



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica
Programa de Engenharia Urbana

Laura do Carmo Baumgratz de Paula Larivoir

A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS BIM NA FASE DE PROJETO DE EDIFICAÇÕES
PARA ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS DOS MATERIAIS DE
CONSTRUÇÃO

Rio de Janeiro
2017



UFRJ

Laura do Carmo Baumgratz de Paula Larivoir

A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS BIM NA FASE DE PROJETO DE EDIFICAÇÕES
PARA ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS DOS MATERIAIS DE
CONSTRUÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: José Luis Menegotto

Rio de Janeiro

2017

Larivoir, Laura do Carmo Baumgratz de Paula.

A utilização de sistemas BIM na fase de projeto de edificações para análise de impactos ambientais dos materiais de construção.– 2017.

95 f.: 14 il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) –
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica,
Programa de Engenharia Urbana, Rio de Janeiro, 2017.

Orientador: José Luis Menegotto

1. BIM 2. ACV 3. Construções Sustentáveis



UFRJ

A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS BIM NA FASE DE PROJETO DE EDIFICAÇÕES
PARA ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS DOS MATERIAIS DE
CONSTRUÇÃO

Laura do Carmo Baumgratz de Paula Larivoir

Orientador: José Luis Menegotto

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Urbana da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Aprovada pela Banca:

Presidente, Prof. José Luis Menegotto, D.Sc., PEU/POLI/UFRJ

Prof.^a Gisele Silva Barbosa, D.Sc., PEU/POLI/UFRJ

Prof. Pedro Kopschitz Xavier Bastos, PhD, PEC/UFJF

Rio de Janeiro
2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Vânia e Rogério, e ao meu irmão, Pedro, pelos exemplos de caráter, determinação e competência como pessoas e profissionais. Ao Igor, pelo carinho e incentivo constante na busca dos meus objetivos. À minha filha, Maria, por iluminar os meus dias. Aos Professores Pedro Kopschitz Xavier Bastos e José Luis Menegotto pela paciência, dedicação e ensinamentos. Ao escritório 24.7 por ceder o projeto utilizado para o estudo e ao Prof. Mauricio Leonardo Aguilar Molina por me permitir utilizar o laboratório para realizar as análises computacionais.

RESUMO

LARIVOIR, Laura C. B. Paula. **A utilização de sistemas BIM na fase de projeto de edificações para análise de impactos ambientais dos materiais de construção**. Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

A construção civil é um dos setores mais importantes para a economia e o desenvolvimento de um país, porém, os impactos ambientais gerados por ela também são enormes. Dentre eles, podemos citar as mudanças climáticas, o uso de recursos naturais, o consumo de energia, a geração de resíduos e a poluição do ar. A análise do ciclo de vida (ACV) tem como objetivo principal identificar oportunidades para a melhoria do meio ambiente, detectando as áreas com os impactos mais significativos. Através da ACV é possível selecionar a melhor tecnologia disponível e minimizar o impacto ambiental dos edifícios através das decisões tomadas no projeto. O uso de ferramentas computacionais permite uma maior adequação do projeto à sustentabilidade, buscando um impacto positivo no meio-ambiente. Os sistemas BIM permitem analisar várias dimensões do empreendimento, considerando, simultaneamente, o desempenho energético, conforto, processos construtivos e custos, possibilitando oferecer diretrizes aos projetistas na escolha dos materiais. Este trabalho apresenta uma metodologia que integra ferramentas BIM e ACV para a elaboração de projetos de construção sustentável. A metodologia descreve o desenvolvimento e implementação de um modelo que incorpora à ferramenta Revit® Architecture dados sobre ACV. O objetivo desse modelo é simplificar o processo de criação de projetos sustentáveis e de avaliar os impactos ambientais das edificações na fase conceitual. Um objeto de estudo é apresentado de modo a ilustrar a utilidade e as capacidades do modelo desenvolvido, bem como a comparar os diferentes métodos construtivos.

Palavras-chave: BIM; ACV; construções sustentáveis.

ABSTRACT

LARIVOIR, Laura C. B. Paula. **The use of BIM systems in the design phase of buildings for the analysis of environmental impacts of construction materials.** Rio de Janeiro, 2017. Dissertation (Master) - Urban Engineering Program, Polytechnic School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The construction industry is one of the most important sectors for the economy and the development of a country but it causes enormous environmental impacts. Among them we can mention climate change, the use of natural resources, energy consumption, waste generation and air pollution. The life-cycle assessment (LCA) aims to identify opportunities for improving the environment, detecting the areas with the most significant impacts. By LCA you can select the best available technology and minimize the environmental impact of buildings through the decisions taken in the project. The use of computational tools allows for greater adequacy of project sustainability, seeking a positive impact on the environment. BIM systems allow us to analyze various dimensions of development, while considering the energy performance, comfort, construction processes and costs, allowing designers to provide guidance in the choice of materials. The aim of this paper is to present a methodology that integrates BIM and LCA tools for the development of sustainable construction projects. The methodology describes the development and implementation of a model that incorporates the Revit® Architecture tool data on LCA. The purpose of this model is to simplify the process of creating sustainable projects and to assess the environmental impacts of buildings in the conceptual phase. A study object is presented to illustrate the usefulness and capabilities of the developed model, as well as comparisons between different construction methods and the impact they had on sustainability parameters.

Keywords: BIM, life cycle assessment, sustainable construction.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 METODOLOGIA.....	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
2.2 <i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> (BIM).....	25
2.2.1 O BIM NO PROCESSO DE PROJETO	31
2.2.2 GREEN BIM	36
2.2.3 REVIT.....	38
2.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA	39
2.3.1 MÉTODOS CONSTRUTIVOS	52
2.3.2 BASES DE DADOS E FERRAMENTAS DE CÁLCULO	54
3. ESTUDO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL UTILIZANDO FERRAMENTA BIM.....	58
3.1 METODOLOGIA	58
3.2 RESULTADOS E ANÁLISE	74
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
CONSIDERAÇÕES FINAIS	94

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - CONTRIBUIÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂ ASSOCIADAS COM A MANUFATURA DE MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A CONSTRUÇÃO DE 1M ²	53
GRÁFICO 2 - CONTRIBUIÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA PRIMÁRIA ASSOCIADAS COM A MANUFATURA DE MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A CONSTRUÇÃO DE 1M ²	53
GRÁFICO 3 - ESTUDO DE CASO 1: CO ₂ INCORPORADO POR MATERIAL	78
GRÁFICO 4 - ESTUDO DE CASO 1: ENERGIA INCORPORADA POR MATERIAL	78
GRÁFICO 5 - PERCENTUAL DE ENERGIA INCORPORADA POR MATERIAIS EM % (ESTUDO DE CASO 1).....	79
GRÁFICO 6 - PERCENTUAL DE CO ₂ INCORPORADO POR MATERIAIS EM % (ESTUDO DE CASO 1).....	80
GRÁFICO 7- ESTUDO DE CASO 2: CO ₂ INCORPORADO POR MATERIAL	81
GRÁFICO 8- ESTUDO DE CASO 2: ENERGIA INCORPORADA POR MATERIAL	81
GRÁFICO 9 - PERCENTUAL DE ENERGIA INCORPORADA POR MATERIAIS EM % (ESTUDO DE CASO 2).....	82
GRÁFICO 10 - PERCENTUAL DE CO ₂ INCORPORADO POR MATERIAIS EM % (ESTUDO DE CASO 2).....	82

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ABRANGÊNCIA DO CICLO DE VIDA DO BIM	25
FIGURA 2 - ORGANOGRAMA GENÉRICO DA EQUIPE TRADICIONAL DE PROJETO.....	32
FIGURA 3 - FASES DE UMA ACV.	41
FIGURA 4- ESQUEMA DO CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO.....	44
FIGURA 5 - CICLO DE VIDA DA EDIFICAÇÃO.....	48
FIGURA 6 - EVOLUÇÃO DA ENERGIA INCORPORADA E ENERGIA OPERACIONAL NA FRANÇA DEVIDO ÀS RT's.....	50
FIGURA 7 - INFLUÊNCIA DAS DECISÕES DE DESIGN NOS IMPACTOS E CUSTOS DO CICLO DE VIDA.....	51
FIGURA 8 – PLANTA BAIXA DE IMPLANTAÇÃO.....	64
FIGURA 9 - FACHADA DA CASA.....	65
FIGURA 10 - PLANTA BAIXA DA CASA DE DOIS DORMITÓRIOS.	66
FIGURA 11 – CORTES BIOCLIMÁTICOS.....	67
FIGURA 12- CORTES BIOCLIMÁTICO (CONTINUAÇÃO)	68
FIGURA 13- CORTES BIOCLIMÁTICO (CONTINUAÇÃO)	68
FIGURA 14 - PASSOS PARA A COMPUTAÇÃO DA ENERGIA E CO ₂ INCORPORADO	69
FIGURA 15 - CRIAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO	70
FIGURA 16 - CRIAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO (CONTINUAÇÃO)	71
FIGURA 17 - CRIAÇÃO DE TABELA DE LEVANTAMENTO DE MATERIAIS (PAREDE).....	71
FIGURA 18 - CRIAÇÃO DE TABELAS DE LEVANTAMENTO DE MATERIAIS (FÓRMULAS).....	72
FIGURA 19 - PROPRIEDADES DA TABELA: VALOR CALCULADO MASSA (KG)	72
FIGURA 20 - PLANTA BAIXA NO REVIT®.....	75
FIGURA 21 - PERSPECTIVA DA RESIDÊNCIA NO REVIT®.	76

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - PRINCIPAIS CATEGORIAS DE IMPACTOS AMBIENTAIS PARA METODOLOGIA DE ACV NAS CONSTRUÇÕES BRASILEIRAS	24
QUADRO 2 - BENEFÍCIOS DO BIM	28
QUADRO 3 - PRINCIPAIS BASES DE DADOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	56
QUADRO 4 - PRINCIPAIS <i>SOFTWARE</i> DE AVALIAÇÃO DE PERFORMANCE EM TERMOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DENSIDADE DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	59
TABELA 2- ENERGIA EMBUTIDA (EE) EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO BRASILEIROS.....	60
TABELA 3 - CONSUMO PRIMÁRIO DE ENERGIA POR FONTES (% MJ) EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	61
TABELA 4 - GERAÇÃO DE CO ₂ POR FONTES DE ENERGIA	61
TABELA 5 - GERAÇÃO DE CO ₂ NÃO ENERGÉTICO EM PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	62
TABELA 6 - TABELA DE LEVANTAMENTO DOS MATERIAIS.....	73
TABELA 7 - TABELA EXCEL® MODIFICADA.....	74
TABELA 8 - TABELA NO EXCEL® COM OS RESULTADOS OBTIDOS	74
TABELA 9 - QUANTITATIVOS DO ESTUDO DE CASO 1	77
TABELA 10 - QUANTITATIVOS DO ESTUDO DE CASO 2	80
TABELA 11 - COMPARATIVO DE ENERGIA E CO ₂ INCORPORADO PARA OS DOIS ESTUDOS DE CASO.....	83

1. INTRODUÇÃO

A construção civil possui um grande impacto nas três áreas da sustentabilidade. Sob o ponto de vista ambiental, os processos construtivos são responsáveis por grande parte do consumo de recursos naturais, geração de resíduos e emissões de gases. Da perspectiva econômica, a construção é essencial para o motor econômico, sendo responsável por até 10% da economia global (AGOPYAN;JOHN, 2011). O enfoque social também é primordial, uma vez que as construções são necessárias para o bem-estar, saúde e qualidade de vida das pessoas e são uma característica fundamental no ambiente urbano (ANTÓN; DÍAZ, 2014).

Atualmente mais da metade da população mundial vive nas cidades, a maioria em conurbações com mais de um milhão de habitantes. As pessoas passam 80% do seu tempo dentro de edificações e a maior parte do tempo restante em áreas urbanas poluídas. A população sedentária, distante da natureza, demanda cada vez mais espaço interno para seu conforto (EDWARDS, 2008). A qualidade do ambiente interno das edificações é primordial, devendo buscar a satisfação dos usuários. Um edifício deve ser concebido, construído e explorado para proteger seus habitantes dos rigores do clima, e lhes garantir um ambiente interno saudável e confortável, seja para habitação, trabalho ou lazer (ROULET, 2012).

O processo de urbanização das cidades teve um reflexo importante no desenvolvimento econômico e no aumento da expectativa de vida da população. Por outro lado, as cidades que antes eram sinônimo de melhores condições de vida, hoje enfrentam graves problemas como a poluição, a deterioração do meio

ambiente urbano, aumento da pobreza. A substituição da cobertura natural do solo pelo ambiente construído ocasionou profundas transformações ambientais, modificando os ecossistemas existentes e alterando os padrões de percepção do habitante. A vegetação presente nas áreas verdes condiciona a criação de ambientes termicamente favoráveis à saúde, habitabilidade e uso dos espaços urbanos. Gouveia (1999) afirma que devido a urbanização desenfreada, sem mecanismos regulatórios e de controle, típica dos países periféricos, as cidades passaram a ser ambientes de poluição, violência e pobreza, deixando de assegurar uma boa qualidade de vida e tornaram-se ambientes mais insalubres. Segundo Farr (2013:p94):

A sociedade de consumo moderna (...) explora os recursos naturais em uma taxa que a Terra não tem como sustentar. Nosso apetite por petróleo, eletricidade, mobilidade, espaços internos e bens materiais é enorme e incessante. Um consenso científico internacional inequívoco confirma que, passadas poucas gerações desde a era do petróleo, o aumento populacional resultante e o crescente impacto per capita das atividades humanas mudaram o clima da Terra.

Dentre os impactos ambientais gerados por esse setor tão importante para a economia e o desenvolvimento de um país podemos citar as mudanças climáticas, o uso de recursos naturais, o consumo de energia, a geração de resíduos e a poluição do ar. É imprescindível que mudanças sejam tomadas para tornar a construção civil mais sustentável, conciliando aspectos ambientais, econômicos e sociais.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho busca propor uma metodologia que possa ser usada para reduzir impactos ambientais e contribuir para implementação de parâmetros de sustentabilidade em edifícios na sua fase de projeto, levando em consideração os

impactos ambientais incorporados.

1.2 METODOLOGIA

A metodologia foi efetuada através da concepção e desenvolvimento de um modelo que simplifica o processo de projeto de edifícios sustentáveis, avaliando seus impactos incorporados. Através do projeto implementado no Autodesk Revit® Architecture foram levantados os quantitativos de materiais e geradas tabelas que, ao serem exportadas para o Microsoft® Excel®, permitiram calcular os quantitativos de carbono e energia incorporados dos materiais utilizados. Assim, a metodologia incorpora um modelo integrado capaz de orientar os usuários ao realizar o projeto sustentável para projetos de construção.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em países em desenvolvimento, as políticas governamentais, os níveis de conscientização da indústria e da população bem como de ações que sejam significativas na redução dos impactos ambientais, encontram-se em estágio primitivo. Esse fato pode ser constatado ao se observar o setor da construção civil brasileiro, caracterizado pelo processo artesanal de construção e em que o desperdício é uma das principais características.

Por se tratar de uma indústria com produtos baseados em projetos, com características singulares, com um longo ciclo de vida e com interesse de diversas partes, é imprescindível pensar na fase de concepção e design como o ponto de partida para obter o maior potencial do projeto, com menor custo e maior flexibilidade (ANTÓN; DÍAZ,2014).

Na fase de projetos, um dos fatores relevantes refere-se a escolha dos materiais. Nesse sentido, a utilização de materiais cuja produção e uso minimizem os impactos ambientais pode ser uma contribuição positiva no ambiente urbano. Diante deste contexto este estudo busca demonstrar a importância do projeto de forma a tornar as construções mais sustentáveis, através da aplicação de sistemas BIM. O uso de ferramentas computacionais adequadas permite maior adequação do projeto à sustentabilidade, buscando um impacto positivo no meio-ambiente sem afetar muito os custos. A integração de fatores ambientais em *software* já utilizados para outras funções facilita a maior aceitação do mercado e, possivelmente, a utilização mais ampla dos mesmos.

Este trabalho busca integrar BIM com ACV para possibilitar o projeto de construções sustentáveis na fase conceitual com ênfase nos materiais utilizados.

A implementação bem sucedida de uma determinada metodologia representa um avanço significativo na capacidade de atingir o projeto sustentável de um edifício durante os primeiros estágios para avaliar seus impactos ambientais. Desta forma, disponibiliza-se uma ferramenta confiável de avaliação para proprietários e projetistas e todos os participantes envolvidos na concepção e construção de edifícios sustentáveis.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está estruturado em quatro capítulos. O presente capítulo aborda o contexto sobre o qual é desenvolvida a pesquisa, identifica as principais lacunas de conhecimento que justificam o desenvolvimento do trabalho, bem como apresenta o objetivo, a metodologia, e a estrutura do documento.

O capítulo 2 aborda o referencial teórico, discutindo a sustentabilidade na construção civil, o BIM, e a análise do ciclo de vida.

O capítulo 3 apresenta o método de pesquisa utilizado neste trabalho. São descritas a metodologia específica, o projeto utilizado, as atividades realizadas e os resultados encontrados.

No capítulo 4, são apresentadas as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros concernente ao tema estudado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As mudanças ocasionadas pela revolução industrial (substituição do esforço físico do homem pela energia das máquinas e, posteriormente, a automação) alteraram a vida social, econômica, política e ambiental. Iniciou-se então a globalização, aumentando-se os volumes de recursos materiais e energéticos utilizados (KRUGER, 2011). O conceito de arquitetura bioclimática, e a evidência de que o modelo de desenvolvimento apresentava problema, aparece oficialmente em 1961 com o livro “*Design with Climate*”, de Victor Olgyay (AGOPYAN;JOHN, 2011). O relatório elaborado pelo Clube de Roma, “*Limits to Growth*”, publicado em 1972, preocupou a sociedade ao apresentar cenários catastróficos que a continuidade do modelo de desenvolvimento vigente faria com o planeta (KRUGER,2011).

Os acontecimentos noticiados, como as duas crises do petróleo que abalaram a principal fonte energética utilizada pela elevação dos preços, e os acidentes nucleares (Three Mile Island, em 1979, e Chernobyl, em 1986) trouxeram veracidade aos fatos apresentados nos relatórios ambientais (KRUGER, 2011). A crise energética, em decorrência do embargo do petróleo, iniciou o desenvolvimento de edifícios com baixo consumo de energia nos países desenvolvidos e a avaliação de materiais pela baixa energia incorporada, o que foi, durante anos, o único enfoque da construção civil no meio ambiente (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Apesar de ser a indústria que mais consome recursos naturais e gera resíduos, somente em meados da década de 1990 a construção civil passou a

integrar as questões de sustentabilidade. Esses resíduos eram, até então, ignorados por engenheiros e ambientalistas. Os resultados dos estudos foram surpreendentes e os pesquisadores buscam recuperar o tempo perdido.

Os países desenvolvidos, além do enfoque na questão energética (devido ao impacto nas emissões de CO₂ evidenciado pelo Protocolo de Kyoto), implementaram mudanças no processo de produção, na melhoria da qualidade do ar interno, na redução e reciclagem de resíduos, na redução de toxicidade, no uso racional da água. Surgiram novos conceitos e ferramentas, como a análise do ciclo de vida, declaração ambiental do produto, projeto integrado, introdução de novos materiais, ferramentas de simulação do comportamento dos edifícios e o planejamento urbano sustentável (PAULA, 2014).

Apesar de nos dias atuais diversos setores da economia estarem participando de um intenso processo de desenvolvimento tecnológico, na construção civil esse avanço não tem sido muito significativo no Brasil.

No intuito de tornar as cidades mais sustentáveis existem diversas escalas de intervenção: desde a redução do consumo de energia das edificações até medidas de mobilidade urbana. Vale ressaltar que para, de fato, poder classificar uma edificação como sustentável é imprescindível o fator social, os ocupantes devem ter consciência da sua importância perante à degradação ao ambiente natural, e ter atitudes condizentes com os valores de sustentabilidades aplicados na fase de projeto, execução e manutenção.

Tornar as construções mais sustentáveis implica em adotar uma visão sistêmica e uma análise do impacto ambiental de toda a cadeia produtiva: extração de matérias-primas; produção e transporte de materiais; concepção e

projetos; execução; uso e manutenção; demolição e destinação dos resíduos gerados. A fase de planejamento e as decisões de projeto, como a localização, definição de produto e especificações de materiais, tem grande impacto na sustentabilidade da construção. Dentro da cadeia produtiva, os maiores impactos ambientais ocorrem nas fases de uso e manutenção porém, ao se aplicar estratégias de sustentabilidade nas fases de concepção e projetos, é possível uma intervenção no desempenho da edificação com um menor custo de implantação.

Matos e Librelotto (2015) afirma que já é um consenso a necessidade de ir além do enfoque no conforto ambiental e na eficiência energética, devendo buscar uma abordagem abrangente. Para tal, o processo de projeto torna-se mais complexo e multidisciplinar. Muitos arquitetos têm justificado seus projetos sob a perspectiva da sustentabilidade, porém estes conceitos são empregados arbitrariamente, sem refletir num desempenho superior.

Diversos estudos de ACV demonstraram que os principais impactos da sustentabilidade nas construções ocorrem na fase de operação, o que não torna os impactos *cradle-to-gate* (impactos desde a extração dos materiais até o portão da obra) insignificantes. Na medida que a operação dos edifícios se torna mais eficiente e edifícios com baixo consumo de energia se tornam mais usuais, o percentual relativo dos impactos incorporados e da fase de construção vão aumentar (RUSSELL-SMITH; LEPECH,2015).

No intuito de reduzir o consumo de energia durante a fase de uso das edificações, têm sido utilizados materiais de energia intensiva, com uma alta energia incorporada e alta capacidade de isolamento. Para obter um melhor

resultado na edificação seria possível substituir outros materiais com alto teor de energia incorporada por materiais alternativos (IRIBARREN *et al*,2015).

Assim, é indispensável a análise do ciclo de vida das edificações, especialmente na fase de especificações de materiais, pois o impacto numa fase inicial do empreendimento (energia embutida, produção de resíduos) pode ser irreversível, bem como gerar um alto consumo de água, energia e emissões de CO₂. Desta maneira, evita-se também o “falso ecológico”, escolhas que aparentam ser sustentáveis porém apresentam um elevado nível de carbono embutido, por exemplo.

Segundo Antón e Díaz (2014), três abordagens podem alcançar a sustentabilidade das construções: mais esforço dedicado a fase de design; se beneficiar do conhecimento e tecnologia, o BIM e a ACV seriam ideais para isso; critérios de performance ambiental deveriam ser analisados nas fases iniciais do projeto, tendo a ACV como uma das principais ferramentas a ser utilizadas.

Em 1987, o Relatório da Comissão Brundtland, “Nosso Futuro Comum”, da Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento, definiu o desenvolvimento sustentável: “o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades”. Segundo Motta e Aguilar (2009), para encontrarmos o desenvolvimento sustentável devemos atuar em três dimensões: ambiental, sociocultural e econômica, através de ações “ambientalmente responsáveis, socialmente justas e economicamente viáveis”.

O Congresso Mundial da Construção Civil do CIB em 1998 elaborou a Agenda 21 em construção sustentável, sinalizando como principais desafios: o

processo e gestão, execução, consumo de materiais, energia e água, impactos no ambiente urbano e no meio ambiente natural, e as questões sociais, culturais e econômicas. O texto tem como objetivo alertar a Indústria da Construção Civil dos problemas ambientais e da necessidade de combatê-los com urgência, além de servir como orientação para a formulação de diretrizes, políticas, normativas e soluções visando a construção e o urbanismo sustentável. Nesse documento, a construção sustentável é definida como sendo:

“o processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes natural e construído e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica” (MORETINI, 2012, p.3).

A Agenda 21 para a construção sustentável em países em desenvolvimento, em 2002, buscou adequar aos países em desenvolvimento os problemas, as prioridades de desenvolvimento, as habilidades, a capacidade da indústria e dos governos, os recursos disponíveis e a cultura. As ações que deverão ser tomadas para se ter construções e cidades mais sustentáveis variam de acordo com o grau de desenvolvimento dos países, porém a responsabilidade pela sustentabilidade do planeta é compartilhada por todos.

As principais propostas apresentadas na Agenda 21 da construção sustentável para países em desenvolvimento (AGOPYAN; JOHN,2011):

- a) Redução das perdas de materiais na construção;
- b) Aumento da reciclagem de resíduos como materiais de construção;
- c) Eficiência energética nas edificações;
- d) Conservação da água;
- e) Melhoria da qualidade do ar interno;
- f) Durabilidade e manutenção;

g) Redução do déficit de habitações, infraestrutura e saneamento;

h) Melhoria da qualidade do processo construtivo.

A Agenda 21 Brasileira propõe: “construir a sustentabilidade com abordagem multissetorial da nossa realidade e integração dos instrumentos participativos de planejamento” (ROLNIK *et al*, 2004). A abordagem da questão ambiental vem evoluindo na visão e na forma de atuação dos diferentes atores sociais envolvidos. A política de fiscalização e controle vem sendo complementada com incentivo à gestão equilibrada dos recursos naturais, em todo o processo de produção e consumo; com isso, o Brasil tem conseguido reduzir o desperdício de insumos e de matérias-primas.

A indústria da construção civil caracteriza-se pela exploração intensiva de recursos naturais, reduzindo, em grande quantidade, as reservas naturais de matéria-prima e de água potável. Os resíduos de construção civil podem representar mais de 50% da produção total de resíduos sólidos de um município (AGOPYAN; JOHN, 2011). Estima-se que entre 50% e 75% dos materiais extraídos da natureza retornam como resíduos em um período de um ano (AGOPYAN; JOHN, 2011). De toda energia elétrica consumida no Brasil, 44% é utilizada em edificações residenciais, comerciais e públicas (LAMBERTS *et al*, 2008), seja na operação e manutenção dos edifícios, como também nos sistemas artificiais (iluminação, climatização e aquecimento de água), sem considerar a parcela de energia embutida nos materiais que compõem as edificações. O ambiente construído (exceto indústria e agronegócio) é responsável pelo consumo de 26% da água retirada e 10% da água consumida (AGOPYAN; JOHN, 2011).

O Quadro 1 mostra uma classificação de categorias de impactos ambientais dos materiais de construção.

Quadro 1 - Principais categorias de impactos ambientais para metodologia de ACV nas construções brasileiras

IMPACTO	DESCRIÇÃO
Mudanças climáticas	Emissões de gases como CO ₂ , CH ₄ , NO _x , HCFC que diminuem a capacidade de emissão de energia de onda longa do globo terrestre para o espaço, provocando o aquecimento.
Uso de recursos naturais	Consumo das reservas de produtos não renováveis ou exploração de produtos renováveis sem manejo ou acima da capacidade de recomposição.
Consumo de energia	Categoria que analisa a eficiência no uso de energia bem como a contribuição para o esgotamento de fonte de energias não renováveis.
Geração de resíduos	Acumulação de resíduos com risco de contaminação ambiental e desperdício de recursos naturais.
Consumo de água	Consumo de água na atividade, contribuição para o stress hídrico da região, e as consequências em capacidade de suporte de vida.
Poluição do ar	Emissões de gases como SO _x , NO _x , material particulado, inclusive aqueles que podem levar a formação de smog fotoquímico. No caso de ambiente interno, emissões de compostos voláteis.

Fonte: Agopyan; John, 2011

Dentre os desafios do Brasil para tornar a construção civil sustentável estão a necessidade de uma política sistêmica, exemplos do governo em suas obras,

lançar metas públicas de desempenho dos edifícios, levantar e organizar dados da cadeia produtiva dos materiais de construção, desenvolver ferramentas de cálculo de impacto ambiental e promover inovações radicais no setor.

2.2 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

O BIM (*Building Information Modeling*) é um modelo de informação do edifício, que trata a informação da construção desde a concepção até a utilização, manutenção e demolição (MACHADO, 2015). Consiste na produção, na comunicação e na análise de modelos de construção. Na Figura 1 é possível ver as fases de um empreendimento o BIM abrange.

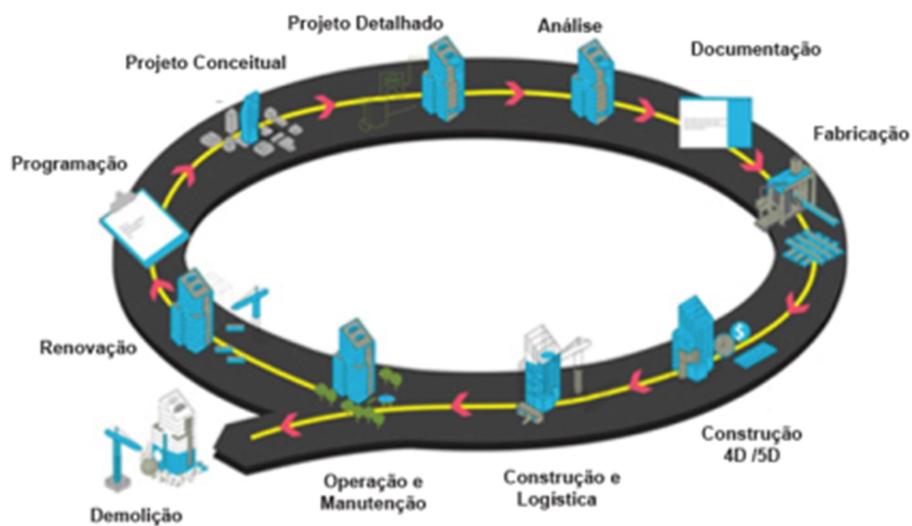


Figura 1 - Abrangência do ciclo de vida do BIM

Fonte: Machado,2015

O BIM pode ser definido como uma tecnologia de modelagem e conjunto associado de processos de produção, comunicação e análise modelos de construção. De acordo com Eastman *et al* (2008, p.13), os modelos de construção são caracterizados por:

- *componentes de construção que são retratados com representações digitais inteligentes (objetos) que "sabem" o que são, e podem ser associados com atributos computacionais de gráfico e dados e regras paramétricas.*
- *componentes que incluem dados que descrevem como eles se comportam, como necessário para análises e processos de trabalho, por exemplo, levantamentos, especificações e análises de energia.*
- *dados consistentes e não redundantes de modo que as alterações aos dados de componentes são representados em todas as vistas do componente.*
- *coordenação de dados de tal forma que todas as vistas de um modelo são representadas de uma forma coordenada. (EASTMAN ET AL, 2008, p.13)*

Com o BIM, é possível criar um modelo virtual preciso, o que possibilita a extração de dados de geometria além dos dados necessários para apoiar a construção, fabricação e atividades de compras necessárias para a realização do edifício (EASTMAN *et al*, 2008).

Por meio do BIM, é possível compartilhar informações e se comunicar de maneira mais eficaz e interativa com os diferentes agentes em cada fase do ciclo de vida da edificação, tendo grande impacto nessa indústria com a integração do projeto arquitetônico com os projetos das diferentes disciplinas da engenharia e permitindo a incorporação de considerações de sustentabilidade (AGUILAR; AZEVEDO,2015).

Uma vez que os sistemas BIM permitem considerar várias dimensões do empreendimento, simultaneamente, introduzem, de forma coordenada no processo de projeto, considerações de desempenho energético, de conforto, dos processos construtivos e dos custos, e podem oferecer diretrizes aos projetistas na escolha dos materiais. Em tal sistema, os projetos de construção são gerados e comunicados via modelos 3D, adotando modelos paramétricos dos elementos construtivos. Contudo, os modelos 2D continuam existindo para as equipes que executam os projetos. Os documentos estão permanentemente vinculados ao

banco de dados e as alterações realizadas no modelo 3D são automaticamente atualizadas em todas as vistas, facilitando os processos de revisão. Podem ser considerados uma evolução dos sistemas CAD, pois gerenciam a informação no ciclo de vida completo de um empreendimento de construção através de um banco de informações integrado à modelagem (WONG; ZHOU, 2015).

Para exemplificar as principais vantagens do BIM o Quadro 2 mostra seus benefícios em cada fase do projeto:

Quadro 2 - Benefícios do BIM

FASE	BENEFÍCIOS
Conceitual do projeto	<p>Concepção, Viabilidade financeira e visualização dos objetivos</p> <p>Aumento do desempenho e da qualidade do edifício</p>
Design	<p>Visualizações mais precoces e mais precisas de um projeto</p> <p>Correções automáticas de baixo nível quando alterações são feitas ao projeto</p> <p>Gera desenhos 2D precisos e consistentes em qualquer fase do design</p> <p>Colaboração precoce de múltiplas disciplinas no design</p> <p>Estimativas de custos mais precoces e mais precisas</p> <p>Extração de estimativas de custos durante a fase de design</p> <p>Aumento da eficiência energética e sustentabilidade</p>
Construção e Fabricação	<p>Sincronizar planejamento de projeto e construção</p> <p>Descobrir erros de projeto e omissões antes da construção (detecção de interferências)</p> <p>Reagir rapidamente ao design ou problemas locais</p> <p>Melhor Implementação e Técnicas <i>Lean Construction</i></p> <p>Sincronizar aquisição com projeto e construção</p>
Pós-construção	<p>Melhor gerenciamento e operação das instalações</p> <p>Integração com sistemas de gestão e operação de instalações</p>

Fonte: Adaptado Eastman *et al*,2008.

O conceito de objetos paramétricos é crucial para entender o BIM e a sua diferenciação dos objetos tradicionais. Objetos paramétricos são definidos por Eastman *et al* (2008) como:

- *Consistem em definições geométricas e dados e regras associados.*
- *A geometria é integrada sem redundância e não permite inconsistências. Quando um objeto é mostrado em 3D, a forma não pode ser representada internamente de maneira redundante, por exemplo, como múltiplas vistas 2D. Um plano e elevação de um determinado objeto deve ser sempre consistente.*
- *As regras paramétricas para objetos modificam automaticamente as geometrias associadas quando inseridas em um modelo de construção ou quando são feitas alterações em objetos associados. Por exemplo, uma porta se encaixará automaticamente em uma parede, um interruptor de luz irá automaticamente ser localizado próximo ao lado correto da porta, uma parede será automaticamente redimensionada para chegar ao topo do teto ou telhado, etc.*
- *Os objetos podem ser definidos em diferentes níveis de agregação, de modo que podemos definir uma parede, bem como seus componentes relacionados. Os objetos podem ser definidos e gerenciados em qualquer número de níveis hierárquicos. Por exemplo, se o peso de um subcomponente de parede mudar, o peso da parede também deve mudar.*
- *As regras de objetos podem identificar quando uma alteração específica viola a viabilidade do objeto em relação ao tamanho, possibilidade de fabricação, etc.*
- *Os objetos têm a capacidade de vincular ou receber, transmitir ou exportar conjuntos de atributos, como, materiais estruturais, dados acústicos, dados de energia, etc. para outras aplicações e modelos (EASTMAN ET AL, 2008, p.14)*

A modelagem paramétrica baseada em objetos é uma grande mudança para a indústria da construção que está facilitando grandemente a passagem de uma tecnologia baseada em desenho para um baseado em modelos digitalmente legíveis que podem ser trocados por outras aplicações. A capacidade de extrair informações geométricas e de propriedade de um modelo de construção para uso em projeto, análise, planejamento de construção e fabricação, ou em operações, além da redução nos erros de desenho devido à consistência interna de um modelo de construção central e a eliminação de erros de projeto, com base em

interferências espaciais, são alguns dos benefícios da modelagem paramétrica (EASTMAN *et al*, 2008).

Eastman *et al* (2008) afirmam que, embora a modelagem paramétrica baseada em objetos tenha tido uma influência catalítica na emergência e aceitação do BIM, não é sinônimo de ferramentas BIM ou a geração de modelos de construção. Há muitas outras ferramentas de design, análise, verificação, exibição e relatórios que podem desempenhar um papel importante nos procedimentos do BIM. Muitos componentes de informação e tipos de informações são necessários para projetar e construir um edifício.

Outro fator importante para entender o BIM é a interoperabilidade. As interfaces abertas devem permitir a importação de dados relevantes (para criar e editar um desenho) e exportar dados em vários formatos (para suportar a integração com outros aplicativos e fluxos de trabalho). Nenhum aplicativo de computador único pode suportar todas as tarefas associadas ao design e produção do edifício. A interoperabilidade descreve a necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que vários tipos de especialistas e aplicações contribuam para o trabalho colaborativo (EASTMAN *et al*, 2008).

O projeto e a construção de um edifício é uma atividade de equipe e cada vez mais, cada atividade e tipo de especialidade é suportado e aumentado por suas próprias aplicações de computador. Além da capacidade de suportar geometria e layout de material, podem ser obtidas análises estruturais e de energia, estimativa de custos e programação da construção, questões de fabricação para cada subsistema e muito mais. A interoperabilidade identifica a necessidade de intercâmbio de dados entre as aplicações, para que múltiplas aplicações contribuam conjuntamente para o trabalho colaborativo. A interoperabilidade elimina a necessidade de replicar entrada de dados que já foi gerada e facilita fluxos de trabalho e automação. Da mesma forma que a arquitetura, a engenharia e a construção são atividades colaborativas, também são as ferramentas que as suportam (EASTMAN ET AL, 2008, p.66).

Os dois principais modelos de dados de produtos de construção são os modelos de dados *Industry Foundation Classes* (IFC) - para planejamento, projeto, construção e gerenciamento de edifícios e *CIMsteel Integration Standard Version 2* (CIS/2) - para a engenharia e fabricação de aço estrutural. Tanto IFC como CIS/2 representam geometria, relações, processos e materiais, desempenho, fabricação e outras propriedades, necessárias para o projeto e produção, utilizando a linguagem EXPRESS (EASTMAN *et al*, 2008).

O IFC foi definido, do ponto de vista técnico, usando as especificações da norma ISO 10303 11 (1994) para modelagem e troca de dados, também conhecida como Standard for the Exchange of Product Data (STEP). O STEP teve seu desenvolvimento iniciado em 1984 pela ISO, com o objetivo de definir normas para a representação e troca de informações de maneira geral, e é utilizado em vários domínios, como a engenharia mecânica e a indústria de design. As pessoas inicialmente envolvidas no esforço da STEP criaram a International Alliance for Interoperability (IAI) para o desenvolvimento de padrões específicos para a AEC. Por essa razão, o IFC utiliza recursos baseados no STEP e usa a mesma linguagem de modelagem, denominada EXPRESS (MANZIONE, 2003, p.45).

As IFC foram desenvolvidas para criar um grande conjunto de representações de dados consistentes de informações de construção para intercâmbio entre aplicativos de *software* AEC (arquitetura, engenharia e construção). Baseia-se na linguagem e nos conceitos ISO-STEP EXPRESS para a sua definição. A IFC pretende abordar todas as informações pertinentes ao processo construtivo, considerando todo o ciclo de vida do edifício, desde a viabilidade e planejamento, passando pelo projeto (incluindo análise e simulação), construção, ocupação e operação. O modelo encontra-se em aprimoramento contínuo desde o seu lançamento (EASTMAN *et al*, 2008).

2.2.1 O BIM NO PROCESSO DE PROJETO

Embora a concepção de novos empreendimentos de construção esteja tradicionalmente associada a projetos de engenharia e arquitetura, diversas

que estabelece as fases correlatas para a elaboração de projeto arquitetônico (FABRICIO, 2002).

Tradicionalmente, inicia-se pelo projeto arquitetônico que, efetivamente, concebe o produto, e posteriormente contratam-se os demais projetos. Somente o projeto estrutural participa da primeira etapa de concepção arquitetônica. Os demais projetistas partem do projeto ou anteprojeto arquitetônico para desenvolver soluções técnicas que “complementam” o projeto de arquitetura, reduzindo bastante a possibilidade de colaboração desses (FABRÍCIO, 2002). Essa estrutura pode ser vista na Figura 2.

“São inúmeros os benefícios que o enfoque na sustentabilidade traz ao meio ambiente a partir do momento que os projetistas adotam a postura preventiva durante as decisões de projeto, desde as especificações de materiais a serem empregados, até a qualidade de ar interno na fase de utilização dos empreendimentos e a saúde dos ocupantes, passando inclusive pela influencia da localização do empreendimento e caracterização dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água. Não somente o projeto arquitetônico, mas também os de engenharia têm seu papel a desempenhar.” (DEGANI; CARDOSO, 2002, p.10)

Degani e Cardoso (2002) salientam diversas oportunidades de influencias positivas dos projetos arquitetônicos em prol de edificações sustentáveis e de análise do ciclo de vida dos edifícios:

FASE DE PLANEJAMENTO: priorizar a coleta de informações referentes ao entorno e à área na qual o empreendimento será implantando, analisando exigências e regulamentações, mananciais e lençóis subterrâneos, o papel da vegetação local, características da fauna e flora bem como comunidade presente.

FASE DE IMPLANTAÇÃO: seleção consistente de recursos que considerem suas características e métodos construtivos associados e sua procedência, por meio da

qualificação de fornecedores responsáveis. Escolha de materiais e componentes que gerem pouco resíduos e preferencialmente que evitem longos percursos de transporte. Priorizar métodos construtivos que gerem consumo mínimo de energia e água, e que gerem pouco desperdício.

FASE DE USO: Os materiais e mobiliários definidos no projeto arquitetônico devem criar ambientes internos salubres, ser de fácil manutenção e possuir alta durabilidade. O consumo de água e energia deve ser analisado na etapa de projeto de modo a encontrar soluções de eficiência energética e de economia de água. Sugere-se o uso de aquecimento de água a gás ou energia solar, quando possível. O reaproveitamento de água para irrigação de jardins e sistemas de coleta de lixo eficientes que permitam a triagem feita pelo próprio usuário também devem ser considerados.

FASE DE MANUTENÇÃO: Previsão em projeto de possibilidades de expansão e modernização, evitando-se demolições desnecessárias e permitindo o reaproveitamento de componentes. Acesso às instalações hidráulicas, elétricas e sistemas de condicionamento de ar e aquecimento de água deve ser facilitado de forma a facilitar a manutenção.

FASE DE DEMOLIÇÃO: Viabilizar demolição racional através de um processo de desmonte consciente e comprometido com a definição de materiais e componentes reaproveitáveis, não frágeis, duráveis e se possível desmontáveis.

Andrade e Rusche (2011) afirmam que a prática de projeto integrado deveria ser inerente à construção civil, porém isto não ocorre. Assim, as funções de outros projetistas, além do arquitetônico, ficam limitadas a sugestão de melhorias de desempenho, dentro das restrições possíveis, o que resulta

num "aumento marginal de desempenho da solução". Para ter um projeto integrado que concilie soluções dos diferentes domínios é preciso ter equipes de projetistas trabalhando de maneira multidisciplinar ao longo do processo, desde os estágios iniciais, utilizando de tecnologias computacionais que deem suporte técnico, focadas no desempenho da edificação. A eficiência de tal prática está apoiada no BIM, através da interoperabilidade e da possibilidade de tomada de decisões e controle do fluxo de informações. Embora não seja condição, o BIM pode ser considerado um potencializador para melhorar a eficiência de uma prática integrada.

O BIM exige um maior esforço na concepção, transformando o processo de projeto. Os arquitetos passam a concentrar seus esforços no projeto e menos tempo no desenho. Os objetivos do projeto, os critérios de desempenho do edifício, o perfil da equipe, recursos disponíveis, níveis de detalhes são algumas das decisões que devem ser tomadas *a priori*. A equipe passa a trabalhar de modo colaborativo, e não mais hierárquico como mostrado na Figura 2. Para que ganhos efetivos ocorram com a implantação do BIM no processo de projeto, é preciso que as atribuições profissionais sejam revisadas, os objetivos do projeto sejam definidos de maneira clara e os formatos utilizados permitam a interoperabilidade (ANDRADE; RUSCHE, 2011).

O BIM pode contribuir de maneira significativa para melhorias no processo de projeto através das avaliações das soluções de projeto, ainda na etapa conceitual. Ferramentas de avaliação podem ser usadas com enfoque em diferentes nuances do projeto, como "avaliação de não conformidades no planejamento dos espaços, condições de conforto ambiental, estimativas de

custos, consumo energético, não conformidades com os códigos e legislações etc.” (ANDRADE;RUSCHE,2011). Para isso, existem diversos softwares no mercado, os quais permitem aos projetistas fazer, durante a concepção do projeto, sucessivas alternativas num curto intervalo de tempo. Desse modo, permite-se um maior impacto no custo, desempenho e qualidade das edificações.

Apesar das vantagens que possam ser encontradas na utilização do BIM, este ainda não está integrado de modo eficiente nas diferentes fases do projeto. A falta de critérios definidos nos estágios iniciais impossibilita a maioria do software de realizar simulações, pois estes não apresentam estrutura funcional eficiente (ANDRADE; RUSCHE, 2011).

2.2.2 *GREEN* BIM

Devido às suas particularidades, o BIM é capaz de impactar sobre diversos aspectos de sustentabilidade. Do ponto de vista econômico, é possível reduzir os custos de projeto, melhorando a gestão da informação e reforçar a coordenação, com o resultado que menos recursos são desperdiçados. No que diz respeito aos aspectos ambientais, o BIM apoia uma série de análises diferentes, porém para melhorar sua capacidade analítica de desempenho ambiental é necessário a integração com outras ferramentas especiais, como a ACV (ANTON,2014). As ferramentas baseadas em BIM facilitam a análise e simulação de diferentes parâmetros, permitindo análises complexas (como por exemplo da luz do dia) e criando melhores condições de trabalho e vida, aumentando o conforto e bem estar. Para Machado (2015), pesquisas com ferramentas que viabilizem a integração entre o BIM e a ACV podem contribuir de forma significativa na

implantação de ambos na indústria da construção civil, influenciando qualitativamente na tomada de decisões.

Embora o BIM e as construções sustentáveis não sejam conceitos novos na indústria da arquitetura, engenharia e construção, seu potencial de integração passou a ser explorado recentemente, tendo ainda poucos estudos que demonstrem como o BIM pode auxiliar nas práticas de construção sustentável. De acordo com a bibliografia consultada, para que se possa obter um projeto verdadeiramente sustentável é imprescindível a integração entre todos os sistemas de construção.

O BIM possui em sua natureza inerente a possibilidade de integração entre todas as áreas da construção, e está na extremidade dianteira de projetos que busquem a sustentabilidade, durante a concepção, construção e operação (HAMMOND, 2011).

O *Green BIM* pode ser considerado o processo baseado em modelo de geração e gerenciamento coordenado e consistente de dados de construção, durante o ciclo de vida do projeto. Através dele busca-se aumentar o desempenho de eficiência energética e facilitar o cumprimento das metas de sustentabilidade estabelecidas. Trata-se do uso de ferramentas BIM para alcançar sustentabilidade e/ou melhoria na performance do projeto. É uma ferramenta que foi criada para auxiliar nos projetos de edificações a integração eficiente de componentes sustentáveis, especialmente aplicação de eficiência energética, no projeto do ciclo de vida do edifício. A aplicação do *Green BIM* não deve se limitar as análises na fase de concepção e construção, mas para o ciclo de vida da edificação, incluindo as fases de operação, reparo, manutenção e demolição (WONG;ZHOU,2015).

Para Antón e Díaz (2014), existe uma sinergia proveitosa entre o BIM e as construções sustentáveis:

- a) a sustentabilidade depende do projeto integrado, com uma visão geral do projeto completo, e devido às suas características particulares o BIM facilita esse processo.
- b) sistemas BIM possuem meios para melhorar o fluxo de informações de um projeto, conseguir um melhor desempenho e qualidade.
- c) BIM aumenta a transparência e apoia o trabalho colaborativo entre as partes interessadas desde as fases iniciais do projeto, o que ajuda a reduzir o desperdício e evitar futuros erros.
- d) modelos BIM fornecem dados estruturados, assim eles podem ser utilizados para a industrialização do processo de construção.
- e) modelos BIM levam a uma redução dos custos, tempo e desperdício de recursos, aumentando assim a sustentabilidade.
- f) as ferramentas baseadas em BIM apoiam várias análises e simulações, cujos resultados constituem uma base para a tomada de decisões e, finalmente, melhorar o desempenho do edifício .

2.2.3 REVIT®

O programa utilizado nesta pesquisa foi o Revit® Architecture. Trata-se do líder de mercado mais conhecido para o uso do BIM no projeto arquitetônico.

Este programa inclui: interfaces para simulação de energia e análise de carga; interfaces diretas para robô e análises estruturais, e a capacidade de

importar modelos de SketchUp, uma ferramenta de projeto conceitual, e outros sistemas que exportam arquivos DXF¹.

Suas principais vantagens são: facilidade de aprender, funcionalidade organizada em interface fácil de usar e bem desenhada, possui amplo conjunto de bibliotecas de objetos desenvolvidos por terceiros. Permite a geração de informação e de gestão baseado na atualização de vistas de desenho e modelo; e suporte à operação simultânea no mesmo projeto.

As desvantagens desse *software* são: o sistema de memória que retarda significativamente para projetos maiores do que cerca de 220 megabytes, as limitações de regras paramétricas que lidam com ângulos além do custo elevado do *software* (EASTMAN *et al*, 2008).

2.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE EDIFÍCIOS

O impacto dos materiais de construção podem ser sentidos localmente, através dos efeitos de extração de matérias-primas e eliminação de resíduos, globalmente, como resultado das emissões de CO₂ liberado pela energia utilizada para fabricar os materiais, e internamente, nos efeitos sobre a saúde dos trabalhadores da construção civil e ocupantes do edifício.

Devido à grande quantidade de matérias-primas utilizadas pela indústria da construção e do alto consumo de energia, a escolha dos materiais com alto teor de energia embutida eleva desde o início a energia total do edifício. Além disso, a

¹ DXF (*Drawing eXchange Format*) é um formato de troca de dados desenvolvido pela Autodesk que possibilita a interoperabilidade entre AutoCAD e outros programas (EASTMAN *et al*, 2008).

escolha dos materiais determina o futuro do consumo de energia, a fim de atender as necessidades de aquecimento, ventilação e ar condicionado entre outras demandas (BRIBIÁN *et al*, 2011).

Na busca de uma sociedade sustentável, portanto, melhorias no desempenho do ambiente construído têm um efeito considerável e é essencial ter ferramentas disponíveis para permitir que o desempenho relativo dos projetos de construção a ser avaliado (HARRIS, 1999).

De acordo com a norma NBR ISO 14040 - Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida—Princípios e estrutura (2001), a ACV é a

“técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante: a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto; a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas; a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos. A ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto (isto é, do “berço ao túmulo”), desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. As categorias gerais de impactos ambientais que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas.” (ABNT, 2001, p.2)

A ACV considera os impactos ambientais e sociais e é, muitas vezes, associada a métodos de avaliação do custo do ciclo de vida que levam em consideração os impactos econômicos (BASBAGILL *et al*, 2013).

Segundo a NBR ISO 14040, a metodologia da ACV é compreendida por quatro etapas, que devem auxiliar a tomada de decisão na definição de itens prioritários e na distribuição de recursos (financeiros, materiais ou humanos) de maneira apropriada, como pode ser visto na Figura 3:

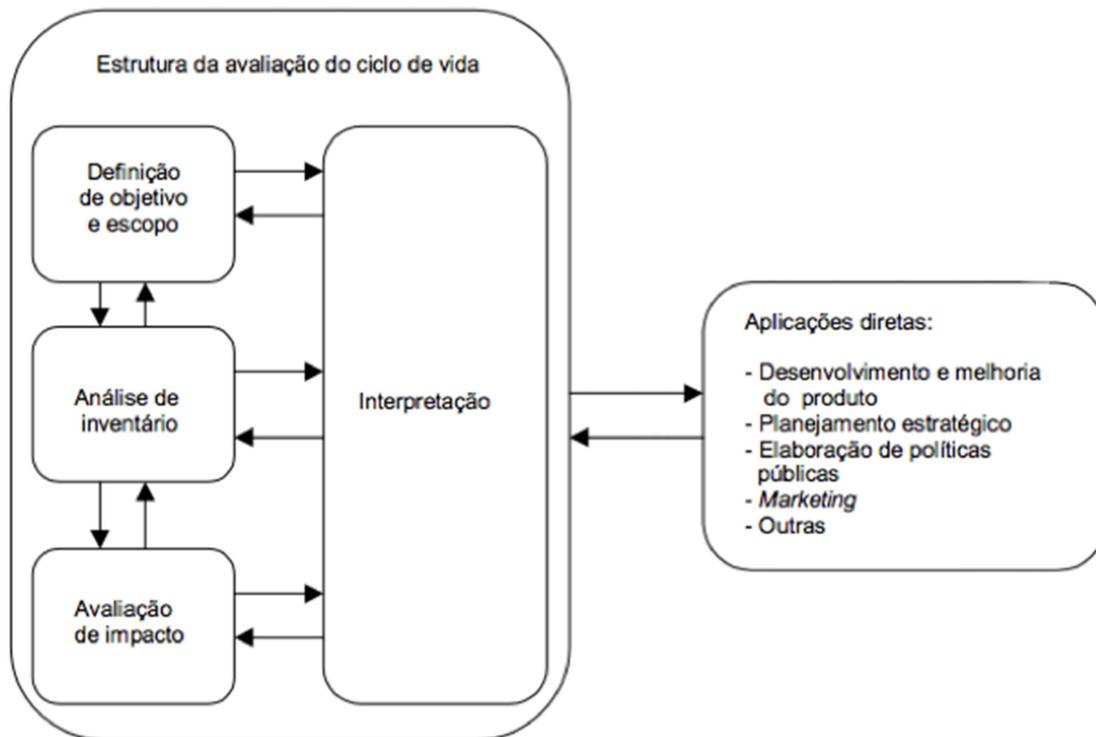


Figura 3 - Fases de uma ACV.

Fonte: ABNT (2001)

As etapas estabelecidas na NBR ISO 14040 (2001) são:

- a) Definição do Objetivo e Escopo.
- b) Análise do Inventário: quantificação do uso de recursos (energia e matérias-primas) e as cargas ambientais (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos) geradas ao longo do ciclo de vida inteiro de um produto.
- c) Avaliação dos Impactos: visa agregar os fatores de impacto em critérios de avaliação, de modo a permitir um estudo comparativo das diferentes opções.
- d) Interpretação dos resultados: deve incluir a identificação dos impactos ambientais significativos, avaliação do estudo em relação a sua totalidade, sensibilidade e consistência, bem como, conclusões e recomendações de implementação de melhorias, com a finalidade de reduzir os impactos ambientais significativos.

Segundo Miyazato e Oliveira (2009), a ACV é uma

“ferramenta de gestão para análise e escolha de alternativas e tomada de decisão sob uma perspectiva ambiental (...) que conduz a ações mais efetivas e, conseqüentemente, com maior sustentação a longo prazo em relação à redução dos custos econômicos e ambientais” (MIYAZATO, OLIVEIRA; 2009, p.2).

As mudanças tecnológicas obtidas com a ACV são essenciais para o processo produtivo, já que possuem efeito multiplicador ao longo da cadeia de produção, inclusive no uso otimizado de energia e de materiais, por meio do uso de processos de reciclagem e de reuso. Seu objetivo principal é identificar oportunidades para a melhoria do meio ambiente, detectando as áreas com os impactos mais significativos. Dentre as principais questões técnicas a serem abordadas durante a realização de uma ACV estão a definição das fronteiras do sistema, a qualidade dos dados disponíveis e a forma como os resultados estão previstos nas normas (HAMMOND; JONES, 2008).

O Brasil possui legislação ambiental consistente e bem estruturada para vários setores de atividades. Entre as leis mais abrangentes que tangem o setor de construção em alguns pontos podem ser citadas a Política Nacional do Meio Ambiente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a resolução Conama número 307, que classifica os resíduos de construção civil por tipos, entre outras. Normas técnicas também tratam do desempenho dos edifícios incluindo aspectos térmicos, como a NBR 15575 - Edificações habitacionais - Desempenho, de 2013, e a NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações, de 2005, parte 3, que estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro e sugere diretrizes construtivas para edificações.

O conjunto normativo NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, estabelece parâmetros, objetivos e quantitativos que podem ser

medidos. Todos os partícipes da produção habitacional são incumbidos de suas responsabilidades: projetistas, fornecedores de material, componente e/ou sistema, construtor, incorporador e usuário (THOMAZ *et al*, 2013).

A norma NBR 15575 foi redigida segundo modelos internacionais de normalização de desempenho, trazendo Requisitos de Desempenho, Critérios de Desempenho e respectivos Métodos de Avaliação. Deste modo é possível estabelecer condições confortáveis de segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil), e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental) (THOMAZ *et al*, 2013).

Ela é composta por seis partes: **Parte 1:** Requisitos gerais; **Parte 2:** Requisitos para os sistemas estruturais; **Parte 3:** Requisitos para os sistemas de pisos; **Parte 4:** Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas; **Parte 5:** Requisitos para os sistemas de coberturas; e **Parte 6:** Requisitos para os sistemas hidrossanitários (ABNT NBR 15575: 2013).

Em relação a normativa a autora apresentou um trabalho anterior – Impacto Ambiental dos Materiais de Construção e Análise do Ciclo de Vida dos Edifícios (PAULA, 2014) - onde foram estudadas as normas e legislações francesas e os grandes avanços que a França fez nas últimas décadas em decorrência de legislações climáticas rigorosas. Por esse motivo, cita-se a norma francesa NF P01-010 - *Qualité environnementale des produits de construction - Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction* (Qualidade

ambiental dos produtos de construção - Declaração ambiental e sanitária dos produtos de construção) que divide o ciclo de vida dos produtos em 5 etapas (Arene, 2012):

- I. Produção - fabricação do produto, incluindo a extração, a preparação e o transporte de matérias-primas necessárias para fabricar o produto , até a liberação do produto da fábrica.
- II. Transporte - inclui transporte do produto da unidade de produção para o local onde será utilizado.
- III. Implementação - envolve a criação do produto em uma obra. O transporte de resíduos gerados na implementação também é levado em conta.
- IV. Trabalho de vida – fase em que o produto executa sua função no edifício.
- V. Fim da vida - consiste na remoção do produto durante uma operação de demolição, reabilitação ou manutenção.

Um exemplo desse ciclo de vida pode ser visto na Figura 4:



Figura 4- Esquema do ciclo de vida de uma edificação.

Fonte: Adaptado de Smart Living Building (2014)

Cita-se como exemplo dos resultados da avaliação dos produtos a norma francesa NF P 01-010, que exhibe dez indicadores de impacto: o consumo de energia primária renovável e não-renovável, o consumo de água, a geração de resíduos sólidos, o esgotamento dos recursos naturais, as mudanças climáticas, a destruição da camada de ozônio, a acidificação atmosférica, a formação fotoquímica de ozono, a poluição do ar e poluição da água (ARENE, 2012).

A ACV é comumente usada em indústrias, como a de design automotivo, na fabricação de equipamentos e no design de produtos de consumo. Já as construções, possuem como produtos os edifícios cujos projetos são únicos, a sua vida é ao longo de décadas, possuem múltiplas funções e são montados localmente. Devido às características dos edifícios, ocorre uma maior dificuldade de adoção da ACV, bem como um tempo significativo e maior esforço para a implementação. Outros fatores que podem ser citados são a dificuldade para a obtenção de dados de impacto ambiental completo para componentes de construção, do monitoramento do fluxo de materiais e definição clara dos limites do sistema e a falta de interoperabilidade do BIM com *software* de ACV (BASBAGILL *et al*,2013).

Outro desafio encontrado por Basbagill *et al* (2013) para realizar a ACV durante os estágios iniciais de um projeto de construção é a complexidade e o grande número de decisões que um designer enfrenta, através das especificações de materiais e dimensionamento para centenas de componentes, em um processo de design altamente fragmentado. Desta forma, as especificações de materiais e dimensionamento são normalmente adiadas para equipes de engenharia e construção na fase de desenvolvimento do projeto o que pode levar a aumentos significativamente no impacto da construção.

O estudo de Miyazato e Oliveira (2009) concluiu que a aplicação da ACV na avaliação ambiental de sistemas e elementos construtivos possibilita uma análise mais detalhada e crítica da etapa de especificação de materiais e a promoção de melhorias ambientais, e também econômicas, nas diversas etapas do ciclo de vida do sistema considerado. Dentre as principais dificuldades encontradas por eles estão: a falta de profissionais adequadamente capacitados e a disponibilidade de bancos de dados contendo informações sobre a ACV de insumos industriais básicos, tais como energia, aço, cimento, combustíveis etc.; e a falta de incentivos fiscais por parte do Estado para aquelas empresa que desejam realizar o estudo da ACV ou corrigir os pontos críticos identificados em um ACV. O emprego de metodologias estrangeiras em estudos realizados, em território brasileiro, podem comprometer a confiabilidade dos resultados.

Uma parcela significativa dos impactos do ciclo de vida de um edifício são determinados por decisões tomadas nas fases iniciais do projeto, logo a escolha dos materiais com baixo impacto incorporado nessa fase tem potencial para reduzir significativamente o impacto do ciclo de vida de um edifício. Porém, projetistas costumam esperar até o desenvolvimento do projeto para buscar a avaliação do desempenho ambiental e traçar estratégias de sustentabilidade. Pesquisas tem demonstrado que quanto antes as decisões são feitas no processo de design e quanto menos as alterações a estas decisões em fases posteriores, maior é o potencial para reduzir impacto ambiental do edifício. Os indicadores comumente aplicados de desempenho ambiental incluem potencial de aquecimento global, carcinogenicidade e consumo de recursos naturais (BASBAGILL *et al*,2013).

Por meio da ACV é possível selecionar a melhor tecnologia disponível e minimizar o impacto ambiental dos edifícios através das decisões tomadas em projetos ou reformas. Produtos que são aparentemente baratos a curto prazo podem ter um impacto alto nos custos de manutenção ou gestão de resíduos; produtos altamente tecnológicos podem ter custos muito elevados de produção que nunca serão recuperados. Portanto, é fundamental aplicar a visão do ciclo de vida e levar em conta tanto os custos econômicos quanto os ambientais ao identificar a tecnologia mais ecoeficiente (BRIBIÁN *et al*, 2011).

Para Antón e Díaz (2014), a ACV fornece uma base científica para critérios ambientais. Porém, apesar das vantagens perceptíveis que ACV tem para o projeto de construção, também tem algumas limitações inerentes que podem ser melhoradas se for integrada com outras ferramentas. Uma das principais limitações da ACV é a disponibilidade de dados. A qualidade dos resultados depende da qualidade dos dados, mas os dados detalhados não estão sempre disponíveis ou eles não são atualizados, portanto, pressuposições às vezes têm que ser feitas, o que aumenta a imprecisão da avaliação. Além disso, trabalhar com ACV, geralmente, requer a assistência de um especialista devido à complexidade do processo e os resultados.

Na Figura 5, é possível visualizar o ciclo de vida das construções. Desde a produção dos materiais, construção, uso das edificações e o fim de vida, os limites delimitados (berço, portão, canteiro e túmulo) e como a energia pode ser dividida de acordo com as fases de todo o ciclo. Delimita-se também o objeto de estudo desta pesquisa, o qual se limita na fase pré-operacional da edificação, não levando em consideração o uso e o fim de vida da mesma.



Figura 5 - Ciclo de vida da edificação

Fonte: a autora (2017)

A energia incorporada dos edifícios, bem como a energia dos combustíveis para todos os processos necessários à construção de um edifício, pode ser particularmente significativa. Desta forma, nos casos em que os edifícios foram projetados para baixo ou zero consumo de energia operacional, os impactos ambientais incorporados podem aproximar-se da magnitude dos impactos devidos ao uso de energia operacional (BASBAGILL *et al*,2013).

Os impactos *cradle-to-gate* (do berço ao portão) são frequentemente ignorados devido à fraca metodologia disponível para medir estes impactos e ao fato de que, historicamente, eles têm sido compensados pelos impactos na fase operacional. Como eles têm um impacto proporcionalmente menor ao longo do ciclo de vida da edificação, as pesquisas têm sido focadas em reduzir os impactos operacionais e as emissões de substâncias tóxicas. Uma vez que os impactos na fase de uso tem diminuído devido a sistemas mais eficientes, geração de energia no local, chegando a ultrapassar os impactos operacionais no caso de *net zero*

*energy buildings*² é preciso que os impactos em cada fase do ciclo de vida sejam quantificados para criar edifícios sustentáveis. Sendo assim os gestores das construções devem estar incluídos nas discussões sobre os impactos *cradle-to-gate* (RUSSEL-SMITH,2015).

A medida que legislações mais rigorosas foram implementadas, o consumo (kWh/m²/ano) de energia operacional teve uma queda considerável. Assim, maior importância deve ser dada a energia incorporada uma vez que seu impacto na energia total do edifício se tornou mais significativo, especialmente nos edifícios com energia zero. Um exemplo pode ser visto na Figura 6 que mostra a evolução do consumo de energia operacional e incorporada nas edificações francesas em decorrência das RT's (Regulamentações Térmicas) e o que se espera que os edifícios com energia zero consumam no futuro.

² Edifícios de energia zero ou *Zero Energy Building* (ZEB) são edifícios comerciais ou residenciais com necessidades energéticas reduzidas devido a eficiência energética, de modo que o equilíbrio de necessidades de energia possa ser fornecido com tecnologias renováveis. Logo, a quantidade de energia utilizada por ano é igual ou menor que a quantidade de energia renovável produzida no local ou adquirida de fontes de energia renováveis (Peterson *et al*, 2015; Torcellini *et al*, 2006).

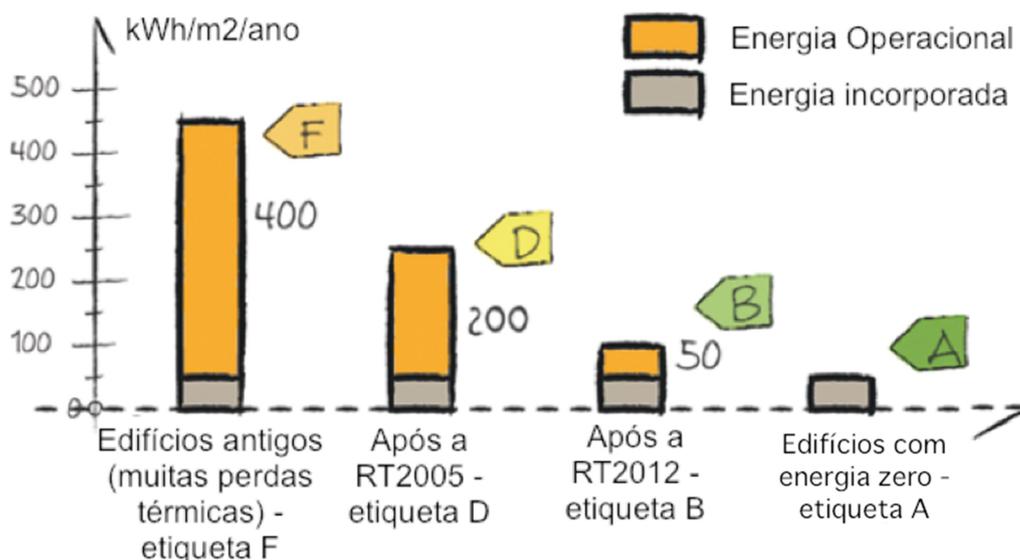


Figura 6 - Evolução da energia incorporada e energia operacional na França devido às RT's

Fonte: ARENE (2012)

Diversos estudos e legislações (como RT's francesas) proporcionaram uma redução do consumo de energia operacional, principalmente em países desenvolvidos. Contudo, para a energia incorporada, a redução só ocorre através da escolha correta dos materiais (DIXIT,2010; ARENE,2012).

Tradicionalmente, a energia operacional ao longo da vida útil de 50 anos é de aproximadamente 85-95% do total de energia da edificação. Para as edificações com baixo consumo de energia, a energia incorporada pode corresponder de 40-60% do uso total de energia, porém os equipamentos necessários para produção e manutenção dessa eficiência energética fazem com que a energia total dessas edificações seja maior que as tradicionais. Assim, podemos concluir que, na medida em que a energia operacional diminui, mais importante é analisar o uso de energia na produção dos materiais (THORMARK, 2006).

Gervásio *et al* (2014) afirmam que o uso da ACV no início de um processo de concepção é muito importante na busca por uma construção sustentável e, como a maioria das decisões fundamentais que influenciam o desempenho do ciclo de vida de um edifício são tomadas no início do processo de design, quanto mais cedo esta avaliação for feita maior será o potencial de influenciar eficazmente o desempenho do ciclo de vida do edifício (Figura 7).

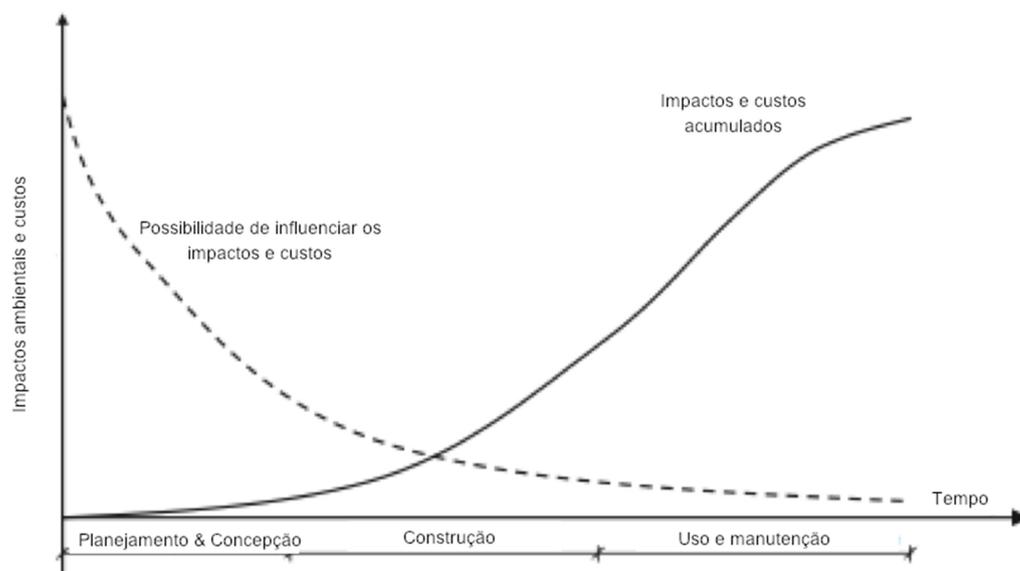


Figura 7 - Influência das decisões de design nos impactos e custos do ciclo de vida

Fonte: Gervásio *et al* (2014)

Para Matos e Libreloto (2015) já é um consenso a necessidade de ir além do enfoque no conforto ambiental e na eficiência energética, devendo buscar uma abordagem abrangente. Para tal, o processo de projeto torna-se mais complexo e multidisciplinar. Muitos arquitetos têm justificado seus projetos sob a perspectiva da sustentabilidade, no entanto, esses conceitos são empregados arbitrariamente, sem refletir num desempenho superior.

Antón e Díaz (2014) afirmam que três abordagens podem alcançar a sustentabilidade das construções: mais esforço dedicado à fase de design; benefício adquirido do conhecimento e tecnologia - o BIM e a ACV seriam ideais

para isso; utilização de critérios de performance ambiental para análise nas fases iniciais do projeto, tendo a ACV como uma das principais ferramentas a ser utilizadas.

Apesar de uma série de *software* terem sido desenvolvidas para a utilização de ACV para avaliar o impacto ambiental dos edifícios nas fases iniciais do projeto, a falta de integração com ferramentas BIM também reduz a sua utilidade durante os estágios iniciais (BASBAGILL *et al*,2013).

2.3.1 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Bribián *et al* (2012) afirmam que, os materiais utilizados na estrutura dos edifícios representam mais de 50% da energia incorporada no edifício, sendo assim, a utilização de materiais alternativos no lugar de materiais com uma elevada energia incorporada poderia poupar 20% da energia acumulada ao longo de um ciclo de vida de 50 anos. Para o mesmo autor, é essencial a reciclagem de materiais de construção visando reduzir a energia incorporada no edifício como, por exemplo, através do uso de aço reciclado e alumínio o que confere uma economia de mais de 50% em energia incorporada. A contribuição dos principais materiais utilizados nas construções em termos de energia e carbono incorporado pode ser observada nos Gráfico 1 e Gráfico 2:

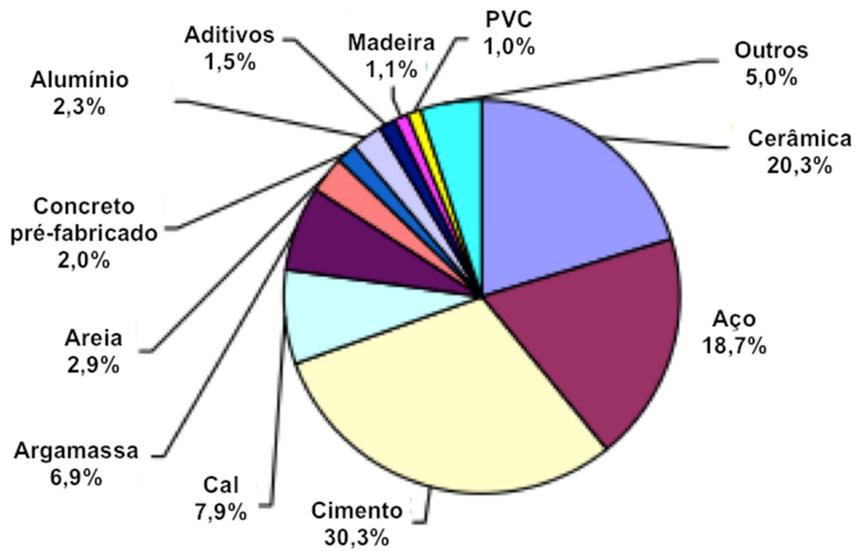


Gráfico 1- Contribuição das emissões de CO₂ associadas com a manufatura de materiais necessários para a construção de 1m²

Fonte: Bribián *et al* (2012)

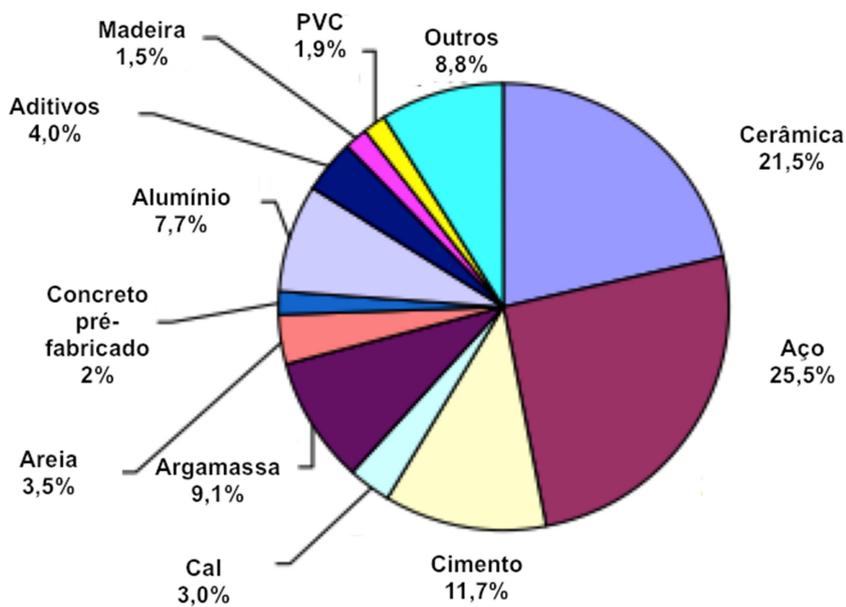


Gráfico 2 - Contribuição da demanda de energia primária associadas com a manufatura de materiais necessários para a construção de 1m²

Fonte: Bribián *et al* (2012)

2.3.2 BASES DE DADOS E FERRAMENTAS DE CÁLCULO

É bastante complexo calcular o impacto ambiental dos materiais de construção de modo a envolver todos os quesitos importantes para a sustentabilidade. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) permite quantificar o consumo e as emissões de gases e energia associados ao produto, ao longo do ciclo de vida. Essa metodologia permite aos clientes decisões baseadas nos impactos ambientais medidos nos processos de produção real. Para que esta análise possa ser realizada, é necessária uma base de dados de declarações ambientais de produtos. Recentemente foi criado o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV), para evitar que se continue recorrendo a bases de dados estrangeiras e, com isso, sejam tomadas decisões equivocadas (AGOPYAN; JOHN, 2011).

As bases de dados para cálculo da ACV permitem armazenar e organizar grandes quantidades de informações de modo a facilitar a sua exploração. Além da quantidade, é de extrema importância a transparência dos resultados fornecidos para o usuário. Existem as bases de dados fornecidas pelos próprios fabricantes de produtos dos setores de energia e indústria, e outras direcionadas para o setor da construção. Entre as principais utilizadas na Europa pelo setor da construção estão a francesa INIES, as suíças Kbob e ECOINVENT e a britânica ICE (ARENE,2012; HAMMOND; JONES,2008) .

Para tornar os dados de inventário de ciclo de vida dos materiais e processos de construção para cada contexto nacional disponíveis é necessário um banco de dados. No entanto, no Brasil, poucos dados foram fornecidos até agora pela indústria da construção civil. Assim, duas soluções podem ser

apresentadas: o desenvolvimento de uma nova base de dados nacional ou adaptação de bases de dados existentes. Embora a primeira opção seja a mais relevante, ela requer tempo e recursos, enquanto que a segunda solução é cientificamente aceitável e viável (MOTTA; AGUILAR, 2009).

As diversas ferramentas computacionais de cálculo de ACV disponíveis podem produzir resultados diferentes, em função dos parâmetros de cálculo, como os limites do estudo (berço à fábrica, berço ao portão, berço ao túmulo) e a base de dados adotada. Segundo o guia "A energia cinza dos materiais e das obras" (ARENE,2012), para escolher a ferramenta adequada deve-se considerar aquelas que permitem, no mínimo, comparar soluções.

Dados brasileiros são ainda escassos. Merecem destaque os organizados por Silva e Silva (2015) para materiais (desde a extração da matéria prima até o portão das fábricas) e para o metro quadrado de construção de uma tipologia construtiva selecionada - edifício até três pavimentos e estrutura de concreto armado, entre outras características. No entanto, é necessário começar a criar a cultura de se calcular os impactos ambientais das construções na fase de projeto, mesmo que isso signifique, no atual estágio brasileiro de inexistência de bases de dados e de ferramentas adequadas às características nacionais do setor, o uso de recursos adaptados.

O Quadro 3 resume as características das principais bases de dados para o desenvolvimento sustentável:

Quadro 3 - Principais bases de dados de desenvolvimento sustentável

Base de Dados	Setores	Natureza e Especialidades	Qualidades	Defeitos
ECOINVENT- KBOB Suiça www.ecoinvent.org	Todos	Base de dados co-gerida por órgãos públicos Base de dados ambiental dos materiais e sistemas para as edificações	Ferramenta de informação muito completa para inventário do ciclo de vida, dados de aquecimento climático, acidificação, energia primária, renovável, não renovável e eutrofização. Facilita as declarações ambientais dos produtos, as análises de ciclo de vida, a gestão do ciclo de vida e o design sustentável. Muito frequentemente utilizadas em ferramentas de avaliação.	Custo de licença elevado
KBOB Suiça www.bbl.admin.ch	Edificações	Conferência de coordenação dos serviços da construção e dos imóveis dos proprietários dos projetos de obras públicas KBOB Impactos ambientais	Base de dados que estabelece para os elementos constituintes das edificações o consumo de energia primária e as emissões de gases do efeito estufa as soluções retidas. Avaliação sobre a base ECOINVENT Gratuita	Somente informações de energia primária e gases do efeito estufa.
INIES França www.inies.fr	Edificações	Base de dados co-gerida por órgãos públicos e profissionais Impactos ambientais e sanitários	Baseada em produtos industriais disponíveis Informações gratuitas Baseada nas normas NF P01-010, a qual foi estabelecida sobre a série ISO 14040 para as avaliações de inventários de ciclo de vida e ISO 14020 para a etiquetagem ambiental dos produtos Fornece os dados de aquecimento climático, acidificação, energia primária, renovável, não renovável e eutrofização. Funciona com base num protocolo específico entre os organismos públicos e os profissionais sob o controle do ministério	A participação da indústria produtora deixa dúvidas sobre a objetividade das informações
ICE Reino Unido www.bath.ac.uk/mech-eng/serf/embodied/	Edificações	Energia cinza e gases do efeito estufa	Compilação de informações à escala internacional de um grande número de fontes como as de organismos públicos e empresas privadas Realizada na Universidade de Bath	Dificuldade de analisar o controle e a objetividade dos dados

Fonte: adaptado de Mequignon (2011)

No quadro seguinte é possível ver uma compilação dos principais *software* de avaliação de performance em termos de desenvolvimento sustentável:

Quadro 4 – Exemplos de software de avaliação de performance em termos de desenvolvimento sustentável

Nome	Descrição	Qualidades	Defeitos	Considerações sobre a vida útil
ELODIE-CSTB	Software que permite calcular a pressão exercida pela edificação sobre o meio ambiente em termos de : esgotamento de recursos, emissões de poluentes e perturbações sobre a vizinhança	Cálculo dos impactos ambientais dos produtos das edificações à partir de INIES	Ferramenta de avaliação específica sob o domínio ambiental.	Leva em consideração a vida útil típica dos produtos
Eco-Quantum	Calculo da eficácia ambiental dos projetos de construção e de novos sistemas energéticos, eficácia e custos das renovações ao ambiente.			Vida útil estimada de 50 anos
ISBE/SBTOOL/GBTOOL	Desenvolvimento modular que conduz à avaliação de -1 a 5 em diferentes pontos e pontuação final Módulo de especificações das prioridades locais	Adaptação do software as especificidades locais Considera as prioridades locais	Os parâmetros de avaliação económica são deixados para livre apreciação do usuário, o qual deverá ter experiência no ramo.	Sem estudo considerável sobre o impacto da vida útil na origem do período de utilização considerado
ATHENA Eco-calculator	Análise dos impactos dos materiais de uma edificação (fabricação, transporte, construção, manutenção e demolição)	Software muito sintético	Ausência de consideração dos custos	Ausência de análise de impacto da vida útil sobre os indicadores de desenvolvimento sustentável
EQUER	Software de avaliação da qualidade ambiental das edificações, tendo como objetivo auxiliar as escolhas com base nas consequências. Pode ser utilizado por diversos atores do setor da construção. Um arquiteto pode melhor justificar seu projeto através de um balanço ambiental rigoroso.	Avaliação do balanço energético, resíduos, efeito estufa, esgotamento de recursos, acidificação, eutrofização	Materiais avaliados e não os produtos	A vida útil da edificação é limitada a 90 anos. A vida dos componentes é contabilizada por essa duração, exceto os acabamentos internos e revestimentos externos que são de 10 anos.
COCON	Software de comparação de soluções técnicas em termos de impactos ambientais	Software de utilização simples	A vida útil dos produtos é típica.	Vida útil típica dos produtos

Fonte: adaptado de Mequignon (2011)

3 ESTUDO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL UTILIZANDO A FERRAMENTA BIM

3.1 METODOLOGIA

Foi utilizada a ferramenta Revit® Architecture 2016 para mensurar impactos ambientais de edificações, através de energia incorporada e de CO₂ incorporado. A partir da energia incorporada, pôde ser feita a desagregação dos valores de consumo de energia em fontes primárias. Os valores relativos à emissão de CO₂ foram extraídos por fontes de energia através da relação de consumo para materiais de construção fabricados no Brasil. Esses dados foram obtidos a partir de Tavares (2006). Os dados de energia e de CO₂ incorporado foram inseridos no modelo geométrico a partir de parâmetros de projeto, com a metodologia desenvolvida por Abanda *et al* (2015). A partir das tabelas encontradas no Revit® Architecture 2016 os dados foram exportados para o Microsoft® Excel® e foram realizados gráficos de modo a comparar por elemento construtivo ou o edifício como um todo.

A) DADOS DE ENERGIA INCORPORADA E CO₂ INCORPORADO

Os dados de densidade dos materiais, energia embutida, consumo primário de energia e geração de CO₂ por fonte de energia foram extraídos de Tavares (2006), conforme mostram as tabelas 1 a 4:

Tabela 1 - Densidade de materiais de construção

MATERIAIS	DENSIDADE
	kg/m ³
AZULEJO	2.000
CONCRETO SIMPLES	2.300
BLOCO CONCRETO	2.000
FIBROCIMENTO - TELHA	1.920
PORTA MADEIRA APARELHADA	650
ARGAMASSA - MISTURA	2.115
ALUMINIO ANODIZADO	2.700
VIDRO PLANO	2.500
TINTA ÓLEO	1,3KG/L
TINTA PVA LATEX	1,3KG/L
TINTA ACRÍLICA	1,3KG/L
GRANITO - APARELHADA	2.700
CHAPA GALVANIZADA	7.850
LAMINADO CA50	7.850
MÁRMORE	2.680
TELHA CERÂMICA	1.900
CIMENTO PORTLAND	1.950
MADEIRA LAMINADA COLADA	650
CERÂMICA BRANCA	2.000
BLOCO 8 FUROS	1.400

Fonte: elaborada a partir de Tavares (2006)

Tabela 2- Energia embutida (EE) em materiais de construção brasileiros

MATERIAIS	EE	EE
	MJ/kg	MJ/m ³
Aço - laminado CA 50	30,00	235.500,00
Alumínio lingote	98,20	265.140,00
Alumínio anodizado	210,00	567.000,00
Alumínio reciclado - extrudado	17,30	46.710,00
Areia	0,05	80,00
Argamassa - mistura	2,10	3.906,00
Borracha natural - latex	69,00	63.480,00
Borracha sintética	135,00	160.650,00
Brita	0,15	247,50
Cal virgem	3,00	4.500,00
Cerâmica - bloco de 8 furos	2,90	4.060,00
Cerâmica - branca	25,00	52.075,00
Cerâmica - revest, monoqueima	5,10	10.456,66
Cerâmica - porcelanato	13,00	27.300,00
Cerâmica - telha	5,40	10.260,00
Cimento Portland	4,20	8.190,00
Cobre	75,00	669.975,00
Concreto - bloco de vedação	1,00	2.300,00
Concreto simples	1,20	2.760,00
Fibra de vidro	24,00	768,00
Fibrocimento - telha	6,00	9.600,00
Fio termoplástico	83,00	201.690,00
Gesso	4,00	5.720,00
Granito - aparelhada	2,00	5.400,00
Lã mineral	19,00	2.090,00
Latão	80,00	682.400,00
Madeira - aparelhada seca forno	3,50	2.100,00
Madeira - aparelhada seca ar livre	0,50	300,00
Madeira - laminada colada	7,50	4.875,00
Madeira - MDF	9,00	5.850,00
Mármore	1,00	2.550,00
Placa de gesso	4,50	4.500,00
Poliamida - nylon	125,00	143.750,00
Poliestireno expandido	112,00	4.480,00
Poliétileno de alta densidade	95,00	90.250,00
Polipropileno	83,80	92.180,00
Poliuretano	74,00	44.400,00
Solo-cimento - bloco	0,60	1.020,00
Solvente - tolueno	67,90	74.690,00
Telha de vidro	23,13	55.512,00
Tinta acrílica	61,00	79.300,00
Tinta óleo	98,10	127.530,00
Tinta PVA latex	65,00	84.500,00
Tubo - PVC	80,00	104.000,00
Vermiculita	1,37	167,14
Vidro plano	18,50	46.250,00

EE- Energia Embutida

Fonte: Tavares (2006).

Tabela 3 - Consumo primário de energia por fontes (% MJ) em materiais de construção

FONTES	FÓSSEIS NÃO RENOVÁVEIS							RENOVÁVEIS				
	ÓLEO DIESEL E COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	GLP	COQUE DE PETRÓLEO	OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	CARVÃO MINERAL	COQUE DE CARVÃO MINERAL	ELETRICIDADE	CARVÃO VEGETAL	LENHA	OUTRAS FONTES PRIM. RENOVÁVEIS	OUTRAS
MATERIAIS												
Aço e ferro	1	6						10				12
Alumínio	21	7			4		10	54				4
Areia	99							1				
Argamassa	86			10				4				
Cal	12							8		80		
Cerâmica revest.	15	68	5					12				
Cerâmica verm.	4		8					2		85		1
Cimento	3			61		8		12	9			7
Cobre	10	44					5	41				
Concreto	82			9				9				
Fibrocimento	84		2					14				
Impermeabilizantes	10	30			34			26				
Madeira	83							17				
Pedra	85							15				
Plásticos	10	30			34			26				
Tintas	90							10				
Outros materiais	8	11				7	10	20	9		35	

Fonte: Tavares (2006)

Tabela 4 - Geração de CO₂ por fontes de energia

FONTE	CO₂ (kg/GJ)
ELETRICIDADE	18,1
ÓLEO COMBUSTÍVEL	79,8
GÁS NATURAL	50,6
GLP	63,3
OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	72,6
COQUE DE CARVÃO MINERAL	91,5
COQUE DE PETRÓLEO	72,6
CARVÃO MINERAL	91,5
CARVÃO VEGETAL	51
LENHA	81,6
OUTRAS FONTES PRIM. RENOVÁVEIS	0,0
OUTRAS	35,7

Fonte: Tavares (2006)

Para exemplificar o cálculo de CO₂ incorporado foi utilizado o exemplo do aço:

Multiplicando-se o percentual de consumo primário de energia (%) pela geração de CO₂ (kg/MJ) para cada fonte de energia, obtém-se o consumo de CO₂/MJ. A partir desse valor, deve-se multiplicar pela energia embutida do material em MJ/m³ e assim chega-se ao CO₂ incorporado do material, em kg de CO₂/m³.

Exemplo de cálculo do CO₂ incorporado (AÇO)=
(0,0798x0,01)+(0,0506x0,06)+(0,0915x0,71)+(0,0181x0,1)+(0,0357x12)= 0,07489
kg de CO₂/MJ x 235.500 MJ/m³ = 17.637,30 kg de CO₂/m³

Esse mesmo procedimento de cálculo foi realizado para todos os materiais do estudo, obtendo assim, o valor total de CO₂ incorporado emitido pela ferramenta. Tavares (2006) afirma que para alguns materiais o processo de fabricação gera significativas quantidades de CO₂ independente do uso de energia, o qual é denominado CO₂ não energético. Para os materiais abaixo foram somados o CO₂ não energético no processo de fabricação, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Geração de CO₂ não energético em processos de fabricação de materiais de construção

MATERIAL	t CO₂ / t
ALUMÍNIO	1,600
CAL	0,760
CIMENTO	0,375
CONCRETO	0,045

Fonte: Tavares (2006)

Foram desconsiderados os dados relativos ao transporte dos materiais.

B) OBJETO DE ESTUDO – HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Para realizar o estudo, foi selecionado o projeto de residência popular vencedor do Concurso Nacional de Projeto de Arquitetura de Novas Tipologias para Habitação de Interesse Social Sustentáveis (HIS Sustentáveis) na categoria de casas térreas no ano de 2010. Esse concurso é fruto de uma parceria entre o Instituto dos Arquitetos do Brasil - seção São Paulo (IAB-SP) - e da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU) e teve por objetivo fomentar a produção de projetos arquitetônicos em diferentes categorias habitacionais na esfera pública estadual. O projeto foi gentilmente cedido pelo escritório 24.7 Arquitetura, da cidade de Campinas – SP.

O projeto arquitetônico, desenvolvido com princípios de arquitetura bioclimática, buscou considerar, juntamente com a felicidade e o bem-estar dos futuros moradores, a qualidade de vida através de sistemas naturais de ventilação, alta inércia térmica, orientação da edificação para o norte, aproveitamento de recursos naturais (sol para esquentar a casa, vento para refrescar e regularizar a umidade e água da chuva para regar o jardim e descarga do banheiro). Trata-se de uma casa compacta, todavia, com qualidade visual e volumétrica. Segundo memorial dos arquitetos (TEDESCHI, 2010, p.34):

A residência consiste em um programa reduzido, resolvido a partir de dois blocos lineares interligados por um terceiro bloco com funções distintas, sendo um módulo para os dormitórios e banheiro, outro para a área de serviços (cozinha e lavanderia) e um terceiro – de ligação – para abrigar a sala de refeições e a sala de estar.

O formato alongado e estreito visa garantir a iluminação e radiação direta total dos ambientes da casa, já que, de acordo com a inclinação do sol para a latitude da cidade, o formato quadrado ou retangular de certas dimensões impossibilitaria o alcance da luz em toda a sua extensão. O mesmo terreno, com as mesmas dimensões, foi pensado para abrigar a casa de dois e três dormitórios, prevendo, assim, a expansão de mais

um quarto da menor habitação em caso de crescimento do número de integrantes da família (TEDESCHI, 2010, p.34).

Nas imagens a seguir é possível ver a planta baixa de implantação, (Figura 8), uma das fachadas projetadas (Figura 9), planta baixa das casas (Figura 10) e os cortes bioclimáticos (Figura 11, Figura 12 e Figura 13).



Figura 8 – Planta baixa de implantação

Fonte: 24.7 Arquitetura (2017)



Figura 9 - Fachada da casa.

Fonte: 24.7 Arquitetura (2017)

plantas

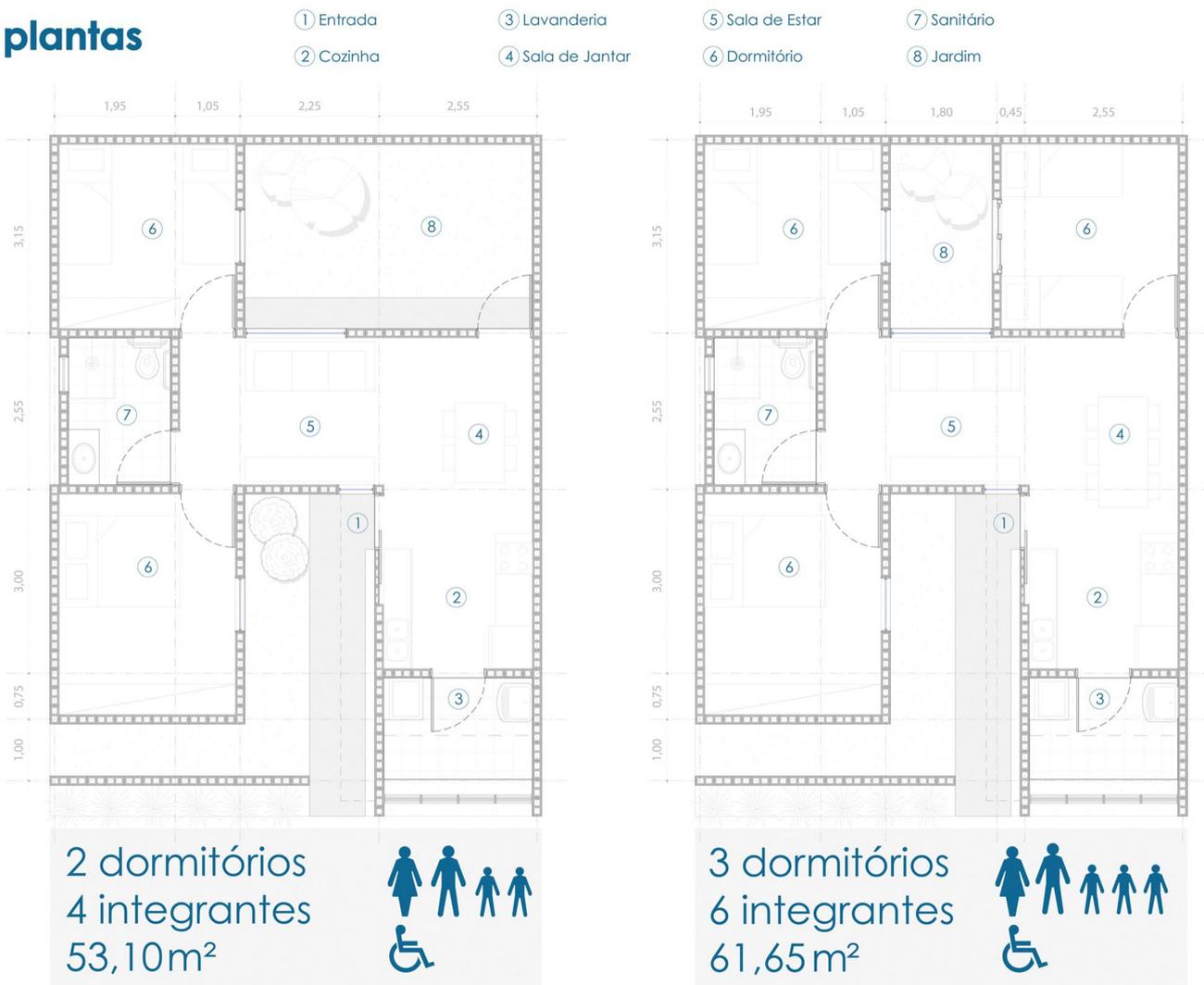


Figura 10 - Planta baixa da casa de dois dormitórios.

Fonte: 24.7 Arquitetura (2017)

cortes bioclimáticos

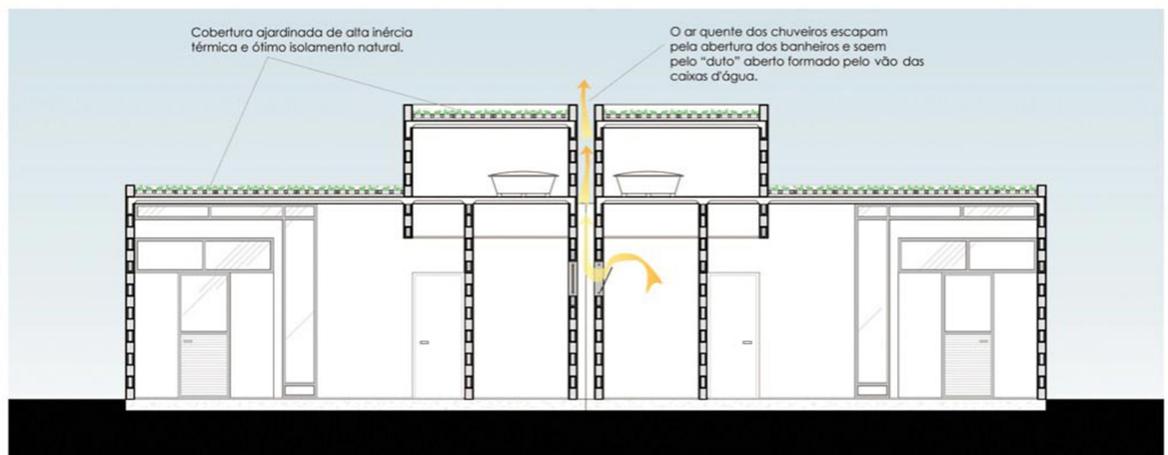
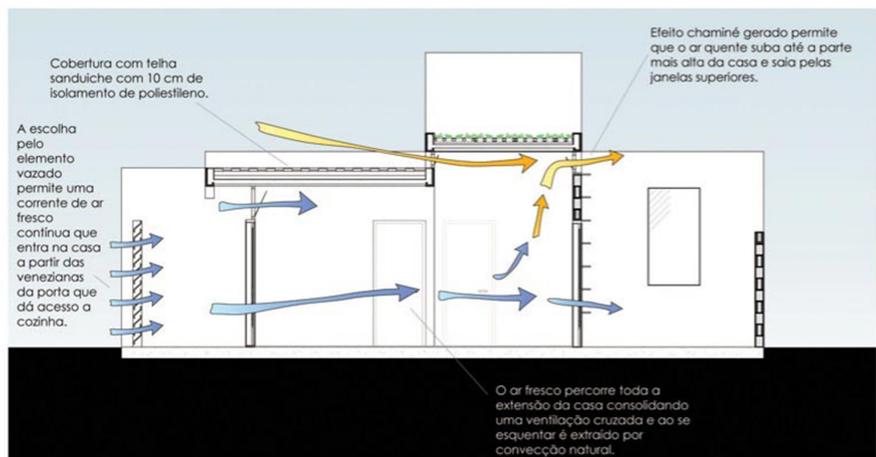


Figura 11 – Cortes bioclimáticos

Fonte: 24.7 Arquitetura (2017)

verão

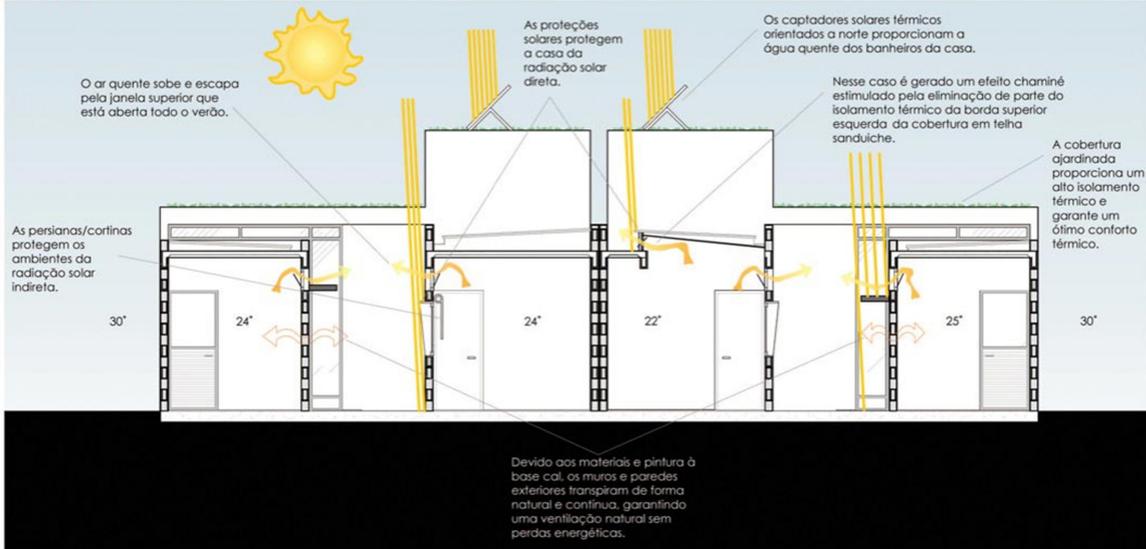


Figura 12- Cortes bioclimático (continuação)

Fonte: 24.7 Arquitetura (2017)

inverno

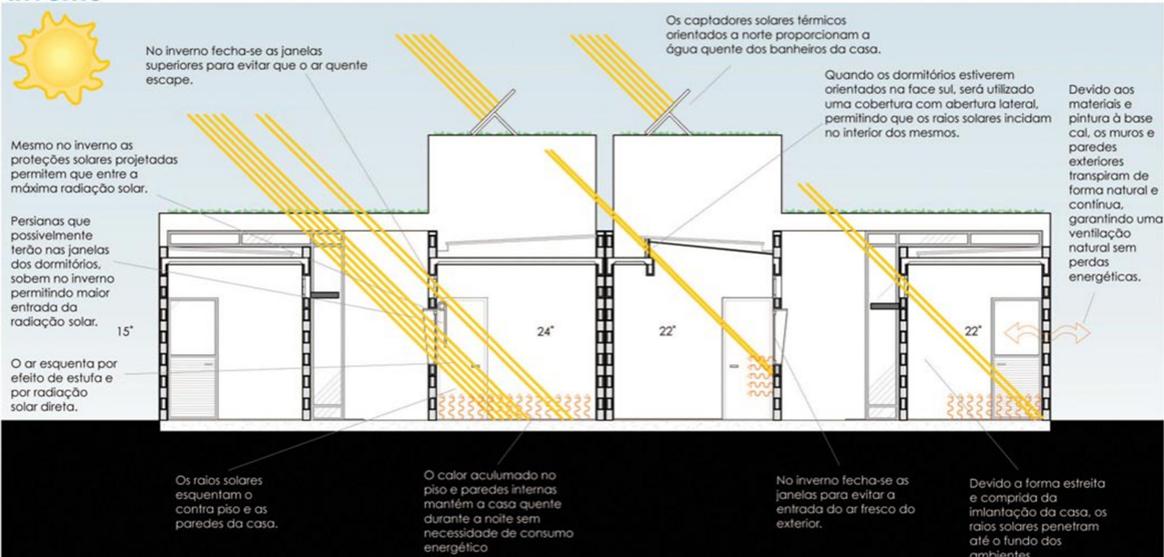


Figura 13- Cortes bioclimático (continuação)

Fonte: 24.7 Arquitetura (2017)

C) IMPLEMENTAÇÃO NO REVIT®

O processo de implementação no Revit® foi baseado no estudo “*Digitizing the Assessment of Embodied Energy and Carbon Footprint of Buildings Using Emerging Building Information Modeling*” de Abanda *et al* (2015). Os passos utilizados na computação dos dados de energia e CO₂ incorporados foram listados na Figura 14 de modo a facilitar o entendimento.

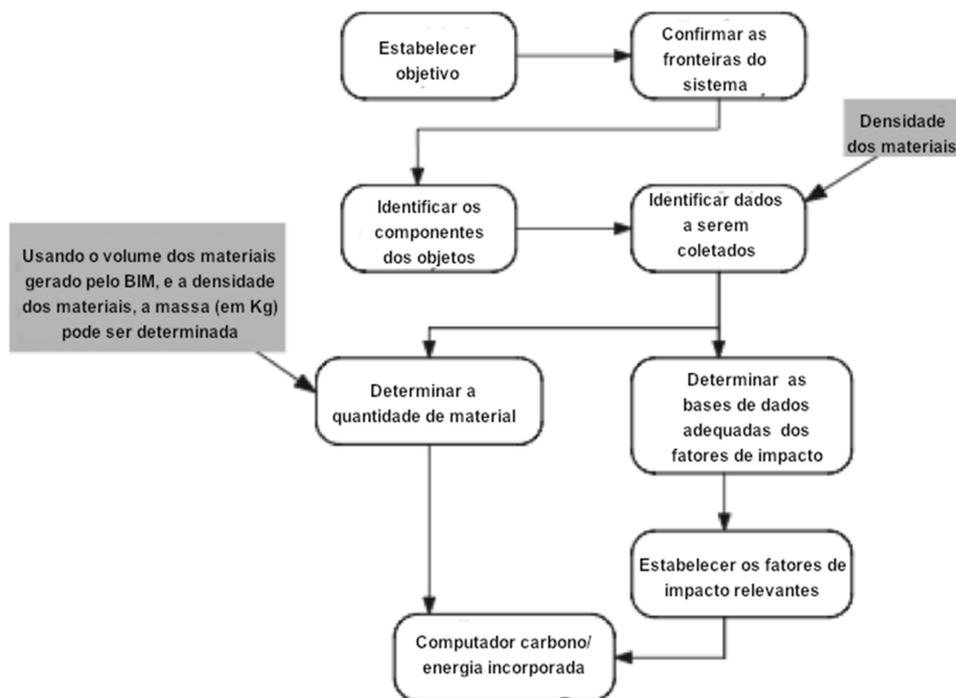


Figura 14 - Passos para a computação da energia e CO₂ incorporado

Fonte: Abanda *et al* (2015)

Foram adicionados parâmetros de projeto³ para os materiais de construção. Esse processo se deu manualmente, e o método de obtenção dos dados já foi exemplificado anteriormente. Os seguintes parâmetros de projeto foram criados:

³ Os parâmetros de projeto permitem adicionar e armazenar informações em múltiplas categorias para um determinado projeto, não podendo ser compartilhado com outros projetos.

- a) Densidade dos materiais (kg/m^3)
- b) Percentual de energia incorporada dos materiais (MJ/kg)
- c) Percentual de carbono incorporado dos materiais (kgCO_2/kg)

O passo a passo pode ser visto nas Figura 15 e Figura 16.

A Massa dos materiais (kg) foi obtida pela utilização de fórmulas no momento de criação das tabelas de quantitativos: foi inserida a fórmula de cálculo que multiplicou o volume pela densidade (Figura 18 e Figura 19). O mesmo procedimento foi utilizado para a Energia Incorporada (MJ) e para o Carbono Incorporado (kgCO_2): ambos foram calculados por meio da tabela que multiplicou a massa pelo percentual de energia incorporada (MJ/kg) e percentual de carbono incorporado, respectivamente. Ao final, o programa gerou as tabelas completas com os dados de energia incorporada e carbono incorporado (Tabela 6).

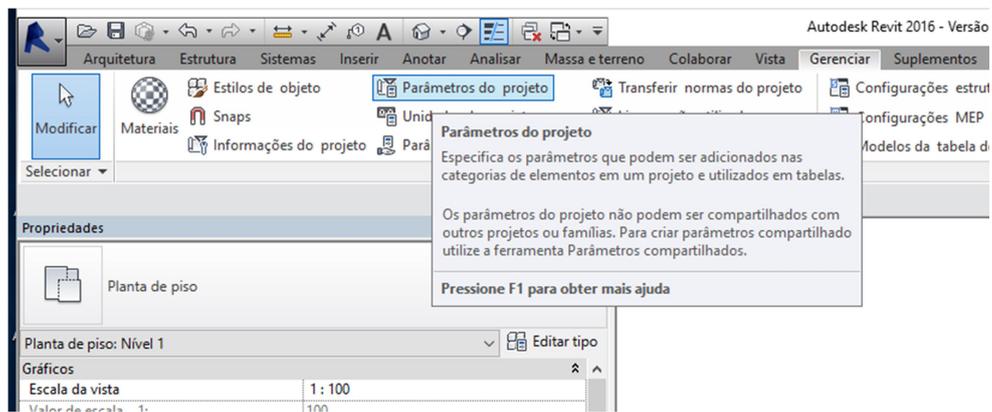


Figura 15 - Criação de parâmetros de projeto

Fonte: Interface do Revit® 2016 obtido pela autora em 2017

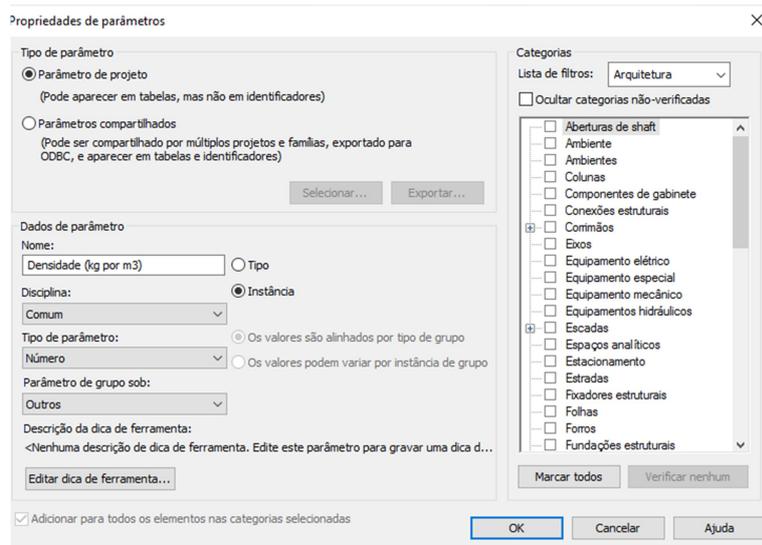


Figura 16 - Criação de parâmetros de projeto (continuação)

Fonte: Interface do Revit® 2016 obtido pela autora em 2017

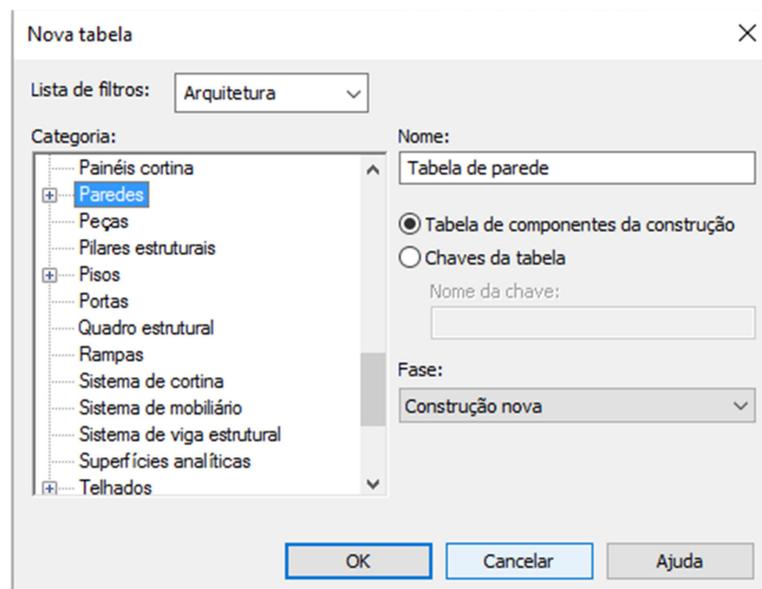


Figura 17 - Criação de tabela de levantamento de materiais (parede)

Fonte: Interface do Revit® 2016 obtido pela autora em 2017

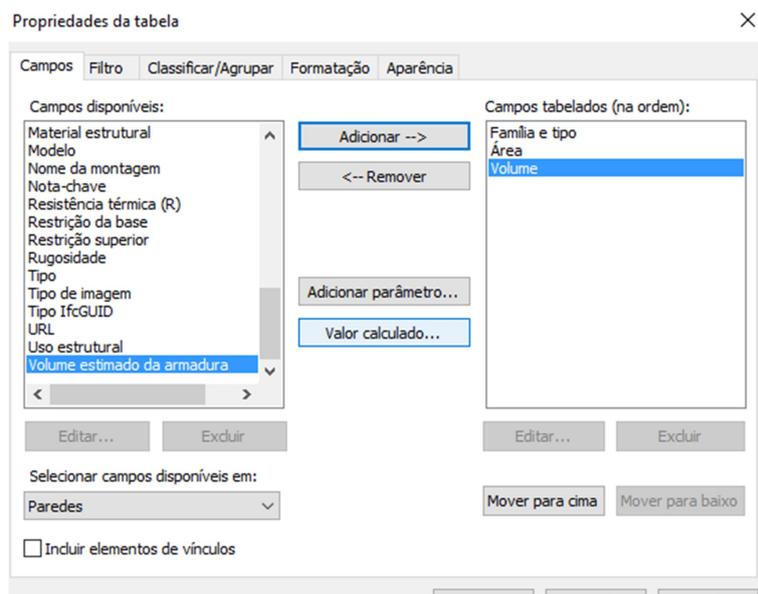


Figura 18 - Criação de tabelas de levantamento de materiais (fórmulas)

Fonte: Interface do Revit® 2016 obtido pela autora em 2017

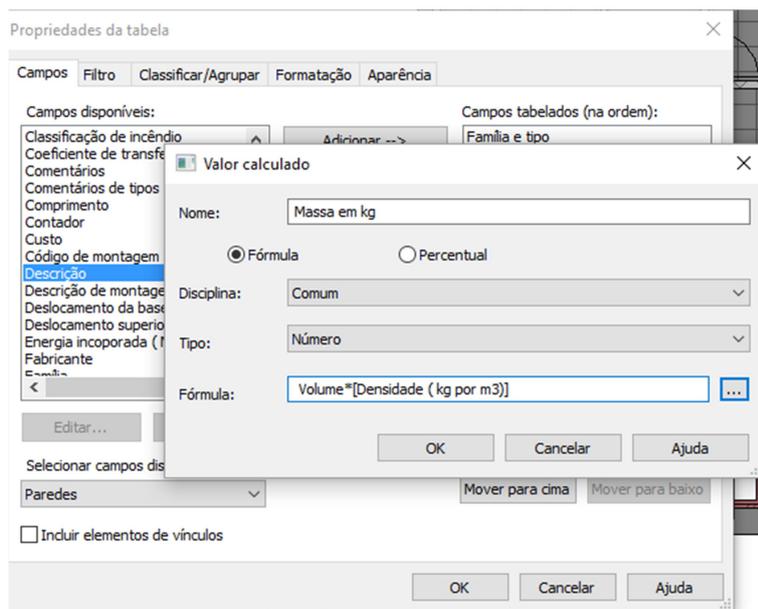


Figura 19 - Propriedades da tabela: valor calculado Massa (kg)

Fonte: Interface do Revit® 2016 obtido pela autora em 2017

Tabela 6 - Tabela de levantamento dos materiais

<Levantamento do material de parede>									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Typo	Material Nome	Material Area	Material Volume	Densidade (kg por m3)	Massa em kg	Energia incorporada	Carbono incorpora	CARBONO INCORPORADO (k)	ENERGIA INCORPO
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	6,72 m²	0,94 m³	2000	1882,72	1	0,07	131,79	1882,72
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	7,83 m²	1,10 m³	2000	2191,28	1	0,07	153,39	2191,28
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	12,96 m²	1,82 m³	2000	3635,35	1	0,07	254,47	3635,35
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	6,24 m²	0,87 m³	2000	1746,47	1	0,07	122,25	1746,47
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	6,36 m²	0,89 m³	2000	1780,80	1	0,07	124,66	1780,80
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	26,56 m²	3,72 m³	2000	7437,36	1	0,07	520,62	7437,36
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	22,77 m²	3,19 m³	2000	6375,60	1	0,07	446,29	6375,60
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	7,80 m²	1,09 m³	2000	2184,00	1	0,07	152,88	2184,00
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	9,78 m²	1,37 m³	2000	2737,28	1	0,07	191,61	2737,28
Genérico - 90 mm COBOGO	Tijolo, Comum	5,28 m²	0,48 m³	1400	665,02	2,9	0,23	152,95	1928,54
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	3,38 m²	0,47 m³	2000	945,67	1	0,07	66,20	945,67
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	7,94 m²	1,11 m³	2000	2223,03	1	0,07	155,61	2223,03
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	7,86 m²	1,10 m³	2000	2192,11	1	0,07	153,45	2192,11
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	6,24 m²	0,87 m³	2000	1747,03	1	0,07	122,29	1747,03
Genérico - 90 mm Tijolo	Tijolo, Comum	0,40 m²	0,04 m³	1400	49,90	2,9	0,23	11,49	144,70
Genérico - 90 mm Tijolo	Tijolo, Comum	0,71 m²	0,06 m³	1400	89,06	2,9	0,23	20,48	258,26
Genérico - 90 mm Tijolo	Tijolo, Comum	0,32 m²	0,03 m³	1400	40,82	2,9	0,23	9,39	118,39
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	12,09 m²	1,69 m³	2000	3384,47	1	0,07	236,91	3384,47

<Levantamento do material piso>									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Typo	Familia e tipo	Area	Volume	Densidade (kg por	MASSA EM KG	Energia incorporada (MJ	Carbono incorporado (kgC	CARBONO INCORPORADO	ENERGIA INCORPORADA
Genérico 150 mm	Piso: Genérico 150 mm	21,32 m²	3,20 m³	2300	7355,02	1,2	0,09	661,95	8626,02
Genérico 450 mm	Piso: Cerâmico 450 mm	8,61 m²	0,26 m³	2000	516,52	6,2	0,32	165,29	3202,40
Genérico 450 mm	Piso: Cerâmico 450 mm	10,35 m²	0,31 m³	2000	621,19	6,2	0,32	190,76	3851,39
Genérico 450 mm	Piso: Cerâmico 450 mm	8,61 m²	0,26 m³	2000	516,52	6,2	0,32	165,29	3202,40
Genérico 300 mm	Piso: Cerâmico 300 mm	4,27 m²	0,13 m³	2000	256,32	6,2	0,32	82,02	1589,18
Genérico 300 mm	Piso: Cerâmico 300 mm	7,27 m²	0,22 m³	2000	436,11	6,2	0,32	139,56	2703,90
Genérico Granito	Piso: Soliera Granito	0,13 m²	0,00 m³	2321	8,92	90	19,1	170,36	802,76
Genérico Granito	Piso: Soliera Granito	0,13 m²	0,00 m³	2321	8,92	90	19,1	170,36	802,76
Genérico Granito	Piso: Soliera Granito	0,13 m²	0,00 m³	2321	8,92	90	19,1	170,36	802,76
Genérico Granito	Piso: Soliera Granito	0,13 m²	0,00 m³	2321	8,92	90	19,1	170,36	802,76
Genérico Granito	Piso: Soliera Granito	0,13 m²	0,00 m³	2321	8,92	90	19,1	170,36	802,76
Genérico Granito	Piso: Soliera Granito	0,13 m²	0,00 m³	2321	8,92	90	19,1	170,36	802,76
Genérico 450 mm	Piso: Cerâmico 450 mm	13,85 m²	0,42 m³	2000	831,04	6,2	0,32	265,93	5152,43
Genérico 300 mm	Piso: Cerâmico 300 mm	4,26 m²	0,13 m³	2000	255,62	6,2	0,32	81,80	1584,96
Genérico Granito	Piso: Soliera Granito	0,17 m²	0,01 m³	2321	12,12	90	19,1	231,51	1090,68
Genérico Concreto moldado em loco 120 mm	Piso: Concreto moldado em loco	9,89 m²	1,19 m³	2300	2729,92	1,2	0,09	245,89	3275,90
Genérico Concreto moldado em loco 120 mm	Piso: Concreto moldado em loco	9,89 m²	1,19 m³	2300	2729,92	1,2	0,09	245,89	3275,90

Fonte: Interface do Revit® 2016 obtido pela autora em 2017

D) IMPLEMENTAÇÃO NO MS EXCEL®

Inicialmente, o edifício foi modelado no Revit® para que depois pudessem ser realizados os cálculos de energia e CO₂ incorporados no MS Excel®, planilha eletrônica muito popular. As tabelas foram exportadas do Revit® para arquivos “.txt” e depois foram importadas para o MS Excel® como arquivos de texto. A partir de então, pode-se modificar as tabelas e calcular o impacto total obtido com o edifício. Com base nessas tabelas, é possível tomar decisões para determinar os materiais a serem utilizados.

Tabela 7 - Tabela Excel® modificada

Levantamento do material de parede									
Tipo	Material: Nome	Material:	Material:	Densidade (Massa em	Energia	Carbono	ENERGIA	CARBONO
		Área	Volume	kg por m3)	kg	incorporada (MJ por kg)	incorporado (kgCO2 por kg)	INCORPORADA (MJ)	INCORPORADO (kgCO2)
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	6,72	0,9408	2000	1881,6	1	0,07	1881,6	131,712
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	7,83	1,0962	2000	2192,4	1	0,07	2192,4	153,468
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	12,98	1,8172	2000	3634,4	1	0,07	3634,4	254,408
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	6,24	0,8736	2000	1747,2	1	0,07	1747,2	122,304
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	6,36	0,8904	2000	1780,8	1	0,07	1780,8	124,656
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	26,56	3,7184	2000	7436,8	1	0,07	7436,8	520,576
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	22,77	3,1878	2000	6375,6	1	0,07	6375,6	446,292
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	7,8	1,092	2000	2184	1	0,07	2184	152,88
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	9,78	1,3692	2000	2738,4	1	0,07	2738,4	191,688
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	3,38	0,4732	2000	946,4	1	0,07	946,4	66,248
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	7,94	1,1116	2000	2223,2	1	0,07	2223,2	155,624
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	7,86	1,1004	2000	2200,8	1	0,07	2200,8	154,056
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	6,24	0,8736	2000	1747,2	1	0,07	1747,2	122,304
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	12,09	1,6926	2000	3385,2	1	0,07	3385,2	236,964
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	4,30	0,602	2000	1204	1	0,07	1204	84,28
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	4,83	0,6762	2000	1352,4	1	0,07	1352,4	94,668
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	3,65	0,511	2000	1022	1	0,07	1022	71,54
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	4,61	0,6454	2000	1290,8	1	0,07	1290,8	90,356
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	1,14	0,1596	2000	319,2	1	0,07	319,2	22,344
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	1,92	0,2688	2000	537,6	1	0,07	537,6	37,632
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	1,92	0,2688	2000	537,6	1	0,07	537,6	37,632
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	1,51	0,2114	2000	422,8	1	0,07	422,8	29,596
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	1,51	0,2114	2000	422,8	1	0,07	422,8	29,596
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	1,8	0,252	2000	504	1	0,07	504	35,28
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	1,44	0,2016	2000	403,2	1	0,07	403,2	28,224
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	1,74	0,2436	2000	487,2	1	0,07	487,2	34,104
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	1,51	0,2114	2000	422,8	1	0,07	422,8	29,596
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	1,44	0,2016	2000	403,2	1	0,07	403,2	28,224
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	1,44	0,2016	2000	403,2	1	0,07	403,2	28,224
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	2,1	0,294	2000	588	1	0,07	588	41,16
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	0,96	0,1344	2000	268,8	1	0,07	268,8	18,816
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	2,1	0,294	2000	588	1	0,07	588	41,16
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	5,86	0,8204	2000	1640,8	1	0,07	1640,8	114,856
Genérico - 140 mm Alvenaria	Unidades de alvenaria de concreto	1,37	0,1918	2000	383,6	1	0,07	383,6	26,852

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

Tabela 8 - Tabela no Excel® com os resultados obtidos

Material	Área (m2)	Volume (m3)	Densidade (kg/m3)	Massa (kg)	Energia incorporada (MJ por kg)	Carbono incorporado (kgCO2 por kg)	ENERGIA INCORPORADA (MJ)	CARBONO INCORPORADO (kgCO2)
ALUMINIO	1,93	0,01	2.700,00	26,08	210,00	9,15	5.477,22	238,65
ARGAMASSA	198,41	7,94	2.115,00	16.785,49	2,10	0,14	35.249,52	2.349,97
BLOCO CERÂMICO	6,71	0,61	1.400,00	844,80	2,90	0,23	194,30	2.449,89
BLOCO DE CONCRETO	191,70	26,84	2.000,00	53.676,00	1,00	0,07	53.676,00	3.757,32
CONCRETO	94,09	12,59	2.300,00	28.957,00	1,20	0,09	34.748,40	2.606,13
GRANITO	0,95	0,02	2.700,00	64,13	2,00	0,07	128,25	4,49
MADEIRA	14,16	0,71	650,00	460,14	3,50	0,24	1.610,50	110,43
PISO CERÂMICO	57,22	1,73	2.000,00	3.433,32	6,20	0,32	21.286,58	1.098,66
TELHA FIBROCIMENTO	34,54	2,07	1.920,00	3.979,01	6,00	0,42	23.874,05	1.671,18
VIDRO	11,64	0,13	2.500,00	318,00	18,50	0,66	5.883,00	209,88
						Somatório	182.127,82	14.496,60

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

3.2 RESULTADOS E ANÁLISES

Como é possível ver na planta baixa (Figura 20), o projeto da residência analisada é térrea e possui aproximadamente 62 m², sendo três quartos, sala, um banheiro, cozinha e área de serviço. Na parte superior da laje, está localizada uma caixa d'água.

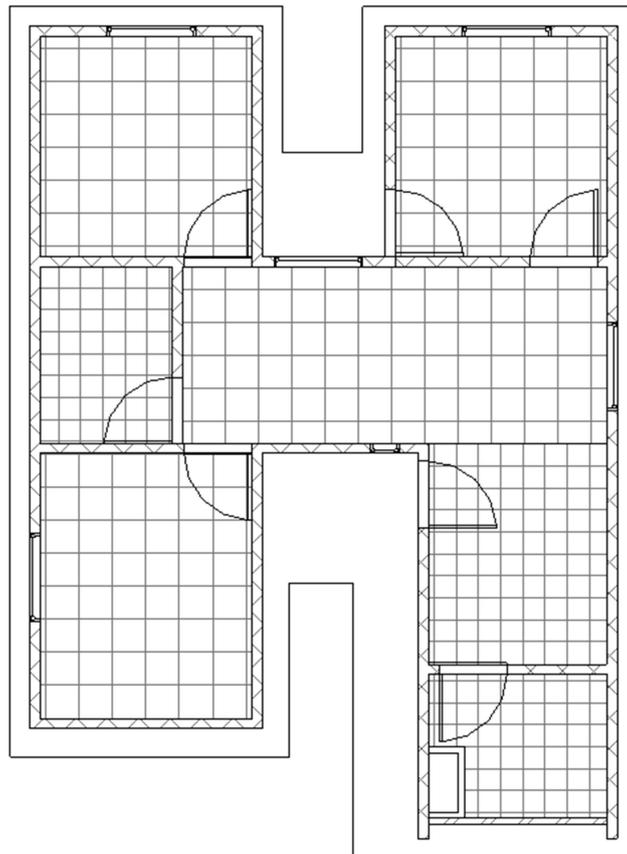


Figura 20 - Planta baixa no Revit®.

Fonte: Interface do Revit® 2016 obtido pela autora em 2017

Na Figura 21 é possível ver a casa em perspectiva no Revit®:

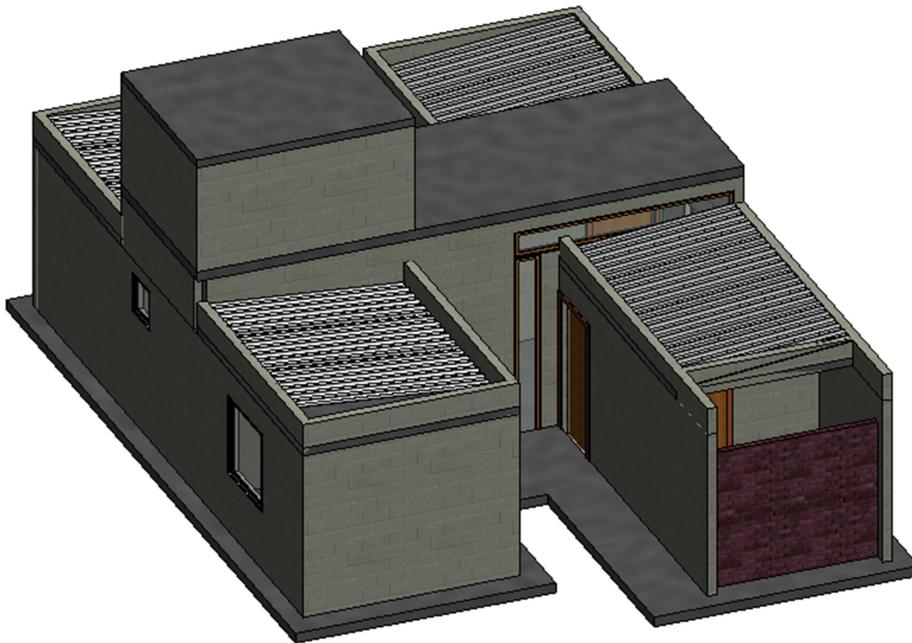


Figura 21 - Perspectiva da residência no Revit®.

Fonte: a autora (2017)

A escolha original do escritório contempla os materiais utilizados no sistema construtivo 1. No sistema construtivo 2 foram utilizados materiais típicos da construção civil brasileira em habitações de interesse social. Por se tratar da mesma estrutura hidráulica e elétrica esses casos foram desconsiderados.

O estudo se concentra na metodologia e menos importância é dada aos resultados em termos absolutos. Assim, a comparação dos casos 1 e 2 é feita com substituição de mais de um material ao mesmo tempo, ao invés de substituições uma a uma.

a) Sistema construtivo 1

Primeiramente foi realizada uma simulação utilizando os seguintes materiais componentes: janelas de alumínio, blocos de concreto, portas de

madeira, piso cerâmico, soleiras de granito e telhas de fibrocimento. Não foram consideradas instalações hidráulicas e elétricas. A Tabela 9 e os gráficos Gráfico 3 e Gráfico 4 mostram os quantitativos gerados a partir do Revit® e exportados para o Excel®:

Tabela 9 - Quantitativos do Estudo de Caso 1

Material	Área (m2)	Volume (m3)	Densidade (kg/m3)	Massa (kg)	Energia incorporada (MJ por kg)	Carbono incorporado (kgCO2 por kg)	ENERGIA INCORPORADA (MJ)	CARBONO INCORPORADO (kgCO2)
ALUMINIO	1,93	0,01	2.700,00	26,08	210,00	9,15	5.477,22	238,65
ARGAMASSA	198,41	7,94	2.115,00	16.785,49	2,10	0,14	35.249,52	2.349,97
BLOCO CERÂMICO	6,71	0,61	1.400,00	844,80	2,90	0,23	194,30	2.449,89
BLOCO DE CONCRETO	191,70	26,84	2.000,00	53.676,00	1,00	0,07	53.676,00	3.757,32
CONCRETO	94,09	12,59	2.300,00	28.957,00	1,20	0,09	34.748,40	2.606,13
GRANITO	0,95	0,02	2.700,00	64,13	2,00	0,07	128,25	4,49
MADEIRA	14,16	0,71	650,00	460,14	3,50	0,24	1.610,50	110,43
PISO CERÂMICO	57,22	1,73	2.000,00	3.433,32	6,20	0,32	21.286,58	1.098,66
TELHA FIBROCIMENTO	34,54	2,07	1.920,00	3.979,01	6,00	0,42	23.874,05	1.671,18
VIDRO	11,64	0,13	2.500,00	318,00	18,50	0,66	5.883,00	209,88
Somatório							182.127,82	14.496,60

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

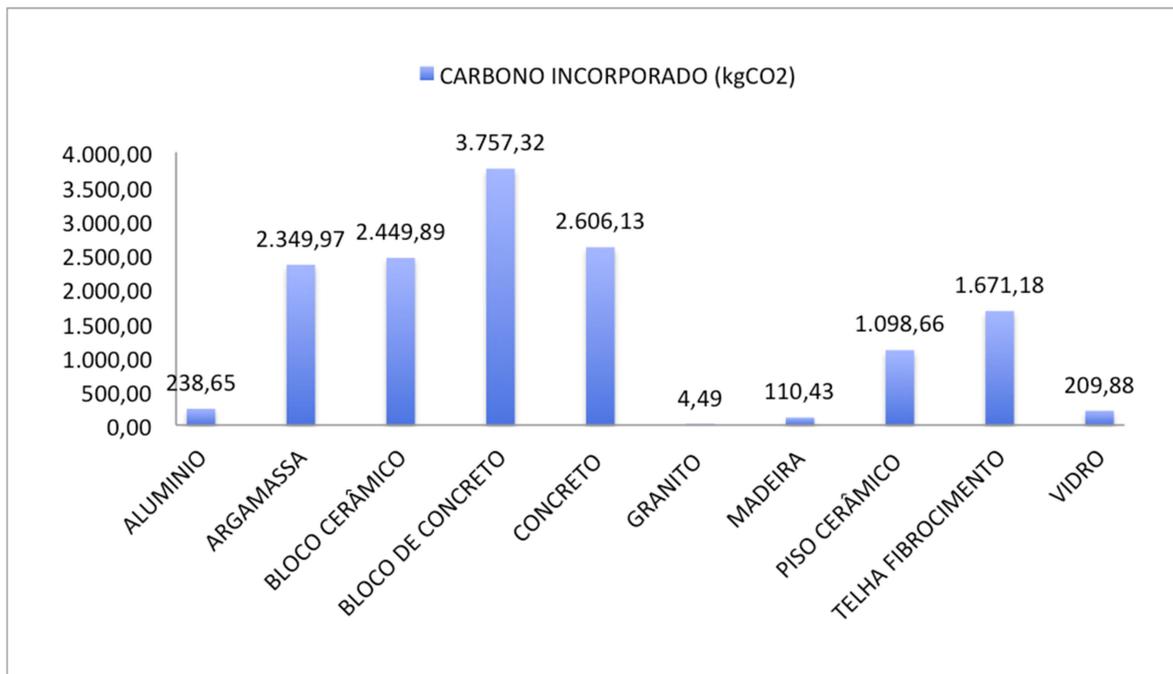


Gráfico 3 - Estudo de caso 1: CO₂ incorporado por material

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

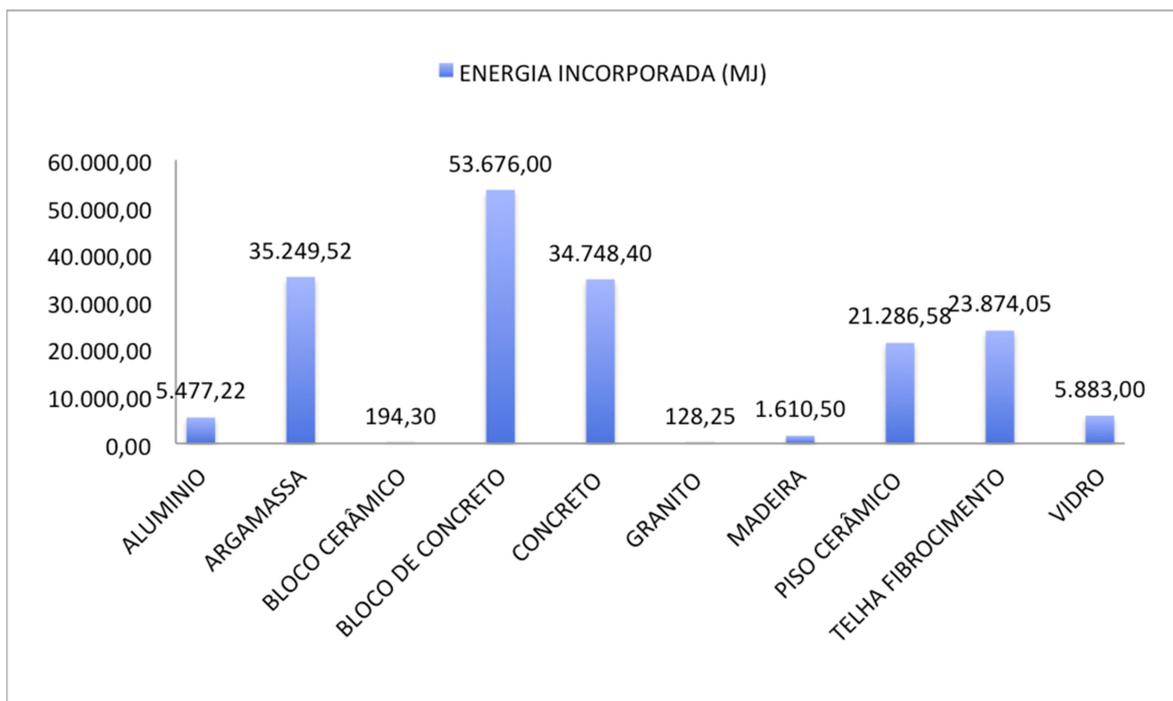


Gráfico 4 - Estudo de caso 1: Energia incorporada por material

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

Como mostram os resultados na Tabela 9, para o primeiro caso há emissão de 14.496,60 kg CO₂ e consumo de energia de 182.127,82 MJ.

Os materiais que tiveram um maior impacto quanto ao consumo de energia (Gráfico 5) foram os blocos de concreto, o concreto e a argamassa. Já nas emissões de CO₂ (Gráfico 6) os maiores impactos foram decorrentes do bloco de concreto, concreto, bloco cerâmico e argamassa.

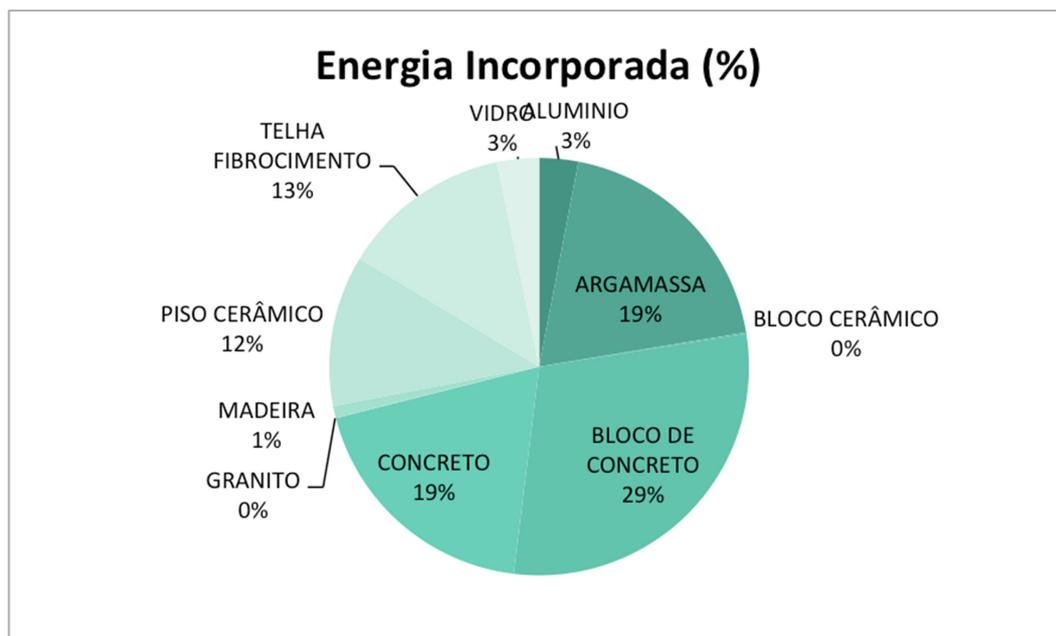


Gráfico 5 - Percentual de Energia Incorporada por materiais em % (Estudo de Caso 1)

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

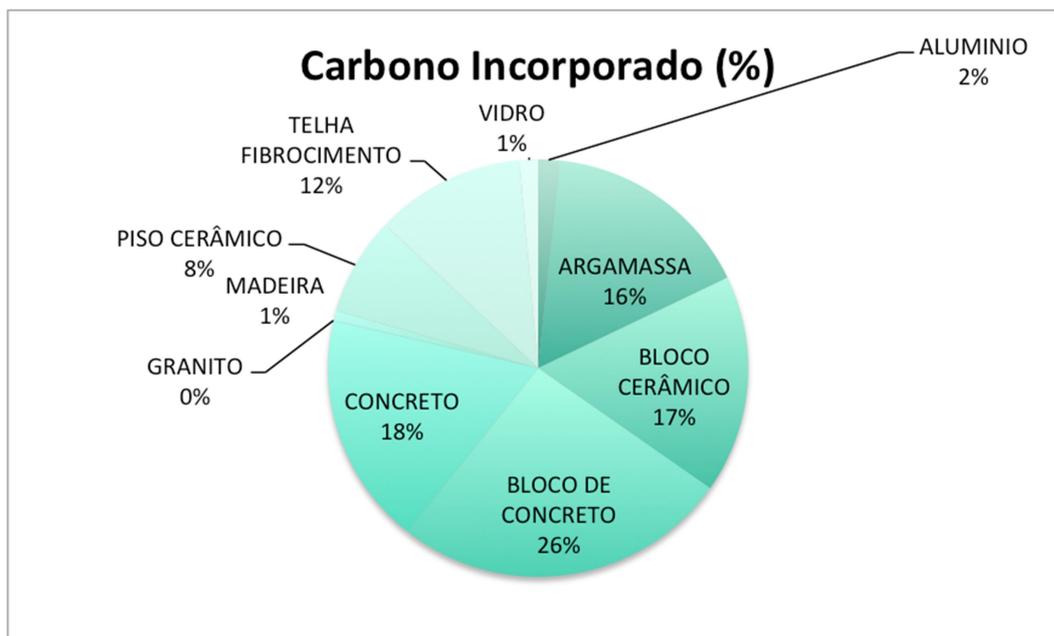


Gráfico 6 - Percentual de CO₂ Incorporado por materiais em % (Estudo de Caso 1)

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

b) Sistema construtivo 2

Num segundo momento foi realizada uma simulação utilizando os seguintes materiais componentes: janelas de madeira, portas de madeira, bloco cerâmico, piso cerâmico (áreas frias), piso laminado de madeira (quartos), e telhas de fibrocimento. Não foram consideradas instalações hidráulicas e elétricas. Quantitativos para o segundo estudo de caso:

Tabela 10 - Quantitativos do Estudo de Caso 2

Material	Área (m ²)	Volume (m ³)	Densidade (kg/m ³)	Massa (kg)	Energia incorporada (MJ por kg)	Carbono incorporado (kgCO ₂ por kg)	ENERGIA INCORPORADA (MJ)	CARBONO INCORPORADO (kgCO ₂)
ARGAMASSA	198,41	7,94	2.115,00	16.785,49	2,10	0,14	35.249,52	2.349,97
BLOCO CERÂMICO	198,41	27,78	1.400,00	38.888,36	2,90	0,23	112.776,24	8.944,32
CONCRETO	94,09	12,59	2.300,00	28.957,00	1,20	0,09	34.748,40	2.606,13
MADEIRA	16,09	0,72	650,00	468,00	3,50	0,24	1.638,00	112,32
PISO CERÂMICO	15,85	0,48	2.000,00	951,00	6,20	0,32	5.896,20	304,32
PISO MADEIRA LAMINADO	42,32	1,27	650,00	825,50	7,50	0,52	6.191,25	429,26
TELHA FIBROCIMENTO	34,54	2,07	1.920,00	3.979,01	6,00	0,42	23.874,05	1.671,18
VIDRO	11,64	0,13	2.500,00	318,00	18,50	0,66	5.883,00	209,88

Somatório 226.256,66 16.627,38

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

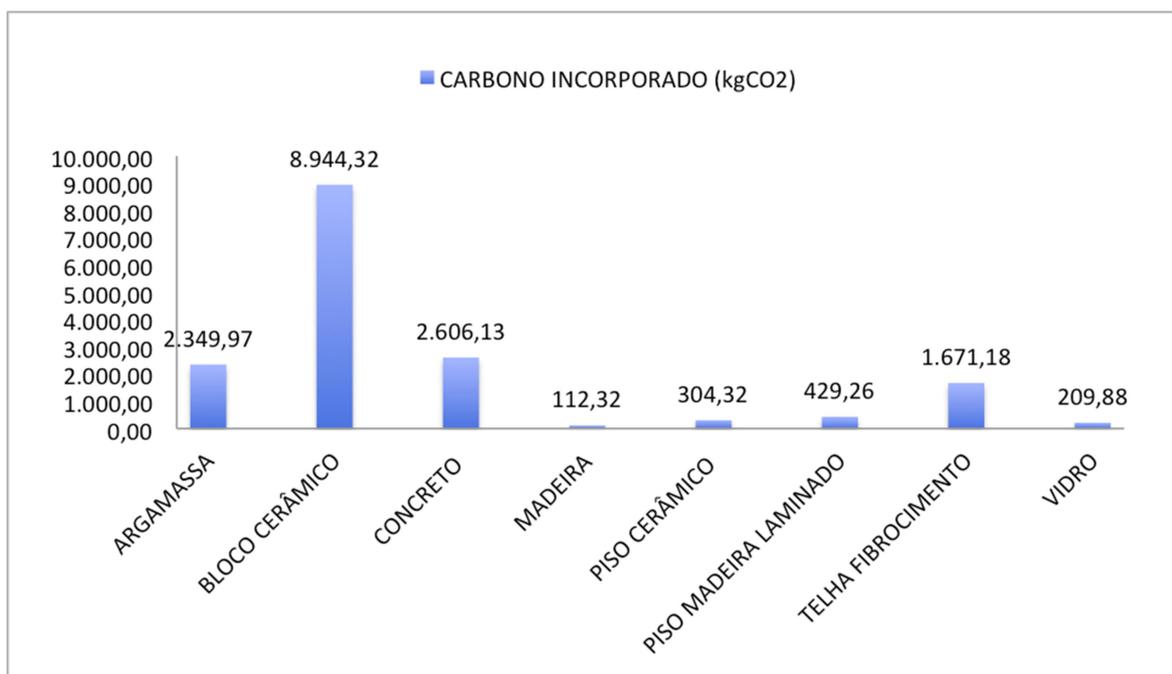


Gráfico 7- Estudo de caso 2: CO₂ incorporado por material

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

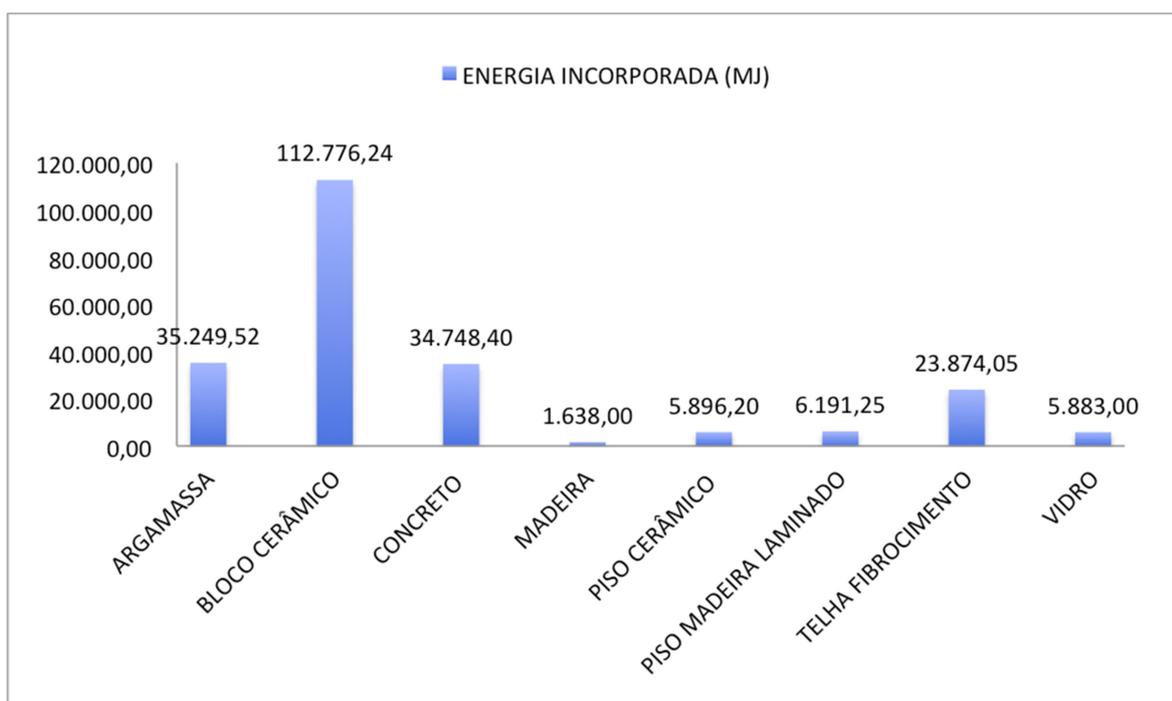


Gráfico 8- Estudo de caso 2: Energia incorporada por material

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

Nota-se a partir dos resultados da Tabela 10 que, para o segundo caso, há uma emissão de 16.627,38 kg CO₂ e consumo de energia de 226.256,66 MJ.

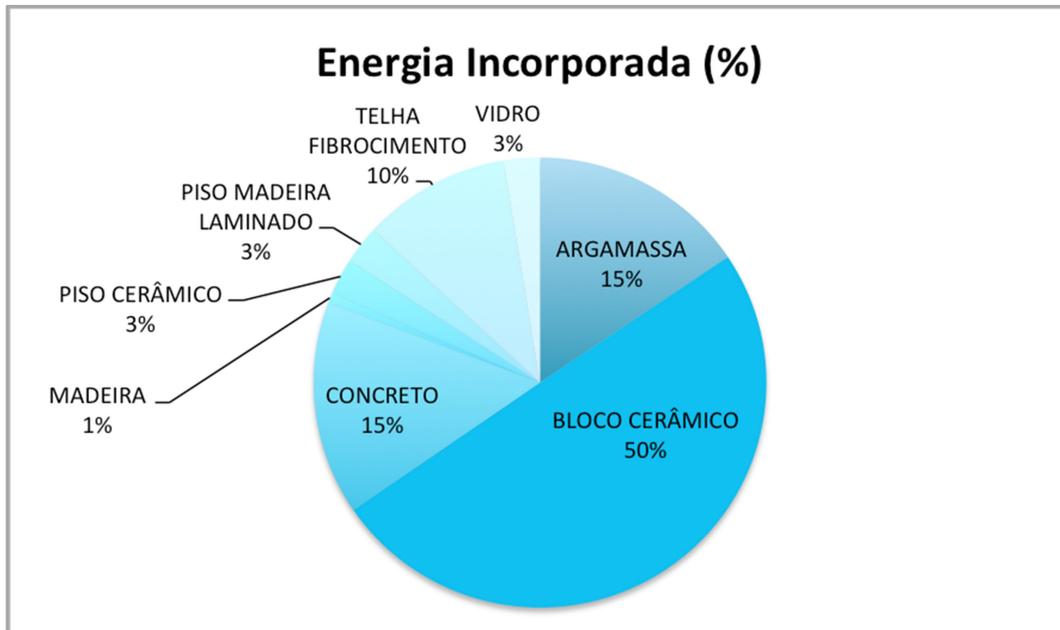


Gráfico 9 - Percentual de Energia Incorporada por materiais em % (Estudo de Caso 2)

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

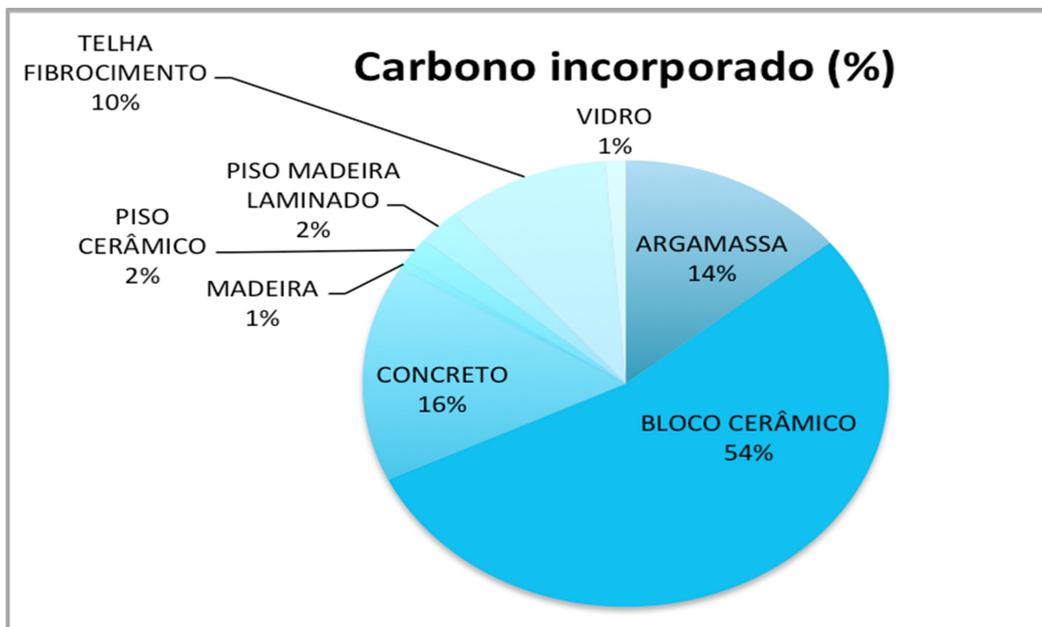


Gráfico 10 - Percentual de CO₂ Incorporado por materiais em % (Estudo de Caso 2)

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

O material que teve um maior impacto no que tange ao consumo de energia (Gráfico 9) e emissões de CO₂ (Gráfico 10) foi o bloco cerâmico, sendo responsável por 50% e 54% dos consumos, respectivamente.

Ao comparar os dois estudos de caso, observou-se um aumento de 24% nos valores de energia incorporada e 15% no carbono incorporado, do estudo de caso 2 em relação ao estudo de caso 1.

Tabela 11 - Comparativo de energia e CO₂ incorporado para os dois estudos de caso

ESTUDO DE CASO	ENERGIA INCORPORADA (MJ)	CARBONO INCORPORADO (kgCO ₂)
1	182.127,82	14.496,60
2	226.256,66	16.627,38

Fonte: Interface do Excel® 2016 obtido pela autora em 2017

Com base nos resultados apresentados na Tabela 11, fica evidente a relevância de se analisar a energia incorporada e o carbono incorporado dos materiais antes de definir os sistemas construtivos a serem utilizados. Fazendo uso dessa metodologia, é possível que o profissional escolha, de forma sustentável, os materiais e sistemas construtivos, evitando assim que projetos idealizados de maneira sustentável deixem de ser devido ao grande impacto gerado na fase pré-operacional da construção.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido aos grandes impactos ambientais gerados pela construção civil ao longo de toda a cadeia produtiva - desde a extração de recursos até o descarte final - é necessária uma análise, em termos de sustentabilidade, na fase de projeto. Ao se aplicar estratégias de sustentabilidade nas fases de idealização e desenvolvimento do projeto é possível interferir no desempenho das edificações. Embora a realidade brasileira ainda possua lacunas nessa área, não devem ser dispensados comparações entre soluções construtivas na fase de especificação de materiais.

A crescente preocupação ambiental na indústria da construção tornou fundamental a incorporação de princípios de projeto de construção sustentável em *software* BIM. Espera-se que a tecnologia BIM ajude a otimizar o processo de projeto, com um menor tempo, redução de custos e erros, melhora no design e no projeto global. No entanto, há vários fatores que dificultam o processo de implementação do BIM, a saber fatores de ordem: econômica, tecnológica, e social. A falta de funcionários treinados, o alto custo dos pacotes de *software* e a necessidade de adequação a um novo processo de projeto são alguns exemplos. Um dos principais aspectos a ser analisado é tomar decisões informadas sobre o uso de diferentes materiais em projetos de construção. Desta forma, os *software* BIM podem ser utilizados para comparar com precisão diferentes materiais de construção em termos de sustentabilidade, ferramenta esta que ainda não foi completamente explorada.

Este trabalho buscou descrever uma metodologia que pode ser usada para implementar o projeto sustentável de edifícios propostos na sua fase conceitual,

levando em consideração os impactos incorporados. A metodologia é implementada através da concepção e desenvolvimento de um modelo que simplifica o processo de concepção de edifícios sustentáveis, avaliando seus impactos ambientais. A metodologia incorpora um modelo integrado capaz de orientar os usuários ao realizar o projeto sustentável para projetos de construção.

A implementação bem sucedida da metodologia representa um avanço na capacidade de atingir o projeto sustentável de um edifício durante os primeiros estágios, para avaliar seus impactos ambientais. Desta forma, proporciona-se uma ferramenta confiável de avaliação para proprietários e projetistas e todos os participantes envolvidos na concepção e construção de edifícios sustentáveis. Os resultados encontrados mostraram que a substituição de materiais nas etapas de alvenaria, revestimento de piso e esquadrias pode representar redução de impactos de até 24% para a energia embutida e até cerca de 15% para as emissões de CO₂.

Dessa maneira, profissionais da área da construção civil podem contribuir para a redução de impactos ambientais no momento da realização do projeto, podendo assim fazer escolhas de diferentes tipologias construtivas conforme os resultados das análises.

Assim, a experiência deste estudo corrobora a conclusão de que a tecnologia BIM proporciona à indústria da construção a oportunidade de fazer um melhor uso dos dados de carbono e energia incorporada para reduzir os impactos na fase pré-operacional da construção.

Foi utilizado um recorte prático e conceitual através do projeto de uma casa de habitação interesse social na fase pré-operacional da edificação. Sugere-se

como trabalhos futuros aplicações de modelos distintos de edificações, além das outras fases da construção como a operacional e fim de vida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABANDA, F. H.; OTI, A. H.; TAH, J. H. M. Digitizing the Assessment of Embodied Energy and Carbon Footprint of Buildings Using Emerging Building Information Modeling. In: **The Carbon Footprint Handbook**. CRC Press, 2015. p. 303-330.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR. 14040. Gestão ambiental–Avaliação do ciclo de vida–Princípios e estrutura. **Rio de Janeiro: ABNT**, 2001.

_____. NBR 15575-1:Edificações Habitacionais — Desempenho. **Rio de Janeiro: ABNT**, 2013.

_____. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações, parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. **Rio de Janeiro:ABNT**, 2005.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. Blucher, 2011.

AGUILAR, M.; AZEVEDO, W. O Ensino/Aprendizado do BIM no curso de Engenharia Civil da UFJF. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7. 2015, Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.

AL-GHAMDI, Sami G.; BILEC, Melissa M. Life-cycle thinking and the LEED rating system: global perspective on building energy use and environmental impacts. **Environmental science & technology**, v. 49, n. 7, p. 4048-4056, 2015.

ANDRADE, M. RUSCHEL, R. O processo de projeto em arquitetura. Capítulo 21: Building Information Modeling (BIM).In: KOWALTOWSKI, Doris K. et al. (Ed.). **O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia**. Oficina de Textos, 2011.

ANTÓN, Laura Álvarez; DÍAZ, Joaquín. Integration of LCA and BIM for Sustainable Construction. **Int J Soc Manag Econ Bus Eng**, v. 8, p. 1345-1349, 2014.

Arene, **Guide Bio-tech: L'énergie grise des matériaux et des ouvrages** . ICEB, 2012.

AZARI, Rahman. Integrated energy and environmental life cycle assessment of office building envelopes. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 156-162, 2014.

AZHAR, Salman; BROWN, Justin; FAROOQUI, Rizwan. BIM-based sustainability analysis: An evaluation of building performance analysis software. In: **Proceedings of the 45th ASC Annual Conference**. 2009.

BASBAGILL, J. et al. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. **Building and Environment**, v. 60, p. 81-92, 2013.

BATES, R. et al. Quantifying the Embodied Environmental Impact of Building Materials During Design: A Building Information Modeling Based Methodology. **PLEA. Munich**, p. 1-6, 2013.

BRIAN, Edwards. O guia básico para a sustentabilidade. **Barcelona: Gráficas**, v. 92, 2008.

BRIBIÁN, Ignacio Zabalza; CAPILLA, Antonio Valero; USÓN, Alfonso Aranda. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and Environment**, v. 46, n. 5, p. 1133-1140, 2011.

BUCHANAN, Andrew H.; HONEY, Brian G. Energy and carbon dioxide implications of building construction. **Energy and Buildings**, v. 20, n. 3, p. 205-217, 1994.

CARNEIRO, T. M.; DE OLIVEIRA LINS, D. M.; NETO, J. P. B. Building Information Modeling: Análise da produção científica nos anos de 2010 e 2011. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2012.

CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção). Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Câmara Brasileira da Indústria da Construção.—**Fortaleza**: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013

CONDUTAS DE SUSTENTABILIDADE NO SETOR IMOBILIÁRIO RESIDENCIAL. Caderno de Sustentabilidade. Disponível em: <http://www.secovi.com.br/sustentabilidade/caderno-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 04 de setembro de 2015.

DEGANI, Clarice Menezes; CARDOSO, Francisco Ferreira. A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico. **Núcleo de Pesquisa da Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo**, p. 11, 2002.

DIXIT, Manish Kumar et al. Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 8, p. 1238-1247, 2010.

EASTMAN, Charles M. et al. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, 2011.

FABRICIO, M. M. *Projeto simultâneo na construção de edifícios*. 2002. **Tese** (Doutorado em Engenharia Civil) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FARR, Douglas. **Urbanismo Sustentável: desenho urbano com a natureza**. Bookman Editora, 2013.

GERVÁSIO, Helena et al. A macro-component approach for the assessment of building sustainability in early stages of design. **Building and Environment**, v. 73, p. 256-270, 2014.

GONZALES, G.M. Impacto ambiental de materiais de construção. Trabalho de final de curso. Engenharia Civil. **UFJF**, 2010.

GOUVEIA, Nelson. Saúde e meio ambiente nas cidades: os desafios da saúde ambiental. **Saúde e sociedade**, v. 8, n. 1, p. 49-61, 1999.

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.

HAMMOND, Geoffrey P.; JONES, Craig I. Embodied energy and carbon in construction materials. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy**, v. 161, n. 2, p. 87-98, 2008.

HAMMOND, R.; NAWARI, N. O.; WALTERS, B. BIM in sustainable design: strategies for retrofitting/renovation. In: **Computing in Civil and Building Engineering**. ASCE, 2014. p. 1969-1977.

HARRIS, D. J. A quantitative approach to the assessment of the environmental impact of building materials. **Building and Environment**, v. 34, n. 6, p. 751-758, 1999.

HOLTZHAUSEN, H. J. Embodied energy and its impact on architectural decisions. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 102, 2007.

IRIBARREN, Diego et al. Life cycle assessment and data envelopment analysis approach for the selection of building components according to their environmental impact efficiency: a case study for external walls. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 707-716, 2015.

JRADE, Ahmad; JALAEI, Farzad. Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage. In: **Building simulation**. Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 429-444.

KRÜGER, Eduardo L. Uma abordagem sistêmica da atual crise ambiental A systemic approach of present environmental crises. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 4, p. 37-43, jul/dez 2001. Curitiba: Editora da UFPR, 2001.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L. PEREIRA, FOR 1997 Eficiência Energética na Arquitetura. **São Paulo, Brasil. Ed. PW Editores**, 1997.

LAMBERTS, Roberto et al. Sustentabilidade nas edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área. **Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)**, 2008.

LARIVOIR, Laura do Carmo Baumgratz de Paula, BASTOS, Pedro Kopschitz Xavier. Impacto Ambiental dos Edifícios – Cenários França e Brasil , **SBE Series 16 Brazil-Portugal**, Vol. 2, pp. 887-896, 2016

LI, B. et al. Research on the computational model for carbon emissions in building construction stage based on BIM. **Structural Survey**, v. 30, n. 5, p. 411-425, 2012.

MA, Zhenjun et al. Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. **Energy and buildings**, v. 55, p. 889-902, 2012.

MANZIONE, Leonardo. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2013.

MATOS, Juliana Montenegro; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. Análise Comparativa da Sustentabilidade em um Empreendimento Habitacional de Interesse Social (HIS) a partir da Aplicação de Diferentes Sistemas Construtivos. **4o Seminário Nacional de Construções Sustentáveis**. Passo Fundo, RS. 2015.

MARCOS, Micheline Helen Cot; YOSHIOKA, Erica Yukiko. USO DE FERRAMENTA BIM PARA AUXILIAR NA ESCOLHA DO SISTEMA CONSTRUTIVO QUE GERA MENOR IMPACTO AMBIENTAL. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 2, n. 2, p. 746-756, 2015.

MARCOS, Micheline Helen Cot. **Metódo de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de ferramenta BIM.** 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

_____. **Análise de emissão de CO₂ em habitações de interesse social através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM.** 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná.

MEQUIGNON, Marc-André. **Comment la durée de vie des bâtiments peut-elle influencer les performances en termes de développement soutenable?.** 2011. Tese de Doutorado. Toulouse, INSA.

MIYAZATO, Tarsila; OLIVEIRA, CT de A. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): aplicações e limitações no setor da construção civil. **V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis,** v. 49, 2009.

MONAHAN, J.; POWELL, J. C. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. **Energy and Buildings,** v. 43, n. 1, p. 179-188, 2011.

MORETTINI, Renato. **Tecnologias construtivas para a reabilitação de edifícios: tomada de decisão para uma reabilitação sustentável.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MOTTA, Silvio FR; AGUILAR, Maria Teresa P. Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. **Gestão & Tecnologia de Projetos,** v. 4, n. 1, p. 88-123, 2009.

PAULA, L.C.B. Impacto ambiental dos materiais de construção e análise do ciclo de vida dos edifícios. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil). **UFJF,**2014.

PETERSON, K. et al. A Common Definition for Zero Energy Buildings. US Department of energy. **Energy Efficiency and Renewable Energy,** 2015.

ROLNIK, Raquel et al. **Plano Diretor Participativo: guia para elaboração pelos municípios e cidadãos.** 2004.

ROULET, Claude-Alain. **Éco-confort: pour une maison saine et à basse consommation d'énergie.** PPUR Presses polytechniques, 2012.

RUSSELL-SMITH, Sarah V.; LEPECH, Michael D. Cradle-to-gate sustainable target value design: integrating life cycle assessment and construction

management for buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 100, p. 107-115, 2015.

RUSCHI MENDES SAADE, Marcella et al. Material eco-efficiency indicators for Brazilian buildings. **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 1, p. 54-71, 2014.

SILVA, V. G.; SILVA M. G. Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. Edifício Ambiental. **São Paulo: Oficina de Textos**, 2015. p. 129-151.

TAVARES, S. F. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Programa de pós graduação em Engenharia Civil, 2006.

TEDESCHI, Altamir. Sustentabilidade e inovação na habitação popular: o desafio de propor modelos eficientes de moradia. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado de Habitação – **São Paulo**, 2010.

THOMAZ, Ercio; MARTINS, José Carlos; BERTINI, Alexandre Araújo. Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. **Brasília**, 2013.

THORMARK, Catarina. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. **Building and Environment**, v. 41, n. 8, p. 1019-1026, 2006.

TORCELLINI, Paul et al. Zero energy buildings: a critical look at the definition. **National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy, US**, 2006.

WHITEHEAD, Beth et al. Assessing the environmental impact of data centres part 2: Building environmental assessment methods and life cycle assessment. **Building and Environment**, v. 93, p. 395-405, 2015.

WIBERG, Aoife Houlihan et al. A net zero emission concept analysis of a single-family house. **Energy and Buildings**, v. 74, p. 101-110, 2014.

WONG, Johnny Kwok Wai; ZHOU, Jason. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. **Automation in Construction**, v. 57, p. 156-165, 2015.

WU, Peng; XIA, Bo; WANG, Xiangyu. The contribution of ISO 14067 to the evolution of global greenhouse gas standards—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 142-150, 2015.

WU, Peng et al. The past, present and future of carbon labelling for construction materials—a review. **Building and Environment**, v. 77, p. 160-168, 2014.

24.7 Arquitetura – Disponível em www.247arquitetura.com.br acessado em 15/04/2017.

GLOSSÁRIO

Análise do ciclo de vida (ACV): Avaliação do impacto de um produto sobre o meio ambiente ao longo de sua vida, permitindo a análise e escolha de alternativas sob uma perspectiva ambiental (MIYAZATO; OLIVEIRA, 2009).

Building Information Modeling (BIM): usado para descrever ferramentas, processos e tecnologias que são facilitadas por documentação digital legível por máquina sobre um edifício, o seu desempenho, seu planejamento, sua construção e mais tarde sua operação. Portanto, BIM descreve uma atividade, não um objeto. Para descrever o resultado da atividade de modelagem, usamos o termo "modelo de informação da construção", ou mais simplesmente "modelo de construção" na íntegra (EASTMAN *et al*, 2008).

Carbono incorporado : são as emissões de CO₂ produzidas durante a extração de recursos, transporte, fabricação, montagem, desmontagem e descarte final de vida de um produto (MONAHAN, 2011).

Cradle to gate (berço ao portão): limite que considera todas as atividades começando com a extração de materiais da terra, suas atividades de transporte, refino, processamento e fabricação até que o material ou produto está pronto para deixar o portão da fábrica (RUSSELL-SMITH; LEPECH, 2015).

Eficiência energética: obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia (LAMBERTS *et al*, 1997).

Energia primária: energia contida em combustíveis no estado bruto que não foi submetida a processos de transformação. Refere-se à soma da energia fornecida (incluindo a utilizada na extração de matérias-primas, fabricação, transporte) (MONAHAN; POWELL, 2011).

Energia incorporada: também chamada de energia embutida ou energia cinza. É o total de energia primária necessária para a extração de recursos, transporte, fabricação, montagem, desmontagem e descarte final de vida de um produto (MONAHAN; POWELL, 2011).

Energia operacional: é aquela utilizada para manter o ambiente interior como aquecimento, resfriamento, iluminação e operação de aparelhos (DIXIT *et al*, 2010).

Energia total: consiste na soma da energia incorporada e energia operacional do ciclo de vida de um edifício (DIXIT *et al*, 2010).

Gases do Efeito Estufa (GEE): Gases que, quando liberados na atmosfera absorvem e emitem radiação infravermelha térmica. Estes gases retêm o calor na atmosfera, contribuindo assim para a mudança climática (HAMMOND,2011).

Interoperabilidade: A capacidade de ferramentas BIM de vários fornecedores para troca de dados do modelo de construção e operar nesses dados. A interoperabilidade é um requisito importante para a colaboração em equipe (EASTMAN *et al*, 2008).

Modelo de construção (*Building Model*): Um registro digital, legível por máquina de um edifício, o seu desempenho, seu planejamento, sua construção e mais tarde sua operação. Um modelo Revit® de um edifício é um exemplo de modelo de construção. Pode ser considerado o substituto de última geração para 'desenhos de construção', ou 'desenhos arquitetônicos' (EASTMAN *et al*, 2008).

Potencial de aquecimento global : A liberação de gases de efeito estufa para a atmosfera dá origem às mudanças climáticas. Existem muitos GEE e cada um tem um nível diferente de potência. Cada tipo de gás é normalizado em relação aos impactos de uma unidade de dióxido de carbono (HAMMOND, 2011).

Repositório de modelo de construção (*Building model repository*): Um repositório de modelo de construção é um sistema de banco de dados cuja estrutura é montada sobre um formato baseado em objetos publicados. Por serem elaborados com base em objetos, os repositórios de modelos de construção permitem consultas, transferências, atualizações e gerenciamento de objetos de projetos específicos a partir de um conjunto potencialmente heterogêneo de aplicações (EASTMAN *et al*, 2008).

Sistema BIM: Um sistema de *software* que incorpora uma ferramenta de projeto BIM e outras aplicações que utilizam os dados de BIM. O sistema pode ser ligado através de uma rede de área local ou da Internet (EASTMAN *et al*, 2008).