valor calculado*. Esses dois últimos parâmetros serviram para obter o resultado da multiplicação de valor unitário de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada em função da área ou volume do material.

No Revit, os dados de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada foram inseridos nas características de cada material fazendo com que o software considere a quantidade de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada por metro cubico ou quadrado de parede, piso, forro ou quaisquer outros grupos de componentes. Como pode ser visto na imagem 6 abaixo, os quadros de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada aparecem em *outros*, nas características dos materiais.

Figura 6 – Dados de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada

The image shows a screenshot of the Revit material properties dialog box. The 'Outros' (Others) section is expanded, showing the following data:

Propriedade	Valor
Código de montagem	
Marca de tipo	
Coefficiente de incêndio	
Custo	0.00
<b>Outros</b>	
CO <sup>2</sup> incorporado	151.430000
Energia incorporada	1381.600000

At the bottom of the dialog box, there are four buttons: '<< Visualizar', 'OK', 'Cancelar', and 'Aplicar'.

Fonte: Autor (2017)

### 4.3 Modelos a analisar

Visto que o projeto ECOVILLA tem seu principal foco a sustentabilidade, então se faz necessário uma modelagem com dados e materiais sustentáveis ou menos agressivos afim de alcançar o propósito original do modelo. Porém, como esta pesquisa é uma análise, se faz necessário comparar modelos para provar a eficiência e relevância da análise. Para isso, as análises foram divididas em modelos, um chamado de Modelo Econômico, que engloba os materiais convencionais mais usados na construção civil e que englobam no valor final da obra, um impacto menor devido ao preço de materiais e mão-de-obra por estarem mais presentes no mercado.

Este modelo constitui-se de métodos e materiais mais usados no dia a dia da construção civil como bloco cerâmico, argamassa de assentamento de cimento, concreto, aço estrutural, telhas cerâmicas ou fibrocimento, madeira para estrutura do telhado, revestimento cerâmico, tintas acrílicas e PVA, entre outros. E o outro

modelo, chamado de Modelo Sustentável, que visa englobar materiais mais sustentáveis, dos quais se tem conhecimento e estudos dos quantitativos de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada. Este outro visa o uso de madeira de reflorestamento e outros materiais menos agressivos ao meio ambiente.

Abaixo serão especificadas os procedimentos e resultados das duas análises distintas.

#### **4.3.1 Modelo Econômico**

O modelo econômico visa usar materiais bastante comuns e conhecidos no dia a dia da ICC brasileira, abaixo serão especificadas as características dos materiais adotados bem como resultados

##### **4.3.1.1 Características**

O modelo tido como econômico foi modelado ao software com as seguintes características: blocos cerâmicos de 6 e 9 furos; argamassa de cal, cimento e areia; tinta látex PVA; concreto; revestimento cerâmico branco; madeira seca ao ar livre; e telhas de fibrocimento. Os resultados de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada foram adicionados a característica de cada material que estavam especificados na modelagem.

##### **4.3.1.2 Resultado**

A partir da tabela parametrizada primordialmente foi possível calcular os resultados de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada por família como explicado no item 4.2.1, gerando assim, a matriz energética do modelo.

#### **4.3.2 Modelo Sustentável**

O modelo sustentável visa usar materiais sustentáveis quanto a emissão de C CO<sub>2</sub> os quais não são tão comuns na ICC brasileira na atualidade, abaixo serão especificadas as características dos materiais adotados bem como resultados

##### **4.3.2.1 Características**

Para o modelo tido como Sustentável o autor considerou boa parte da construção em madeira seca e colada, de lei, visando deixar o projeto mais sustentável. Adotou-se, então, a madeira como componente principal para paredes, e pisos. Considerou-se também revestimento cerâmico branco para áreas molhadas

e telhas cerâmicas. Os resultados de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada foram adicionados a característica de cada material que estavam especificados na modelagem.

#### **4.3.2.2 Resultado**

A partir da tabela parametrizada primordialmente é possível calcular os resultados de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada por família como explicado no item 4.2.1, gerando assim, a matriz energética do modelo.

## 5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

### 5.1 Composição das *Famílias*

Afim de particionar e melhor organizar a análise e a composição da matriz de cada modelo foram feitas análises separadamente por grupos de componentes dentro da edificação, esses grupos são chamados pela ferramenta de *família*. Cada família engloba componentes relacionadas a ela mesma, por exemplo: a família telhado engloba informações de telhas, caibros, ripas, vigotas, terças e quaisquer outro componente que possa compor a estrutura e vedação do telhado.

Abaixo será gerado o resultado dos dois modelos a partir de cada família dos mesmos, e posteriormente serão integradas em uma única tabela para a composição total da matriz de cada edificação.

### 5.2 Modelo Econômico

A composição da matriz do projeto Econômico se deu a partir da modelagem do escopo com os materiais apontado no item 4.3.1.1 e separada por cada *família* da edificação, e posteriormente será composta a matriz final do modelo, juntando todas as *famílias* do mesmo em uma única matriz.

#### 5.2.1 *Família Alvenarias*

A imagem exibida na figura 7 ilustra os índices de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada em todas as alvenarias do modelo arquitetônico. Embora a análise seja efetiva, no cálculo das paredes deixou um pouco a desejar devido a modelagem que foi feita no software. Para a análise ser 100% efetiva o escopo deveria ter sido modelado passo à passo, camada por camada, e não foi o que aconteceu nesse modelo, o mesmo foi dividido por família e os componentes de cada família foram aglomerados como um corpo só, não diferenciando, por exemplo, as camadas da parede que são: bloco, argamassa, revestimento e pintura. Essa falha na modelagem fez com que a análise fosse parcialmente comprometida, tendo que fazer alguns cálculos à mão, afim de garantir a análise mais próxima do real.

E assim foi feito, o autor considerou os índices de CO<sub>2</sub> e energia incorporados em um metro quadrado de parede, considerando a parede com 15cm e 20cm, usando os seguintes dados: argamassa de assentamento com 2cm de espessura, bloco cerâmico, de 6 e 9 furos, revestimento de 2,5cm de espessura, e pintura com

0,01cm de espessura. Considerando essas características e multiplicando pelos dados de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada de cada item, respectivamente, foi possível encontrar a razão da emissão de CO<sub>2</sub> e energia incorporada em cada m<sup>2</sup> de parede, tanto para parede com 15cm quanto 20cm. Obtendo então os valores ilustrados parcialmente na figura 7 abaixo.

Figura 7 - CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada na família parede

Item	CO <sub>2</sub> (kg)	Energia (MJ)	Area (m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> (kg)	Energia (MJ)
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	21,00 m <sup>2</sup>	3180,41	29017,06
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	10,67 m <sup>2</sup>	1615,39	14738,31
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	9,89 m <sup>2</sup>	1497,64	13664,02
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	7,41 m <sup>2</sup>	1121,67	10233,79
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	3,92 m <sup>2</sup>	592,85	5409,00
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	2,56 m <sup>2</sup>	387,54	3535,78
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	3,44 m <sup>2</sup>	521,28	4755,95
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	4,20 m <sup>2</sup>	635,65	5799,48
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	12,18 m <sup>2</sup>	1843,88	16822,95
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	1,29 m <sup>2</sup>	195,29	1781,74
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	2,65 m <sup>2</sup>	401,47	3662,85
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	2,00 m <sup>2</sup>	302,86	2763,20
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	1,39 m <sup>2</sup>	209,81	1914,27
PAREDE 20 cm	163,94	1532,4	35,18 m <sup>2</sup>	5767,48	53910,52
PAREDE 20 cm	163,94	1532,4	26,27 m <sup>2</sup>	4307,47	40263,30
Total geral: 67					

Fonte: Autor (2017)

A tabela 2 abaixo foi exportada para o *Excel* afim de exibir mais claramente todos os itens e somatória total das emissões. Na tabela 2 constam todas as emissões por paredes em toda a construção. Sendo para somatório total de CO<sub>2</sub> incorporado e energia total incorporada os valores de 120613,84 Kg e 1102696,05 MJ, respectivamente.

Tabela 2 - CO<sub>2</sub> e Energia Incorporada por Alvenarias

Tabela de parede					
Tipo	CO <sub>2</sub> Incorporado (Kg/m <sup>2</sup> )	Energia Incorporada (MJ/m <sup>2</sup> )	Área	CO <sub>2</sub> Incorp. Total (Kg/MJ)	Energia Incorp. Total (MJ)
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	23,16 m <sup>2</sup>	3507,76	32003,73
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	23,02 m <sup>2</sup>	3485,62	31801,68
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	3,77 m <sup>2</sup>	570,34	5203,58
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	24,83 m <sup>2</sup>	3759,49	34300,41
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	4,90 m <sup>2</sup>	742,4	6773,41
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	16,68 m <sup>2</sup>	2526,06	23047,02
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	10,63 m <sup>2</sup>	1609,75	14686,83
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	7,13 m <sup>2</sup>	1078,99	9844,35
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	21,02 m <sup>2</sup>	3182,4	29035,23
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	0,84 m <sup>2</sup>	127,49	1163,14
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	15,51 m <sup>2</sup>	2348,77	21429,41
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	9,00 m <sup>2</sup>	1362,87	12434,4
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	21,17 m <sup>2</sup>	3205,91	29249,72
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	22,27 m <sup>2</sup>	3372,45	30769,14
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	3,39 m <sup>2</sup>	512,89	4679,48
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	11,49 m <sup>2</sup>	1740,53	15880,06
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	8,59 m <sup>2</sup>	1300,91	11869,14
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	0,80 m <sup>2</sup>	121,29	1106,65
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	6,96 m <sup>2</sup>	1053,57	9612,48
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	5,22 m <sup>2</sup>	790,73	7214,35
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	10,75 m <sup>2</sup>	1627,47	14848,54
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	8,14 m <sup>2</sup>	1232,5	11244,97
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	12,72 m <sup>2</sup>	1926,29	17574,88
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	8,43 m <sup>2</sup>	1276,63	11647,54
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	23,76 m <sup>2</sup>	3597,59	32823,31
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	14,82 m <sup>2</sup>	2244,36	20476,8
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	13,96 m <sup>2</sup>	2113,69	19284,63
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	16,29 m <sup>2</sup>	2467,37	22511,51
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	28,22 m <sup>2</sup>	4273,06	38986,07
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	3,39 m <sup>2</sup>	512,89	4679,48
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	28,09 m <sup>2</sup>	4253,84	38810,68
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	5,23 m <sup>2</sup>	792,26	7228,32
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	16,18 m <sup>2</sup>	2450,05	22353,53
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	3,80 m <sup>2</sup>	576,11	5256,26
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	21,23 m <sup>2</sup>	3214,11	29324,52
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	0,98 m <sup>2</sup>	148,41	1354,02
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	13,25 m <sup>2</sup>	2006,96	18310,85
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	12,57 m <sup>2</sup>	1903,1	17363,29
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	20,77 m <sup>2</sup>	3144,73	28691,51
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	20,34 m <sup>2</sup>	3080,64	28106,8
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	3,67 m <sup>2</sup>	556,45	5076,87
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	12,90 m <sup>2</sup>	1953,2	17820,34
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	9,47 m <sup>2</sup>	1434,49	13087,88
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	0,75 m <sup>2</sup>	112,86	1029,73
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	6,96 m <sup>2</sup>	1053,57	9612,48
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	4,43 m <sup>2</sup>	671,1	6122,94
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	9,46 m <sup>2</sup>	1432,85	13072,91
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	7,42 m <sup>2</sup>	1123,31	10248,75
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	11,47 m <sup>2</sup>	1737,42	15851,7
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	8,83 m <sup>2</sup>	1337,45	12202,45
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	31,55 m <sup>2</sup>	4777,42	43587,65
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	17,17 m <sup>2</sup>	2600,75	23728,41
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	21,00 m <sup>2</sup>	3180,41	29017,06
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	10,67 m <sup>2</sup>	1615,39	14738,31
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	9,89 m <sup>2</sup>	1497,64	13664,02
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	7,41 m <sup>2</sup>	1121,67	10233,79
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	3,92 m <sup>2</sup>	592,85	5409
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	2,56 m <sup>2</sup>	387,54	3535,78
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	3,44 m <sup>2</sup>	521,28	4755,95
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	4,20 m <sup>2</sup>	635,65	5799,48
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	12,18 m <sup>2</sup>	1843,88	16822,95
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	1,29 m <sup>2</sup>	195,29	1781,74
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	2,65 m <sup>2</sup>	401,47	3662,85
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	2,00 m <sup>2</sup>	302,86	2763,2
PAREDE 15CM	151,43	1381,6	1,39 m <sup>2</sup>	209,81	1914,27
PAREDE 20 cm	163,94	1532,4	35,18 m <sup>2</sup>	5767,48	53910,52
PAREDE 20 cm	163,94	1532,4	26,27 m <sup>2</sup>	4307,47	40263,3
Total geral: 67				120613,84	1102696,05

Fonte: Autor (2017)

## 5.2.2 Família Pisos

Continuando com o processo, após ser feita a análise da *família* parede, deu-se início aos cálculos da *família* piso, afim de quantificar os índices CO<sub>2</sub> incorporado total e energia total incorporada nessa família. Assim como ocorreu com a parede, na *família* piso o conjunto também foi modelado como um componente só, não sendo possível quantificar os valores separadamente de cada material componente do piso ou laje, como revestimento e armaduras. Sendo assim, desconsideraremos os revestimentos e aço estrutural na análise, sendo que os mesmos não foram considerados na modelagem do escopo, se tornando inviável então a análise dos mesmos.

Para o piso foi considerado o modelo de lajes de concreto maciço, piso de concreto simples e pavimentação asfáltica para o exterior. Levando em consideração a volumetria de cada componente e os índices de CO<sub>2</sub> e energia incorporados em cada um deles, foi possível calcular as emissões totais (desconsiderando revestimento e aço estrutural) da família piso. Feito a análise foi possível obter os valores ilustrados na figura 8 abaixo.

Figura 8 - CO<sub>2</sub> e energia incorporada na família Piso

The screenshot shows a software window titled 'Tabela: Tabela de piso - ARQUITETONICO ECOVILLA - Economico.0008'. The table is titled '<Tabela de piso>' and has 7 columns: A (Família), B (Tipo), C (CO2 Incorporado (Kg/m3)), D (Energia Incorporada (MJ/m)), E (Volume), F (CO2 Incorp. Total (Kg/MJ)), and G (Energia Incorp. Total (MJ)). The table lists various floor components and their associated values.

A	B	C	D	E	F	G
Família	Tipo	CO2 Incorporado (Kg/m3)	Energia Incorporada (MJ/m)	Volume	CO2 Incorp. Total (Kg/MJ)	Energia Incorp. Total (MJ)
Piso	LAJE BÁSICA 12cm	203,133	2760	31,254 m <sup>3</sup>	6348,740	86261,325
Piso	ext - ASFALTO (10)	59878	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	2581,052	28405,416
Piso	ext - ASFALTO (10)	59878	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	2581,052	28405,416
Piso	ext - ASFALTO (10)	59878	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	2581,052	28405,416
Piso	ext - ASFALTO (10)	59878	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	2581,052	28405,416
Piso	LAJE BÁSICA 12cm	203,133	2760	1,748 m <sup>3</sup>	355,050	4824,127
Piso	PISO AREA MOLHADA	5731,58	52075	0,942 m <sup>3</sup>	5396,462	49030,240
Piso	PISO AREA MOLHADA	5731,58	52075	0,942 m <sup>3</sup>	5396,462	49030,240
Piso	PISO AREA MOLHADA	5731,58	52075	0,945 m <sup>3</sup>	5417,298	49219,548
Piso	PISO AREA MOLHADA	5731,58	52075	0,942 m <sup>3</sup>	5396,462	49030,240
Total geral: 10						

Fonte: Autor (2017)

A tabela 3 gerada foi exportada para o *Excel* afim de exibir claramente todos os itens e somatória total das emissões. Na tabela 3 constam todas as emissões por volume de piso em toda a construção. Sendo para somatório total de CO<sub>2</sub> total incorporado e energia total incorporada os valores de 38634,68 Kg e 24598,68 MJ, respectivamente.

Tabela 3 - CO<sub>2</sub> e Energia Incorporada por pisos

Tabela de piso						
Família	Tipo	CO2 Incorporado (Kg/m3)	Energia Incorporada (MJ/m3)	Volume	CO2 Incorp. Total (Kg/MJ)	Energia Incorp. Total (MJ)
Piso	LAJE BÁSICA 12cm	203,13	2760,00	31,254 m <sup>3</sup>	6348,74	86261,33
Piso	ext - ASFALTO (10)	59878,00	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	2581,05	28405,42
Piso	ext - ASFALTO (10)	59878,00	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	2581,05	28405,42
Piso	ext - ASFALTO (10)	59878,00	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	2581,05	28405,42
Piso	ext - ASFALTO (10)	59878,00	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	2581,05	28405,42
Piso	LAJE BÁSICA 12cm	203,13	2760,00	1,748 m <sup>3</sup>	355,05	28405,42
Piso	PISO AREA MOLHADA	5731,58	52075	0,942 m <sup>3</sup>	5396,46	49030,24
Piso	PISO AREA MOLHADA	5731,58	52075	0,942 m <sup>3</sup>	5396,46	49030,24
Piso	PISO AREA MOLHADA	5731,58	52075	0,945 m <sup>3</sup>	5417,3	49219,55
Piso	PISO AREA MOLHADA	5731,58	52075	0,942 m <sup>3</sup>	5396,46	49030,24
Total geral: 10					38634,68	424598,68

Fonte: Autor (2017)

### 5.2.3 Família Telhado

Continuando com o processo, após ser feita a análise da *família* parede e *família* piso foi executada a *família* telhado, afim de quantificar os índices CO<sub>2</sub> incorporado total e energia total incorporada nessa família. Assim como ocorreu com a parede e com o piso, na *família* telhado o escopo também foi modelado como um componente só, não sendo possível quantificar os valores separadamente de cada material componente do telhado, como as terças, calhas caibros e vigotas, nos deixando apenas com a modelagem das telhas. Sendo assim, desconsideraremos os revestimentos todo o restante, sendo que os mesmos não foram considerados na modelagem do escopo, se tornando inviável então a análise dos mesmos.

Para o telhado consideraremos a telha de fibrocimento utilizada na modelagem. Na figura 9 abaixo estão evidenciados os montantes emitidos pela telha de fibrocimento.

Figura 9 - CO<sub>2</sub> e energia incorporada na família telhado

<Tabela de telhado>					
A	B	C	D	E	F
Tipo	CO2 Incorporado (Kg/m3)	Energia Incorporada (MJ/m3)	Volume	CO2 Incorp. Total (Kg/MJ)	Energia Incorp. Total (MJ)
TELHA DE FIBROCIMENTO	679,987	9600	3,672 m <sup>3</sup>	2496,584	35246,571
TELHA DE FIBROCIMENTO	679,987	9600	2,264 m <sup>3</sup>	1539,319	21731,974
TELHA DE FIBROCIMENTO	679,987	9600	4,366 m <sup>3</sup>	2968,815	41913,481
TELHA DE FIBROCIMENTO	679,987	9600	1,500 m <sup>3</sup>	1019,654	14395,389
TELHA DE FIBROCIMENTO	679,987	9600	4,077 m <sup>3</sup>	2772,559	39142,760
TELHA DE FIBROCIMENTO	679,987	9600	3,716 m <sup>3</sup>	2527,166	35678,315

Fonte: Autor (2017)

A tabela 4 foi gerada e exportada para o *Excel* afim de exibir claramente todos os itens e somatória total das emissões. Na tabela 4 constam todas as emissões por volume de telhado em toda a construção. Sendo para somatório total de CO<sub>2</sub> total incorporado e energia total incorporada os valores de 13324,097 Kg e 188108,49 MJ, respectivamente.

Tabela 4 - CO<sub>2</sub> e Energia Incorporada por telhado

Tabela de telhado					
Tipo	CO2 Incorporado (Kg/m <sup>3</sup> )	Energia Incorporada (MJ/m <sup>3</sup> )	Volume	CO2 Incorp. Total (Kg/MJ)	Energia Incorp. Total (MJ)
TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA	679,987	9600	3,672 m <sup>3</sup>	2496,584	35246,571
TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA	679,987	9600	2,264 m <sup>3</sup>	1539,319	21731,974
TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA	679,987	9600	4,366 m <sup>3</sup>	2968,815	41913,481
TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA	679,987	9600	1,500 m <sup>3</sup>	1019,654	14395,389
TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA	679,987	9600	4,077 m <sup>3</sup>	2772,559	39142,76
TELHA DE FIBROCIMENTO ONDULADA	679,987	9600	3,716 m <sup>3</sup>	2527,166	35678,315
Total Geral				13324,097	188108,49

Fonte: Autor (2017).

#### 4.2.4 Composição Final da Matriz Energética do Modelo Econômico

Juntando as três *famílias* mais importantes da edificação, parede, piso e telhado que constituem a edificação, e através dos dados isolados de cada família, os juntamos em única tabela afim de somar as três e ter conhecimento do montante total de CO<sub>2</sub> total incorporado e energia total incorporada. Partindo desse ponto, as três tabelas foram juntadas no *Excel* para demonstrar os valores totais. Lembrando ainda que há como juntar as famílias no *Revit*, combinando-as, porém, devido alguns erros na modelagem, não foi possível fazê-las no software.

A tabela 5 abaixo ilustra os montantes totais de CO<sub>2</sub> total incorporado e energia total incorporada em toda o Modelo Econômico. Tendo para CO<sub>2</sub> total incorporado e energia total incorporada os valores 172572,617 Kg e 1715403,22 MJ, respectivamente.

Tabela 5 - Montantes totais de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada no modelo

Montantes Totais de CO <sub>2</sub> incorporado e energia incorporada no modelo		
Família	CO2 Incorp. Total (Kg/MJ)	Energia Incorp. Total (MJ)
Paredes	120613,84	1102696,05
Piso	38634,68	424598,68
Telhado	13324,097	188108,49
Total	172572,617	1715403,22

Fonte: Autor (2017).

### 5.3 Modelo Sustentável

A composição da matriz do projeto sustentável se deu a partir da modelagem do escopo com os materiais apontado no item 4.3.2.1 e separada por cada *família* da edificação, e posteriormente será composta a matriz final do modelo, juntando todas as *famílias* do mesmo em uma única matriz.

#### 5.3.1 Família Alvenarias

A imagem exibida na figura 10 ilustra os índices de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada em todas as alvenarias do modelo arquitetônico. Embora a análise seja efetiva, no cálculo das paredes deixou um pouco a desejar devido a modelagem que foi feita no software. Para a análise ser 100% efetiva o escopo deveria ter sido modelado passo à passo, camada por camada, de acordo com sistemas construtivos em madeira, tais como *Wood Framing* ou *Light Wood Framing* visando quantificar a volumetria mais do próxima do real que a edificação apresentasse. Não foi o que aconteceu nesse modelo, o mesmo foi dividido por família e os componentes de cada família foram aglomerados como um corpo só, não diferenciando, por exemplo, as camadas da parede que são: placas de madeiras, stud (esteios), revestimento, tinta, etc. Essa falha na modelagem fez com que a análise fosse parcialmente comprometida, se distanciando, assim, do modelo real que a mesma deve apresentar.

E assim foi feito, o autor considerou os índices de CO<sub>2</sub> e energia incorporados por volume de paredes na edificação, usando os seguintes dados: placa de madeira colada de 2cm, de cada lado, de espessura e studs de 8x5 cm. Considerando essas características e multiplicando pelos dados de CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada por volume de madeira, foi possível encontrar a razão da emissão de CO<sub>2</sub> e energia incorporada em cada m<sup>3</sup> de parede, tanto para parede com 15cm quanto 20cm. Obtendo então os valores ilustrados parcialmente na figura 10 abaixo.

Figura 10 - CO<sub>2</sub> e energia incorporada na família parede

<Tabela de parede>					
A	B	C	D	E	F
Tipo	CO2 Incorporado (Kg/m3)	Energia Incorporada (MJ/m3)	Volume	CO2 Incorp. Total (Kg)	Energia Incorp. Total (MJ)
Stud Wall com 15c	145,553	2100	3,457 m <sup>3</sup>	503,231	7260,489
Stud Wall com 15c	145,553	2100	3,449 m <sup>3</sup>	502,041	7243,311
Stud Wall com 15c	145,553	2100	0,565 m <sup>3</sup>	82,170	1185,520
Stud Wall com 15c	145,553	2100	3,714 m <sup>3</sup>	540,613	7799,817
Stud Wall com 15c	145,553	2100	0,733 m <sup>3</sup>	106,663	1538,905
Stud Wall com 15c	145,553	2100	2,489 m <sup>3</sup>	362,320	5227,453
Stud Wall com 15c	145,553	2100	1,589 m <sup>3</sup>	231,220	3335,974
Stud Wall com 15c	145,553	2100	1,064 m <sup>3</sup>	154,797	2233,368
Stud Wall com 15c	145,553	2100	3,146 m <sup>3</sup>	457,900	6606,460
Stud Wall com 15c	145,553	2100	0,126 m <sup>3</sup>	18,320	264,316
Stud Wall com 15c	145,553	2100	2,318 m <sup>3</sup>	337,345	4867,121

Fonte: Autor (2017)

A tabela 6 abaixo foi exportada para o *Excel* afim de exibir mais claramente todos os itens e somatória total das emissões. Na tabela 6 constam todas as emissões por paredes em toda a construção. Sendo para somatório total de CO<sub>2</sub> incorporado e energia total incorporada os valores de 17659,65 Kg e 254788,70 MJ, respectivamente.

Tabela 6 - CO<sub>2</sub> e Energia Incorporada por Alvenarias

Tabela de parede					
Tipo	CO2 Incorporado (Kg/m3)	Energia Incorporada (MJ/m3)	Volume	CO2 Incorp. Total (Kg)	Energia Incorp. Total (MJ)
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	3,457 m <sup>3</sup>	503,231	7260,489
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	3,449 m <sup>3</sup>	502,041	7243,311
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,565 m <sup>3</sup>	82,17	1185,52
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	3,714 m <sup>3</sup>	540,613	7799,817
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,733 m <sup>3</sup>	106,663	1538,905
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	2,489 m <sup>3</sup>	362,32	5227,453
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,589 m <sup>3</sup>	231,22	3335,974
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,064 m <sup>3</sup>	154,797	2233,368
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	3,146 m <sup>3</sup>	457,9	6606,46
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,126 m <sup>3</sup>	18,32	264,316
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	2,318 m <sup>3</sup>	337,345	4867,121
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,350 m <sup>3</sup>	196,497	2835
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	3,163 m <sup>3</sup>	460,346	6641,756
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	3,331 m <sup>3</sup>	484,794	6994,48
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,508 m <sup>3</sup>	73,948	1066,905
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,715 m <sup>3</sup>	249,64	3601,742
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,283 m <sup>3</sup>	186,693	2693,552
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,120 m <sup>3</sup>	17,427	251,436
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,044 m <sup>3</sup>	151,903	2191,612
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,778 m <sup>3</sup>	113,297	1634,615
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,603 m <sup>3</sup>	233,329	3366,413
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,216 m <sup>3</sup>	176,951	2552,997
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,899 m <sup>3</sup>	276,433	3988,302
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,259 m <sup>3</sup>	183,322	2644,928
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	3,556 m <sup>3</sup>	517,618	7468,055
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	2,215 m <sup>3</sup>	322,372	4651,098
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	2,084 m <sup>3</sup>	303,37	4376,946
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	2,435 m <sup>3</sup>	354,364	5112,663
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	4,220 m <sup>3</sup>	614,167	8861,04
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,508 m <sup>3</sup>	73,948	1066,905
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	4,202 m <sup>3</sup>	611,645	8824,656
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,785 m <sup>3</sup>	114,227	1648,032
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	2,420 m <sup>3</sup>	352,255	5082,236
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,565 m <sup>3</sup>	82,188	1185,791
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	3,169 m <sup>3</sup>	461,276	6655,171
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,147 m <sup>3</sup>	21,332	307,779
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,985 m <sup>3</sup>	288,851	4167,467
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,877 m <sup>3</sup>	273,17	3941,229
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	3,105 m <sup>3</sup>	451,945	6520,549
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	3,048 m <sup>3</sup>	443,592	6400,032
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,551 m <sup>3</sup>	80,167	1156,632
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,928 m <sup>3</sup>	280,61	4048,562
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,416 m <sup>3</sup>	206,086	2973,354
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,111 m <sup>3</sup>	16,212	233,897
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,044 m <sup>3</sup>	151,903	2191,613
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,660 m <sup>3</sup>	96,11	1386,655
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,411 m <sup>3</sup>	205,328	2962,425
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,108 m <sup>3</sup>	161,208	2325,863
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,712 m <sup>3</sup>	249,202	3595,422
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,320 m <sup>3</sup>	192,061	2771,006
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	4,718 m <sup>3</sup>	686,691	9907,389
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	2,567 m <sup>3</sup>	373,68	5391,355
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	3,134 m <sup>3</sup>	456,223	6582,261
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,599 m <sup>3</sup>	232,685	3357,121
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,484 m <sup>3</sup>	215,928	3115,35
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,096 m <sup>3</sup>	159,472	2300,822
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,584 m <sup>3</sup>	85,071	1227,386
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,376 m <sup>3</sup>	54,764	790,115
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,515 m <sup>3</sup>	75,021	1082,379
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,622 m <sup>3</sup>	90,533	1306,183
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	1,821 m <sup>3</sup>	265,029	3823,77
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,191 m <sup>3</sup>	27,751	400,384
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,395 m <sup>3</sup>	57,478	829,271
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,300 m <sup>3</sup>	43,666	630
Stud Wall com 15cm esp.	145,553	2100	0,205 m <sup>3</sup>	29,845	430,6
Stud Wall com 20cm esp.	145,553	2100	7,001 m <sup>3</sup>	1019,071	14702,887
Stud Wall com 20cm esp.	145,553	2100	5,224 m <sup>3</sup>	760,333	10969,876
Total geral				17659,648	254788,699

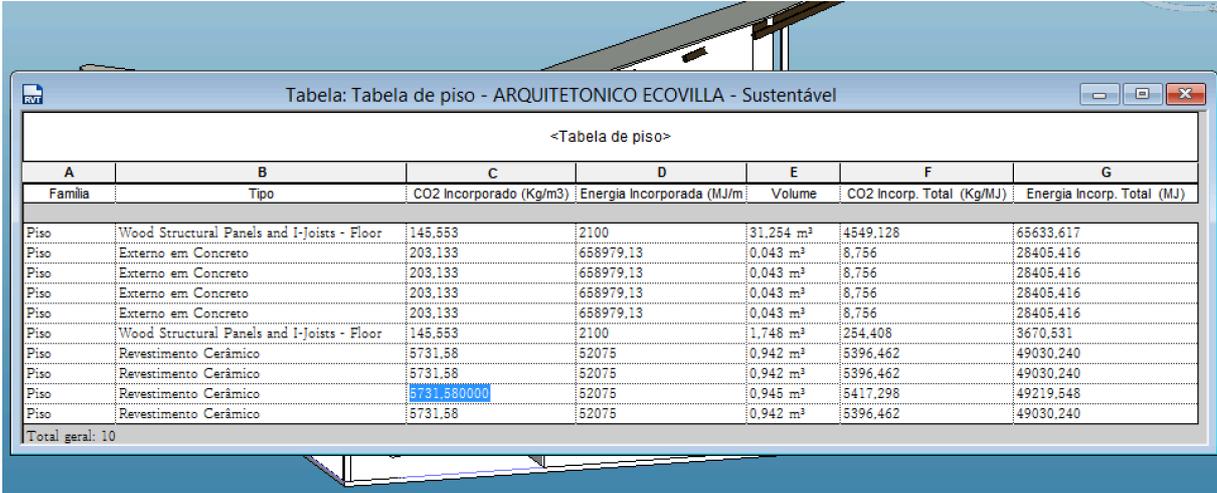
Fonte: Autor (2017)

### 5.3.2 Família Pisos

Continuando com o processo, após ser feita a análise da *família* parede, deu-se início aos cálculos da *família* piso, afim de quantificar os índices CO<sub>2</sub> incorporado total e energia total incorporada nessa família. Assim como ocorreu com a parede, na *família* piso o conjunto também foi modelado como um componente só, não sendo possível quantificar os valores separadamente de cada material componente do piso ou laje.

Para o piso, o autor considerou *Wood Structural Panels* com *I-joists* como vigas, constituindo assim um piso totalmente em madeira. Também foi usado revestimento cerâmico para as áreas molhadas, e concreto para as áreas externas. Levando em consideração a volumetria de cada componente e os índices de CO<sub>2</sub> e energia incorporados em cada um deles, foi possível calcular as emissões totais (desconsiderando alguns componentes e revestimento) da família piso. Feito a análise foi possível obter os valores ilustrados na figura 11 abaixo.

Figura 11 - CO<sub>2</sub> e energia incorporada na família Piso



The image shows a screenshot of a software window titled "Tabela: Tabela de piso - ARQUITETONICO ECOVILLA - Sustentável". The window displays a table with the following data:

<Tabela de piso>						
A	B	C	D	E	F	G
Família	Tipo	CO2 Incorporado (Kg/m3)	Energia Incorporada (MJ/m)	Volume	CO2 Incorp. Total (Kg/MJ)	Energia Incorp. Total (MJ)
Piso	Wood Structural Panels and I-joists - Floor	145,553	2100	31,254 m <sup>3</sup>	4549,128	65633,617
Piso	Externo em Concreto	203,133	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	8,756	28405,416
Piso	Externo em Concreto	203,133	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	8,756	28405,416
Piso	Externo em Concreto	203,133	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	8,756	28405,416
Piso	Externo em Concreto	203,133	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	8,756	28405,416
Piso	Wood Structural Panels and I-joists - Floor	145,553	2100	1,748 m <sup>3</sup>	254,408	3670,531
Piso	Revestimento Cerâmico	5731,58	52075	0,942 m <sup>3</sup>	5396,462	49030,240
Piso	Revestimento Cerâmico	5731,58	52075	0,942 m <sup>3</sup>	5396,462	49030,240
Piso	Revestimento Cerâmico	5731,580000	52075	0,945 m <sup>3</sup>	5417,298	49219,548
Piso	Revestimento Cerâmico	5731,58	52075	0,942 m <sup>3</sup>	5396,462	49030,240
Total geral: 10						

Fonte: Autor (2017)

A tabela 7 gerada foi exportada para o *Excel* afim de exibir claramente todos os itens e somatória total das emissões. Na tabela 7 constam todas as emissões por volume de piso em toda a construção. Sendo para somatório total de CO<sub>2</sub> total incorporado e energia total incorporada os valores de 26445,244 Kg e 379236,08 MJ, respectivamente.

Tabela 7 - CO<sub>2</sub> e Energia Incorporada por pisos

Família	Tipo	CO2 Incorporado (Kg/m3)	Energia Incorporada (MJ/m3)	Volume	CO2 Incorp. Total (Kg)	Energia Incorp. Total (MJ)
Piso	Wood Structural Panels and I-Joists - Floor	145,553	2100	31,254 m <sup>3</sup>	4549,128	65633,617
Piso	Externo em Concreto	203,133	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	8,756	28405,416
Piso	Externo em Concreto	203,133	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	8,756	28405,416
Piso	Externo em Concreto	203,133	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	8,756	28405,416
Piso	Externo em Concreto	203,133	658979,13	0,043 m <sup>3</sup>	8,756	28405,416
Piso	Wood Structural Panels and I-Joists - Floor	145,553	2100	1,748 m <sup>3</sup>	254,408	3670,531
Piso	Revestimento Cerâmico	5731,58	52075	0,942 m <sup>3</sup>	5396,462	49030,24
Piso	Revestimento Cerâmico	5731,58	52075	0,942 m <sup>3</sup>	5396,462	49030,24
Piso	Revestimento Cerâmico	5731,58	52075	0,945 m <sup>3</sup>	5417,298	49219,548
Piso	Revestimento Cerâmico	5731,58	52075	0,942 m <sup>3</sup>	5396,462	49030,24
Total geral					26445,244	379236,08

Fonte: Autor (2017)

### 5.3.3 Família Telhado

Continuando com o processo, após ser feita a análise da *família* parede e *família* piso foi executada a *família* telhado, afim de quantificar os índices CO<sub>2</sub> incorporado total e energia total incorporada nessa família. Assim como ocorreu com a parede e com o piso, na *família* telhado o escopo também foi modelado como um componente só, não sendo possível quantificar os valores separadamente de cada material componente do telhado, como as terças, calhas caibros e vigotas, nos deixando apenas com a modelagem das telhas. Sendo assim, desconsideraremos os revestimentos todo o restante, sendo que os mesmos não foram considerados na modelagem do escopo, se tornando inviável então a análise dos mesmos.

Para o telhado o autor considerou a telha cerâmica, tendo em vista que a mesma incorpora menos CO<sub>2</sub> do que a telha de fibrocimento, entretanto, a mesma incorpora um pouco mais de energia em sua fabricação. Na figura 12 abaixo estão evidenciados os montantes emitidos pela telha cerâmica.

Figura 12 - CO<sub>2</sub> e energia incorporada na família telhado

A	B	C	D	E	F	G
Tipo	CO2 Incorporado (Kg/m2)	Energia Incorporada (MJ/m3)	Área	Volume	CO2 Incorp. Total (Kg)	Energia Incorp. Total (MJ)
Telha Cerâmica	4,055878	10260	73,44 m <sup>2</sup>	3,672 m <sup>3</sup>	297,85	37669,773
Telha Cerâmica	4,055878	10260	45,29 m <sup>2</sup>	2,264 m <sup>3</sup>	183,69	23226,047
Telha Cerâmica	4,055878	10260	87,33 m <sup>2</sup>	4,366 m <sup>3</sup>	354,19	44795,032
Telha Cerâmica	4,055878	10260	30,00 m <sup>2</sup>	1,500 m <sup>3</sup>	121,66	15385,072
Telha Cerâmica	4,055878	10260	81,57 m <sup>2</sup>	4,077 m <sup>3</sup>	330,84	41833,825

Fonte: Autor (2017)

A tabela 8 foi gerada e exportada para o *Excel* afim de exibir claramente todos os itens e somatória total das emissões. Na tabela 8 constam todas as emissões por

volume e área de telhado em toda a construção. Sendo para somatório total de CO<sub>2</sub> total incorporado e energia total incorporada os valores de 1589,76 Kg e 201040,949 MJ, respectivamente.

Tabela 8 - CO<sub>2</sub> e Energia Incorporada por telhado

Tabela de telhado						
Tipo	CO2 Incorporado (Kg/m2)	Energia Incorporada (MJ/m3)	Área	Volume	CO2 Incorp. Total (Kg)	Energia Incorp. Total (MJ)
Telha Cerâmica	4,055878	10260	73,44 m <sup>2</sup>	3,672 m <sup>3</sup>	297,85	37669,773
Telha Cerâmica	4,055878	10260	45,29 m <sup>2</sup>	2,264 m <sup>3</sup>	183,69	23226,047
Telha Cerâmica	4,055878	10260	87,33 m <sup>2</sup>	4,366 m <sup>3</sup>	354,19	44795,032
Telha Cerâmica	4,055878	10260	30,00 m <sup>2</sup>	1,500 m <sup>3</sup>	121,66	15385,072
Telha Cerâmica	4,055878	10260	81,57 m <sup>2</sup>	4,077 m <sup>3</sup>	330,84	41833,825
Telha Cerâmica	4,055878	10260	74,34 m <sup>2</sup>	3,716 m <sup>3</sup>	301,53	38131,2
Total geral: 12					1589,76	201040,949

Fonte: Autor (2017).

### 5.3.4 Composição Final da Matriz Energética do Modelo Sustentável

Juntando as três *famílias* mais importantes da edificação, parede, piso e telhado que constituem a edificação, e através dos dados isolados de cada família, os juntamos em única tabela afim de somar as três e ter conhecimento do montante total de CO<sub>2</sub> total incorporado e energia total incorporada. Partindo desse ponto, as três tabelas foram juntadas no Excel para demonstrar os valores totais. Lembrando ainda que há como juntar as famílias no Revit, combinando-as, porém, devido alguns erros na modelagem, não foi possível fazê-las no software.

A tabela 9 abaixo ilustra os montantes totais de CO<sub>2</sub> total incorporado e energia total incorporada em toda o Modelo Sustentável. Tendo para CO<sub>2</sub> total incorporado e energia total incorporada os valores 45694,654 Kg e 835065,729 MJ, respectivamente.

Tabela 9 - Montantes CO2 total incorporado e energia incorporada no modelo

Montantes Totais de CO2 incorporado e energia incorporada no modelo		
Familia	CO2 Incorp. Total (Kg/MJ)	Energia Incorp. Total (MJ)
Paredes	17659,65	254788,7
Piso	26445,244	379236,08
Telhado	1589,76	201040,949
Total	45694,654	835065,729

Fonte: Autor (2017).

### 5.4 Análise comparativa dos modelos

Em relação a análise, quando olhando para as duas: projeto econômico e

projeto sustentável, podemos afirmar, ao analisar suas matrizes, que a casa sustentável é a que menos impacta o meio ambiente em quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> uma vez que a mesma produz uma matriz mais limpa. O índice de CO<sub>2</sub> incorporado no projeto econômico gira em torno de 172572,617 Kg de CO<sub>2</sub> já o projeto que adotou alguns materiais sustentáveis produziu em torno de 45694,654 Kg de CO<sub>2</sub>. Se dividirmos o primeiro pelo segundo temos uma razão na ordem de aproximadamente 3,77 vezes mais poluente que o modelo sustentável, ou seja, uma HIS hoje no Brasil emite números alarmantes de CO<sub>2</sub> sendo que a realidade poderia ser diferente se uma análise como a feita nessa pesquisa fosse considerada como padrão pelas autoridades competentes.

Quando analisamos as duas, quanto ao índice de energia incorporada, é notório, também, que a composição da matriz energética gerada para índices de energia incorporada apresenta uma diferença grande de um modelo para o outro. O modelo econômico, por exemplo, apresenta um índice com o valor 1715403,22 MJ de energia incorporada, enquanto o modelo sustentável apresentou valores de aproximadamente 835065,729 MJ de energia incorporada. A diferença entre índices de energia incorporada de um modelo para o outro é expressiva, e alcança a ordem de 2,05 vezes a mais de energia incorporada no modelo econômico, em relação ao modelo sustentável.

Essa diferença expressiva dos índices de CO<sub>2</sub> e energia incorporados na edificação pode ser explicado pela escolha do material para compor a edificação. Obviamente, uma matriz que dispõe de valores menores, terá um produto menor. E não é diferente na matriz energética de uma edificação, quando maximizamos o uso de materiais sustentáveis, e minimizamos gastos energéticos desnecessários, têm-se então uma matriz energética mais limpa.

Conclui-se então, que a análise da eficiência energética por CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada é de fato uma análise efetiva, garantindo que seu uso possa ser tomado como uma diretriz sustentável confiável que contribui com redução de impactos ambientais causados por edificações que usam materiais sem critérios sustentáveis. O modelo de análise proposto na pesquisa, foi considerada pelo autor como um modelo de análise efetivo, embora a análise usando o projeto da ECOVILLA não tenha sido cem por cento efetiva devido a modelagem.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando o processo realizado na presente pesquisa é possível afirmar que a análise da eficiência energética por CO<sub>2</sub> incorporado e energia incorporada é pouco praticada ou na maioria das vezes desconsidera pelo profissional projetista da construção civil, visto que a análise requer, acima de tudo, tempo a ser gasto na modelagem e escolha de materiais. Além da modelagem, podemos dizer que o adicional de custo também é um diferencial quando cogitada ou não esse tipo de análise, uma vez que, o custo está diretamente ligado a modelagem; por exemplo, um profissional não dedicará semanas na modelagem, construindo camadas por camadas dos componentes da edificação “apenas” para garantir a efetividade de uma análise que não o trará ganho direto, monetariamente falando.

Pode-se afirmar que os profissionais da construção civil ainda então muito focados no visual, o que impede o próprio profissional de ir além quando se trata da modelagem do escopo, afetando assim quaisquer análises que dependam diretamente da modelagem. Essa preocupação com apenas o visual tem impedido diversos profissionais a incorporarem o conceito BIM em seus projetos, uma vez que a alma do conceito é justamente o tempo, a modelagem e o planejamento na fase pré-operacional.

Percebeu-se ainda, que o processo possibilita sim, uma análise efetiva da eficiência energética da edificação, bem como a escolha de materiais mais sustentáveis. Porém, a análise está diretamente ligada a pesquisas preliminares que quantifiquem CO<sub>2</sub> e energia incorporada em cada um dos materiais, o que dificulta em muito a efetividade da análise e a diversidade no momento da escolha do material sustentável, pois não se pode encontrar esses índices de emissões e incorporadores com tanta facilidade para todos os materiais disponíveis no mercado, principalmente aqueles tidos como sustentáveis.

O uso de BIM foi fundamental para a elaboração da pesquisa, pois o conceito contribuiu na modelagem do projeto da ECOVILLA, contendo na mesma plataforma: modelagem 3D, característica dos materiais e quantitativos; possibilitando assim, abrir mão do uso de 3 ferramentas distintas para a realização da análise, tendo leitura de todas as informações necessárias para o projeto em apenas uma ferramenta. Ao contrário do que muitos pensam, o conceito BIM não é apenas interoperabilidade (compatibilidade/troca de informações com outra ferramenta). O

Conceito BIM parte inicialmente da modelagem e conversa de todas as informações em uma única plataforma. Essa facilidade de manter todas as informações, seja dos materiais ou das características dos mesmos, contribuiu diretamente para aplicação da análise, fazendo com que seja possível usar o conceito para viabilizar o espaço, facilitar o uso de diretrizes sustentabilidade em HIS e melhorar o padrão das mesmas no Brasil, visto que, com o conceito podemos delimitar materiais e dispormos de informações de custo para esse tipo de projeto, tudo isso em um único modelo, procurando um equilíbrio entre os dois pontos mais críticos da habitação social, que é o custo e a qualidade, sendo o custo o principal fator que enfraquece o uso de padrões sustentáveis em HIS.

É importante pontuar ainda, que o principal fator determinante da efetividade total da análise chama-se: modelagem. Deve-se gastar a maior parte da parte pré-operacional modelando o escopo com todas as informações possíveis e substituindo aquelas que são inviáveis de serem feitas, pois se há falha na modelagem, possivelmente haverá falha ou perda na efetividade da análise.

Faz-se necessário lembrar, também, que a aplicação principal do conceito BIM está justamente na fase de modelagem. Tendo em vista que na modelagem haverá conversa e integrações de várias informações, que é crucial para a análise, uma vez que a mesma necessita de informações para ser processada, informações essas que são inseridas durante a própria modelagem, em cada material que compõe, irá compor, ou que se deseja analisar. Com uso do conceito BIM foi possível alimentar o software com diversas informações, e ter integração entre as mesmas, fazendo-se possível usar essas informações para processar análise. Sem um software de conceito BIM, com integração e leitura de informações distintas em uma mesma plataforma seria inviável a análise, fazendo com que o profissional tivesse que construir tabelas e usar mais de uma plataforma para efetuar tal análise, e que poderia também, conter mais erros já que todo o processo seria manual.

Ressalta-se também que a análise é importantíssima para o futuro da indústria da construção civil, bem como, para garantir avanços sustentáveis, tanto na indústria da construção civil, quanto em projetos de interesse social. A importância da análise foi atestada quando comprovou-se ser possível usá-la para selecionar o material que irá compor a edificação. Ou seja, a análise pode, futuramente, ser implementada como padrão para aprovação de projeto, contribuindo para redução de emissões de CO<sub>2</sub>, para avanço de padrões sustentáveis e principalmente como

um meio de forçar a indústria de materiais de construção civil a se reciclarem, uma vez que, ao adotar a análise, alguns materiais que incorporam altos índices de energia e CO<sub>2</sub> cairão em desuso, levando a indústria de materiais a investirem em pesquisas e busca por materiais sustentáveis.

Este trabalho pode contribuir para futuros estudos no conceito da análise da eficiência energética. É importante pontuar que há universidades da Europa, como a Universidade de Bath, na cidade de Bath, no Reino Unido, onde, laboratórios especializados dentro do próprio campus investem em pesquisas para quantificar índices de energia e CO<sub>2</sub> incorporados em diferentes materiais, principalmente em materiais sustentáveis. Laboratórios como esses poderiam, futuramente, serem instalados no CEULP. A instalação de um laboratório dessa magnitude e que invista nessa linha de pesquisa, na instituição, contribuiria em muito na continuidade dessa pesquisa, onde, através do mesmo, seria possível quantificar índices de energia e CO<sub>2</sub> incorporados em materiais sustentáveis locais e inúmeros outros, os quais não constam na literatura atual. A partir da contribuição de tais laboratórios e das análises feitas por eles seria possível maximizar a gama de opções de materiais verdadeiramente sustentáveis que pudessem compor uma matriz energética de uma edificação mais limpa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAUER, L. A. F. *Materiais de construção*. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008.

BERGE, Bjorn. **The ecology of building materials**. Routledge, 2000.

BERGE, Bjorn. **The ecology of building materials**. Routledge, 2009.

COSTA, M - **Novos produtos para a reabilitação sustentável de edifícios de habitação**. Tese de Mestrado, FCT-UNL, Lisboa, 2010.

COUTINHO, Joana de Sousa. *Materiais de construção 2-1ª parte—ligantes e caldas*. **Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto**, 2006.

EASTMAN, C. M et al. **Manual de BIM**. Porto Alegre: Bookman Editora LTDA., 2014. p.65

EASTMAN, Chuck et al. **Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Bookman Editora, 2014.

FARIAS, Valéria Cristina; REI, Fernando. ECONOMIA VERDE E MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: DELINEAMENTOS E REFLEXÕES. **ENERGIA E MEIO AMBIENTE**, p. 9.

GRAF, H. F; MARCOS, M. H. C; TAVARES, S. F; SCHEER S. **Estudo de viabilidade do uso de BIM para mensurar impactos ambientais de edificações por energia incorporada e CO2 incorporado**. 2014. Disponível em: < <http://www.infohab.org.br/entac2014/2012/docs/1482.pdf> >. Acesso em: 18 ago. 2016.

GRAF, Helena Fernanda et al. Estudo de viabilidade do uso de BIM para mensurar impactos ambientais de edificações por energia incorporada e CO2 incorporado. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 14, p. 3571-3577, 2012.

HAGEMANN, Sabrina Elicker. *Materiais de Construção Básicos*. 2009.

JOKELA, M.; LAINE, T.; HÄNNINEN, R. COBIM-Common BIM Requirements 2012. **Series 12-Use of models in facility management**, 2012.

LAUSTSEN, Jens. Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings. **International Energy Agency (IEA)**, p. 477-488, 2008.

MARCOS, M. H. C. **Análise da emissão de CO<sup>2</sup> edificações através do uso de uma ferramenta CAD-BIM**. 2009. Disponível em: < <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.604.56&rep=rep1&type=pdf> >. Acesso em: 23 ago. 2016

MATEUS, Susana Vanessa Neves. **Construção sustentável-materiais eco-eficientes para a melhoria do desempenho de edifícios**. 2012. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

MONICH, Carla R.; TAVARES, Sergio F. Energia e co2 embutidos na fabricação dos materiais de construção: panorama atual no brasil e exterior. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 2010.

PEREIRA, Thulio Cícero Guimarães. **Energias renováveis: políticas públicas e planejamento energético**. Edição digital. 2014.

**Portal da construção sustentável**. Portugal, s/d. Disponível em: <[http://www.csustentavel.com/index\\_cat.php?cat=14](http://www.csustentavel.com/index_cat.php?cat=14)> Acesso em: 17 de out. 2016

POSTAY, R; KERN, A. P; MANCIO, M; GONZÁLEZ, M. A. S; SCHNECK, E. R; HEHN, A. V. **A relação entre compacidade de prédios e montante de energia incorporada e emissões de CO<sup>2</sup> em EHIS**. 2014. Disponível em: <[http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper\\_401.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_401.pdf) >. Acesso em: 20 ago. 2016.

POSTAY, Renata. **Correlação entre compacidade, energia incorporada e emissões de CO<sub>2</sub>, em projetos de habitação de interesse social**. 2015. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/4690> >. Acesso em: 23 ago. 2016.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013. 276 p.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. Cortez editora, 2014.

STACHERA, T. J.; CASAGRANDE, E. Avaliação de emissões de CO<sub>2</sub> na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. **IX ENGEMA— Encontro Nacional sobre Gestão e Meio Ambiente, Curitiba**, 2007.

TAVARES, Sérgio Fernando et al. Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras. 2006.

TAVARES, Sergio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2006.