

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NÍVEL MESTRADO**

GIULIANNA ODY PIVA

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
Avaliação do Ciclo de Vida Energético e de Emissões de CO₂ em Edificação
Histórica de Origem Portuguesa e Contemporânea**

**São Leopoldo
2019**

GIULIANNA ODY PIVA

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
Avaliação do Ciclo de Vida Energético e de Emissões de CO₂ em Edificação
Histórica de Origem Portuguesa e Contemporânea**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf González

São Leopoldo

2019

P693s Piva, Giulianna Ody

Sustentabilidade na construção civil : avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO₂ em edificação histórica de origem portuguesa e contemporânea / por Giulianna Ody Piva. – 2019.

142 f. : il., 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf González.

1. Sustentabilidade. 2. ACVE. 3. ACVCO₂. 4. Edificação residencial unifamiliar. I. Título.

CDU 624

Catálogo na Fonte:

Bibliotecária Vanessa Borges Nunes - CRB 10/1556

GIULIANNA ODY PIVA

**SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
Avaliação do Ciclo de Vida Energético e de Emissões de CO₂ em Edificação
Histórica de Origem Portuguesa e Contemporânea**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 18 de junho de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Andrea Parisi Kern – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Dr. Paulo R Wander – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

RESUMO

A geração de impactos ambientais através da emissão de gases do efeito estufa, dos quais o dióxido de carbono (CO₂) corresponde a 55% das emissões mundiais, se deve principalmente às atividades relacionadas ao setor da construção civil durante as variadas fases ciclo de vida de edificações. O setor construtivo brasileiro gera quantidade de emissões semelhantes à de países desenvolvidos, mesmo que as emissões gerais somadas a todos os outros setores seja menor do que os índices de emissões mundial. Isso ocorre por que importante parte da geração de energia elétrica é obtida através de fonte hidráulica e pelo consumo de combustíveis renováveis pelo setor de transportes, com a utilização de etanol e biodiesel. Além das emissões de gases poluentes, o setor apresenta um elevado consumo de energia. A partir da necessidade de diminuir os impactos ambientais associados a estes dois aspectos, cresce o número de pesquisas sobre o assunto. O objetivo deste trabalho é quantificar o consumo de energia e as emissões de CO₂ no ciclo de vida de duas edificações residenciais unifamiliares, sendo uma histórica de origem portuguesa e outra contemporânea, localizadas em Novo Hamburgo/ RS. Para a realização desta pesquisa, foram utilizadas a avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) e de emissões de CO₂ (ACVCO₂) durante as etapas de pré-uso, uso, manutenção e pós-uso, de escopo denominado berço ao túmulo. Os dados de fatores de energia e de emissões de CO₂ foram obtidos na literatura e os cálculos foram realizados em planilhas eletrônicas.

A edificação contemporânea obteve 47,83% de acréscimo no consumo de energia e 49,36% no total de emissões comparada à edificação histórica, estando associada a uma maior quantidade de impactos ambientais, embora esta edificação apresente menor quantidade de materiais empregados. Por fim, pode-se concluir que é necessário o aperfeiçoamento na forma de construção convencional para que as construções futuras sejam mais sustentáveis e menos nocivas ao meio ambiente que as edificações históricas e, apresentem tecnologias e materiais mais eficientes que as edificações contemporâneas.

Palavras-chave: Sustentabilidade. ACVE, ACVCO₂. Edificação residencial unifamiliar.

ABSTRACT

The environmental impact generated through greenhouse gas emission, of which carbon dioxide (CO₂) corresponds to 55% of global gas emission, is mainly due to activities related to construction sector during lifecycle of buildings. The Brazilian construction sector generates emissions in quantity similar to developed countries, even the general amount of emission added to all other country sectors are below to the global emission index. This is due to majority of electricity generation be obtained from hydraulic source and renewable fuels consumption on transport sector, as ethanol and biodiesel. Besides the gas emissions, the sector presents high energy consumption. Since it is the necessity to decrease the environmental impacts associated to both aspects, it is increasing the research related to this subject. The objective of this work is quantifying the energy consumption and CO₂ emissions during the life-cycle of two single-family residential buildings. One of them is a historical Portuguese-style' building and the second one is a contemporaneous house, both located in Novo Hamburgo, Southern Brazil. They were used energetic life-cycle energy analysis (LCEA) and life-cycle carbon dioxide emission analysis (LCCO₂A) during the pre-use, use, maintenance and post-use phases, in a cradle to grave scheme. Energy factors and CO₂ emission data were collected from consolidated literature and results were calculated using electronic spreadsheet.

Contemporaneous building obtained indicated an increase of 47,83% on energy consumption and an increase of 49,36% on total emissions compared to historical building. So the first is associated to greater quantity of environmental impact, even this building type presents lower quantity of raw material bulk. Ultimately, it is possible to conclude that it is necessary an improvement on the conventional building construction way to the future buildings to be more sustainable and less harmful to environment than historical buildings and presents technology and material more efficient that contemporaneous buildings.

Key-words: Sustainability. LCEA. LCCO₂AQ. Residential single-family housing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha do Tempo da Sustentabilidade	32
Figura 2 - Processo de Avaliação do Ciclo de Vida	40
Figura 3 - Fronteiras de Avaliação do Ciclo de Vida de Edificações.....	42
Figura 4 - Etapas do Ciclo de Vida das Emissões de CO ₂ em Edificações	45
Figura 5 - Evolução da Ocupação Populacional de Novo Hamburgo	57
Figura 6 - Áreas de Tombamento e o Entorno do Município de Novo Hamburgo	58
Figura 7 - Método	59
Figura 8 - Mapa da Localização do Imóvel	61
Figura 9 - Casa Principal Friedrich	62
Figura 10 - Projeto da Edificação Histórica.....	63
Figura 11 - Edificação Contemporânea	64
Figura 12- Projeto da Edificação Contemporânea	65
Figura 13 - Distância do Transporte da Obra ao Aterro Sanitário em São Leopoldo.	82
Figura 14 - Consumo de Energia na Fase de Extração e Processamento de Materiais.	85
Figura 15 - Emissões de CO ₂ na Fase de Extração e Processamento de Materiais.	86
Figura 16 - Participação da Massa pelos Sistemas das Edificações na Etapa de Extração e Processamento de Materiais.	87
Figura 17 - Participação da Energia Incorporada pelos Sistemas das Edificações na Etapa de Extração e Processamento de Materiais.	87
Figura 18 - Participação de Emissões de CO ₂ pelos Sistemas das Edificações na Etapa de Extração e Processamento de Materiais.	88
Figura 19 - Participação da Massa, Energia Incorporada e Emissões de CO ₂ pelo Sistema de Estrutura e Vedação das Edificações.	88
Figura 20 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissões de CO ₂ pelo Transporte dos Sistemas da Edificação Contemporânea.....	90
Figura 21 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissões de CO ₂ pelo Transporte do Sistema de Estrutura e Vedação da Edificação Contemporânea.....	90
Figura 22 - Participação do Consumo de Energia e Emissão de CO ₂ a partir do Transporte dos Funcionários da Edificação Contemporânea.	91
Figura 23 - Participação do Consumo de Energia e Emissão de CO ₂ a partir dos Equipamentos Utilizados na Obra da Edificação Contemporânea.	91

Figura 24 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissão de CO ₂ pelos Materiais da Edificação Contemporânea na Etapa de Pré-Uso	92
Figura 25 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissão de CO ₂ pelos Materiais da Edificação Histórica na Etapa de Pré-Uso	93
Figura 26 – Consumo da Energia Operacional.	94
Figura 27 – Emissão de CO ₂ Operacional.....	95
Figura 28 - Consumo de Energia na Etapa de Manutenção.	96
Figura 29 - Emissões de CO ₂ na Etapa de Manutenção.....	96
Figura 30 - Participação da Massa pelos Sistemas das Edificações na Etapa de Manutenção.....	97
Figura 31 - Participação do Consumo de Energia pelos Sistemas das Edificações na Etapa de Manutenção.	97
Figura 32 - Participação de Emissões de CO ₂ pelos Sistemas das Edificações na Etapa de Manutenção.	98
Figura 33 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissões de CO ₂ pelo Sistema de Estrutura e Vedação das Edificações na Etapa de Manutenção.....	98
Figura 34 - Consumo de Energia na Etapa de Pós-uso.	99
Figura 35 - Emissões de CO ₂ na Etapa de Pós-uso.	100
Figura 36 - Consumo de Energia no Ciclo de Vida das Habitações.....	101
Figura 37 - Emissões de CO ₂ no Ciclo de Vida das Habitações.	101
Figura 38 - Participação das Etapas no Ciclo de Vida Energético das Edificações.	102
Figura 39 - Participação das Etapas no Ciclo de Vida de Emissões de CO ₂ das Edificações.....	102
Figura 40 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissão de CO ₂ pelos Materiais da Edificação Contemporânea Durante o Ciclo de Vida Total.	103
Figura 41 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissão de CO ₂ pelos Materiais da Edificação Histórica Durante o Ciclo de Vida Total.....	104

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Emissão Global de Gases do Efeito Estufa	22
Gráfico 2 - Emissão Global de Dióxido de Carbono (CO ₂)	22
Gráfico 3- Fontes de Geração de Energia.....	36
Gráfico 4 - Panorama de Energia Renovável.....	37
Gráfico 5 - Consumo Elétrico Residencial por Eletrodomésticos	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes de Energia no Setor Residencial	37
Tabela 2 - FCO ₂ de Alguns Materiais de Construção.....	46
Tabela 3 - Estudos ACVCO ₂ e ACVE em Edificações Residenciais	48
Tabela 4 - Energia Incorporada em Alguns Materiais de Construção	50
Tabela 5- Características Construtivas Edificação Histórica	63
Tabela 6 - Características Construtivas Edificação Contemporânea	65
Tabela 7 - Elementos da Obra	66
Tabela 8 - FE e FCO ₂ dos Materiais de Construção	67
Tabela 9 - Distância Percorrida Pelos Materiais até a Obra.....	71
Tabela 10 - Consumo Energético por Equipamentos da Edificação Contemporânea	75
Tabela 11 - Período Para Substituição e Fator de Reposição dos Materiais ou Sistemas.....	79

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACVCO ₂	Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de CO ₂
AICV	Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida
BEN	Balanco Energético Nacional
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CH ₄	Metano
CHHV	Centro Histórico de Hamburgo Velho
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COP 15	Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
DAP	Declaração Ambiental de Produto
EI	Energia Incorporada
GEE	Gases do Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
ILDC	Life Cycle Data System
ISO	Organização Internacional de Normatização
LIC	Lei de Incentivo à Cultura
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
N ₂ O	Óxido Nitroso
NBR	Norma Brasileira de Regulação
O ₃	Ozônio
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROINFA	Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Eletricidade
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
SIMAC	Sistema de Qualificação de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 OBJETIVOS	23
1.1.1 Objetivo Geral	23
1.1.2 Objetivos Específicos	24
1.2 JUSTIFICATIVA	24
1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	26
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	27
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1 CONSTRUÇÃO CIVIL E SUSTENTABILIDADE	29
2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À CONSTRUÇÃO CIVIL	33
2.2.1 Consumo de Recursos Naturais	33
2.2.2 Geração de Resíduos	33
2.2.3 Emissões Aéreas	34
2.2.4 Consumo de Energia	35
2.2.5 Produto Final	38
2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	39
2.3.1 Objetivo e Escopo	41
2.3.2 Análise do Inventário	42
2.3.3 Avaliação de Impacto	43
2.3.4 Interpretação dos Resultados	43
2.3.5 Banco Nacional de Dados de Inventários de Ciclo de Vida	43
2.4 ACVCO ₂	44
2.5 ENERGIA INCORPORADA	48
2.6 SISTEMAS CONSTRUTIVOS	53
2.6.1 Características Construtivas de Edificações Contemporâneas	53
2.6.2 Características Construtivas de Edificações Coloniais Portuguesas no Brasil	54
2.7 IMIGRAÇÃO PORTUGUESA EM NOVO HAMBURGO	56
3 MÉTODO DE PESQUISA	59
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS OBJETOS DE ESTUDO	60
3.1.1 Casarão Friedrich	60
3.1.2 Edificação Contemporânea	64

3.2 CÁLCULO PARA A FASE DE PRÉ USO	66
3.2.1 Extração e Processamento dos Materiais	66
3.2.2 Transporte dos Materiais da Fábrica até o Canteiro de Obras	70
3.2.3 Construção da Edificação	73
3.3 CÁLCULO PARA A FASE OPERACIONAL.....	74
3.3.1 Uso	75
3.3.2 Manutenção	78
3.4 CÁLCULO PARA A FASE DE PÓS USO	80
3.4.1 Demolição e Desconstrução	81
3.4.2 Transporte dos Resíduos à Disposição Final	82
3.5 CICLO DE VIDA.....	83
4 RESULTADOS	85
4.1 ETAPA DE PRÉ- USO.....	85
4.2 ETAPA OPERACIONAL	94
4.3 ETAPA DE MANUTENÇÃO.....	95
4.4 ETAPA DE PÓS USO.....	99
4.5 CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES.....	101
6 CONCLUSÃO	105
REFERÊNCIAS	107
APÊNDICE A – PLANILHAS DE CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA (EI) E EMISSÕES DE CO₂ (ECO₂I) DA EXTRAÇÃO E PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS	127
APÊNDICE B – PLANILHA DE CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA (ET) E EMISSÕES DE CO₂ (ECO₂T) DO TRANSPORTE DOS MATERIAIS	129
APÊNDICE C – PLANILHAS DE CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA (EC) E EMISSÕES DE CO₂ (ECO₂C) DA ETAPA DE CONSTRUÇÃO.....	131
APÊNDICE D – PLANILHAS DE CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA (EM) E EMISSÕES DE CO₂ (ECO₂M) DA ETAPA DE MANUTENÇÃO	133
APÊNDICE E – PLANILHAS DE CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA (EP) E EMISSÕES DE CO₂ (ECO₂P) DA ETAPA DE PÓS- USO.....	135
ANEXO A –CADASTRO PATRIMÔNIO HISTÓRICO CASA FRIEDRICH.....	137

1 INTRODUÇÃO

É notável a crescente conscientização mundial sobre a preservação do meio ambiente e o conhecimento sobre suas limitações, sendo cada vez mais estimulado o desenvolvimento de novas práticas que não agridam a natureza, a qualificação dos processos existentes e o aprimoramento de ferramentas de avaliação que visam reduzir impactos ambientais, para que se possa assim, garantir um futuro sustentável. (PAULSEN; SPOSTO, 2014; CANAZARRO; MORAES; KERN, 2017).

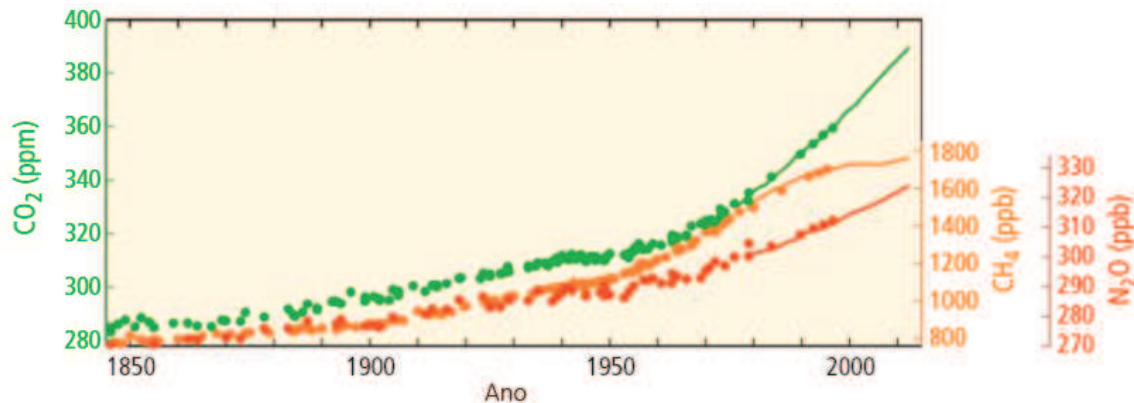
O setor da construção civil é responsável pela geração de diversos impactos ambientais e danosos à saúde humana, gerados durante todas as fases do ciclo de vida de uma edificação (BALAGUERA et al., 2018), seja pelo elevado consumo de energia, pela emissão de gases poluentes na atmosfera, extração dos recursos naturais ou devido a geração de resíduos de construção. (SILVA et. al, 2014). Estima-se, também, que o setor seja responsável pela extração de 60% das matérias-primas disponíveis no planeta (CAMPOS, 2012), principalmente para fabricação de materiais de construção. (ROTH; GARCIAS, 2009; REIS, 2015).

A necessidade de construir de forma sustentável requer atenção especial na etapa de concepção de projeto, pois é nesta fase que são definidos os materiais a serem empregados na construção, sendo primordial a consideração do processo produtivo e os impactos ambientais causados por cada material (CARVALHO; SPOSTO, 2012), visando à otimização do processo produtivo das edificações, o consumo consciente dos bens e serviços, a preferência pela utilização de recursos renováveis e o controle da geração de resíduos. (CUNHA, 2016; BRANCO et al., 2018).

Construir utilizando menos quantidades de materiais na intenção de diminuir os impactos ambientais causados e o volume de resíduos gerados tornou-se um desafio para o setor da construção. (AGOPYAN; JOHN, 2011).

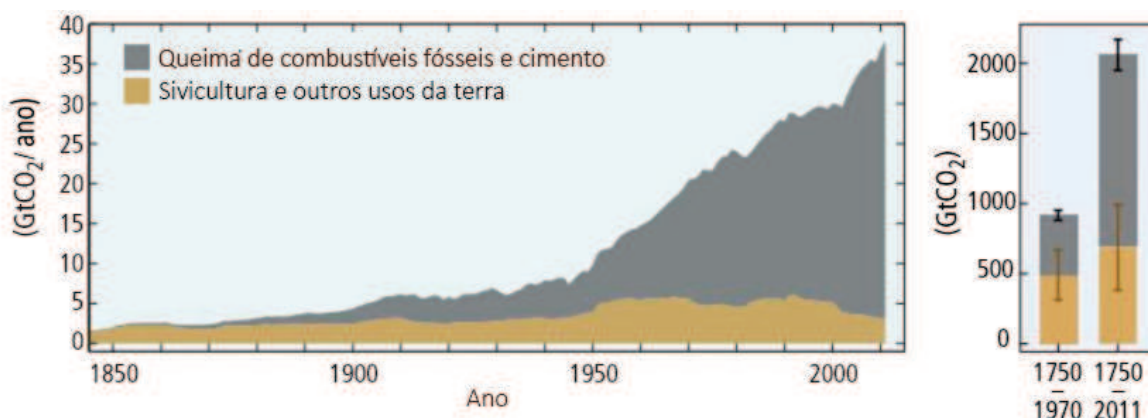
As emissões de gases poluentes na atmosfera têm relação com o consumo excessivo de recursos não renováveis, o desmatamento de florestas, a utilização de produtos químicos na composição de materiais, a poluição gerada pela atividade humana e pela queima de combustíveis fósseis. (REIS, 2015). As emissões mundiais dos gases responsáveis pelo efeito estufa vêm crescendo anualmente de forma expressiva, conforme apresentado no Gráfico 1. (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC) 2014).

Gráfico 1 - Emissão Global de Gases do Efeito Estufa



Adaptado de IPCC (2014, p. 3).

O setor da construção é um dos maiores consumidores de energia e emissores de gases de efeito estufa (ZHOU et al., 2018; ZUO; ZHAO, 2014; SOBHY; BRAKEZ; BENHAMOU, 2017), as edificações são responsáveis pela emissão de 40 a 50% do total de emissões destes gases devido à queima de combustíveis fósseis (ASIF; MUNEEER; KELLEY, 2007; BRIBIÁN; USÓN; SCARPELLINI, 2009), sendo o CO₂ o principal deles (MORAGA, 2017). As emissões geradas a partir da queima de combustíveis fósseis e da produção de cimento subiu mais de 35 GtCO₂/ano entre os anos de 1850 e 2011, enquanto as emissões pela silvicultura se mantiveram em menos de 5 GtCO₂/ano, conforme apresentado no Gráfico 2. (IPCC, 2014).

Gráfico 2 - Emissão Global de Dióxido de Carbono (CO₂)

Adaptado de IPCC (2014, p. 3).

As edificações representam 30% a 40% do total de consumo de energia primária mundial (ZUO et al., 2012; ZHAO; MAGOULES, 2012; FUMO; BISWAS, 2015), e as construções residenciais correspondem a 70,4% deste total (OCDE,

2011; YUAN; WANG; ZUO, 2013). No Brasil, o setor residencial corresponde a 9,7% do consumo de energia do país, com a principal fonte de energia utilizada a eletricidade, que corresponde a 46% do total e se deve principalmente ao fato de grande partes dos equipamentos utilizados nas residências serem elétricos. (EPE, 2017).

Para auxiliar esta avaliação dos impactos ambientais causados por uma edificação ao longo do seu ciclo de vida, ou somente um componente de forma isolada, a ferramenta ACV foi desenvolvida, e está sendo muito utilizada em estudos relacionados a construção civil. (BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE), 2013). Além de servir como auxílio aos projetistas na definição de padrões e possibilitar a redução de custos. (CANAZARRO; MORAES; KERN, 2017).

É considerada uma ferramenta popular que avalia o desempenho sustentável dos edifícios (ZUO et al., 2012), e também pode ser usada para quantificar os consumos de materiais, de energia, de água, as emissões de CO₂ e os resíduos gerados pela construção. (DIXIT et al., 2012; ZUO; ZHAO, 2014).

A ACV engloba as três etapas do ciclo de vida de uma edificação, sendo elas: pré-uso, uso e manutenção e pós-uso, onde cada etapa contribui na geração de impactos ambientais. Regiões frias apresentam o consumo maior de energia na fase operacional, devido à necessidade de aquecimento para manter a temperatura interna confortável (LIN, B.; LIN, J., 2017). Já as regiões tropicais, onde o clima quente predomina, apresentam gasto energético maior na fase inicial onde os materiais são produzidos. (TEODORO, 2017).

Neste contexto, este estudo pretende contribuir para a conscientização sobre os impactos ambientais gerados durante o ciclo de vida de edificações residenciais unifamiliares de padrão médio alto, a partir das emissões de CO₂ e do consumo de energia.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar o consumo de energia e emissões de CO₂ durante o ciclo de vida de duas edificações residenciais unifamiliares, sendo uma histórica de origem portuguesa e outra contemporânea.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Identificar os fatores de energia e de emissão de CO₂ dos materiais empregados nas edificações;
- b) Calcular o consumo de energia e as emissões de CO₂ durante as fases do ciclo de vida total das edificações, considerando os diferentes contextos de vida na fase de uso correspondente a cada época, e a construção das edificações;
- c) Comparar os parâmetros analisados, identificando a solução construtiva e a fase do ciclo de vida de menor impacto ambiental;

1.2 JUSTIFICATIVA

O uso excessivo dos recursos naturais, a geração de milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) no país, sendo parte destes descartados incorretamente, a concentração de gases do efeito estufa na atmosfera a partir do processo de queima de combustíveis fósseis para geração de energia, a degradação ambiental, o desmatamento, a redução da biodiversidade e diversas outras ações relacionadas ao setor da construção civil, são responsáveis pela geração de inúmeros impactos ambientais no planeta (SCOLARO, 2018), como o aumento da temperatura, alterações no clima, degelo das camadas polares e a destruição da camada de ozônio. (ALCSCENS, 2014).

A sustentabilidade perante estes conflitos atua com o objetivo de salvaguardar o ecossistema para que as futuras gerações possam usufruir da mesma forma que é possível agora, e um caminho para atingir tal meta é reforçar a relação entre a preservação e a sustentabilidade. Neste contexto, cabe aos profissionais encontrem maneiras de valorizar os edifícios antigos em meio a era moderna, muitas vezes pré-julgados como ineficientes, estes podem e devem ser atualizados e se adequar as necessidades atuais. Eles apresentam menores danos ambientais causados se comparados a prática habitual de demolição e construção de algo novo, contribuindo com a sustentabilidade, mesmo que esta não seja a única alternativa para a garantia da diminuição dos danos ambientais gerados. (HASENFUS, 2013). Além do fator ambiental, os edifícios históricos carregam um

valor cultural imensurável pelo papel que representam à identidade urbana. (MENZIES, 2011). Cabe aos profissionais também, garantir a integração entre eficiência econômica, coesão social e equilíbrio ecológico nas edificações. (CATERINA, 2016).

Para auxiliar tais profissionais no processo de elaboração de novas edificações e na análise de edificações já existentes, a ferramenta ACV é bastante empregada atualmente, mesmo que ainda não seja reconhecida em sistemas de classificação de edifícios sustentáveis. (MENZIES, 2011). Ela identifica a etapa do ciclo de vida de uma edificação com contribuição mais significativa, podendo assim amenizar os impactos ambientais gerados, durante as etapas do ciclo de vida, e baseia-se no fato de que todas as etapas, seja de um produto ou edificação criam impactos seja na água, na terra, no ar e eventualmente, na saúde humana. (HASENFUS, 2013).

Os estudos com abordagem ACV no país são prejudicados devido à falta de disponibilização das informações ambientais dos produtos existente voltados à construção civil, principalmente em função do desinteresse dos responsáveis pela fabricação dos produtos, sendo necessário utilizar fontes internacionais, embora existam diferenças no sentido físico, tecnológico e geográfico que prejudicam os resultados. Além disto, cada edificação apresenta suas peculiaridades, causando variações nos resultados. (REIS, 2015). Em edificações históricas, o conhecimento dos indicadores utilizados, técnicas construtivas, tecnologias e processos de produção muitas vezes não são claramente identificáveis pela falta de informação. (SCOLARO, 2018). Porém, mesmo que este edifício apresente a mesma performance energética equivalente a de um novo, é demonstrado a diminuição de emissões de poluentes por estas edificações devido ao uso de materiais locais e materiais duráveis que possibilitam a redução dos ciclos de renovação, exigindo menos energia e carbono a longo prazo. (MENZIES, 2011).

Essa conscientização atual sobre a sustentabilidade está presente em estudos que abordam o consumo de energia e emissões de gases poluentes por edificações, principalmente de padrão baixo. Poucas se enquadram nos condicionantes da região Sul e consideram o ciclo de vida total da edificação, além de não haver relatos de pesquisa com esse escopo em edificações históricas da região. Torna-se necessária a realização de novas pesquisas sobre o tema, onde a base de dados gerada pode auxiliar no desenvolvimento de futuras pesquisas e

garantir um desempenho maior das edificações, além da diminuição dos impactos ambientais pelo setor (SINGH et al., 2011), contribuindo com a redução das emissões de gases do efeito estufa como acordado pelos países participantes no Protocolo de Kyoto (HASENFUS, 2013), já que no país ainda não existe programas governamentais de implementação da redução de impactos ambientais por edificações durante seu ciclo de vida. (SATTLER; KUHN; SOUZA, 2009).

Percebe-se que em algumas décadas, as construções passam por alterações de estilos, técnicas construtivas e empregos de materiais, além do crescimento de construções para suprir o aumento da demanda populacional, exigindo maior cuidado com a preservação do meio ambiente. É interessante avaliar as construções contemporâneas, comparando com as edificações históricas, verificando os efeitos destas transformações. A escolha do tema se deve à importância da sustentabilidade, relacionada ao setor construtivo, e a comparação com edificações históricas, que tratam-se de exemplares que retratam os hábitos e as práticas construtivas existentes em outras épocas.

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Por tratar-se de assuntos abrangentes, foram definidas as seguintes delimitações para a realização desta pesquisa:

- A ACV a ser realizada considera os sistemas: fundação, estrutura, paredes e fechamentos, esquadrias, pisos, revestimentos, forros, pintura e cobertura.

- As instalações hidrossanitárias e elétricas serão estimadas e consideradas somente na edificação contemporânea, por não haver tais instalações na edificação histórica no período considerado neste estudo, e por estas serem considerados de pequena influência nos resultados. (PAULSEN; SPOSTO, 2014).

- A vida útil de ambas edificações será considerada de 100 anos, de acordo com a composição construtiva do objeto de estudo histórico.

- O estudo não se limita a construção das edificações, considera os diferentes contextos de vida na fase de uso.

- A fase de pós-uso, no qual a demolição da edificação é realizada será considerada somente como simulação, visto o objeto de estudo ser uma edificação histórica de preservação municipal.

- Não foi avaliado o desempenho das edificações de acordo com a NBR 15.575.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se estruturado em 5 capítulos. O primeiro introduz a justificativa da escolha do tema, os objetivos geral e específicos, a delimitação da pesquisa e a estruturação dos capítulos desenvolvidos.

O capítulo dois corresponde a revisão bibliográfica, com a abordagem dos temas de maior relevância, contextualizando o panorama da construção civil no Brasil e os impactos ambientais gerados por tal setor construtivo. Em segundo momento, segue a abordagem sobre a ferramenta ACVE e ACVCO₂, suas características e aplicações como ferramenta para identificar os impactos ambientais causados durante o ciclo de vida de uma edificação. Neste capítulo também encontra-se a abordagem sobre a energia incorporada e uma breve contextualização sobre a história da imigração portuguesa no Brasil e a posterior chegada de imigrantes ao Vale dos Sinos, relatando as características construtivas utilizadas por estes imigrantes.

No terceiro capítulo, segue a descrição do método aplicado para a realização da pesquisa, com as equações correspondentes a cada fase do ciclo de vida das edificações, além da descrição dos objetos de estudo.

No quarto capítulo são apresentados os resultados correspondentes ao ciclo de vida das duas edificações e no quinto, é descrita a conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será contextualizado o panorama da construção civil no Brasil e os impactos ambientais gerados por tal setor construtivo, além das ferramentas existentes para o desenvolvimento de pesquisas com esta temática e informações gerais referente ao processo imigratório na região em estudo.

2.1 CONSTRUÇÃO CIVIL E SUSTENTABILIDADE

O setor da construção civil encontra-se em constante adaptação ao desenvolvimento sustentável, sendo tal atividade responsável pela geração de consideráveis impactos ambientais e por este motivo, sua participação se torna imprescindível para atingir as metas de desenvolvimento sustentável do país. (MOTTA; AGUILAR, 2009). Este conceito pode ser definido como aquele que visa “[...] atender as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (BRUNTLAND, 1987, p. 46), tendo em vista atingir o equilíbrio entre as três vertentes da sustentabilidade: ambiental, sócio-cultural e econômica, dando forma ao conjunto das atitudes ambientalmente responsáveis, socialmente justas, economicamente viáveis através do Triple Bottom Line. (REIS, 2015).

Para Almeida (2007), o maior desafio deste século é encontrar o equilíbrio entre estas três vertentes.

Segundo o Conselho Internacional da Construção (CIB) a “construção sustentável é a criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos”. De acordo com este conceito, o CIB identificou sete atitudes a fim de garantir uma construção sustentável em todo o seu ciclo de vida, dentre elas: (1) reduzir o consumo de recursos; (2) reutilizar recursos; (3) utilizar recursos recicláveis; (4) proteger a natureza; (5) eliminar os produtos tóxicos; (6) analisar os custos de ciclo de vida; (7) assegurar a qualidade. (BRASIL, 2017; CIB, 1999).

Tal setor construtivo contribui significativamente para o crescimento do país no âmbito econômico e social, pois apresenta notória participação no Produto Interno Bruto (PIB), é considerado foco de políticas públicas e interfere de forma

direta na qualidade de vida da população, sendo o setor responsável pela geração de milhões de empregos diretos e indiretos. (DORIA et al., 2012).

De acordo com o levantamento do Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), o índice Nacional da Construção Civil do Brasil no ano de 2017 atingiu 3,82%, apresentando uma queda de 2,82% se comparado ao ano anterior, no qual o índice foi de 6,64%. Contudo, a redução na demanda construtiva no país não interfere de forma significativa a diminuição dos impactos ambientais gerados. (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2017).

Campos (2012) afirma que o consumo de recursos naturais pela construção civil chega a 60% do total de matérias primas disponíveis no ambiente. Dados existentes a nível mundial indicam que as construções utilizam de 30 a 40% de energia e emitem 40 a 50% do total de emissões de gases GEE devido a queima de combustíveis fósseis. (ASIF; MUNEER; KELLEY, 2007; BRIBIÁN; USÓN; SCARPELLINI, 2009).

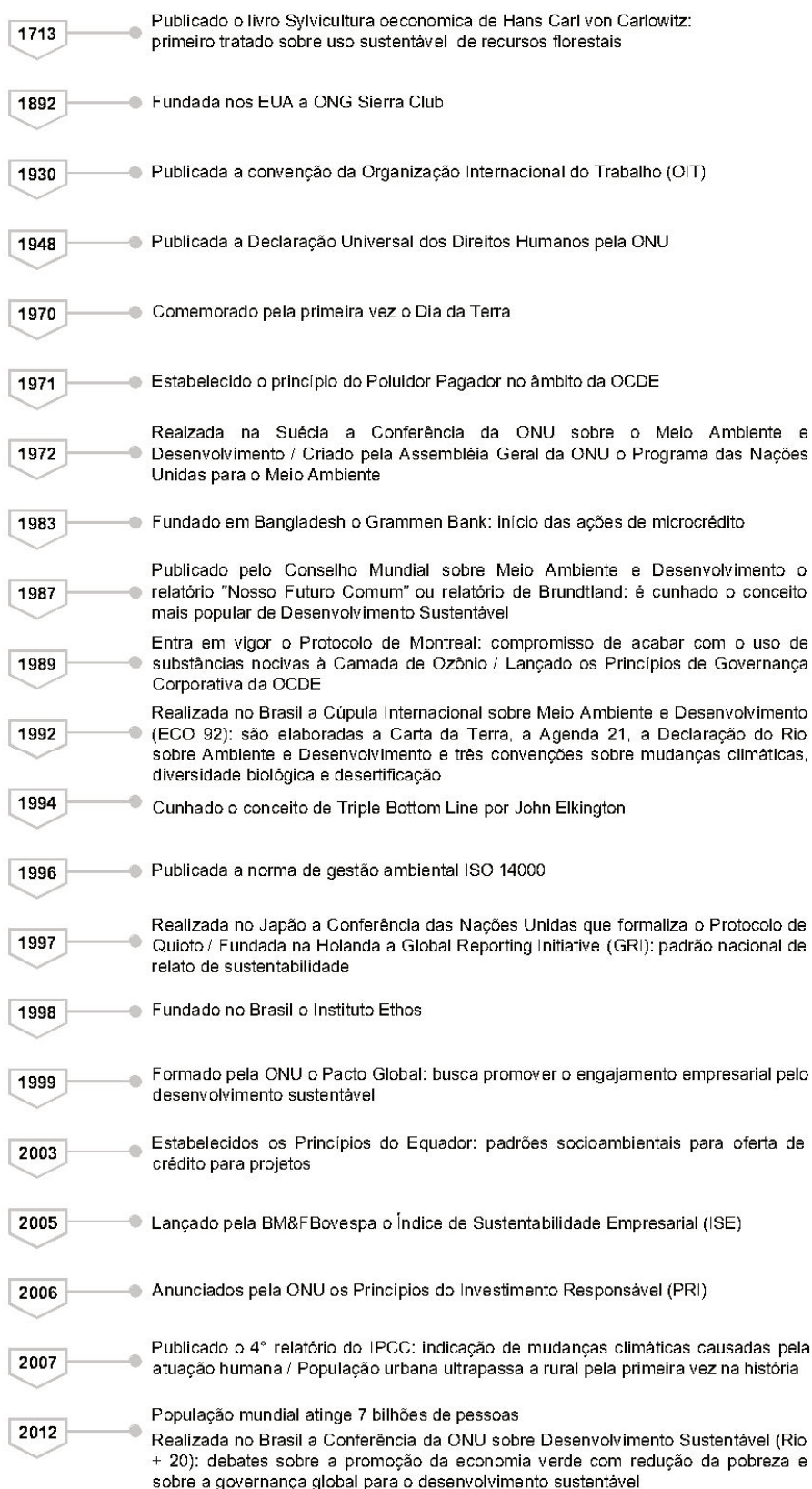
Uma crescente conscientização pública sobre tal situação atua como incentivo em implementar construções sustentáveis com emprego de materiais de apelo ecológico. (FARIA et al., 2015). Kilbert (2008, p. 9) define estas edificações como “[...] instalações saudáveis projetadas e construídas de uma maneira eficiente em termos de recursos, usando princípios”.

Apesar das ferramentas disponíveis para avaliar a implantação de construções sustentáveis, ainda são vagas as definições destas ferramentas e as funções que estas construções devem apresentar, interferindo na decisão de implementá-las. (ZUO; ZHAO, 2014). Entretanto, a conscientização sobre a importância ambiental vem sendo refletida em estudos que abordam, entre outros assuntos, o consumo de energia e emissões de gases poluentes, desenvolvidos com a finalidade de aprimorar seu desempenho e identificar meios que garantam a redução dos impactos ambientais gerados pelo setor da construção civil. (SINGH et al., 2011).

Embora existam variadas estratégias, a sustentabilidade é um sistema aberto e complexo que depende de uma mudança cultural, tratando o paradigma como um novo modelo de desenvolvimento, através de ações locais e pontuais garantindo a sustentabilidade a nível global. (MOTTA; AGUILAR, 2009). A Figura 1 apresenta a trajetória do tema sustentabilidade, inicialmente com a publicação do primeiro

tratado sobre o uso consciente de recursos florestais em 1713, até os dias atuais com a inclusão dos aspectos econômicos e sociais, visando à conscientização da população das limitações ambientais causadas pela ação do homem. (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC), 2012).

Figura 1 - Linha do Tempo da Sustentabilidade



Fonte; Adaptada de CBIC (2012, p. 23).

2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À CONSTRUÇÃO CIVIL

Neste item estão descritas as principais causas da geração de impactos ambientais decorrentes da ação envolvendo o setor construtivo, sendo elas: o consumo de recursos naturais, a geração de resíduos, as emissões aéreas, o consumo de energia e o produto final, cujos danos causados por estas atividades são prejudiciais tanto para a saúde humana, quanto para o meio ambiente.

2.2.1 Consumo de Recursos Naturais

No Brasil, áreas são degradadas devido à intensa extração de matérias-primas pela indústria da construção civil voltadas à fabricação de materiais de construção. (ROTH; GARCIAS, 2009; REIS, 2015). As áreas degradadas são consideradas como “[...] aquelas que não possuem mais a capacidade de repor as perdas de matéria orgânica do solo, nutrientes, biomassa e estoque de propágulos” (BROWN; LUGO, 1994).

Segundo Goldemberg e Lucon (2007), o consumo de energia está em constante crescimento e sua produção está associada a fontes de origem não renovável, da mesma forma que para Levin (1997 apud TAVARES, 2006) os impactos ambientais causados ao longo do ciclo de vida das construções se devem a sobrecarga de uso de matérias-primas em cerca de 30%, da água em aproximadamente 25% e do solo, 12%.

Quando se avaliam os danos determinados pela atividade construtiva, estes são normalmente classificados quanto a: gradativo esgotamento de matérias-primas; dano ecológico causado pela extração destes materiais; consumo de energia em todos os estágios de produção (incluindo transporte); consumo de água; poluição por ruídos e odores; emissões danosas, entre as quais aquelas diretamente relacionadas à redução da camada de ozônio; aquecimento global e chuvas ácidas; aspectos relativos à saúde humana; risco de desastres; durabilidade e manutenção; reuso e desperdícios. (SATTLER, 2006, p. 220).

2.2.2 Geração de Resíduos

Os resíduos de construção e demolição (RCD), conhecidos popularmente como entulho, são considerados um problema de escala global, pois a maioria das Prefeituras Municipais não dispõe de recursos técnicos, financeiros e de

gerenciamento para solucionar os problemas causados pelo volume excessivo destes resíduos gerados, resultando a prática de descarte inadequado acarretando sérios problemas ambientais e à saúde pública. (FEIJÃO NETO, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/10, estabelece critérios a fim de incentivar a reciclagem e reutilização dos resíduos sólidos que apresentam valor econômico agregado e o descarte adequado do que não pode ser reaproveitado. Entretanto, embora a temática seja abordada em normas e resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), o país ainda apresenta carência de instrumento legal que imponha a gestão destes resíduos por parte das Prefeituras e outros níveis de governo. (BRASIL, 2010). Estima-se que no ano de 2012, foram gerados mais de 35 milhões de toneladas de RCD pelos municípios do Brasil, restando somente a parcela de 45% referente aos demais resíduos sólidos urbanos (RDU) conforme a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (ABRELPE, 2012).

2.2.3 Emissões Aéreas

As emissões de gases poluentes na atmosfera tem relação com o consumo excessivo de recursos não renováveis, desmatamento de florestas, grandes volumes de resíduos em aterros sanitários, utilização de produtos químicos na composição de materiais, e a poluição gerada pela queima de combustíveis fósseis e a atividade humana em geral. (REIS, 2015).

Para Goldenberg e Lucon (2007), o setor da construção civil é responsável pela emissão expressiva de gases causadores do efeito estufa, a partir do processo de queima de combustíveis fósseis na geração de energia. O desequilíbrio ambiental existente, como o aumento da temperatura e as alterações no clima, degelo das camadas polares e a destruição da camada de ozônio, se devem principalmente a emissão de gases do efeito estufa (GEE), sendo os principais: dióxido de carbono (CO_2), vapor d'água, metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e ozônio (O_3). Porém outros gases oriundos da ação humana também se enquadram como GEE, tais como os halocarbonetos e outras substâncias como cloro e bromo. Estima-se que o CO_2 , principal responsável pelo efeito estufa, corresponde a 55% das emissões mundiais. Este gás tem permanência de 100 anos na atmosfera. (ALCSENS, 2014).

A fim de garantir o compromisso nacional da redução das emissões de gases do efeito estufa até o ano de 2020, acordado na 15ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 15), realizada em 2009 na cidade de Copenhague, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) elaborou a terceira edição do relatório das Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Brasil, referente ao ano de 2016, regulamentado ainda pela Política Nacional sobre Mudança do Clima através do Decreto 7.390/2010. (BRASIL, 2017).

O país está comprometido em reduzir 37% suas emissões de gases do efeito estufa dos níveis de 2005 até o ano de 2025. As reduções já atingiram mais de 41% em 2012, com relação aos níveis de 2005, uma considerável contribuição de um único país. (BRASIL, [2018?]).

No ano de 2016, o Brasil emitiu 428,95 milhões de toneladas de CO₂ equivalente na atmosfera, sendo que deste total, 194,3 milhões de toneladas de CO₂ equivalente referiu-se ao transporte e 101,3 kg de CO₂ para a produção de 1 MWh. Estes valores são inferiores aos países Estados Unidos em 50% e China em 70%. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), 2017b).

Embora países como o Brasil estejam atingindo as metas de redução de emissões, países como a China, Índia e Estados Unidos apresentam crescimento significativo referente a geração de gases do efeito estufa. (OECD, 2015).

2.2.4 Consumo de Energia

O relatório do Balanço Energético Nacional (BEN) divulgado pelo Ministério das Minas e Energia, contabiliza o consumo e a transformação dos produtos energéticos no país através da extração de recursos energéticos primários e secundários. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), 2017a).

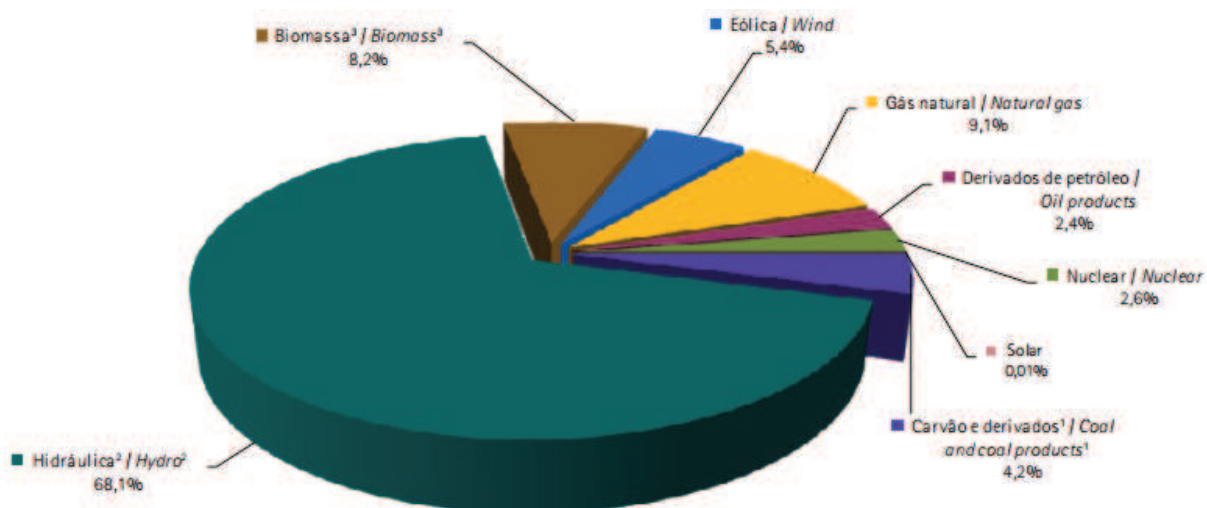
Os setores residencial, comercial e público, relacionados à construção civil, além da indústria responsável pela produção dos materiais de construção, apresentam dados da energia aplicada por metro quadrado de construção. (TAVARES; LAMBERTS, 2005).

As fontes primárias de energia são as obtidas da natureza de forma direta, tais como: petróleo, gás natural, carvão vapor, carvão metalúrgico, urânio (U₃O₈), energia hidráulica, lenha, produtos da cana e resíduos vegetais e industriais

utilizados para geração de vapor, calor e outros. As fontes secundárias derivam de processos de transformação: óleo diesel, óleo combustível, gasolina, gás liquefeito (GLP), nafta, querosene, gás, coque de carvão mineral, urânio contido no UO₂ dos elementos combustíveis, eletricidade, carvão vegetal, álcool etílico, alcatrão 25 e outras fontes baseadas no petróleo. (EPE, 2017a).

Como representado no Gráfico 3, a maior demanda de geração de energia elétrica no Brasil corresponde às fontes hidráulicas, com cerca de 68%, seguida do gás natural, apresentando 9,1%, biomassa com 8,2%, eólica com 5,4%, carvão e derivados com 4,2%, nuclear com 2,6%, derivados de petróleo apresentando 2,4% e fonte solar correspondendo à 0,01%. (EPE, 2017a).

Gráfico 3- Fontes de Geração de Energia



Fonte: (EPE, 2017a, f. 16).

O consumo do setor residencial corresponde a 9,7% do consumo de energia do país, sendo sua principal fonte de energia a eletricidade, que corresponde a 46% do total do setor e se deve principalmente ao fato de grande partes dos equipamentos utilizados nas residências funcionarem através da energia elétrica. Logo segue o gás liquefeito de petróleo, GLP, com 26,5% utilizado para cocção de alimentos e aquecimento de água. Contudo, devido ao elevado preço atribuído ao GLP, as comunidades rurais e regiões periféricas utilizam a lenha para estas funções, correspondendo a 24,4%. O carvão vegetal e o gás natural, correspondem a 1,7 e 1,4% respectivamente, tendo este último representado uma queda de 30,9% em relação a 2015, conforme apresentado na Tabela 1. (EPE, 2017a).

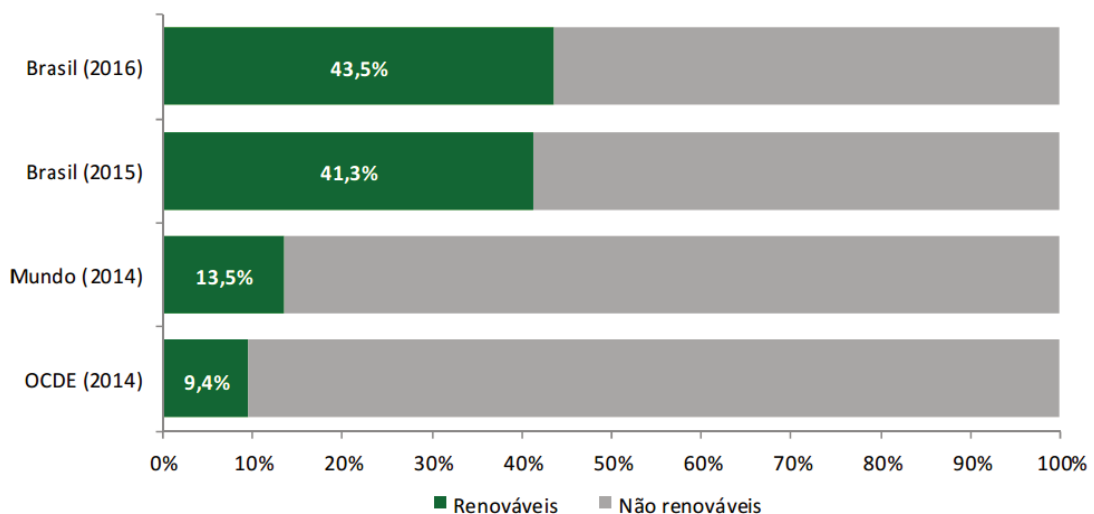
Tabela 1 - Fontes de Energia no Setor Residencial

FONTES	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
GÁS NATURAL	1	1	1	1,1	1,2	1,2	1,4	1,2	1,2	1,4
LENHA	35,1	33,9	32,6	30,9	28	27,2	24,2	24,6	25,4	24,4
GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO	26,5	26,6	26,4	26,7	27,4	26,9	27,5	26,3	26,2	26,5
QUEROSENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GÁS CANALIZADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ELETRICIDADE	35,1	36,2	37,4	39,1	41,4	42,6	45,3	45,8	45,2	46
CARVÃO VEGETAL	2,3	2,3	2,5	2,2	2,1	2	1,7	1,9	1,9	1,7
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: EPE (2017a, f.79).

O Brasil, por apresentar a base hidráulica como sua principal fonte na matriz elétrica e desenvolver outras fontes de energias renováveis através do Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Eletricidade (PROINFA), se encontra em uma condição favorável comparado aos demais países, conforme indicado no Gráfico 4, ao passo que a proporção de eficiência energética condiz com as metas de redução de impactos ambientais. (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Entretanto, tais benefícios ambientais gerados por esta matriz energética, são reduzidos principalmente pelo setor de transportes de predomínio rodoviário no país, por utilizar de fonte não renovável. (LOBO, 2010).

Gráfico 4 - Panorama de Energia Renovável



Fonte: EPE (2017b, f.13).

A eficiência energética de uma edificação está diretamente ligada à forma de utilização dos usuários e as decisões tomadas na fase de projeto, etapa onde são levados em consideração os condicionantes externos, como o clima (ABU BAKAR et al., 2015; GONZÁLEZ et al., 2011). O emprego de materiais que apresentam menor transmitância de calor (RODRIGUES; FREIRE, 2014) e a redução da energia utilizada para a realização de um determinado trabalho durante a fase operacional da edificação (LBNL, 2015) são algumas das estratégias mais empregadas para obter-se eficiência energética. (ABU BAKAR et al., 2015).

Dentre as fases do ciclo de vida de uma edificação, a fase operacional é responsável pela maior emissão de gases do efeito estufa, com cerca de 80%, pois apresenta um elevado consumo de energia para aquecimento, ventilação, arrefecimento, iluminação e uso de outros aparelhos elétricos. (UNEP, 2009). Entretanto, o consumo de energia nesta fase é variável, pois oscila de acordo com o local em que a edificação está inserida, seja ela em uma região tropical onde a demanda energética por aquecimento é praticamente nula, ou em locais frios que demandem maior consumo energético por estes aparelhos e tornam a fase operacional a de maior consumo. (ABD RASHID; YUSOFF, 2015).

No ano de 2016, 1,232 milhão de tCO₂ equivalentes não foram emitidos no ambiente, a partir da maior eficiência dos equipamentos elétricos utilizados pelo setor residencial, correspondendo a uma economia de 11,4% de consumo elétrico. (PROCEL, 2017).

2.2.5 Produto Final

Considerando ser o projeto a fase inicial do ciclo de vida de uma edificação, cabe aos arquitetos e projetistas encontrarem soluções e alternativas que garantam a minimização dos possíveis impactos ambientais gerados ao longo do ciclo de vida da edificação, sendo necessária a adoção de uma postura consciente e preventiva, considerando que a edificação interfere não só no meio ambiente, como também na qualidade de vida e saúde dos usuários. (ONDOVA; ESTOKOVA, 2016). Tais ações fazem parte de uma cadeia produtiva com o conjunto de iniciativas isoladas, desenvolvimento de conceitos, métodos, ferramentas e produtos de fabricantes, construtores, projetistas, usuários. (DEGANI; CARDOSO, 2002).

A escolha dos materiais e tecnologias construtivas empregados na construção devem servir de critério inicial primordial na fase de projeto. Os materiais possíveis a serem empregados em uma obra, apresentam variações no que diz respeito a energia nele incorporada, desta maneira dar preferência pela utilização de materiais locais para a diminuição da energia gasta em transporte, privilegiar o emprego de materiais não tóxicos, que provenham de fontes renováveis e levem em consideração a análise do seu ciclo de vida, possibilitam um menor impacto ambiental gerado e maior vida útil decorrente da escolha de um material de maior durabilidade. (JALALI; TORRAL, 2010). Segundo González e Navarro (2006), o potencial de emissões de CO₂, pode ser reduzido em até 30% através da seleção de materiais de construção de baixo impacto. Os materiais mais empregados em construções, como os tijolos ou blocos, o concreto, a madeira, o vidro, ao aço, o alumínio e tantos outros variam na qualidade, quanto nos recursos naturais incorporados e no seu processo de fabricação. (RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2013; BANSAL, et al., 2010). Materiais podem apresentar maior energia incorporada no seu processo produtivo, assim como o concreto, porém apresentam na fase de uso uma resposta melhor que materiais que apresentam baixa energia incorporada inicial, como é o caso da madeira. (ABD RASHID; YUSOFF, 2015).

O Brasil ainda enfrenta inúmeras dificuldades no que se refere ao desempenho dos materiais e seus sistemas construtivos, visto a indústria nacional carecer de certificação de produtos voltados ao setor da construção civil. (MEREZ, 2015). Os materiais menos duráveis acabam consumindo uma maior quantidade de matérias-primas, produzem mais poluentes, consomem energia e geram gastos com reparos e manutenção. (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

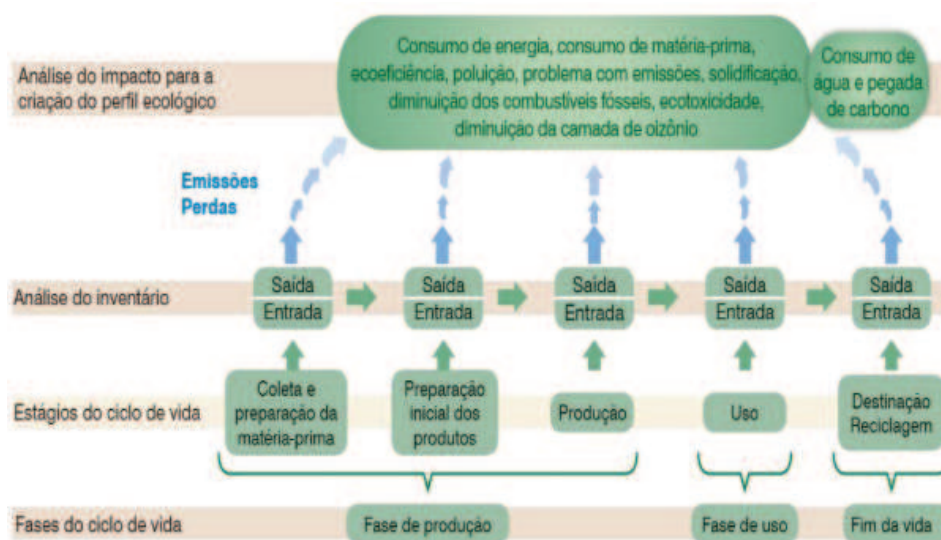
A avaliação do ciclo de vida (ACV) é um método analítico desenvolvido para quantificar e avaliar os impactos ambientais (BARE, 2014) considerando todas as etapas do ciclo de vida de um produto ou processo, desde a extração e processamento da matéria-prima, fabricação do produto, transporte e distribuição, uso, reciclagem e a disposição final. (BALAGUERA et al., 2018). Para Heinonen (2016), a ACV é a ferramenta que melhor avalia os impactos ambientais gerados pelas construções e possui aceitação internacional. Se trata de uma metodologia

complexa por apresentar um número elevado de variáveis e é considerada como uma ferramenta imprescindível para o desenvolvimento sustentável e do meio ambiente (MONICH; TAVARES, 2010), além de melhorar processos e serviços com possibilidade de aplicação em vários campos e setores, incluindo os aspectos sociais e econômicos. (FAVA; BAER; COOPER, 2009; ORTIZ; CASTELLS. SONNEMANN, 2009).

A ACV pode ser utilizada para quantificar os consumos de materiais, de energia, de água, emissões de CO₂ e os resíduos gerados pela construção (DIXIT et al., 2012; ZUO; ZHAO, 2014), e pode ser aplicada em uma edificação ou somente a componentes de forma isolada, além de identificar soluções para melhorar o desempenho da edificação e soluções para diminuir os impactos ambientais gerados. (BRIBIÁN; CAPILLA; USÓN, 2011; WU, et al., 2012).

A metodologia ACV é padronizada pela Organização Internacional para Padronização (ISO), publicada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), da série ISO 14000, estabelecendo uma diretriz básica de avaliação de ciclo de vida, sendo as mais difundidas: ISO 14044 requerimentos e diretrizes (ABNT, 2014b) e ISO 14040 princípios e estrutura de uma ACV (ABNT, 2014a). Sua estrutura é dividida em quatro fases: definição de objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impacto e interpretação dos resultados. (ABNT, 2014a), representado na Figura 2.

Figura 2 - Processo de Avaliação do Ciclo de Vida



Além das normativas brasileiras existem as internacionais que servem de apoio, como a ISO/TR 14.047 (ISO, 2012a) que se refere a aplicação da ACV, a ISO/TS 14.048 (ISO, 2002) referente aos dados e a ISO/TR 14.049 (ISO, 2012b) com a abordagem quanto aos objetivos.

As Normas europeias EN 15804 (2012) e EN 15978 (2011) definiram sete categorias de impacto para a avaliação do ciclo de vida em edificações, onde as mais utilizadas são: potencial de aquecimento global, potencial de depleção da camada de ozônio, potencial de acidificação e demanda de energia primária. No geral, a categoria de potencial de aquecimento global apresenta maior impacto (ASSEFA; AMBLER, 2017).

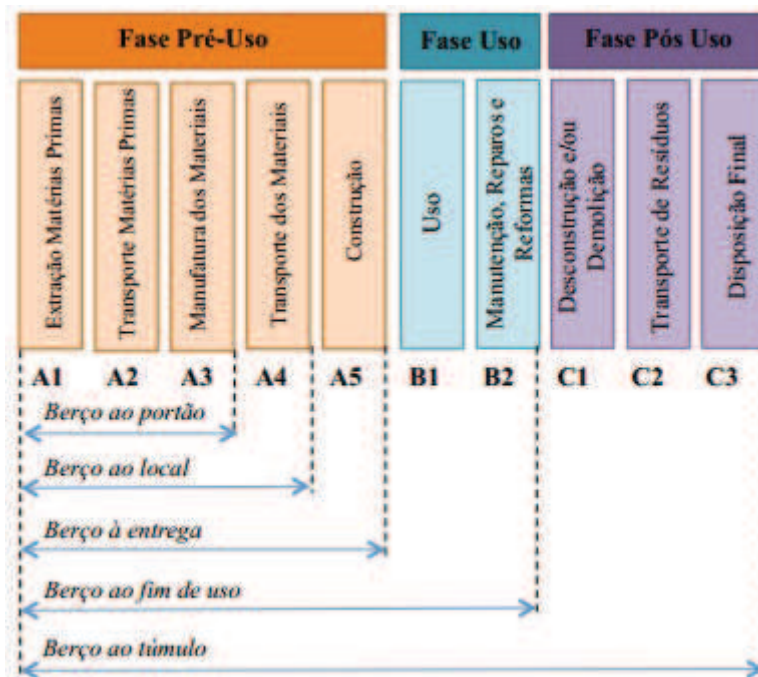
2.3.1 Objetivo e Escopo

Segundo a ISO 14040 (ABNT,2014a), o objetivo da ACV deve informar a finalidade do estudo, os motivos e o público alvo ao qual se refere. No escopo devem ser considerados e claramente descritos os itens: função e unidade funcional; limites do sistema; procedimentos de alocação; requisitos da qualidade dos dados; comparações entre sistemas; considerações sobre análise crítica. (ABNT,2014a).

Os limites do sistema podem ser classificados em temporais, tecnológicos ou geográficos (YOKOO; YOKOYAMA, 2016):

- Berço ao portão (*cradle to gate*): consiste na extração da matéria-prima, transporte e transformação em material ou componente de construção.
- Berço ao local de construção (*cradle to site*): consiste na extração da matéria-prima, transporte, transformação em material ou componente de construção e sua entrega até o local da obra.
- Berço à entrega (*cradle to handover*): consiste nas etapas anteriores e a execução da obra.
- Berço ao fim de uso (*cradle to end of use*): etapa de produção, execução da obra, além da manutenção e reparos da edificação e a disposição final dos materiais substituídos.
- Berço ao túmulo (*cradle to grave*): todas as etapas anteriores, com o acréscimo da demolição ou desconstrução da edificação, além do transporte e disposição final dos resíduos.

Figura 3 - Fronteiras de Avaliação do Ciclo de Vida de Edificações



Fonte: Yokoo; Yokoyama, 2016 (apud TEODORO, 2017, p. 28).

Estudos sobre edificações habitacionais geralmente consideram a vida útil de cinquenta anos, como uma indicação do tempo de serviço durante o qual o sistema deve atender às especificações mínimas de desempenho. (JOHN; AGOPYAN; SJÖSTRÖM, 2002).

Para Ortiz, Castells e Sonnemann (2009), dois escopos de ACV são os mais difundidos na construção civil: (1) avaliação dos materiais e sistemas empregados na obra ou (2) toda a construção, com suas etapas e processos.

2.3.2 Análise do Inventário

Consiste na coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar cada unidade de processo considerando todas as entradas e saídas pertinentes a um sistema de produto, levando em consideração todas as variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões na atmosfera, efluentes, resíduos sólidos, entre outros). Estes dados também constituem a entrada para a avaliação do impacto do ciclo de vida (ABNT, 2014a), porém devido a carência de dados ou a fidelidade destes torna esta fase mais trabalhosa. (FAVA, 2002).

Através de processos analíticos e cálculos, os dados obtidos no inventário passam a ser relacionados aos fluxos e à unidade funcional e os programas computacionais auxiliam a gestão da elevada quantidade de informações geradas. (BAYER et al., 2010).

2.3.3 Avaliação de Impacto

Avalia os impactos ambientais a partir dos resultados obtidos na análise do inventário e, em geral, tem como base a compreensão destes impactos para estimar o recurso a ser utilizado no estudo (ABNT, 2014a). Na construção civil, as categorias de impacto ambiental usualmente consideradas são o consumo energético e as emissões de CO₂, podendo variar a quantidade de categorias de acordo com cada estudo. (INVIDIATA, 2017).

2.3.4 Interpretação dos Resultados

Esta etapa identifica as questões significativas através da definição do objetivo e escopo e fornece recomendações que podem servir de auxílio para os projetistas, a partir dos resultados da análise do inventário e da avaliação de impacto, identificando os principais problemas e implicações ambientais. (ABNT, 2014a). É a etapa final, na qual são realizadas, se forem necessárias, revisões e alterações de escopo referentes às fases anteriores, a fim de identificar alternativas para a redução dos impactos ambientais gerados e sua interpretação deve atender os objetivos estabelecidos no estudo. (HELLWEG; CANALS, 2014).

2.3.5 Banco Nacional de Dados de Inventários de Ciclo de Vida

Os estudos com abordagem ACV no país são prejudicados devido à falta de disponibilização das informações ambientais dos produtos existentes voltados à construção civil, principalmente em função ao desinteresse dos responsáveis pela fabricação dos produtos, sendo necessário utilizar de fontes internacionais, mesmo sabendo das diferenciações no sentido físico, tecnológico e geográfico que prejudicam os resultados. (REIS, 2015). A escolha adequada da base de dados é um desafio enfrentado em estudos de ACV. (CABEZA et. al., 2014).

O Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) criou o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV Brasil) a fim de suprir a necessidade de um banco de dados nacional, o qual é baseado nas ISO 14040 e 14044 e utiliza o formato da International Reference Life Cycle Data System (ILCD, 2017; IBICT, [s.d]).

Com base na ACV, a rotulagem de Declaração Ambiental de Produto (DAP) informa quais impactos o produto gera ao meio ambiente ao longo do seu ciclo de vida. Cada produto apresenta sua Regra de Categoria de Produto (RCP), onde é especificado qual impacto ambiental tem maior importância, no caso da construção civil que é uma atividade responsável por grandes quantidades de emissão de gases do efeito estufa, a unidade representativa é a massa de CO₂ equivalente. (ENCICLO, 2014).

Atualmente atua no país somente o selo RGMat fornecido pela Fundação Vanzolini, entretanto a Inmetro segue desenvolvendo sua rotulagem. Mundialmente a DAP mais conhecida é a *Environmental Product Declaration* (EPD) desenvolvida pelo Conselho de Gestão Ambiental da Suécia (SEMCo). Contudo, para padronizar as DAPs de cada país e facilitar a tramitação de produtos entre diferentes nações, foi criado pela Comissão Europeia um rótulo, chamado de Pegada Ambiental de Produto, com a intenção de atuar como uma rotulagem mundial. (ENCICLO, 2014).

2.4 ACVCO₂

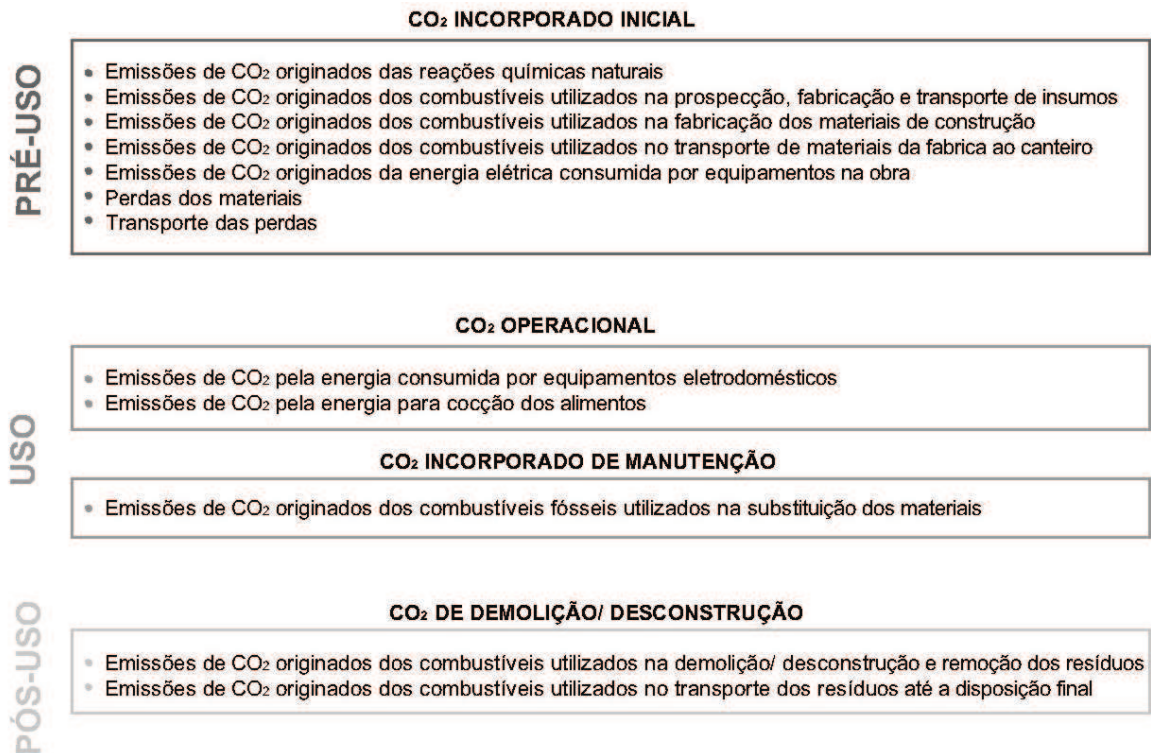
A Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de CO₂, também conhecida como ACVCO₂, pode ser definida como uma metodologia que tem a função de quantificar o total das emissões de CO₂ ao longo de diferentes fases do seu ciclo de vida e seu processo leva em consideração as principais emissões de carbono de um material, sistema ou edificação. (ATMACA; ATMACA, 2015). Para Caldas et. al. (2016), diversos estudos já foram realizados utilizando a ferramenta ACVCO₂, sendo predominante a adoção da unidade funcional como a área de piso bruta ou da edificação completa, possibilitando a comparação com os resultados de outras pesquisas tais como Tavares (2006), Paulsen e Sposto (2013) e Caldas et al. (2015).

As emissões de CO₂ e consumo de energia, são categorias de impacto ambiental analisadas geralmente de forma conjunta em estudos internacionais de avaliação do ciclo de vida de edificações. (INVIDIATA, 2017).

No Brasil, há poucos estudos que avaliaram o consumo de energia e emissões de CO₂ para a edificação na forma completa e há dificuldades de comparação em função das diferentes metodologias empregadas (CHAU; LEUNG; NG, 2015).

A ACVCO₂ se divide em três fases: pré-uso, uso e pós-uso onde são quantificadas as emissões em cada fase conforme estabelecido na Figura 4. (ATMACA; ATMACA, 2015; CHAU et al., 2015).

Figura 4 - Etapas do Ciclo de Vida das Emissões de CO₂ em Edificações



Fonte: Adaptada de Atmaca; Atmaca (2015) e Chau et al. (2015).

Os materiais empregados nas construções apresentam variação de FCO₂, conforme representado na Tabela 2, condizentes com seu processo de fabricação e seu transporte até a obra.

Diversos estudos são encontrados com abordagem ACVCO₂ na literatura, porém poucos analisam o ciclo de vida total em edificações residenciais. O estudo de Atmaca e Atmaca (2015) avaliou o consumo de energia e emissões de CO₂ do

ciclo de vida de duas habitações em Gaziantep, Turquia, localizadas no perímetro urbano e na área rural da cidade. Identificaram que a fase operacional da edificação localizada no centro urbano apresentou um resultado superior em 18% da edificação afastada, e tal resultado se deve as emissões advindas do transporte.

Tabela 2 - FCO₂ de Alguns Materiais de Construção

MATERIAIS	FCO₂ (kgCO ₂ / kg)	Fonte
Aço	1,85	Costa (2012)
Alumínio anodizado	4,44	Tavares (2006)
Areia	0.01	Palate (2004)
Asfalto	0.30	Franklin Associates (2001)
Argamassa	0.16	Costa (2012)
Bloco cerâmico furado	0.91	Costa (2012)
Bloco de concreto	0,18	Costa (2012)
Brita	0,09	Costa (2012)
Borracha	0.74	Simapro (2004)
Cal	1.10	BEN (2009)
Cerâmica branca	0.18	Bovea et al. (2010)
Cerâmica vermelha	0.29	Taborianski; Prado (2012)
Cimento	0.58	Josa et al. (2007)
Concreto 25 Mpa	0.14	Costa (2012)
Cortiça	0.19	Guerreiro (2012)
Esquadrias externas alumínio	4,03	Costa (2012)
Esquadrias internas madeira	0,4	Costa (2012)
EPS	2.54	Plastic Europe (2006)
Gesso	2.04	Taborianski; Prado (2012)
Lã de rocha	0.83	Shmid e Habib (2015)
Latão	0.24	Alvarado et al. (2002)
Madeira MDF	0.33	Costa (2012)
Madeira laminada	0.41	Costa (2012)
Papelão	0.61	Simapro (2004)
Pedras decorativas	0.04	Yan et al. (2010)
Plástico	0.62	Plastic Europe (2005)
Piso cerâmico	0.29	Tavares e Bragança (2016)
Poliestireno expandido	2,7	Costa (2012)
PVC forro	0.55	Costa (2012)
Resina acrílica	1.87	Plastic Europe (2012)
Resina epóxi	5.70	Plastic Europe (2005)
Telha cerâmica	0.11	Costa (2011)
Telha de fibrocimento	1.28	Tavares (2006)
Tinta acrílica	0.70	Tavares (2006)
Tinta	1.75	Taborianski; Prado (2012)
Vidro	0.80	Costa (2012)

Fonte: Adaptada de Caldas et al., 2015; Silva, 2013.

Caldas (2016) avaliou o consumo de energia e emissões do CO₂ em uma edificação residencial na cidade de Brasília, considerado dois sistemas construtivos: light steel framing e blocos cerâmicos de vedação. O escopo adotado foi do berço ao túmulo e foram utilizados dados nacionais e internacionais a partir de uma pesquisa bibliográfica. A vedação convencional apresentou resultado superior de emissões de CO₂ e consumo de energia. A fase de uso foi a mais impactante nos sistemas construtivos estudados.

Caldas et al. (2015) realizaram uma pesquisa de ACVCO₂, onde foram analisadas as fases de pré-uso, uso e manutenção e pós-uso de uma habitação de interesse social situada na cidade de Brasília. Este foi o primeiro estudo com este escopo na região e identificaram que as fases de uso e manutenção apresentaram maiores emissões de CO₂.

Costa (2012) identificou as emissões de CO₂ durante as fases de pré-uso e uso de uma edificação residencial de padrão baixo no Brasil. Identificou que a fase de pré-uso corresponde a 40% do total de emissões pela edificação.

Cuéllar-Franca e Azapagic (2012) realizaram um estudo sobre emissões de CO₂ geradas no ciclo de vida de três residências unifamiliares do Reino Unido. Identificaram que a fase de uso foi a mais impactante, representando 90% das emissões totais.

Devi e Palaniappan (2014) desenvolveram uma pesquisa abordando o consumo energético máximo e mínimo durante o ciclo de vida em habitações do Sudeste da Índia. Assim como nos exemplos anteriores, neste estudo também foi identificado que a fase de uso e manutenção apresentou maiores resultados.

Paulsen e Sposto (2013) realizaram sua pesquisa com enfoque no consumo energético do ciclo de vida de habitação de interesse social em Brasília e chegaram à conclusão que a etapa de pré-uso apresentou maior valor. A energia incorporada dos materiais foi retirada de dados nacionais e internacionais e no estudo representou 30% da energia total consumida pela edificação.

Tavares (2006) avaliou em sua tese cinco edificações residenciais de diversos padrões. O autor coletou os dados de fabricantes de materiais de construção e de outras pesquisas nacionais já realizadas. Desenvolveu um inventário nacional através da análise do ciclo de vida destas edificações que serve de referência para pesquisas atuais. Os resultados foram compatíveis com países como a Índia, que apresenta semelhança na matriz energética e disponibilidade de matéria-prima, que

possibilita a diminuição dos valores de energia incorporada e emissões de CO₂ se comparadas a países europeus.

Thormark (2006) estudou a redução da energia incorporada, através da substituição de materiais e concluiu que esta redução pode atingir até 17%. Seu objeto de estudo foi uma edificação composta por 20 apartamentos e dois andares, localizada em Gotemburgo, na Suécia. Ambos estudos seguem demonstrados os quantitativos referente a cada fase na Tabela 3.

Tabela 3 - Estudos ACVCO₂ e ACVE em Edificações Residenciais

ESTUDOS	PAÍS	TIPO DE CONSTRUÇÃO	CICLO DE VIDA	CATEGORIAS AMBIENTAIS	FASES CICLO DE VIDA				TOTAL
					PRÉ-USO	OPERAÇÃO	MANUTENÇÃO	PÓS-USO	
Atmaca e Atmaca (2015)	Turquia	residencial	50 anos	Energia (GJ/m ²)	11,7 - 14,1	7,8 - 4,7	*	0,07 - 0,05	19,57 - 18,85
				CO ₂ (tCO ₂ /m ²)	5,22 - 3,44	4,48 - 6,03	*	0,04 - 0,01	9,74 - 9,48
Caldas (2016)	Brasil	residencial	50 anos	Energia (GJ/m ²)	4,25 - 3,4	20,85 - 21,24	5,29 - 5,82	0,06 - 0,02	30,45 - 30,48
				CO ₂ (tCO ₂ /m ²)	0,33 - 0,23	1,02 - 1,03	0,19 - 0,24	0,05 - 0,02	1,59 - 1,52
Caldas et al. (2015)	Brasil	residencial	50 anos	Energia (GJ/m ²)	*	*	*	*	*
				CO ₂ (tCO ₂ /m ²)	0,5	0,68	0,66	0,01	1,85
Costa (2012)	Brasil	residencial	50 anos	Energia (GJ/m ²)	*	*	*	*	*
				CO ₂ (tCO ₂ /m ²)	0,2	0,24	*	*	0,44
Cuéllar-Franca e Azapagic (2012)	Reino Unido	residencial	50 anos	Energia (GJ/m ²)	*	*	*	*	*
				CO ₂ (tCO ₂ /m ²)	47 - 36 - 23	403 - 334 - 174		5,0 - 4,0 - 3,0	455 - 374 - 309
Devi L. e Palaniappan (2014)	Índia	residencial	50 anos	Energia (GJ/m ²)	12,18	21,09	*	0,36	33,63
				CO ₂ (tCO ₂ /m ²)	*	*	*	*	*
Paulsen e Spoto (2013)	Brasil	residencial	50 anos	Energia (GJ/m ²)	3,8	17,56	7,6	0,27	29,23
				CO ₂ (tCO ₂ /m ²)	*	*	*	*	*
Tavares (2006)	Brasil	residencial	50 anos	Energia (GJ/m ²)	4,63	16,61	2,43	0,49	24,16
				CO ₂ (tCO ₂ /m ²)	0,39	0,45	0,16	0,04	1,04
Thormark (2006)	Suécia	residencial	50 anos	Energia (GJ/m ²)	5,04-6,15	3,05- 10,99	1,03-1,41	0,045-0,049	9,14-18,61
				CO ₂ (tCO ₂ /m ²)	*	*	*	*	*

Fonte: Adaptada de Caldas, 2016.

2.5 ENERGIA INCORPORADA

Vários autores apresentam opiniões discordantes referente aos conceitos de energia incorporada e energia operacional (BRIBIÁN; VALERO; ARANDA, 2011; CABEZA et al., 2013; DIXIT et al., 2010; RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010; SARTORI; HESTNES, 2007).

Ramesh, Prakash e Shukla (2010) e Dixit et al. (2012) seguem a linha de pensamento que a energia incorporada está diretamente ligada a todas as fases do ciclo de vida de uma edificação, considerando o total energético utilizada em etapas não operacionais, seja por materiais, instalações, transporte, execução da edificação e deve ser considerada a fase de demolição da construção e a disposição final dos resíduos. Em outra linha de pensamento, Hammond e Jones (2008) e Tavares (2006), consideram a energia incorporada ser o total de energia primária gerada por

todos os processos, desde a extração da matéria-prima e a fabricação do material de construção à manufatura, transporte destes materiais até a construção, se limitando a fase de pré-uso.

A tipologia residencial é a mais convencional neste tipo de estudo (TAVARES, 2006; PAULSEN; SPOSTO, 2013), correspondendo a mais de 70% dos casos (CABEZA, et. al., 2014). Nos países quentes como o Brasil, a energia incorporada, considerada a fase de processamento e fabricação de materiais de construção é maior que a energia consumida na fase operacional (TEODORO, 2017), pois não necessita utilizar equipamentos para aquecimento como necessários em países de invernos rigorosos. (BASTOS; BATTERMAN; FREIRE, 2014). Além do clima e geografia, outros fatores geram variações na energia incorporada entre países, como os diferentes processos industriais e tecnológicos dos materiais, além da eficiência no consumo de energia e a origem de tais fontes (SARTORI; HESTNES, 2007). Nos países com clima mais frio, a fase de operação é responsável por apresentar maior consumo energético da energia do ciclo de vida de edificação, cerca de 80 a 90% (RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010), enquanto que a energia incorporada inicial apresenta cerca de 10 a 20% referente aos materiais empregados (KOTAJO; SCHUURMANS; EDWARDS, 2003).

Segundo Roaf, Fuentes e Thomas (2006) alguns critérios devem ser seguidos na escolha dos materiais a serem empregados em uma obra, tais como: a energia necessária para a fabricação de um material e a emissão de CO₂ resultante, o impacto local de extrações a toxicidade, o transporte do material do local de disponibilidade do insumo à obra e a poluição resultante no final de sua vida útil. As dissimilaridades obtidas nos resultados se devem à falta de padronização e correspondem a diversos fatores: limites do sistema, falta de dados fidedignos, variância de métodos para o cálculo de energia incorporada, condicionantes geográficos e climáticos, procedência da matéria-prima, processos produtivos e tecnológicos, dados econômicos e transporte. (DIXIT, et. al., 2012; MONAHAN; POWELL, 2011; SANTERO; MASANET; HORVATH, 2011).

Para González e Navarro (2006) estes critérios de seleção dos materiais de construção com baixos impactos podem reduzir o potencial de aquecimento global e emissões de CO₂ em até 30%.

Estudos sobre a substituição de materiais, como o de Buchanan (1999), indicam que o emprego da madeira pode reduzir cerca de 50% das emissões de

CO₂ se comparado ao sistema construtivo tradicional. Já a utilização de materiais reciclados, conforme apresentado em um estudo sueco, identificou a redução de energia em cerca de 40% se comparado a materiais novos. (THORMARK, 2000).

Na grande parte, os materiais locais apresentam baixa energia incorporada e geram menos emissões, pois não necessitam de trajetos extensos de transporte, a menos que a utilização de outro material mais durável compense em uma vida útil maior. (ROAF; FUENTES; THOMAS, 2014). O cimento, a cerâmica vermelha e de revestimento, o aço e o alumínio apresentam os maiores índices do conteúdo energético de uma edificação, apresentados junto aos demais materiais na Tabela 4 com a respectiva energia incorporada correspondente a cada material (prospecção, fabricação e transporte de insumos e fabricação dos materiais de construção) obtidos a partir de dados nacionais e quando inexistentes, foram buscadas referências internacionais. (TEODORO, 2017).

Tabela 4 - Energia Incorporada em Alguns Materiais de Construção

(continua)

MATERIAL	ENERGIA INCORPOADA (MJ/kg)			
	Bribrián, Capillas e Usón (2011)	Alcom (2003).	Tavares (2006).	Hammond e Jones (2011)
Aço - chapa galvanizada	33,8			28,5
Aço - chapa dobrada	30			
Aço - laminado CA 50A	30			
Aço - reciclado	12,5		8,6	8,6
Aço - reforçado		24,3	31,3	
Aço inoxidável			74,8	56,7
Acrílico	80			
Água	0,02			
Alumínio		136,8	192	155
Alumínio lingote	98,2			
Alumínio anodizado	210			
Alumínio reciclado -extrudado	17,3			
Alumínio reciclado -anodizado	42,9			
Alumínio reciclado			9	
Areia	0,05			0,0081
Argamassa mistura	2,1	2,2		1,33
Asfalto	51			
Batente - madeira aparelhada	3,5			
Borracha natural - látex	69			73,38
Borracha sintética	135			95,88
Brita	0,15			5,3
Cal virgem	3			
Carpete	50			

(continua)

MATERIAL	ENERGIA INCORPOADA (MJ/kg)			
	Bribrián, e Usón (2011)	Alcom (2003).	Tavares (2006).	Hammond e Jones (2011)
Cera	52			
Cerâmica - azulejo	6,2	15,6	6,7	12
Cerâmica 8 furos	2,9	3,6	2,7	3
Cerâmica - branca	25			29
Cerâmica - piso esmaltado	5			
Cerâmica - revest. biqueima	6,2			
Cerâmica - revest.monoqueima	5,1			
Cerâmica - porcelanato	13			
Cerâmica - refratária	32,4			
Cerâmica - telha	5,4	4,6		
Chapa de compensado	8			
Chumbo lingote	21			
Cimento Portland	4,2	4,2	6,2	5,5
Cobre	75	35,6		42
Cobre reciclado			2,4	
Concreto armado	3,1			0,74
Concreto bloco	1		0,9	
Concreto reforçado		1,8		
Concreto simples	1,2		0,90 - 1,4	
Concreto - telha		1,1 2,7		
Cortiça - prancha		51,5	97,6	
Dobradiça - ferro	40			
Fechaduras	55			
Ferro fundido	32,8			25
Fibra de celulose		10,5		
Fibra de vidro	24			
Fibrocimento - telha	6	9,5	11,4	
Fio termoplástico	83			
Gesso	4			
Gesso cartonado	6,1		7,4	
Granito	2			
Lã mineral	19			
Lã de madeira		20,3		
Lã de rocha		26,4		
Lã de vidro			32,1	
Latão	80			80
Madeira - aparelhada seca forno	3,5			
Madeira - aparelhada seca ar livre	0,5			
Madeira - pinheiro seco			3	
Madeira - pinheiro seco a gás			9,7	
Madeira laminada			13,6	9,5
Madeira laminada - colada	7,5			
Madeira - MDF	9			
Mármore	1			

(conclusão)

MATERIAL	ENERGIA INCORPOADA (MJ/kg)			
	Bribrián, Capillas e Usón (2011)	Alcom (2003).	Tavares (2006).	Hammond e Jones (2011)
Marmorite	0,48			
Palha	0,24			
Papel	18,54			
Papel kraft	37,7			
Papel de parede	36,4			
Placa de gesso	4,5			6,75
Poliamida - nylon	125			120,55
PVC		73,2	60,9	77,2
Poliestireno expandido	112	105,5	58,4	76,7
Poliestireno de alta densidade	95			
Polipropileno	83,8			
Poliuretano - espuma	74	103,8		102,1
Porta - madeira aparelhada	3,5			
Prata	128,2			
Selante - formaldeído	80			88
Solo- cimento bloco	0,6			
Solvente - tolueno	67,9			
Telha de vidro	23,13			
Tinta acrílica	61			
Tinta óleo	98,1			
Tinta PVA látex	65			
Torneiras e registros	95			
Tubo PVC	80			
Tubo de ferro galvanizado	33,8			
Vermiculita	1,37			
Vidro plano	18,5	15,5	15,9	15
Vidro blindex	26,2			
Vinil	47			
Zinco	51			72

Fonte: (1) Bribrián, Capillas e Usón (2011), (2) Alcom (2003), (3) Tavares (2006) e (4) Hammond e Jones (2011) (apud Teodoro, 2017, f. 36-38).

Um estudo desenvolvido na Índia identificou que três materiais: tijolos, cimento e aço, correspondem de 80 a 90% da energia incorporada em habitações, sendo considerados os materiais de maior significância. (DEBNATH; SINGH; SINGH, 1995).

O estudo de Estokova, Vilcekova, e Porhincak, (2017) aponta que uma edificação residencial em alvenaria convencional consome 310 toneladas de materiais e atinge uma média de 567,5 GJ de energia incorporada, sendo os materiais das fundações responsáveis pelo maior percentual do total da energia incorporada, com 29,9%, mostrando que o somatório das fundações e dos materiais

das paredes correspondeu à aproximadamente 50% da energia total incorporada da edificação. As construções de um pavimento apresentam maior energia incorporada que edificações de múltiplos andares, independente da tipologia, devido a fundação atender vários andares e não somente ao pavimento térreo. (BANSAL; SINGH; SAWHNEY, 2014).

O estudo de Buchanan e Honey (1994) identificou que a energia incorporada e operacional se equivaliam em edificações residenciais de Nova Zelândia cujo ciclo de vida adotado foi de 25 anos e o emprego de materiais e projetos diferentes.

Adalberth (1997) estudou a energia necessária para a execução de uma obra, considerando a elevação de guias, o aquecimento de espaços em estaleiros, a escavação do terreno e transporte de solo e materiais. O resultado encontrado correspondeu a 1% do total de energia para uma vida útil de 50 anos.

Os Estados Unidos e a China são as duas maiores economias em comércio internacional de energia incorporada, que ocupam 10% e 9% do total do mundo, respectivamente. (WU; CHEN, 2017).

2.6 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

2.6.1 Características Construtivas de Edificações Contemporâneas

As tecnologias construtivas passaram por inovações após a Revolução Industrial. A partir daí iniciou-se a utilização de estruturas metálicas e o uso do cimento Portland, ainda que o emprego da alvenaria se mantivesse sendo a principal técnica construtiva até a chegada do concreto armado no início do século XX. (RIBEIRO; BRAGA, 2003). De 1920 em diante, as edificações mais importantes passaram a serem construídas com estrutura de concreto armado e suas vedações em alvenaria. Já as edificações populares, seguiram sendo construídas em alvenaria portante de tijolos apoiadas em barrotes de madeira, suportando o assoalho em madeira. (RIBEIRO; BRAGA, 2003).

A moradia contemporânea se vincula a adaptação frente às transformações da cidade e da vida urbana e está de acordo com as necessidades particulares de cada usuário. Possibilitam a adequação do programa de necessidades das moradias, suas dimensões e funções, de acordo com os novos padrões de família. (SANTOS; MADUREIRA, 2015).

A atualização das moradias se dá através da criação de espaços amplos e integrados, espaços abertos, grandes planos de vidro para aproveitamento da luz natural, coberturas com vegetação, uso de elementos vazados e integração da edificação com pátios e jardins externos. (ROSSETTI, 2014). A orientação solar e os ventos, além da forma arquitetônica e a disposição dos ambientes internos sempre visando o atendimento das normas que asseguram a qualidade, o desempenho e a durabilidade da edificação. (SANTOS; MADUREIRA, 2015).

As edificações contemporâneas são marcadas pelo uso de diversificados materiais aparentes nas fachadas, como os elementos em madeiras, cerâmicos ou vidros, além da utilização do aço e do concreto como elementos plásticos e não somente como estrutural. (ROSSETTI, 2014).

Atualmente, a construção civil conta com diversificados sistemas construtivos. O método mais empregado ainda hoje é a alvenaria convencional, mesmo que estas novas tecnologias estejam em crescimento no emprego em edificações. Os sistemas mais utilizados são: alvenaria convencional, alvenaria estrutural, steel frame, wood frame e paredes de concreto. (PEREIRA, 2018). O desenvolvimento de novas técnicas construtivas incentiva a industrialização e a melhoras dos sistemas e métodos existentes, superando a qualidade de métodos tradicionais. (PEREIRA, 2018).

2.6.2 Características Construtivas de Edificações Coloniais Portuguesas no Brasil

A arquitetura colonial de influência portuguesa consolidou a formação da identidade brasileira, com construções caracterizadas pela simplicidade na composição e uniformidade do estilo, as tipologias arquitetônicas eram produzidas seguindo o padrão português, variando somente no que diz respeito aos condicionantes do terreno, a dimensão ou a topografia. (MARTINS, 2010).

A adaptação das construções no Brasil colônia, se deu principalmente através da utilização de matérias-primas locais, posteriormente a abertura dos portos possibilitou a vinda de materiais até então desconhecidos no Brasil, permitindo uma nova aparência às construções além das já conhecidas desenvolvidas com madeira e barro, materiais de abundância na terra. (PRESTES, 2017). Nos terrenos estreitos, casas térreas ou sobrados eram construídos nas divisas laterais e frontal, pintadas

geralmente na cor branca com as esquadrias ou elementos decorativos em colorido, com uso de verga reta ou curva enquadradas por cunhais, encimadas por beirais ou cimalkas e cobertas por telhas cerâmicas em capa e canal, telhado galbado¹ de duas águas. (CAMPOS, 2007). O custo elevado dos pigmentos trazidos da Europa e a tecnologia precária do local existente à época não permitiam uma grande diversidade de tons, sendo produzidas em parte com matérias-primas locais (MARTINS, 2010).

A utilização da pedra como material de construção era frequente, sendo empilhadas, com ou sem emboço de barro e com reboco de cal e areia na junção das peças. A espessura da parede variava de 0,50 a 1,00 metro. (VASCONCELLOS, 1977). O emprego de cal nas argamassas de assentamento entre as pedras, modernizou a forma de construção de paredes e de muros. (SMITH, 2012). As argamassas para reboco até então utilizadas continham esterco com barro para gerar a liga necessária, e nesta época eram usualmente utilizadas nas construções. (MARTINS, 2010). Os pavimentos eram costumeiramente de ladrilho, pedra ou terra batida. (VASCONCELLOS, 1977).

Para o mesmo autor, os projetos seguiam um padrão de layout e disposição dos espaços internos, sendo o corredor a peça chave da edificação, pois proporcionava a ligação direta da rua com o quintal ou pátio dos fundos da construção, garantindo a dinâmica da casa e independente das dimensões, cruzava o comprimento do terreno dando acesso a todos os cômodos existentes. (VASCONCELLOS, 1977).

Segundo Martins (2010), o status social era representado nas construções. Os proprietários buscavam ajustar-se à realidade de uma terra rude e inóspita e, ostentar nas fachadas representava uma forma de obter respeito e se diferenciar da população. O autor ainda refere a inexistência de sanitários dentro da edificação. A higiene acontecia dentro dos quartos em banheiras e as necessidades fisiológicas eram realizadas em tinas e posteriormente os escravos eram responsáveis pelo descarte em córregos ou locais destinados a esta função. Devido ao clima quente do país, as cozinhas eram situadas anexas às casas, se distinguindo ao hábito português de incorporá-las no interior da edificação. (SANTOS, 2011).

¹ Telhado galbado é caracterizado pela mudança de inclinação do caimento do telhado, na intenção de proteger a edificação da chuva.

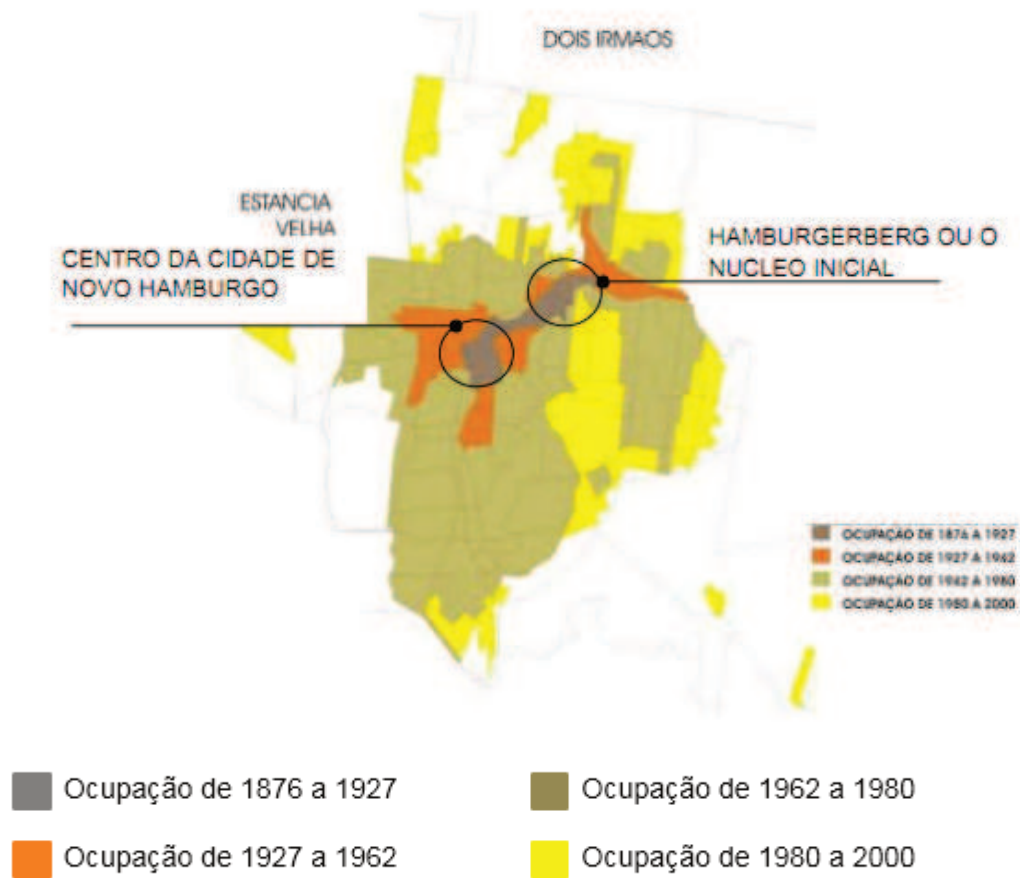
2.7 IMIGRAÇÃO PORTUGUESA EM NOVO HAMBURGO

A imigração no Brasil teve início no século XVI, com a chegada dos imigrantes portugueses que inseriram suas tradições culturais e religiosas durante todo o período colonial e da monarquia. A partir da abertura dos portos às nações amigas em 1808, imigrantes de diversos países se destinaram ao novo país a fim de encontrar trabalho, pois o local era visto como promissor e com grandes oportunidades de trabalho. (IMIGRAÇÃO..., 2018). A política imperial estimulou a vinda de imigrantes no período entre 1824 e 1937, a fim de povoar, desenvolver a agricultura, proteger as fronteiras e substituir a mão de obra escrava, após a aprovação da Lei Áurea no ano de 1888, com a abolição da escravatura. (HERÉDIA, 2001).

No Rio Grande do Sul, a região do Vale dos Sinos era habitada por índios carijós e a partir do século XVII pelos colonizadores portugueses. A chegada de imigrantes alemães em São Leopoldo no ano de 1824, propiciou o desenvolvimento da região. São Leopoldo é considerada como berço da imigração alemã no estado. Mais tarde foram demarcados os lotes nas demais colônias da região. (HERÉDIA, 2001). Em 1875, o espaço onde atualmente situa-se o município de Novo Hamburgo, na época conhecida como Hamburguerberg, já havia sido povoada e era um distrito de São Leopoldo, distante aproximadamente a 15 km da sede. (OLIVEIRA, 2009).

A presença de imigrantes de diferentes nacionalidades garantiu o desenvolvimento da região e contribuíram para a criação da sua identidade. (IMIGRAÇÃO..., 2018). A Figura 5 mostra o desenvolvimento da cidade de Novo Hamburgo a partir da ocupação de imigrantes.

Figura 5 - Evolução da Ocupação Populacional de Novo Hamburgo



Fonte: Diretoria de Planejamento Urbano (DIPLAN) Prefeitura Municipal de Novo Hamburgo (2010, p. 23).

A chegada da linha férrea gerou um surto de desenvolvimento do setor coureiro-calçadista em Novo Hamburgo, impulsionando a indústria a ponto de a cidade ser nomeada como a Capital Nacional do Calçado, devido a essa expansão do setor calçadista, a demanda de trabalho foi ampliada e incentivou a vinda de outros imigrantes. (SOCKER Jr; MANENTI, 2012).

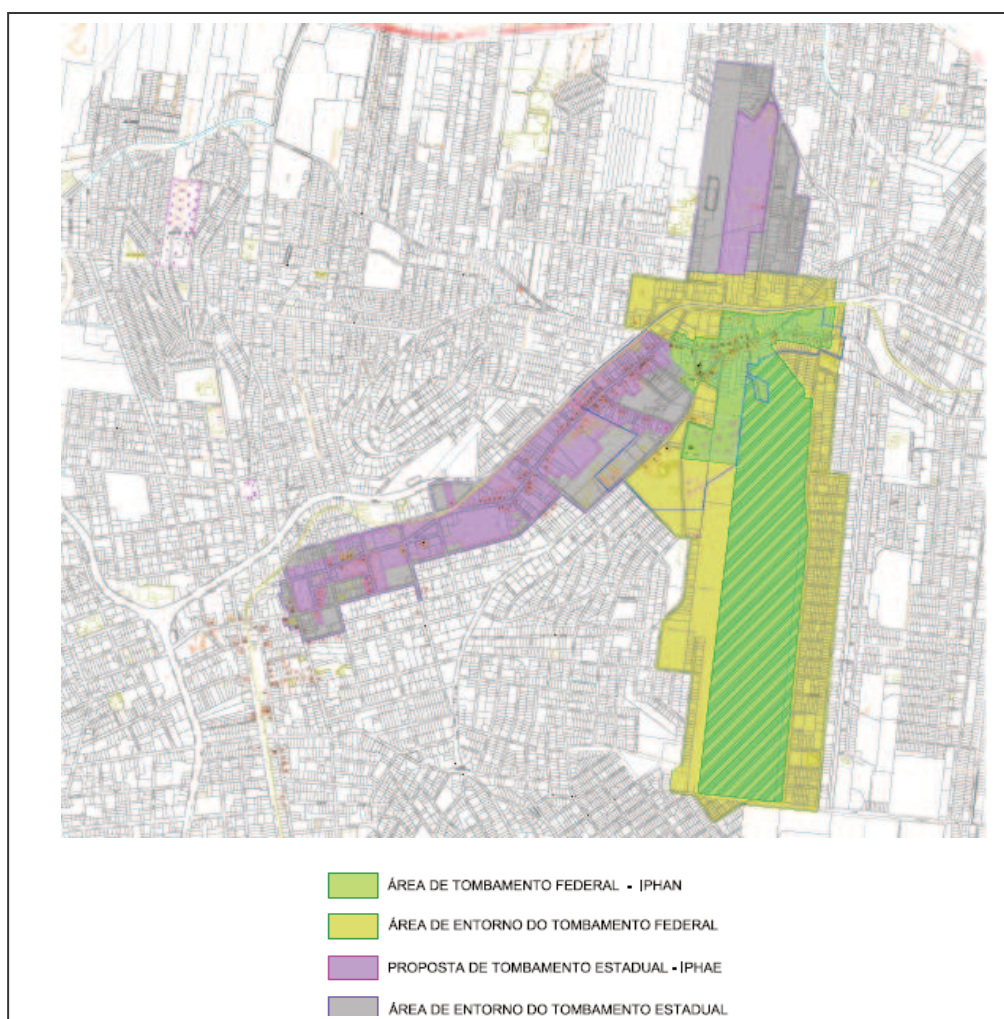
Somente em 1974 a antiga colônia de São Leopoldo iniciou, embora de forma tardia se comparada ao contexto nacional, os procedimentos para a valorização e o reconhecimento do patrimônio cultural da cidade, dando início a uma série de movimentações como o grupo Amigos de Hamburgo Velho, conseguindo o primeiro tombamento federal de um imóvel construído com técnica enxaimel de colonização alemã. (SEIXAS, 2014). Em 1994, a Prefeitura Municipal, junto a alguns colaboradores, iniciou o inventário de patrimônio histórico da cidade, e somente em

2004 este plano foi revisado, removendo as edificações já demolidas e incluindo os imóveis existentes fora do Centro Histórico de Hamburgo Velho. Neste ano alguns tombamentos foram realizados. (SOCKER Jr; MANENTI, 2012).

Em 2015, o Centro Histórico de Hamburgo Velho recebeu tombamento de nível federal e o corredor Cultural, tombamento provisório pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Estadual do Rio Grande do Sul (IPHAE). Em 2016 criou-se a lei nº 2958/2016 de proteção ao patrimônio histórico e cultural da cidade. (IPHAN/RS, s.d.).

A cidade de Novo Hamburgo apresenta um acervo importante de bens históricos decorrentes das diversas descendências oriundas da industrialização. (SOCKER Jr; MANENTI, 2012).

Figura 6 - Áreas de Tombamento e o Entorno do Município de Novo Hamburgo



Fonte: Projeto de Tombamento do Centro Histórico de Hamburgo Velho – IPHAN/ PMNH
(2015)

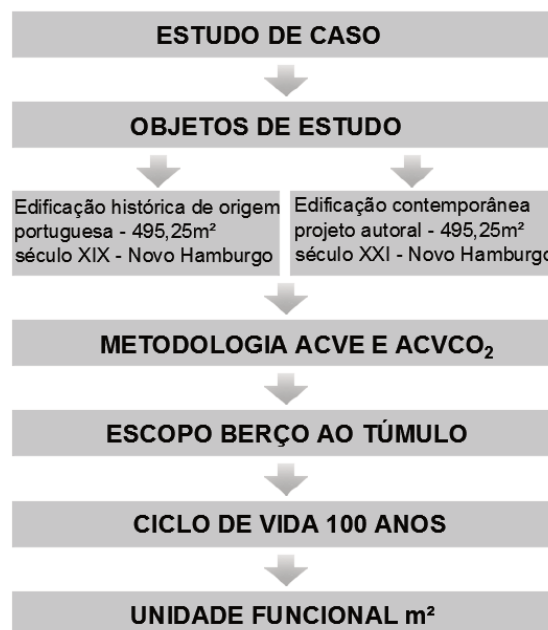
3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta a descrição dos procedimentos metodológicos utilizados para a análise do consumo de energia e emissões de CO₂ de duas edificações residenciais unifamiliares, cujo ciclo de vida adotado foi de 100 anos e o escopo, do berço ao túmulo.

Os dados da energia incorporada e fatores de emissão de CO₂ atribuídos aos materiais construtivos foram obtidos na literatura, com a utilização de dados nacionais e na ausência destes dados de fontes internacionais, priorizando as pesquisas desenvolvidas em regiões em que haja semelhança nos condicionantes climáticos e geográficos, além do desenvolvimento tecnológico.

A unidade funcional (UF) determinada neste estudo foi o m². O consumo de energia total de cada fase em GJ e as emissões de CO₂, em tCO₂ foram divididos pela área das edificações, de 495,25m². Este critério empregado por outros estudos (TAVARES, 2006; COSTA, 2012; CALDAS et al., 2015b) facilita a comparação dos resultados independente da variação de tipologias e sistemas construtivos empregados. (SILVA; SILVA, 2015).

Figura 7 - Método



Fonte: elaborado pela autora.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS OBJETOS DE ESTUDO

Adotou-se o estudo de caso, cujos objetos de estudo são duas edificações residenciais, um exemplar de edificação histórica de origem portuguesa e outro de edificação contemporânea, ambas de padrão sócio-econômico similar, situadas em Novo Hamburgo.

Por não existirem informações consistentes e detalhadas referentes à construção da edificação histórica, algumas suposições foram tomadas com base nas informações obtidas de construções similares. O transporte dos materiais desta edificação foi considerado por meio de tração animal, mas os dados de energia incorporada foram analisados seguindo as condições atuais. O objeto de estudo da edificação contemporânea é um projeto autoral realizado para o desenvolvimento desta pesquisa, com a mesma área e perímetro da edificação histórica existente, diferenciando-se desta somente pela disposição dos espaços internos e pelos materiais empregados, de acordo com as necessidades atuais de uma moradia contemporânea.

3.1.1 Casarão Friedrich

O casarão Friedrich, patrimônio histórico e ambiental de Novo Hamburgo, teve o início da sua construção em 1845, e trata-se de um dos principais marcos da arquitetura luso-açoriana do estado do Rio Grande do Sul, patrimônio de grande significado histórico, cultural, ambiental e arquitetônico. (NOVO HAMBURGO, 2013). Representa o modo de vida colonial, a agricultura familiar de subsistência, os seus saberes e as tecnologias empregadas a partir do conhecimento dos descendentes chegados no Estado a partir do ano de 1824. (NOVO HAMBURGO, 2013). Entre 1940 e 1987 a edificação sofreu algumas ampliações externas e alterações com diferentes sistemas construtivos, como a construção de banheiros no segundo pavimento, para se adaptar aos costumes atuais.

O imóvel se localiza na Rua Germano Friedrich, no bairro Guarani em Novo Hamburgo, conforme Figura 8, e foi construído para residência de Georg Michael Renck, imigrante alemão. Em 1878, Renck vendeu a propriedade para Johann Saenger, que veio a falecer dez anos mais tarde. Devido às dificuldades encontradas, a viúva, Maria Magdalena Friedrich permutou a terra com Anton e

Elizabeth Friedrich, os quais desenvolviam agricultura de subsistência e passaram a atuar na produção de farinha. Atualmente o local onde funcionava uma atafona de farinha movida à tração animal foi transformado em museu demonstrando o modo de vida da época com os equipamentos utilizados pelos antigos moradores (FRIEDRICH, 2011).

Figura 8 - Mapa da Localização do Imóvel



Fonte: Novo Hamburgo, 2012a

Além da casa principal, foram construídos posteriormente, estrebaria, senzala e a atafona onde era produzida a farinha de mandioca. Estes anexos não serão considerados no estudo. A casa principal, representada na Figura 9, foi construída em alvenaria de pedra grês (arenito), rejuntada com barro, sem o auxílio de cimento ou armaduras. Apresenta pintura externa na cor branca e as esquadrias em madeira, na cor azul. O telhado galgado² de duas águas com telha canal, caracteriza o projeto com as construções de Portugal, com suas esquadrias simétricas e volume puro.

² Telhado galgado é caracterizado pela mudança de inclinação do caimento do telhado, na intenção de proteger a edificação da chuva.

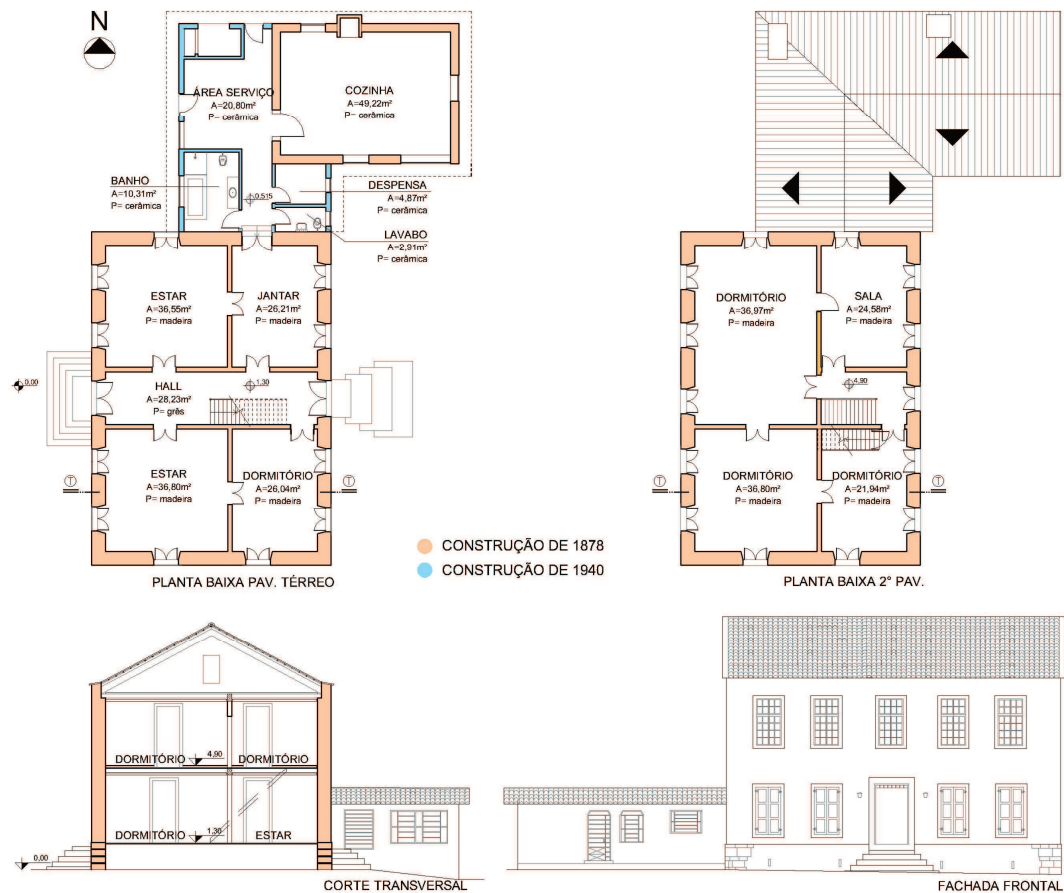
A edificação principal, com exceção das benfeitorias, apresenta o total de 495,25m², e será considerada a vida útil de 100 anos, desconsiderando as ampliações posteriores a 1978.

Figura 9 - Casa Principal Friedrich



Fonte: Novo Hamburgo (2012a, p. 1)

Figura 10 - Projeto da Edificação Histórica



Fonte: Adaptada de Novo Hamburgo (2012b, p. 2)

Tabela 5- Características Construtivas Edificação Histórica

Sistema construtivo	Descrição
Fundação	Blocos de arenito justapostos
Estrutura	Alvenaria portante em bloco de arenito e= 67/ 41/ 22cm
Fechamentos	Tijolo de barro maciço
Cobertura	Telhado galbado duas águas com telha cerâmica portuguesa em estrutura de madeira
Acabamento externo	Reboco a base de cal + tinta a base de cal
Acabamento interno	Reboco a base de cal + tinta a base de cal
Piso	Assoalho de madeira, pedra basalto e cerâmico
Forro	Madeira lambri cedrinho
Esquadrias	Madeira com pintura a base de cal na cor azul
Área = 495,25m ²	
Perímetro = 88,43m	
Ano de construção = início em 1845	
Nº de pavimentos = 2	
Localização = Estrada Germano Friedrich, 55 - Vila Nova, Novo Hamburgo/ RS	

Fonte: Elaborada pela autora.

3.1.2 Edificação Contemporânea

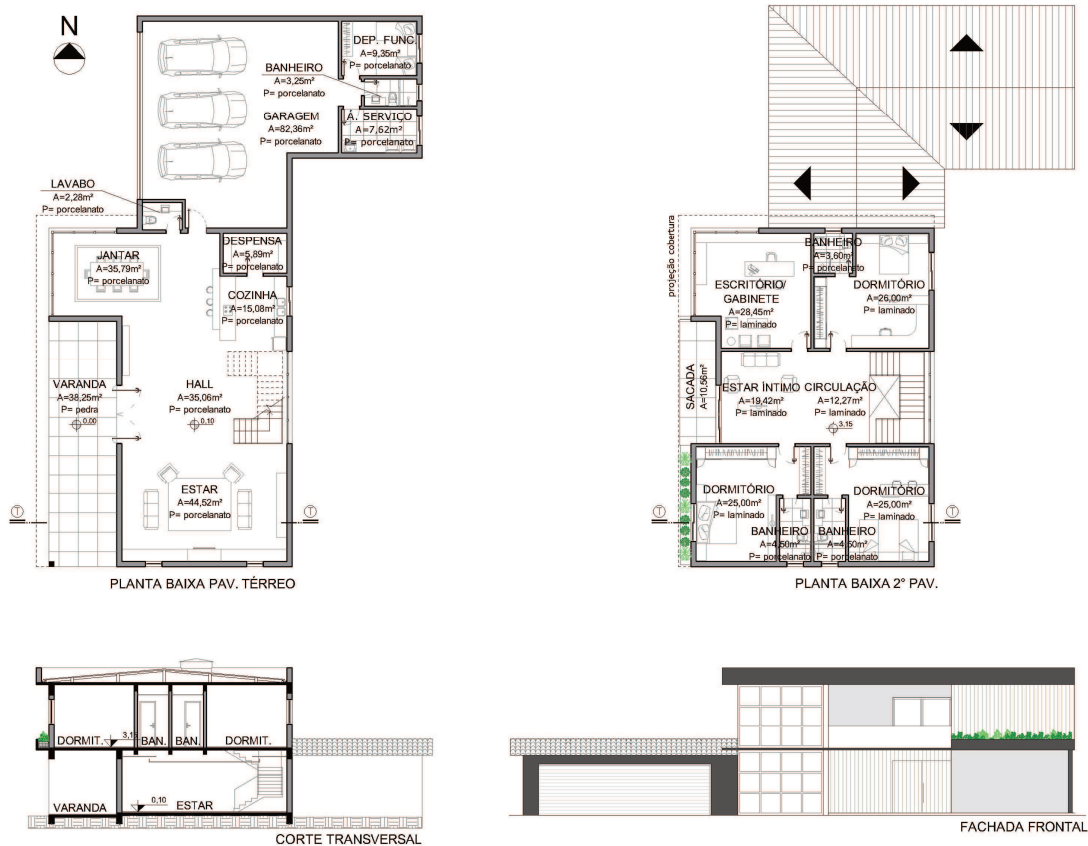
A edificação contemporânea foi projetada seguindo algumas características existentes da edificação histórica, tais como: área, perímetro, implantação no terreno, orientação solar, número de pavimentos e pé direito. Entretanto, o projeto buscou a adaptação do estilo de vida contemporâneo, ou seja, a disposição interna dos espaços foram adequadas às necessidades atuais e foram considerados materiais usualmente empregados, tais como: paredes externas com blocos cerâmicos de 29x19x19 cm e paredes internas com bloco cerâmico de 29x14x19 cm, assentados com argamassa e posterior chapisco, emboço, reboco e pintura; estrutura convencional de concreto armado *in loco*; telhado em duas águas, com estrutura em madeira e telhas cerâmicas portuguesas; bem como pisos revestidos com porcelanato e laminado.

Figura 11 - Edificação Contemporânea



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 12- Projeto da Edificação Contemporânea



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 6 - Características Construtivas Edificação Contemporânea

Sistema construtivo	Descrição
Fundação	Micro estacas de concreto armado
Estrutura	Concreto armado
Fechamento externo	Bloco cerâmico 19x19x29cm
Fechamento interno	Bloco cerâmico 14x19x29cm
Cobertura	Telha cerâmica portuguesa e de fibrocimento embutida na platibanda
Acabamento externo	Estrutura em madeira, caimento duas águas Reboco argamassa mista e= 1,5cm + tinta látex Reboco argamassa mista e=2,5cm + massa PVA + tinta látex
Acabamento interno	látex
Piso	Porcelanato e laminado
Forno	Gesso (estar, jantar e banheiros)
Esquadrias	Estrutura metálica (peles de vidro) e madeira cedro (portas e janelas)
Área = 495,25m²	
Perímetro = 88,43	
Ano de construção = projeto fictício (2019)	
Nº de pavimentos = 2	
Localização = Estrada Germano Friedrich, 55 - Vila Nova, Novo Hamburgo/ RS	

Fonte: Elaborada pela autora.

3.2 CÁLCULO PARA A FASE DE PRÉ USO

A fase de pré-uso do ciclo de vida de uma edificação é quantificada a partir do consumo energético e das emissões de CO₂ correspondentes a todas os processos necessários até a finalização da construção, ou seja, o escopo assim denominado de “berço ao portão”. Caracteriza-se pela extração e processamento de matérias-primas (EI e ECO₂I), transporte dos materiais de construção da fábrica até o canteiro de obras (ET e ECO₂T) e a execução da obra, considerando os equipamentos utilizados e o transporte diário dos funcionários até o local da obra (EC e ECO₂C).

3.2.1 Extração e Processamento dos Materiais

Inicialmente, foram medidas as quantidades de cada material utilizado a partir dos projetos da edificação histórica cedidos pela Secretaria Municipal de Cultura de Novo Hamburgo. Nesta etapa, a partir dos dois projetos foi elaborada a listagem dos serviços seguindo os modelos de Tavares (2006) e Lobo (2010) conforme itens representados na Tabela 7.

Tabela 7 - Elementos da Obra

Item	Descrição
1	Serviços preliminares
2	Estrutura
2.1	Infraestrutura
2.2	Supraestrutura
2.3	Escada
3	Alvenarias
3.1	Painéis e paredes
3.2	Revestimento de paredes
4	Acabamento de parede
5	Esquadrias
6	Cobertura
6.1	Telhado
	Forros
7	Instalações
8	Pisos
9	Pintura
9.1	Forros e paredes internas
9.2	Paredes externas
9.3	Esquadrias em madeira

Fonte: Adaptada de Schneck (2013).

Posteriormente, todos os materiais e componentes empregados em cada edificação, listados de acordo com a Tabela de Composições de Preços para Orçamentos - TCPO (2012), com unidades de medidas adequadas ao tipo de elemento (massa, área, volume, comprimento), foram convertidos em massa de acordo com as propriedades dos materiais.

Os dados de fator de energia (FE) e emissões (FCO₂) foram obtidos na literatura, conforme indicados na Tabela 8. Este método é denominado de análise híbrida, e é empregado em estudos de caso com edificações pela facilidade ao obter dados de fatores dos materiais de construção utilizados na obra, apresentados juntamente com sua fonte em cada fase do ciclo de vida do objeto de estudo. Os fatores de FE e FCO₂ são considerados como dados secundários, pois não foram obtidos nas fábricas em que os materiais foram produzidos, que seria a situação ideal.

Tabela 8 - FE e FCO₂ dos Materiais de Construção

(continua)

MATERIAIS	FONTE FE	FE (MJ/kg)	FONTE FCO₂	FCO₂ kgCO₂/ kg
Aço			Costa, 2012	1,85
Aço e ferro	Tavares e Bragança, 2016	35,00	Tavares e Bragança, 2016	2,73
Agregados graúdos			Costa, 2012	0,086
Agregados miúdos			Costa, 2012	0,086
Alumínio	Tavares e Bragança, 2016	155,00	Tavares e Bragança, 2016	10,19
Alumínio anodizado	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	210,00	Tavares, 2006	4,44
Alumínio perfil			Costa, 2012	4,441
Areia	Tavares e Bragança, 2016	0,50	Tavares e Bragança, 2016	0,03
Argamassa (1:2:8 cimento, cal hidratada, areia)	Tavares e Bragança, 2016	2,10	Tavares e Bragança, 2016	0,34
Argamassa (9 tipos)			Costa, 2012	0,197
Argamassa	Silva, 2013	0,64		
Asfalto	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	51,00	Franklin Associates, 2001	0,30
Bloco cerâmico furado	Tavares, 2006	2,70	Costa, 2012	0,91
Bloco de concreto	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	1,00	Costa, 2012	0,18
Bloco de concreto vedação 9x14x39	Oliveira, 2015	0,21 - 0,47		
Bloco de concreto vedação 14x14x39	Oliveira, 2015	0,24 - 0,53		
Bloco de concreto intertravado			Costa, 2012	0,27
Borracha	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	135,00	Simapro (2004)	0,74

MATERIAIS	FONTE FE	FE (MJ/kg)	FONTE FCO₂	FCO₂ kgCO₂/ kg
Brita	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	0,15	Costa, 2012	0,09
Brita	Rossi, 2013	0,02		
Cal	Tavares e Bragança, 2016	3,00	Tavares e Bragança, 2016	0,87
Cerâmica vermelha (telhas)	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	5,40	Costa, 2012	0,111
Cerâmica vermelha (tijolo 8 furos)	Tavares, 2006 Bribrián, Capillas e Usón, 2011	2,70	Costa, 2012	0,111
Cerâmica branca	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	25,00	Bovea et, al, 2010	0,18
Cerâmica de revestimento	Tavares e Bragança, 2016	3,00	Tavares e Bragança, 2016	0,29
Cerâmica vermelha	Tavares e Bragança, 2016	5,00	Tavares e Bragança, 2016	0,17
Chapa de compensado	Tavares e Bragança, 2016	8,00	Tavares e Bragança, 2016	0,41
Cimento	Tavares e Bragança, 2016	4,50	Tavares e Bragança, 2016	0,79
Cobre	Tavares e Bragança, 2016	75,00	Tavares e Bragança, 2016	3,95
Concreto (12% de cimento)	Tavares e Bragança, 2016	1,20	Tavares e Bragança, 2016	0,12
Concreto (9 tipos)			Costa, 2012	0,351
Concreto 25Mpa			Costa, 2012	0,14
Dobradiça	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	40,00		
EPS			Plastic Europe, 2006	2,54
Esquadrias externas alumínio			Costa, 2012	4,03
Esquadrias internas de madeira			Costa, 2012	0,40
Fechaduras	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	55,00		
Ferro fundido	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	32,80		
Fibrocimento (70% de cimento)	Tavares e Bragança, 2016 Bribrián, Capillas e Usón, 2011	6,00	Tavares e Bragança, 2016	0,72
Fio termoplástico	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	83,00		
Gesso	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	4,00	Costa, 2012	0,639
Gesso placas	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	4,50	Costa, 2012	0,766
Granito	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	2,00		
Granito	media do intervalo de Morais e Sposto, 2010	1,03		
Impermeabilizantes	Tavares e Bragança, 2016	90,00	Tavares e Bragança, 2016	5,50
Madeira laminada	Tavares, 2006	13,60	Costa, 2012	0,41
Madeira maciça (batentes e esquadrias)	Tavares e Bragança, 2016	2,00	Tavares e Bragança, 2016	0,11
Madeira MDF / HDF / OSB / MDP	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	9,00	Costa, 2012	0,331
Madeira processada - eucalipto			Costa, 2012	0,409

				(conclusão)
MATERIAIS	FONTE FE	FE (MJ/kg)	FONTE FCO ₂	FCO ₂ kgCO ₂ / kg
Madeira processada - pinus			Costa, 2012	0,405
Mármore	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	1,00		
Papel	Tavares e Bragança, 2016	20,00	Tavares e Bragança, 2016	1,54
Papelão			Simapro, 2004	0,61
Pedra	Tavares e Bragança, 2016	1,50	Tavares e Bragança, 2016	0,10
Piso cerâmico	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	5,00	Stachera e Casagrande, 2007	0,86
Piso porcelanato	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	13,00	Tavares e Bragança, 2016	0,29
Plástico PVC	Tavares, 2006	60,90	Costa, 2012	0,615
Plásticos	Tavares e Bragança, 2016	80,00	Tavares e Bragança, 2016	5,02
Poliestireno expandido	Tavares, 2006	58,40	Costa, 2012	2,70
Rejunte	Lobo, 2010	0,05		
Resina acrílica			Plastic Europe, 2012	1,87
Resina epóxi	ICE v2,0	137,00	Plastic Europe, 2005	5,70
Selador	Lobo, 2010	98,00		
Solvente	Lobo, 2010	67,90		
Telha de fibrocimento			Tavares, 2006	1,28
Tintas	Tavares e Bragança, 2016	75,00	Tavares e Bragança, 2016	3,57
Tinta esmalte ou verniz	Lobo, 2010	98,00		
Vidro simples	Tavares e Bragança, 2016	18,50	Tavares e Bragança, 2016	0,99
Vidro blindex	Bribrián, Capillas e Usón, 2011	26,20		
Zinco	Simões e Bajay, 2010	16,60		

Fonte: autores citados

Obtidos os valores de FE e FCO₂, possibilitou a quantificação da EI e da ECO₂I, a partir da multiplicação destes fatores pela quantidade de cada material, conforme representado nas Equações 1 e 2.

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \times FE_i \times \left(1 + \frac{P_i}{100}\right)}{A \times 1000} \quad (1)$$

$$ECO_2I = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \times FCO_{2i} \times \left(1 + \frac{P_i}{100}\right)}{A \times 1000} \quad (2)$$

Onde:

i – material de construção discriminado;

n – número de materiais;

m – massa do material utilizado na edificação (kg);

P – perdas do material (%);

A – área da edificação (m²);

FE – fator de energia do material (MJ/kg);

EI – energia consumida pela extração e processamento dos materiais (GJ/m²).

FCO₂ – fator de energia do material (kgCO₂/kg);

ECO_{2l} – emissões de CO₂ pela extração e processamento dos materiais (tCO₂/m²).

3.2.2 Transporte dos Materiais da Fábrica até o Canteiro de Obras

A quantidade de energia consumida necessária e as emissões geradas a partir do transporte de materiais de construção, resíduos ou pelo transporte de mão de obra, está diretamente vinculada à distância de trajeto dos locais de origens e destinos. Obras cujas distâncias são reduzidas em relação ao local de fabricação do material, ao local de descarte ou a moradia dos funcionários tendem a obter consideráveis reduções no que diz respeito aos impactos ambientais gerados por esta fase. (SILVA, 2012).

Esta etapa foi calculada a parte, pois varia de acordo com as distâncias estipuladas e os tipos de transporte.

O transporte utilizado para a locomoção dos materiais de construção empregados na edificação histórica era realizado através de tração animal e os materiais foram considerados de origem local, não sendo computados nessa fase, pois não utilizavam de combustíveis.

A energia consumida e as emissões geradas pelo transporte dos materiais de construção empregados, foram definidas a partir do produto da massa dos materiais pela a distância entre o local de fabricação e o local da edificação de acordo com o consumo correspondente ao tipo de transporte utilizado. (TEODORO, 2017).

O consumo médio de diesel para o transporte dos materiais foi definido por Nabut Neto (2011) como 0,0137 L/t.km a partir do caminho da fábrica à obra, sem

considerar o retorno do caminhão. Segundo o BEN (2015), cada litro de óleo diesel corresponde a 35 MJ e de acordo com o IPCC (2006) este mesmo litro equivale a 2,63 kg de CO₂. Os coeficientes adotados foram de 0,49 para a energia e 0,04 para as emissões de CO₂.

As fábricas consideradas no cômputo do consumo de energia e emissões de CO₂ e suas respectivas cidades seguem listadas de acordo com a proximidade geográfica às edificações em estudo, ambas localizadas na Estrada Germano Friedrich, nº 55. Bairro Vila Nova, Novo Hamburgo/RS. Os trajetos estimados foram retirados do Google Maps, e não foi considerada a distância do insumo ao local de processamento neste trabalho.

Tabela 9 - Distância Percorrida Pelos Materiais até a Obra

MATERIAIS E COMPONENTES	LOCALIZAÇÃO DA FÁBRICA (latitude / longitude)	DISTÂNCIA (km)
Aço e ferro	Sapucaia do Sul/ RS (-29.816975, -51.172858)	20,90
Alumínio	Novo Hamburgo/ RS (-29.712414, -51.135106)	8,30
Areia média e grossa	Porto Alegre/ RS (-29.972808, -51.197738)	41,30
Areia fina	Osório/ RS (-29.896208, -50.339080)	102,00
Argamassa	Gravataí/ RS (-29.943830, -50.957681)	48,00
Bloco cerâmico furado	Novo Hamburgo/ RS (-29.732924, -51.072057)	14,70
Bloco de concreto	Gravataí/ RS (-29.953633 -51.011260)	45,10
Bloco de concreto para pavimentação	São Leopoldo/ RS (-29.717174, -51.175673)	13,70
Brita	Triunfo/ RS (-29.816063, -51.481300)	69,10
Cal	Porto Alegre/ RS (-30.008417, -51.203426)	43,00
Cerâmica vermelha - tijolo	Novo Hamburgo/ RS (-29.732924, -51.072057)	14,70
Cerâmica - telha	Bom Princípio/ RS (-29.462781, -51.353720)	51,50
Chapa de compensado	Palma Sola/ SC (-26.344654, -53.277839)	586,00
Cimento	Esteio/ RS (-29.844355, -51.177086)	23,30

Concreto	São Leopoldo/ RS (-29.744788, -51.149954)	11,60
Esquadrias e batentes de madeira, alumínio	Novo Hamburgo/ RS (-29.712188, -51.146684)	6,50
EPS	Gravataí/ RS (-29.825594, -51.170187)	27,60
Fechaduras	São Paulo/ SP (-23.562085, -46.539274)	1161,00
Fibrocimento	Esteio/ RS (-29.839977, -51.176796)	25,10
Gesso	Porto Alegre/ RS (-30.009195, -51.206501)	43,40
Impermeabilizantes	Feira de Santana/ BA (-12.295446, -38.961006)	3005,00
Piso laminado	Jundiaí/ SP (-23.189757, -46.871372)	1190,00
Madeira MDF / HDF / OSB / MDP	Montenegro/ RS (-29.819688, -51.421941)	41,80
Madeira processada	Igrejinha/ RS (-29.605093, -50.804596)	40,50
Mármore e granitos	Novo Hamburgo/ RS (-29.698640, -51.137946)	4,60
Pedra grês	Taquara/ RS (-29.698283, -50.896228)	28,20
Piso porcelanato, cerâmico e azulejo	Criciúma/ SC (-28.807823, -49.370382)	271,00
Plástico PVC (tubulação HS-AF-AQ)	Joinville/ SC (-26.315961, -48.863318)	621,00
Resina epóxi	Novo Hamburgo/ RS (-29.714167, -51.134089)	6,10
Tinta	Novo Hamburgo/ RS (-29.714167, -51.134089)	6,10
Vidro	São Leopoldo/ RS (-29.751121, -51.092511)	15,40

Fonte: Elaborada pela autora.

Para o cálculo do consumo de energia e emissões de CO₂ pelo transporte, foram utilizadas as equações 3 e 4.

$$ET = \frac{\sum_{i=1}^n 0,49xD_i xm_i}{Ax1000} \quad (3)$$

$$ECO_2T = \frac{\sum_{i=1}^n 0,04 \times D_i \times m_i}{A \times 1000} \quad (4)$$

Onde:

i – material de construção discriminado;

n – número de materiais;

D – distância do material transportado da fábrica até o canteiro de obras (km);

m – massa do material transportado na ida ou na volta (t);

A – área da edificação (m²);

ET – energia do transporte de materiais da fábrica até a obra (GJ/m²).

ECO₂T – emissões de CO₂ referente ao transporte de materiais da fábrica até a obra (tCO₂/m²).

3.2.3 Construção da Edificação

Esta etapa corresponde ao cálculo da energia consumida pelos equipamentos utilizados em obra e pelo transporte dos funcionários.

- Mão de Obra

O número de trabalhadores para a execução da construção e o tempo de serviço para o desenvolvimento das atividades foram estipuladas a partir do total considerado nas composições de serviço. (TCPO, 2012).

- Transporte dos Funcionários da Obra

Além da distância do trajeto percorrido, outros fatores como o tipo de transporte, as condições de tráfego e as condições das estradas interferem nos resultados, mesmo que pouco considerados nos estudos. (SILVA, 2012).

O transporte coletivo considerado neste trabalho para a locomoção dos funcionários de suas moradias à obra proporciona uma energia reduzida por este valor ser dispersado em 40 passageiros que corresponde a lotação média de um ônibus. A distância média adotada foi de 20 km, considerando a média da distância dos bairros situados na periferia até a obra, o fator de consumo adotado foi de 0,32l/km (OLIVEIRA E ORRIDO, 2004), e o poder calorífico do combustível na ordem de 35 MJ/litro.

Assim como no transporte dos materiais, o transporte de funcionários não foi considerado para o cômputo da edificação histórica, seguindo a hipótese de que o transporte adotado não teria consumo de energia ou liberação de carbono.

Para o cálculo da energia de transporte dos funcionários, multiplicou-se os dias trabalhados pelo trajeto de ida e volta e pelo consumo do diesel, e posteriormente, este resultado foi dividido pela lotação média do ônibus, e multiplicado pelo poder calorífico do combustível. O resultado (GJ/m²) foi dividido pela UF.

- Equipamentos de Obra

A partir da listagem dos equipamentos utilizados na construção da edificação contemporânea e das horas de utilização correspondente, possibilitou-se a quantificação do consumo de energia a partir da multiplicação do consumo em KWh pelo fator da eletricidade de 3,6 MJ/KWh. Da mesma maneira, o cálculo das emissões de CO₂ geradas pelos equipamentos, foi possível a partir da multiplicação do consumo em KWh pelo fator de eletricidade de 0,15 kgCO₂/KWh. Os resultados em GJ e tCO₂ foram divididos pela UF e os cálculos estão apresentados no Apêndice C.

3.3 CÁLCULO PARA A FASE OPERACIONAL

A fase operacional corresponde à vida útil da edificação, sendo considerada a fase mais longa dentre as demais fases e, na maioria dos estudos realizados no Brasil, é a fase de maior consumo energético. Neste estudo, foi adotado um ciclo de

vida para as edificações de cem anos, considerando neste período a energia consumida pelos habitantes em atividades diárias e em atividades de manutenção da edificação.

3.3.1 Uso

A etapa de uso consiste no consumo de energia (EO) e nas emissões de CO₂ (ECO₂) originadas pela utilização de energia elétrica para o funcionamento de eletrodomésticos, de refrigeração e/ou aquecimento, e para a cocção de alimentos. Os equipamentos considerados neste estudo estão de acordo as necessidades correspondentes ao padrão médio-alto dos usuários e foram listados de acordo com o levantamento de consumo correspondente a cada equipamento da Eletrobras conforme indicado na Tabela 10.

Tabela 10 - Consumo Energético por Equipamentos da Edificação Contemporânea

Aparelhos eletrônicos	Quant	Consumo médio mensal (kw/h)	Utilização média por dia	Dias estimados de uso no mês	Consumo Ciclo de Vida de 100 anos
Aparelho de som	1	6,60	3 horas	20 dias	7920,00
Ar condicionado split 10.000 BTU/h	6	142,28	8 horas	30 dias	512208,00
Aspirador de pó	1	7,17	20 min	30 dias	8604,00
Batedeira	1	0,40	20 min	8 dias	480,00
Cafeteira elétrica	1	6,56	1 hora	30 dias	7872,00
Chuveiro elétrico	4	88,00	32 min	30 dias	422400,00
Computador	4	15,12	8 horas	30 dias	72576,00
Ferro elétrico	1	7,20	1 hora	12 dias	8640,00
Fogão elétrico cok top	1	68,55	1 hora	30 dias	82260,00
Forno elétrico	1	15,00	1 hora	30 dias	18000,00
Lâmpada incandescente - 60 W	25	9,00	5 horas	30 dias	270000,00
Lava louças	1	30,86	40 min	30 dias	37032,00
Lava roupas	1	1,76	1 hora	12 dias	2112,00
Liquidificador	1	0,80	15 min	15 dias	960,00
Microondas	1	13,98	20 min	30 dias	16776,00
Rádio elétrico	1	1,50	10 horas	30 dias	1800,00
Geladeira frost free	1	39,60	24 horas	30 dias	47520,00
Secador de cabelo - 1000W	3	5,21	10 min	30 dias	18756,00
Secadora de roupas	1	14,92	1 hora	8 dias	17904,00
Televisão 42" led	6	30,45	5 horas	30 dias	219240,00
Ventilador	1	17,28	8 hras	30 dias	20736,00

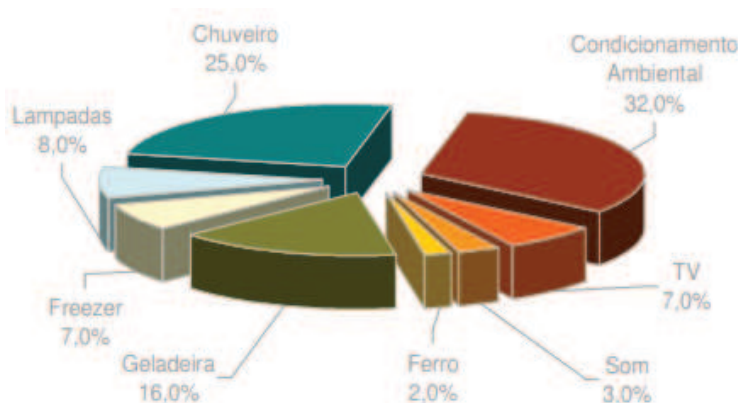
Fonte: PROCEL (ELETROBRAS)

Estudos com a mesma temática, apresentaram valores reduzidos de consumo mensal devido ao fato de a maioria destes considerar edificações de habitação de interesse social, onde a quantidade de equipamentos utilizada é mínima e tais resultados se devem por basear-se em dados estatísticos do setor, assim como no estudo de Tavares (2006), cujo valor considerado foi de 140 kWh/mês, no de Paulsen e Sposto (2013), com 161 kWh/mês e no de Pedroso (2015) cujo valor adotado foi de e 135,5 kWh/mês, sem considerar o chuveiro elétrico. Em nenhum destes estudos citados foi considerado o equipamento de climatização.

Hansen (2000), a partir de um estudo na cidade de Porto Alegre observou a relação proporcional de que quanto maior a área da edificação e a renda dos habitantes, mais elevado é o consumo de energia elétrica, principalmente nos meses de verão e inverno e maior é a posse de eletrônicos.

Conforme o levantamento de posse de eletrodomésticos e hábitos de uso de energia elétrica (ELETROBRAS, 2005), os aparelhos de ar condicionado são utilizados em 10,5% das habitações do país, porém representam 40% do consumo energético em na região Norte e 32% na região Sul.

Gráfico 5 - Consumo Elétrico Residencial por Eletrodomésticos



Fonte: ELETROBRAS (2005).

A cocção na edificação contemporânea foi considerada proveniente do GLP de consumo mensal adotado de 13kg, um botijão de gás comum, conforme indica Bermann (2003). Por não haver eletricidade no tempo determinado na análise da edificação histórica, tais valores serão nulos no computo total do consumo de energia e será computada somente a cocção por lenha.

O consumo de energia elétrica total da fase de uso da edificação contemporânea resultou do somatório da energia mensal em kWh/mês, transformado em MJ como consumo anual, e posteriormente multiplicado pelo fator de conversão (FC) de 1,62 (PEDROSO, 2015; PAULSEN, SPOSTO, 2013). O uso de GLP será considerado um botijão de 13 kg por mês, de fator 46,4 MJ/kg. O resultado será transformado em GJ e dividido pela área da edificação, considerada a unidade funcional, em GJ/m².

As emissões de CO₂ foram calculadas a partir da energia elétrica total consumida multiplicada pelo fator de emissão de CO₂ referente à produção de eletricidade no Brasil, obtido do BEN (2015) a partir da média dos valores estabelecidos dos últimos seis anos, conforme estudo de Bessa (2010). O fator utilizado foi de 0,036 kgCO₂/MJ de energia elétrica, conforme Caldas (2016). Este valor é similar aos encontrados por Miranda (2012), de 0,035 kgCO₂/MJ e pelo BEN (2015) de 0,038 kgCO₂/MJ.

Para o cálculo da cocção por lenha da edificação histórica, foi utilizado o valor de 3.847 kg/domicílio/ano encontrado por Vale et al. (2003). Este valor refere-se ao consumo residencial de lenha para cocção de alimentos de uma comunidade rural brasileira. As emissões operacionais resultaram da multiplicação deste consumo pelo ciclo de vida da edificação de 100 anos pelo fator de emissão de CO₂ da lenha que é de 0,11 kgCO₂/kg. O resultado obtido foi dividido pela unidade funcional que é a área da edificação.

A cocção da edificação contemporânea resultou da multiplicação do consumo de GLP em kg durante os 100 anos de vida útil pelo FCO₂ do GLP, de 0,063 kg CO₂/MJ (IPCC, 2006). No final, somou as emissões encontradas pelo consumo de energia elétrica e do GLP, sendo que o resultado foi convertido em tCO₂ e dividido pela unidade funcional, resultando em tCO₂/m². Os cálculos de EO e ECO₂O resultaram a partir das equações 5 e 6.

$$EO = \frac{(43,2 \times C_e \times VU \times FC) + (556,8 \times C_{glp} \times VU)}{A \times 1000}$$

(5)

$$ECO_2O = \frac{(43,2 \times C_e \times VU \times FC \times FCO_2) + (35,08 \times C_{glp} \times VU)}{A \times 1000} \quad (6)$$

Onde:

C_e – consumo mensal por equipamentos eletrônicos (kWh/mês);

VU – vida útil adotada para a edificação (anos);

FC – fator de correção adotado, para conversão de energia secundária em primária (adimensional);

C_{GLP} – consumo mensal de GLP na edificação (kg);

A – área da edificação (m²);

EO – energia operacional (GJ/m²).

FCO_2 – fator de emissão de CO₂ referente à produção de eletricidade no Brasil (kgCO₂/MJ);

ECO_2O – emissões operacionais (tCO₂/m²).

3.3.2 Manutenção

Segundo o guia para aplicação da norma de desempenho, NBR 15.575 (MEREb, 2015),

O atendimento à VUP de uma edificação dependerá da correta definição em projeto de materiais, componentes, elementos e sistemas que juntos desempenharão suas funções, bem como da correta utilização dos mesmos pelo usuário e da execução das manutenções previstas.

O consumo de energia (EM) e as emissões de CO₂ (ECO_{2M}) referentes à etapa de manutenção da edificação foram calculados seguindo os intervalos de reposição dos materiais e componentes empregados na edificação. O fator de reposição é o resultado da vida útil da edificação, neste estudo ambas consideradas de 100 anos, dividido pelo tempo de vida útil de projeto (VUP) estipulado pela NBR 15.575 de 2012– Edificações Habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho (BRASIL, 2012), conforme apresentado na Tabela 13. Sabe-se que quanto maior a vida útil da edificação, mais ciclos de manutenção e energia serão necessários em decorrência destes processos. (SILVA, 2012).

Tabela 11 - Período Para Substituição e Fator de Reposição dos Materiais ou Sistemas.

MATERIAIS	ANOS	FATOR REPOSIÇÃO
Fundação	50	2,00
Estrutura: pilares, vigas, lajes	50	2,00
Estruturas de escadas externas	20	5,00
Vedação externa	40	2,50
Paredes e divisórias internas	20	5,00
Escadas internas, guarda-corpo	20	5,00
Estrutura da cobertura	20	5,00
Telhas	13	7,69
Piso interno cerâmico	13	7,69
Acabamento em gesso e argamassa	13	7,69
Piso interno de assoalho	13	7,69
Piso interno laminado	8	12,50
Forro falso, lambri	8	12,50
Revestimento de fachada	20	5,00
Piso externo	13	7,69
Pintura interna	3	33,33
Pintura de fachada	8	12,50
Rodapé	4	25,00
Esquadrias externas	20	5,00
Esquadrias internas	8	12,50
Ferragens, fechaduras, guarnição	4	25,00
Reservatório de água	13	7,69
Louças e metais	3	33,33
Instalação elétrica	3	33,33

Adaptado de ABNT NBR 15575.

Para o cálculo da EM e ECO₂M foram utilizadas as equações 7 e 8:

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x FE_{i,x} (FR_i - 1)}{A x 1000} \quad (7)$$

$$ECO_2M = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x FCO_{2,i,x} (FR_i - 1)}{A x 1000} \quad (8)$$

Onde:

i – material de construção discriminado;

n – número de materiais;

m – massa do material utilizado na edificação, considerando as perdas (kg);

FE – fator de energia do material (MJ/kg);

FR – fator de reposição do material (adimensional);

A – área da edificação (m²);

EM – energia dos materiais utilizados na manutenção (GJ/m²).

FCO₂ – fator de emissões de CO₂ do material (kgCO₂/kg);

ECO₂M – emissões de CO₂ dos materiais utilizados na manutenção (tCO₂/m²).

Os valores de FE e FCO₂ foram considerados os mesmos da etapa de pré-uso. O transporte dos materiais para a manutenção e distâncias foram calculados pelas mesmas fórmulas utilizadas na etapa de transporte da fase de pré-uso. A energia (EM) e as emissões totais de CO₂ (ECO₂M) na fase de manutenção resultam da soma da energia (EM_i) e das emissões (ECO₂M_i) atribuídas aos materiais repostos, além do transporte e perdas associadas. Os cálculos realizados estão no Apêndice D.

3.4 CÁLCULO PARA A FASE DE PÓS USO

O consumo de energia (EP) e as emissões de CO₂ (ECO₂P) referente à etapa de pós-uso resultam da demolição da edificação (ED e ECO₂D), da substituição dos materiais e sistemas e do transporte dos resíduos oriundos desta manutenção e da demolição da edificação e o transporte até o local de disposição final.

$$EP = ED + ETr \quad (9)$$

Onde:

ED – energia de demolição/ desconstrução (GJ/m²);

ETr – energia de transporte dos resíduos gerados na demolição (GJ/m²);

EP – energia da etapa de pós-uso (GJ/m²).

$$ECO_2P = ECO_2D + ECO_2Tr \quad (10)$$

Onde:

ECO_2D – emissões de CO_2 de demolição/ desconstrução (tCO_2/m^2);

ECO_2Tr - emissões de CO_2 de transporte dos resíduos gerados na demolição (tCO_2/m^2);

ECO_2P - emissões de CO_2 da etapa de pós-uso (tCO_2/m^2).

3.4.1 Demolição e Desconstrução

O consumo de energia (ED) e as emissões de CO_2 (ECO_2D) provenientes do processo de demolição, são calculados a partir do levantamento de materiais empregados na edificação juntamente com os materiais repostos e provém do consumo pelos equipamentos utilizados necessários para derrubar a edificação, através de 1,5h de martelos rompedores e 0,05 h de pás carregadeira, que consomem 1,9 litros de gasolina e 0,17 litros de óleo diesel para cada $1m^3$ demolido. (TCPO; 2003). Em seguida, os resíduos são transportados ao aterro sanitário da cidade de São Leopoldo.

O fator de energia de desconstrução (FEd) foi considerado de 0,0354 MJ/kg, segundo estudo de Tavares (2006) e adaptação das composições do TCPO (2012). O fator de reposição cujo sistema ou material não aparece indicado na NBR 15.575 será estipulado em um acréscimo de material em 30% do total inicial em kg.

O fator de emissões de CO_2 referente a esta fase de demolição (FCO_2d) foi obtido a partir da multiplicação dos fatores de energia do óleo diesel e gasolina para o combustível dos martelos rompedores e pás-carregadeiras pelos fatores de emissão de CO_2 , de 0,0741 $kgCO_2/MJ$ para a óleo diesel e 0,0693 $kgCO_2/MJ$ para a gasolina automotiva (IPCC, 2006), resultando em 0,00247 $kgCO_2/kg$.

$$ED = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \times FE_{d_i} \times FR_i}{A \times 1000} \quad (11)$$

$$ECO_2D = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \times FCO_{2d_i} \times FR_i}{A \times 1000} \quad (12)$$

Onde:

i – material de construção discriminado;

n – número de materiais

m – massa do material utilizado na edificação, considerando as perdas (kg);

FE_d – fator de energia da demolição/ desconstrução (MJ/kg);

FR – fator de reposição do material (adimensional);

A – área da edificação (m²);

ED – energia da demolição/ desconstrução (GJ/m²).

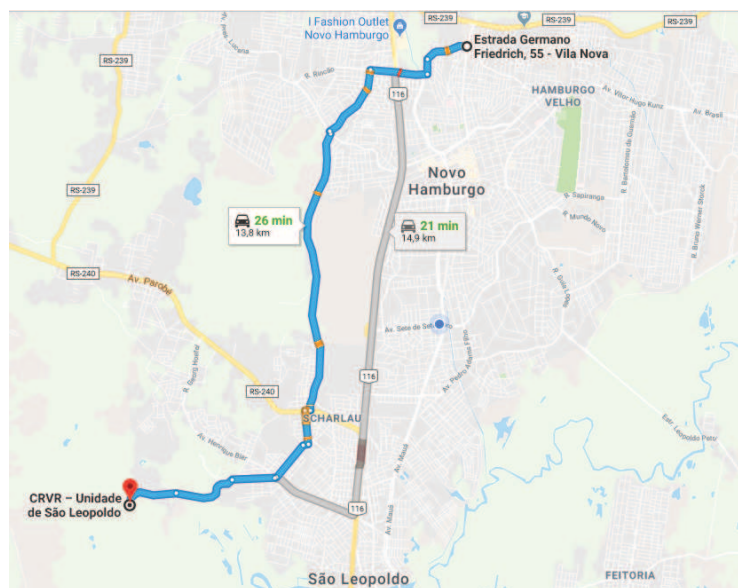
FCO_{2d} – fator de emissões de CO₂ da demolição/ desconstrução (kgCO₂/kg);

ECO_{2D} – emissões de CO₂ da demolição/ desconstrução (tCO₂/m²).

3.4.2 Transporte dos Resíduos à Disposição Final

O aterro sanitário considerado neste estudo se localiza na Cidade de São Leopoldo, cuja distância a partir do Google Maps até a edificação de objeto de estudo é de 13,8 km, conforme representado na Figura 13.

Figura 13 - Distância do Transporte da Obra ao Aterro Sanitário em São Leopoldo.



Fonte: Google Maps.

Os coeficientes referentes ao transporte foram utilizados igualmente a fase de pré-uso no trajeto da fábrica a obra, alterando somente a distância percorrida e incluindo os materiais resultantes da manutenção (com o acréscimo do FR), conforme indicado nas equações.

$$ETr = \frac{\sum_{i=1}^n 0,49 \times D_{di} \times m_i \times FR_i}{A \times 1000} \quad (13)$$

$$ECO_2Tr = \frac{\sum_{i=1}^n 0,043 \times D_{di} \times m_i \times FR_i}{A \times 1000} \quad (14)$$

Onde:

i – material de construção discriminado;

n – número de materiais

Dd – distância da obra ao local de destinação final de ida (km);

m – massa do material transportado, considerando as perdas (t);

FR – fator de reposição do material (adimensional);

A – área da edificação (m²);

ETr – energia de transporte dos resíduos gerados na demolição (GJ/m²).

ECO₂Tr – emissões de CO₂ de transporte dos resíduos gerados na demolição (tCO₂/m²).

3.5 CICLO DE VIDA

O consumo total de energia (ETOT) e emissões de CO₂ (ECO₂TOT) totais geradas ao longo do ciclo de vida as edificações foram calculados seguindo as equações 15 e 16.

$$ETOT = EI + EC + EO + EM + EP \quad (15)$$

Onde:

EI – energia da extração e processamento dos materiais (GJ/m²);

EC – energia da construção da edificação pelo transporte de materiais da fábrica até o canteiro de obras; transporte dos funcionários e equipamentos utilizados na construção (GJ/m²);

EO – energia da etapa operacional da edificação (GJ/m²);

EM – energia dos materiais utilizados na manutenção (GJ/m²);

EP – energia da etapa de pós-uso (GJ/m²);

ETOT – energia total do ciclo de vida da edificação.

$$ECO_2TOT = ECO_2I + ECO_2C + ECO_2O + ECO_2M + ECO_2P \quad (16)$$

Onde:

ECO₂I – emissões de CO₂ pela extração e processamento dos materiais (tCO₂/m²);

ECO₂C – emissões de CO₂ pela construção da edificação pelo transporte dos materiais da fábrica ao canteiro de obras; transporte dos funcionários e equipamentos utilizados na construção (tCO₂/m²);

ECO₂O – emissões de CO₂ da etapa operacional da edificação (tCO₂/m²);

ECO₂M – emissões de CO₂ dos materiais utilizados na manutenção (tCO₂/m²);

ECO₂P – emissões de CO₂ da etapa de pós-uso (tCO₂/m²);

ECO₂TOT – emissões totais de CO₂ do ciclo de vida da edificação (tCO₂/m²).

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir dos objetivos estabelecidos e da aplicação do método ACVE e ACVCO₂ durante o ciclo de vida de uma edificação contemporânea e outra histórica do século XIX.

4.1 ETAPA DE PRÉ- USO

Nesta etapa foram computadas as fases de extração e processamento dos materiais (EI e ECO₂I) de ambas as edificações. A edificação contemporânea agrega o transporte dos materiais da fábrica à obra (ET e ECO₂T), e a fase de construção, que abrange o transporte diário dos funcionários até a obra (ETf e ECO₂Tf) e os equipamentos utilizados na execução da edificação (EQ e ECO₂Q), pois não havia energia elétrica na edificação histórica durante o período abordado neste estudo e os trajetos eram realizados através da tração animal.

Os valores totais de EI e ECO₂I correspondentes à fase de extração e processamento dos materiais da edificação contemporânea e da edificação histórica estão apresentados nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 - Consumo de Energia na Fase de Extração e Processamento de Materiais.

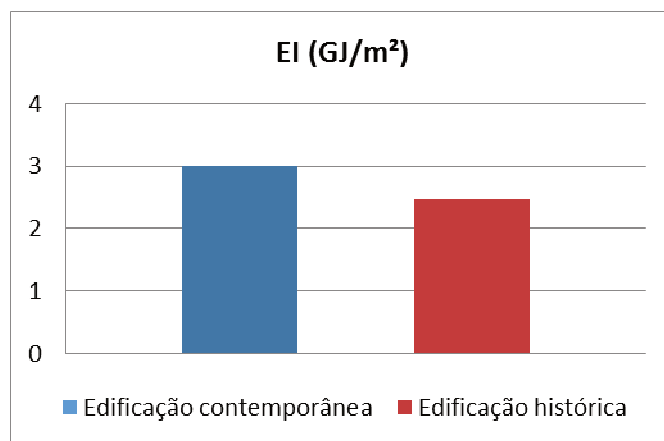
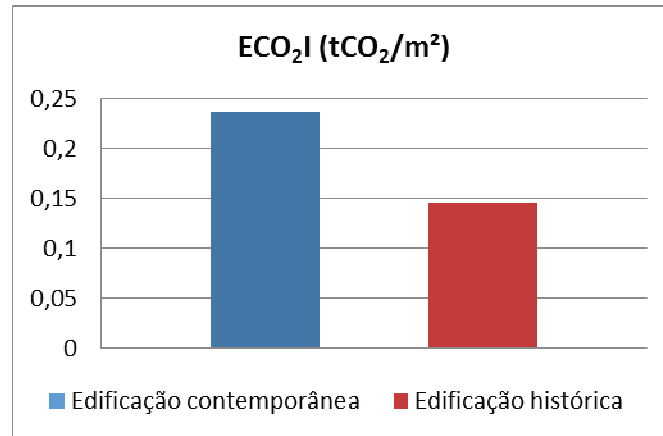


Figura 15 - Emissões de CO₂ na Fase de Extração e Processamento de Materiais.

Pode-se observar que a edificação contemporânea apresentou maior EI e ECO₂I na fase de extração e processamento dos materiais com 3,01 GJ/m² e 0,23 tCO₂/m² frente à edificação histórica, que atingiu EI de 2,47 GJ/m² e ECO₂I de 0,14 tCO₂/m², representando um aumento em EI e 38,49% em ECO₂I. As planilhas de cálculos referente a estes resultados encontram-se nos Apêndices A.1 e A.2.

Comparado a estudos nacionais sobre edificações residenciais, os valores da edificação histórica foram menores do que os demais resultados encontrados na literatura, que variam de 3,0 e 6,6 GJ/m² (TAVARES, 2006; CARMINATTI JÚNIOR, 2012; PAUSEN; SPOSTO, 2013), e 0,19 a 0,49 tCO₂/m² (TAVARES, 2006; COSTA, 2012; CALDAS *et al.*, 2015). Tal resultado se deve também pelo fato da edificação contemporânea utilizar um sistema de vedação composto por bloco cerâmico e argamassa, os quais são responsáveis por uma maior emissão de CO₂ durante seu processo de fabricação, diferentemente da alvenaria em pedra. A variação nos processos de fabricação dos materiais interfere de forma representativa no consumo de energia e nas emissões, gerando variações nos resultados encontrados na literatura nacional e internacional.

As Figuras 16, 17, 18 e 19 demonstram as participações dos sistemas correspondentes a cada edificação.

Figura 16 - Participação da Massa pelos Sistemas das Edificações na Etapa de Extração e Processamento de Materiais.

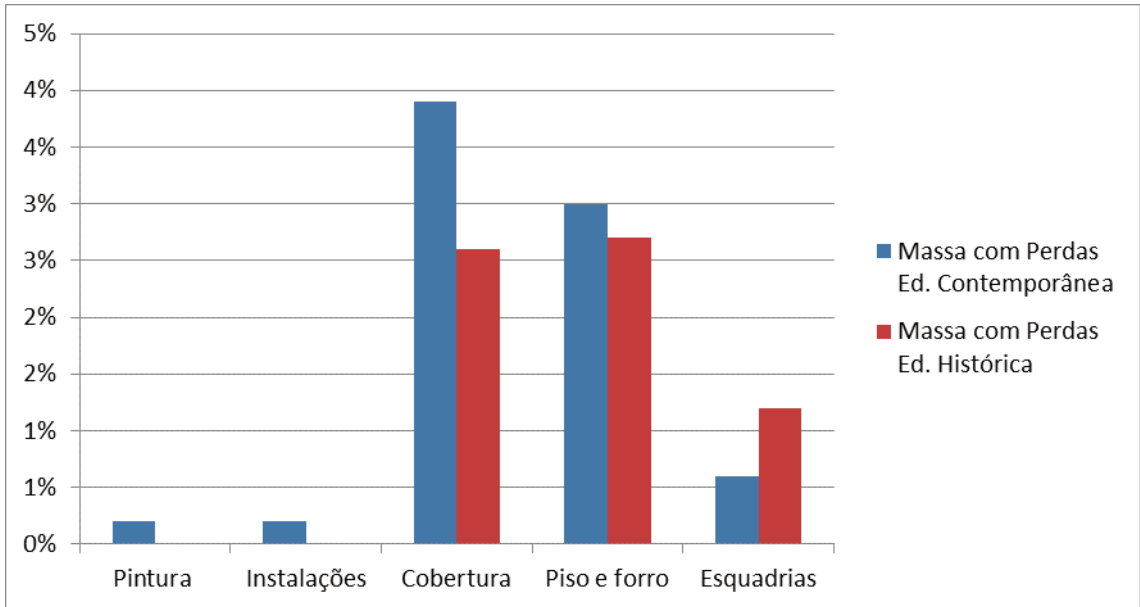


Figura 17 - Participação da Energia Incorporada pelos Sistemas das Edificações na Etapa de Extração e Processamento de Materiais.

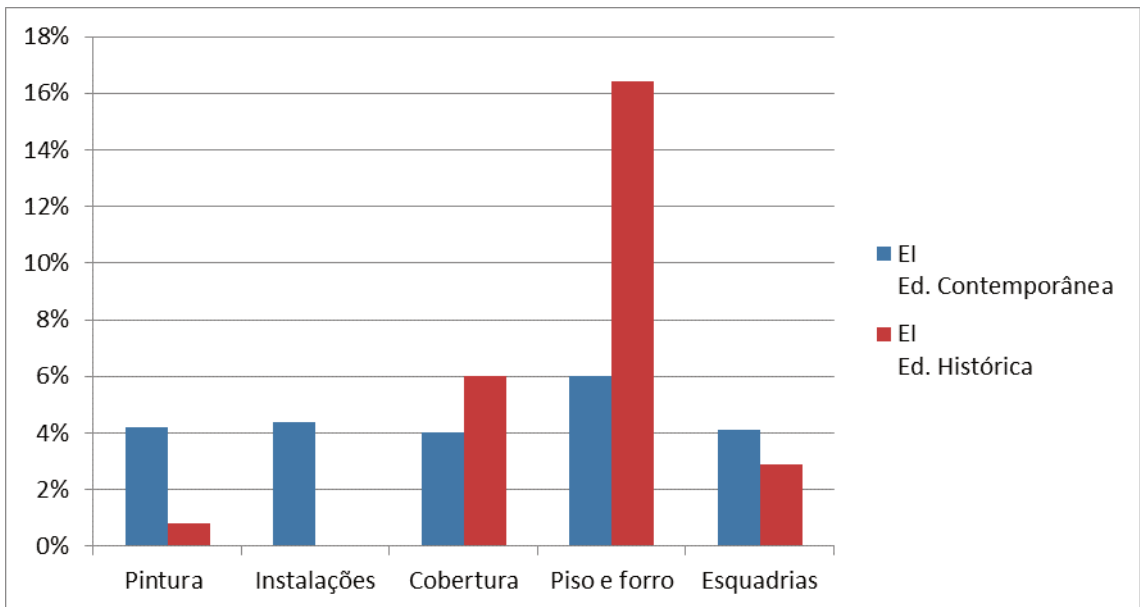


Figura 18 - Participação de Emissões de CO₂ pelos Sistemas das Edificações na Etapa de Extração e Processamento de Materiais.

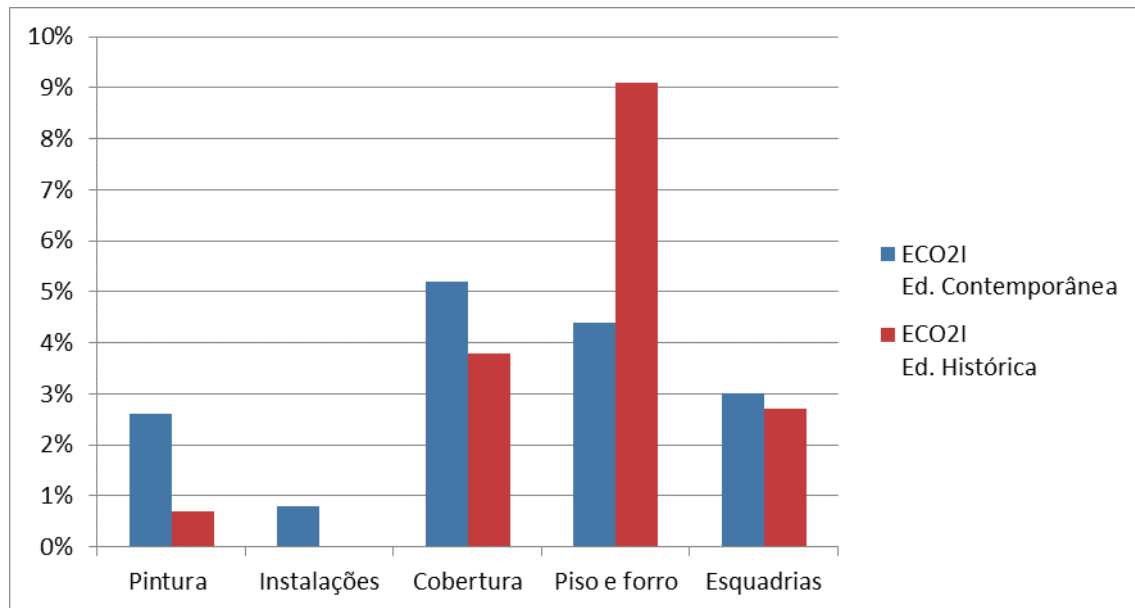
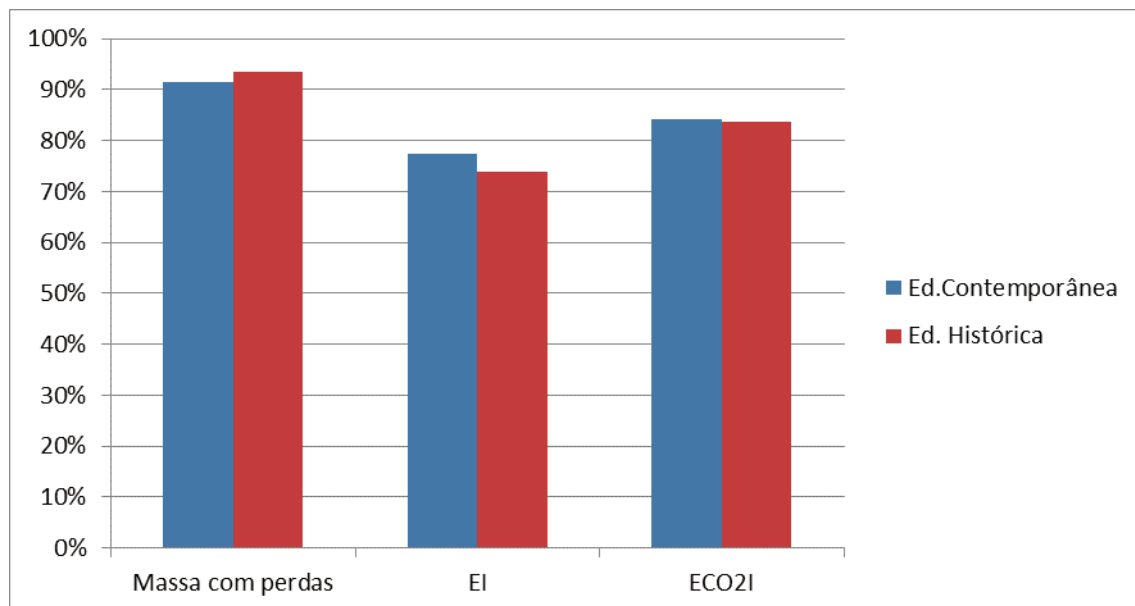


Figura 19 - Participação da Massa, Energia Incorporada e Emissões de CO₂ pelo Sistema de Estrutura e Vedação das Edificações.



A estrutura em concreto armado, juntamente com a vedação de bloco cerâmico na edificação contemporânea correspondem a 91,5% do total da massa da edificação, já considerando as perdas que ocorrem no processo de execução da obra. O mesmo sistema da edificação histórica em alvenaria de pedra apresenta 93,4%. De acordo com os estudos de Tavares (2006) e Paulsen e Sposto (2013),

este sistema de estrutura e vedação foi identificado como o de maior representatividade em edificações residenciais, e na maioria dos casos, a maior massa está vinculada ao maior consumo de energia e emissões. Neste estudo, em contrapartida, a quantidade de material existente na edificação histórica, não se associa a maiores impactos ambientais gerados, como ocorre na edificação contemporânea.

Os demais sistemas da edificação contemporânea apresentaram resultados semelhantes, todos menores do que 10%. Conforme Caldas (2016), a pintura e as instalações apresentam um consumo energético elevado, enquanto que a cobertura e o piso apresentam uma maior massa correspondente ao emprego dos materiais. De acordo os resultados encontrados, podemos observar que a edificação contemporânea apresentou consumo de energia equivalente a 4,2% para a pintura e 4,4% para as instalações. Quanto à massa, o sistema de cobertura apresentou 3,9% enquanto que o piso e forro apresentaram valor equivalente a 3,0%.

Devido à massa elevada do sistema de cobertura e pelo seu processo de produção da telha cerâmica ser a partir da queima de lenha ou carvão, o sistema de cobertura apresentou maior emissão de CO₂ na edificação contemporânea. O sistema de estrutura e vedação em pedra correspondente à edificação histórica apresentou menores emissões de CO₂ quando comparadas ao sistema de fechamento em blocos cerâmicos, devido ao processo de queima atribuído a tal sistema.

Os impactos ambientais relacionados à fase de transporte, são proporcionais à massa dos materiais e à distância a ser percorrida durante o trajeto de entrega da fábrica ou local de produção até a obra. E o consumo médio de combustível varia de acordo com a massa do material e o tipo de transporte.

Embora a edificação histórica apresente maior massa, o consumo de energia é nulo, devido ao transporte na época ser realizado através de fontes não combustíveis (tração animal). A edificação contemporânea apresenta maiores índices de impactos ambientais, conforma apresentado nas Figuras 20 e 21.

Figura 20 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissões de CO₂ pelo Transporte dos Sistemas da Edificação Contemporânea.

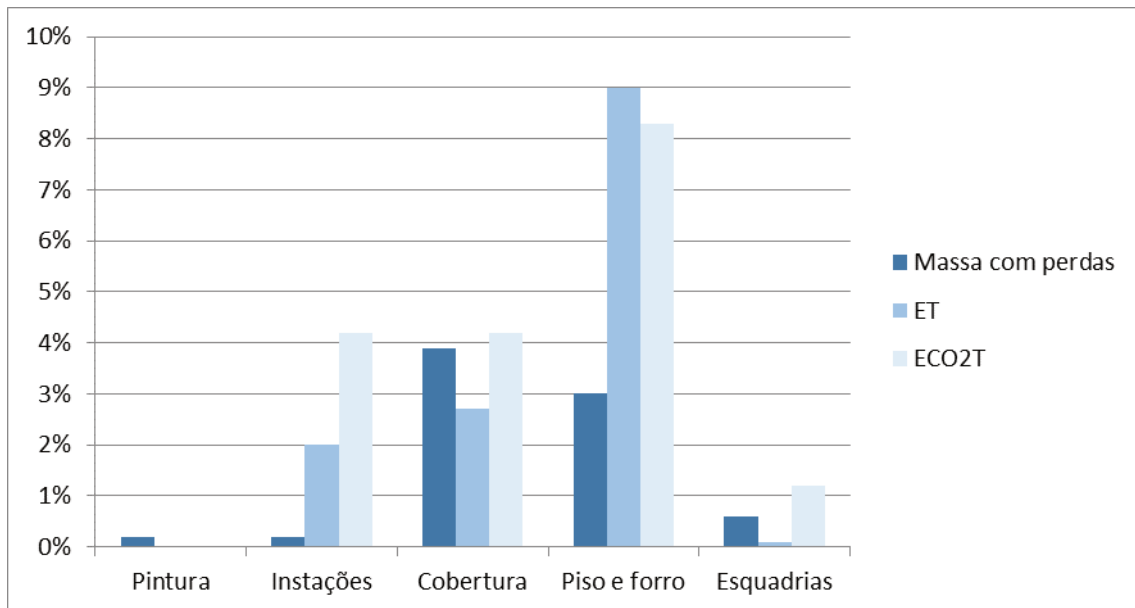
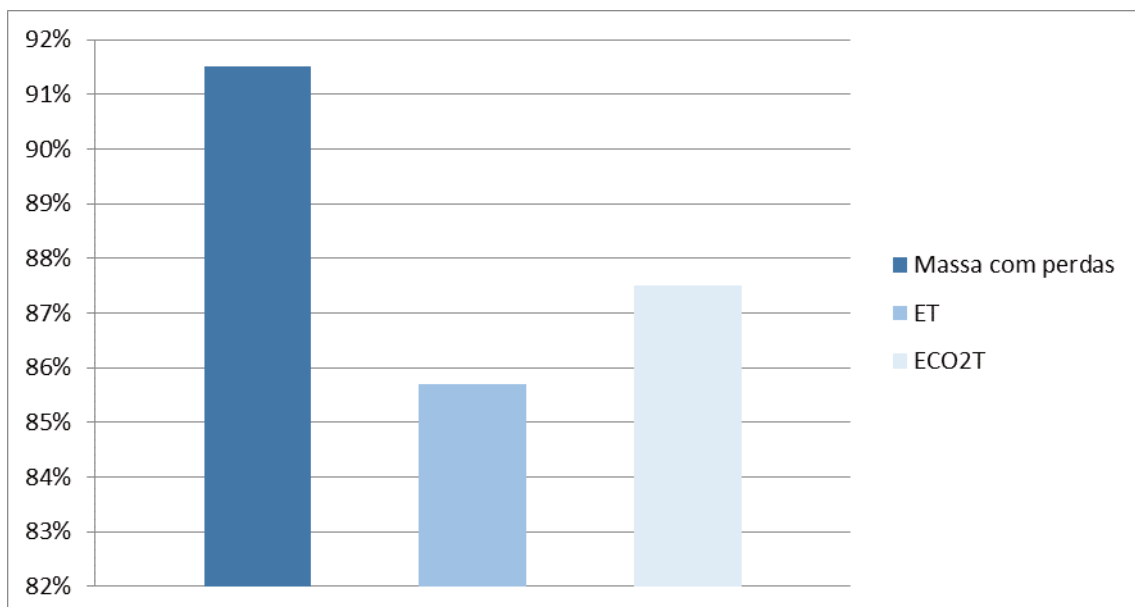


Figura 21 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissões de CO₂ pelo Transporte do Sistema de Estrutura e Vedação da Edificação Contemporânea.



A fase de construção foi considerada somente na edificação contemporânea e contempla o transporte dos funcionários por meio de veículo público e a utilização de equipamentos de obra alimentados por energia elétrica. Os valores encontrados para o consumo de energia e emissão de CO₂ correspondentes à fase de

construção da edificação contemporânea, foram totalizados como $EC = 0,0349 \text{ GJ/m}^2$ e $ECO_2C = 0,1521 \text{ tCO}_2/\text{m}^2$, e divididos em: ETf de $0,0213 \text{ GJ/m}^2$ e ECO_2Tf de $0,1515 \text{ tCO}_2/\text{m}^2$ para o transporte dos funcionários e, EEq de $0,0136 \text{ GJ/m}^2$ e $ECO_2Eq = 0,0006 \text{ tCO}_2/\text{m}^2$ para os equipamentos de obra, estão apresentados nas Figuras 22 e 23.

Figura 22 - Participação do Consumo de Energia e Emissão de CO_2 a partir do Transporte dos Funcionários da Edificação Contemporânea.

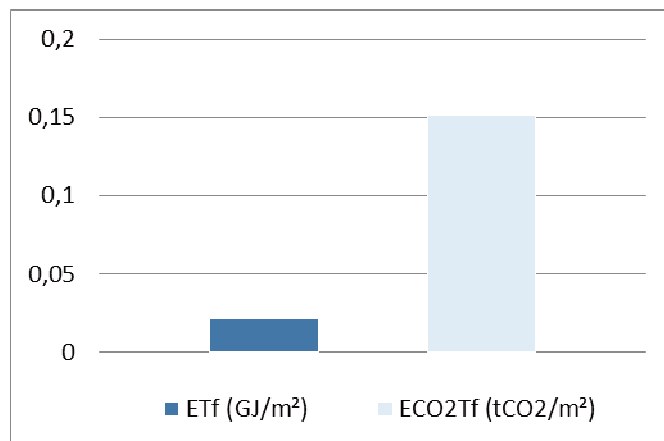
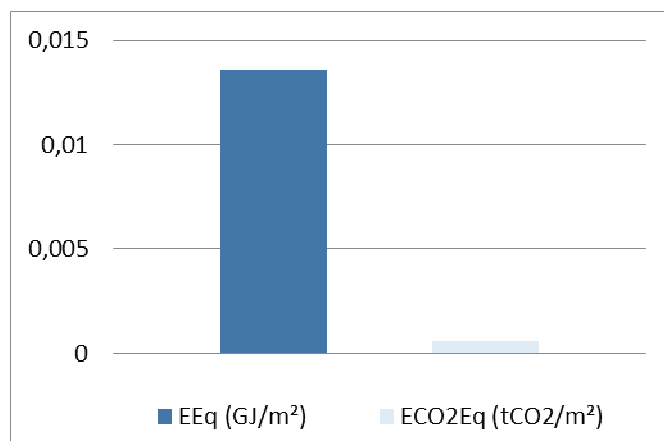


Figura 23 - Participação do Consumo de Energia e Emissão de CO_2 a partir dos Equipamentos Utilizados na Obra da Edificação Contemporânea.



De acordo com os dados apresentados, pode-se concluir que o maior consumo de energia e emissões de CO_2 na etapa de pré-uso da edificação contemporânea, correspondentes a 18,86% e 62,59% respectivamente, quando comparados com os valores da edificação histórica, são explicados por não terem sido consideradas as fases de transporte e de construção na edificação histórica,

ainda que a massa apresentada seja maior do que a massa da edificação contemporânea. Na etapa de pré-uso, a massa do material associada ao seu transporte, correspondem à geração de maiores impactos ambientais.

Os valores referente às fases de transporte (de materiais e funcionários) e de construção da edificação contemporânea foram maiores, com valores correspondentes a 0,03 GJ/m² e 0,002 tCO₂/m². Na edificação histórica esses elementos foram nulos, pois considerou-se transporte por meios animais e execução da obra sem o uso de equipamentos elétricos, os quais não existiam à época. O transporte de funcionários de ET_f= 0,0213 GJ/m², é menor do que o proposto por Tavares (2006), de 0,08 GJ/m² referente ao modelo 1, para uma edificação unifamiliar de baixo padrão e com área inferior a 50m².

Em relação aos totais da etapa de pré-uso, percebe-se a influência do transporte dos materiais e de funcionários, pois mesmo apresentando uma massa total inferior em 34,17% frente à edificação histórica, ainda apresentou superior consumo de energia e emissões, por conta do tipo de transporte adotado, tendo sido considerado transporte animal (sem consumo de energia) na edificação histórica. A fase de pré-uso da edificação contemporânea com representatividade de 31,96% condiz com a encontrada por Tavares (2006) de 34,5%.

Dentre todos os materiais especificados nas edificações, o somatório de um pequeno número destes materiais correspondem a mais da metade do total de massa, energia incorporada e emissões de CO₂ em ambas edificações, conforme apresentado nas Figuras 24 e 25.

Figura 24 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissão de CO₂ pelos Materiais da Edificação Contemporânea na Etapa de Pré-Uso

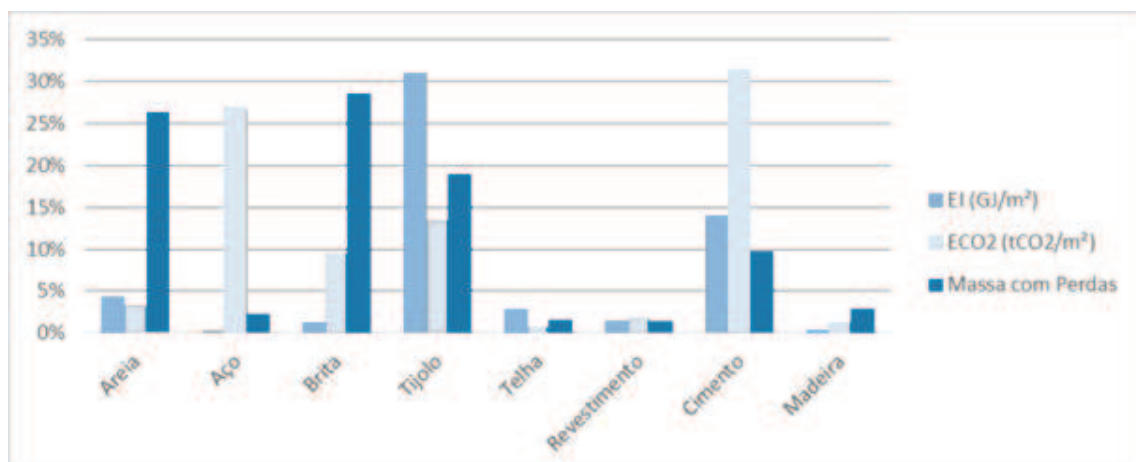
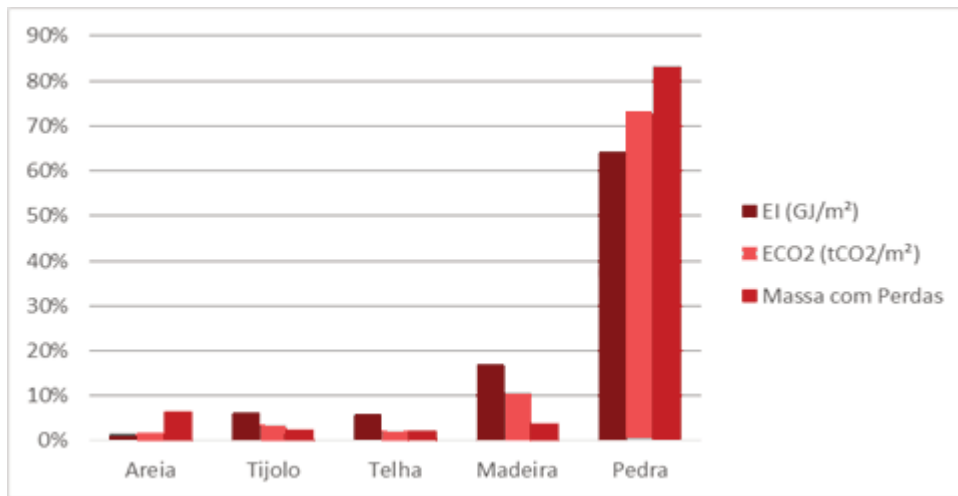


Figura 25 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissão de CO₂ pelos Materiais da Edificação Histórica na Etapa de Pré-Uso



Observa-se que a edificação contemporânea apresenta 73,90% da sua massa total correspondente a três materiais, sendo eles: a brita com 28,57%, a areia com 26,37% e o tijolo cerâmico com 18,96%. Já a edificação histórica apresenta 93,71% do total de massa associados aos materiais: pedra (83,38%), areia (6,52%) e madeira (3,81%).

A maior energia incorporada na edificação contemporânea está associada ao material aço, com 26,73%, seguido do tijolo cerâmico com 24,8% e da areia com 4,23%, totalizando 55,90% de energia incorporada pelos demais materiais. A pedra na edificação histórica apresentou 64,10% do total de energia incorporada dos materiais da edificação, seguido da madeira com 17% e do tijolo com 6,17%. Estes três materiais correspondem a 87,27% do total de energia incorporada apresentado pelos materiais empregados.

Quanto às emissões de CO₂, o material mais representativo na edificação contemporânea foi o cimento com 31,26%, seguido do aço com 26,73% e do tijolo cerâmico com 13,43%, totalizando 71,42% das emissões a partir dos materiais da edificação. Na edificação histórica, assim como a massa e a energia incorporada, as maiores emissões de CO₂ estão atribuídas à pedra, correspondendo a 72,71% do total de emissões, seguida da madeira com 10,81% e do tijolo com 3,57%, totalizando em 87,09% das emissões atribuídas aos materiais utilizados na edificação.

O cimento, por necessitar de um elevado consumo por fontes de energia no seu processo de fabricação e pelas reações químicas a ele atribuído corresponde a uma elevada geração de emissões de CO₂, da mesma forma que o tijolo cerâmico apresenta maior emissão devido ao seu processo de produção ser a partir da queima utilizando a lenha ou carvão como fonte energética. O aço, sendo ele um elemento fundamental em estruturas e esquadrias, apresenta alta energia incorporada devido ao seu processo de fabricação necessitar de uma demanda energética alta. A pedra neste estudo se mostrou ser um material com grande representatividade na edificação histórica, tanto para o consumo de energia quanto para emissões de CO₂ geradas, devido a elevada quantidade de material empregado, apresentar relação com as quantidades de impactos ambientais gerados.

A partir dos resultados apresentados, podemos perceber que poucos materiais correspondem a maior parte do total de massa, energia incorporada e emissões de CO₂ nas edificações.

4.2 ETAPA OPERACIONAL

As Figuras 26 e 27 apresentam os valores de EO e ECO₂O correspondentes às duas edificações, bem como sua distribuição em termos de consumo de energia para utilização de equipamentos eletrônicos, emissão de CO₂ pela cocção por GLP ou lenha e condicionamento ambiental.

Figura 26 – Consumo da Energia Operacional.

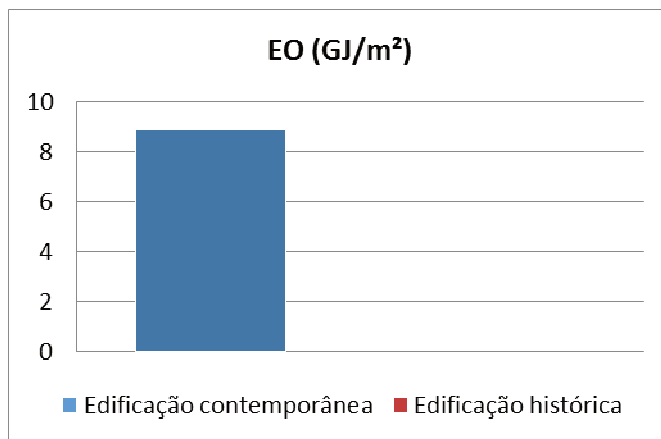
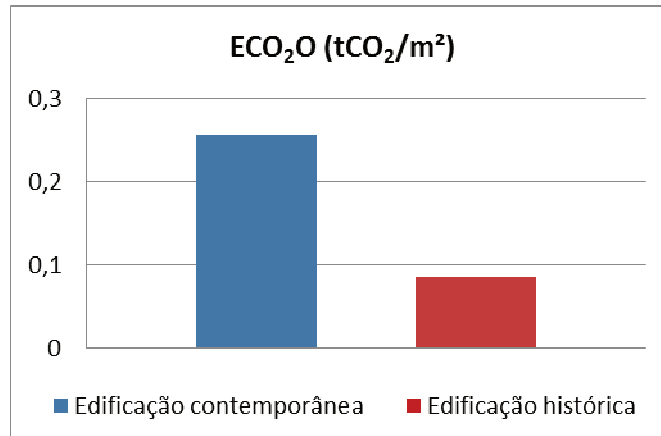


Figura 27 – Emissão de CO₂ Operacional.

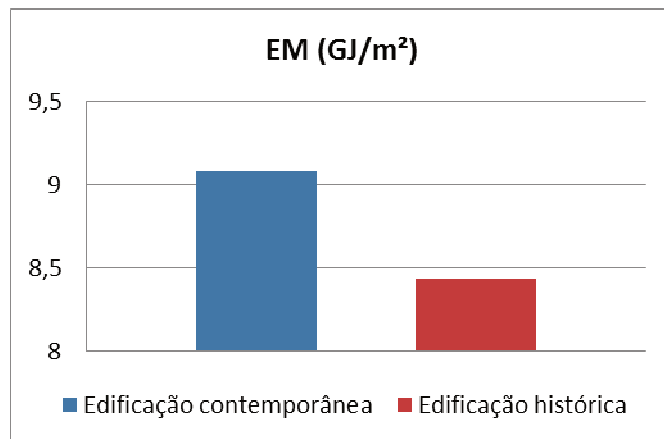
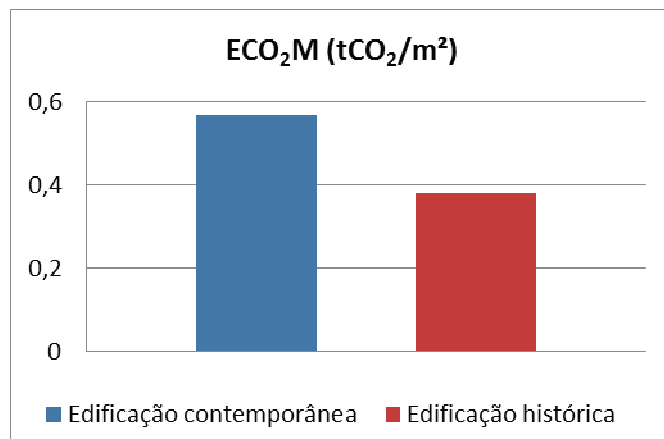
A edificação contemporânea apresentou EO de 8,8413 GJ/m² e ECO₂O de 0,2560 tCO₂/m², enquanto que a edificação histórica apresentou EO com valor nulo, pois não usufruía de equipamentos elétricos de condicionamento ambiental interno e o valor de ECO₂O de 0,0854 tCO₂/m², é correspondente à cocção empregando lenha.

A dispersão dos resultados encontrados entre as edificações em estudo se deve pela diferença na fonte de cocção e pela ausência da eletricidade no computo da edificação histórica para a energia operacional. Em relação aos estudos nacionais, a edificação contemporânea apresentou EO e ECO₂O em valores menores do que os resultados encontrados por Tavares (2006) que foram de 16,6GJ/m² e 0,45tCO₂/m² e Paulsen e Sposto (2013) que apontou EO 17,5616,6 GJ/m², bem como Caldas et al. (2015) apresentou ECO₂O de 0,68 tCO₂/m². As diferenças são justificadas por que este trabalho utilizou o fator de emissões referente à geração de energia elétrica conforme empregado por Caldas (2016) de 0,036 kgCO₂/MJ, e não os 0,018 kgCO₂/MJ empregados por Tavares (2006) e Caldas et al. (2015b). Quanto à edificação histórica, a lenha mesmo sendo um combustível pouco eficiente e que necessita de maior volume de material para gerar a mesma quantidade de energia que o GLP, indicou menores valores de emissões.

4.3 ETAPA DE MANUTENÇÃO

O consumo de energia e emissões de CO₂ totais oriundas da fase de manutenção das edificações estão apresentadas nas Figuras 28 e 29.

Figura 28 - Consumo de Energia na Etapa de Manutenção.

Figura 29 - Emissões de CO₂ na Etapa de Manutenção.

Tanto para EM como para ECO₂M, a edificação contemporânea se mostrou mais representativa, com EM de 9,08 GJ/m² e ECO₂M de 0,56 tCO₂/m². Semelhante a estes resultados, a edificação histórica apresentou EM de 8,43 GJ/m² e ECO₂M de 0,38 tCO₂/m², ambas com o ciclo de vida adotado de 100 anos. Esta diferença se deve ao fato de a edificação histórica apresentar alvenaria portante em pedra, com uma vida útil mínima do sistema equivalente a 50 anos, enquanto a edificação contemporânea apresenta fechamento com bloco cerâmico cuja vida útil mínima do sistema é de 40 anos, sendo estes os materiais de maior massa das edificações. E também, devido ao bloco cerâmico apresentar maior fator de energia e emissão que a pedra.

Nas figuras 30 e 31, apresenta-se a participação dos sistemas das edificações na etapa de manutenção.

Figura 30 - Participação da Massa pelos Sistemas das Edificações na Etapa de Manutenção.

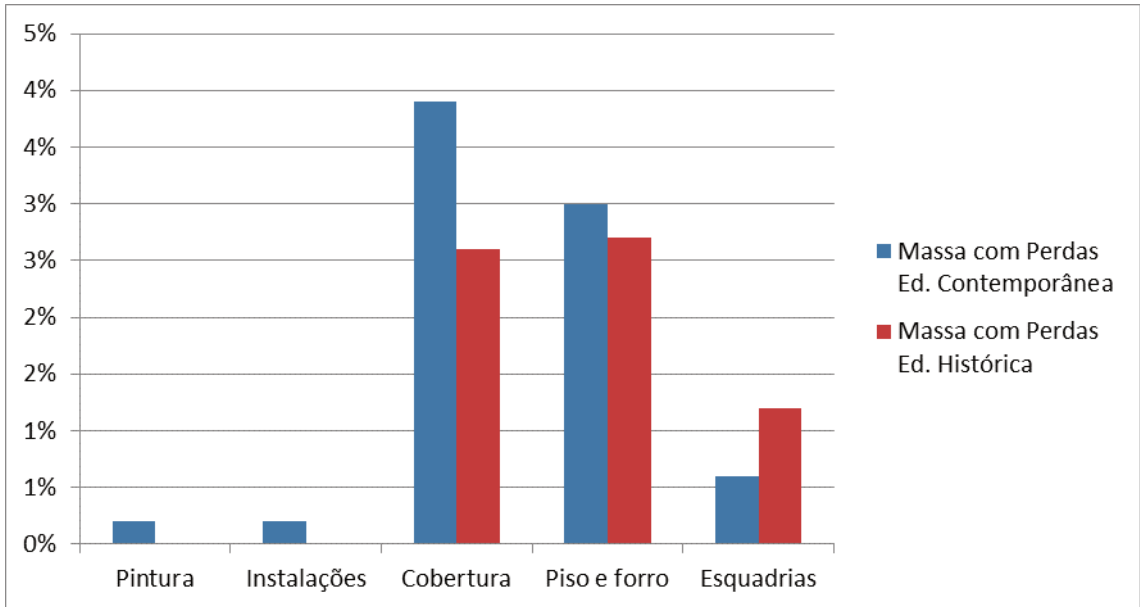


Figura 31 - Participação do Consumo de Energia pelos Sistemas das Edificações na Etapa de Manutenção.

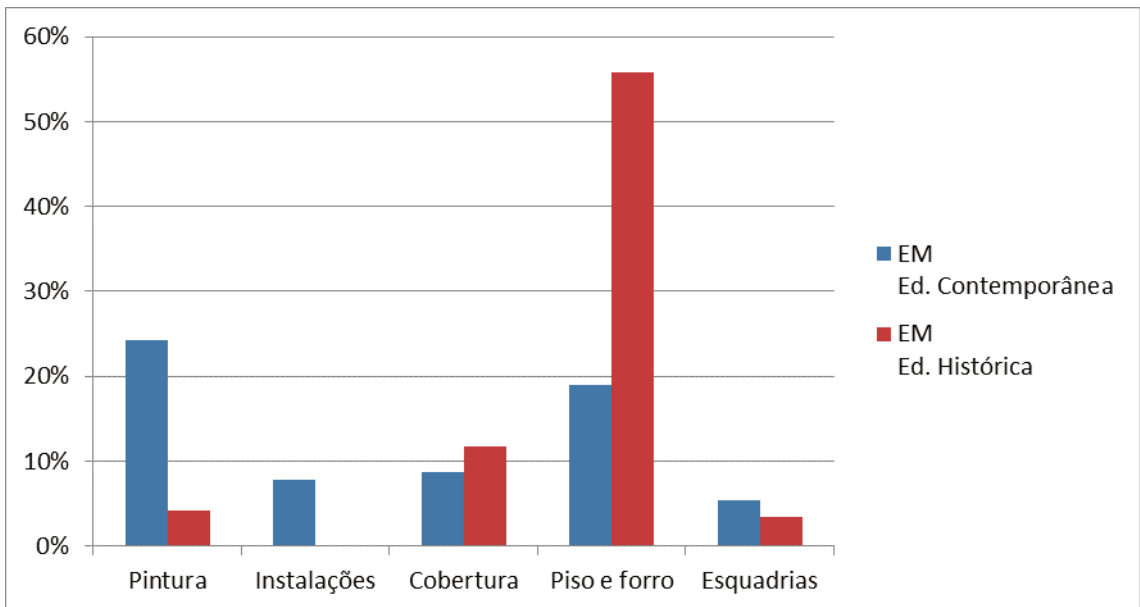


Figura 32 - Participação de Emissões de CO₂ pelos Sistemas das Edificações na Etapa de Manutenção.

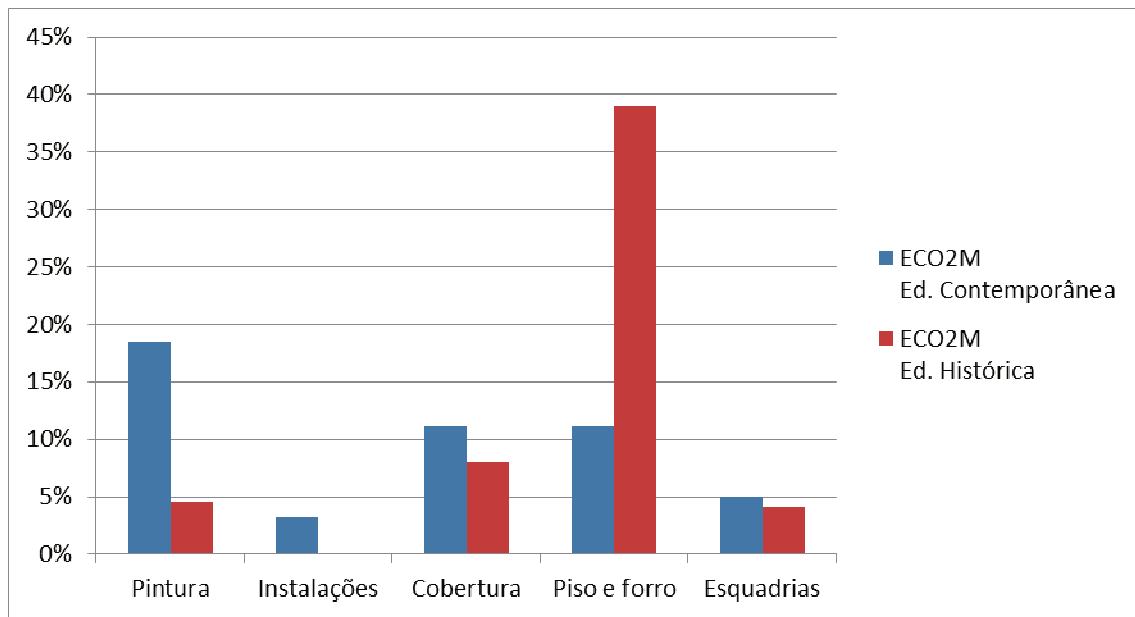
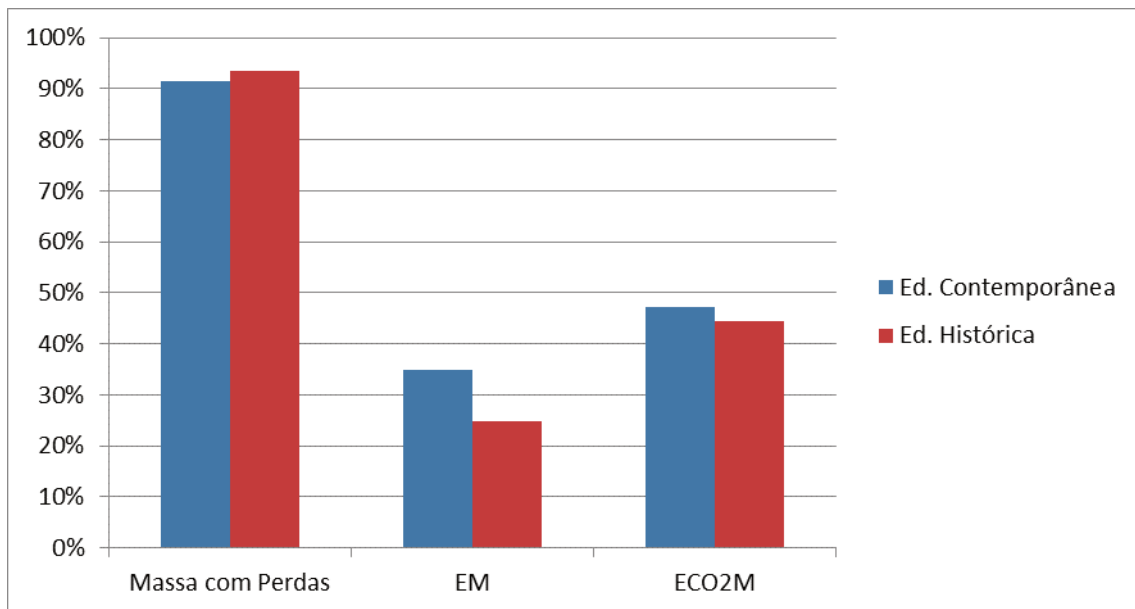


Figura 33 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissões de CO₂ pelo Sistema de Estrutura e Vedação das Edificações na Etapa de Manutenção.



Por necessitar de uma demanda de substituição maior, a madeira utilizada para forros e pisos apresentaram maior consumo de energia e emissões de CO₂ atribuídas às manutenções na edificação histórica, com a vida útil do sistema igual a 8 anos, sendo necessárias 12,5 substituições em 100 anos. No caso da edificação contemporânea, o principal elemento foi a pintura, sendo que a tinta tem fator de

reposição equivalente a 18 substituições. Embora a tinta apresente uma massa reduzida, a necessidade de repetidas reposições durante o ciclo de vida e a composição química atribuída ao material, desencadeia um significativo consumo de energia e geração de emissões/GJ, se tornando o material que mais acumula energia ao final do ciclo de vida no caso da edificação contemporânea. Este resultado se assemelha ao encontrado por Caldas (2016) na análise do sistema de alvenaria convencional com blocos cerâmicos.

Percebe-se a relação de quanto maior a vida útil de um material, maior sua durabilidade e menor sua necessidade de reposição e conseqüentemente, menores os impactos ambientais gerados.

4.4 ETAPA DE PÓS USO

O consumo de energia e as emissões de CO₂ geradas pelas edificações são apresentados nas figuras 34 e 35.

Figura 34 - Consumo de Energia na Etapa de Pós-uso.

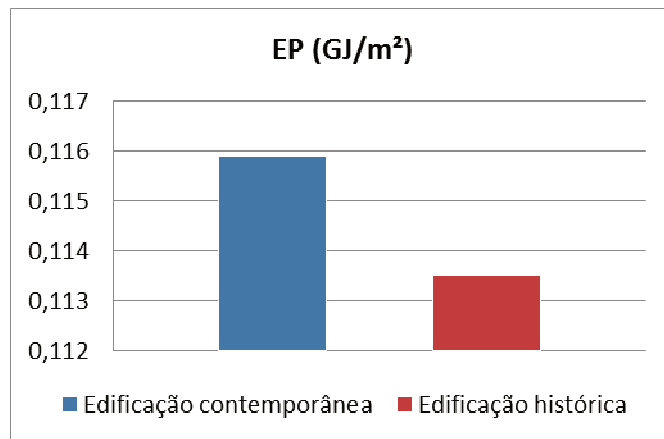
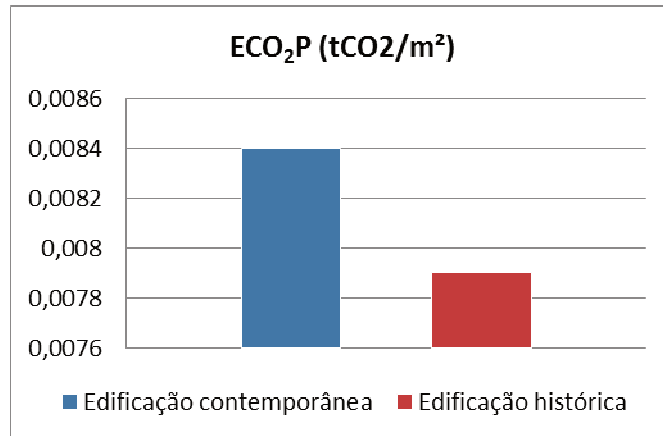


Figura 35 - Emissões de CO₂ na Etapa de Pós-uso.

As edificações apresentaram valores semelhantes de consumo de energia e geração de emissões de CO₂. A edificação histórica apresentou EP de 0,11 GJ/m², da mesma forma que a contemporânea apresentou os mesmos EP de 0,11 GJ/m², já em relação as emissões, a edificação histórica apresentou 0,0079 tCO₂/m² e a contemporânea, 0,0084 tCO₂/m². Estes resultados são determinados pela massa de cada material, ou seja, quanto maior a massa de um material, maior a energia consumida e a geração de CO₂ pelos processos de desconstrução e demolição.

A massa total da edificação histórica é 26,69% superior, considerando as perdas, frente à massa da edificação contemporânea, porém, levando em consideração que o transporte nesta fase não influencia de forma significativa, pois o trajeto até o local de disposição final é o mesmo para todos os materiais, explica o resultado ser semelhante em ambas as edificações, pois a edificação histórica apresenta maior massa, porém a edificação contemporânea conta com o acréscimo referente ao transporte dos materiais substituídos.

A partir dos resultados gerados, pode-se concluir que materiais leves, cuja massa seja reduzida, garantem uma redução nos impactos ambientais causados nesta fase, através da desconstrução e não da demolição e que o destino final seja próximo ao local de desmonte, evitando grandes trajetos percorridos. Outro fator de grande influência na geração de impactos ambientais é a quantidade de reposição de materiais de baixa durabilidade, que necessitam de uma demanda maior de transporte dos resíduos ao local de disposição final.

4.5 CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES

Nesta análise, o resultado se dá pelo somatório de todas as etapas anteriores durante o ciclo de vida de 100 anos das edificações, cujos valores totais de consumo de energia e emissões de CO₂ estão apresentados nas figuras 36 e 37.

Figura 36 - Consumo de Energia no Ciclo de Vida das Habitações.

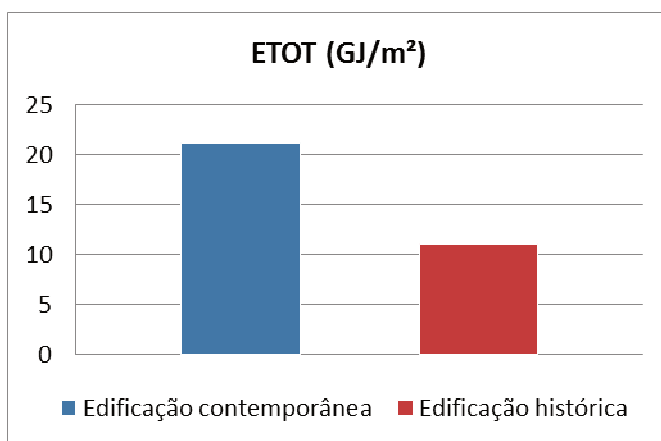
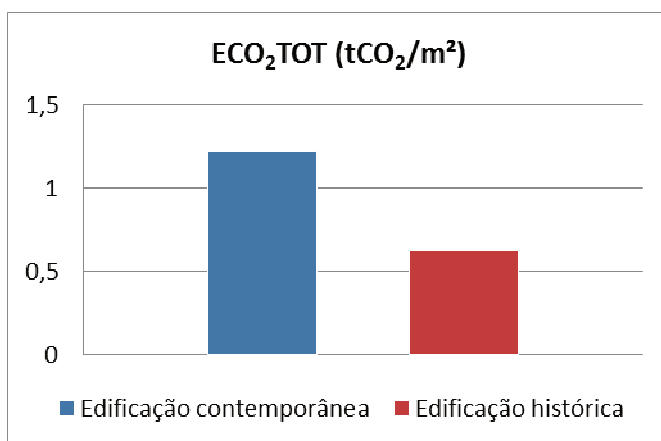


Figura 37 - Emissões de CO₂ no Ciclo de Vida das Habitações.



A ETOT da edificação contemporânea ficou em 21,11 GJ/m², enquanto a edificação histórica, com 11,01 GJ/m². Considerando as emissões totais, a edificação contemporânea apresentou 1,22 tCO₂/m², enquanto a histórica apresentou 0,61 tCO₂/m². A edificação contemporânea apresentou valores coerentes com os resultados encontrados por outros estudos, tais como Tavares (2006), que obteve 24,3 GJ/m² e Paulsen e Sposto (2013) com 29,2 GJ/m². Em relação às emissões totais, ambas ficaram próximas ao resultado encontrado por Tavares

(2006), cujo ECO_2TOT equivaleu a $1,04 \text{ tCO}_2/\text{m}^2$ e Caldas et al. (2015), com $1,9 \text{ tCO}_2/\text{m}^2$.

Pode-se concluir que a edificação histórica apresentou a geração menor de impactos ambientais quando comparadas à edificação contemporânea, mesmo apresentando maior quantidade de materiais.

Nas figuras 38 e 39 são apresentadas as participações de cada etapa no ciclo de vida das edificações para o consumo de energia e emissões de CO_2 .

Figura 38 - Participação das Etapas no Ciclo de Vida Energético das Edificações.

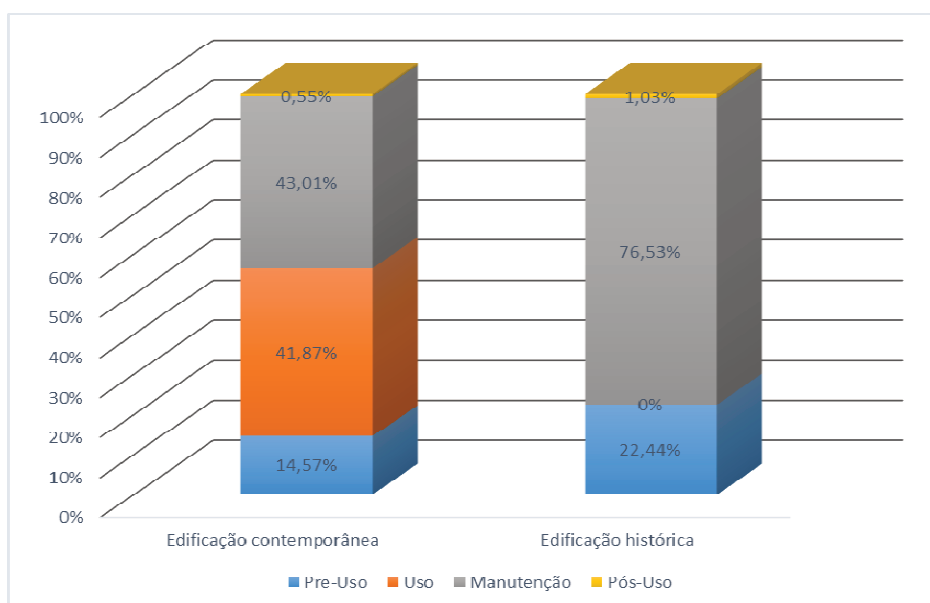
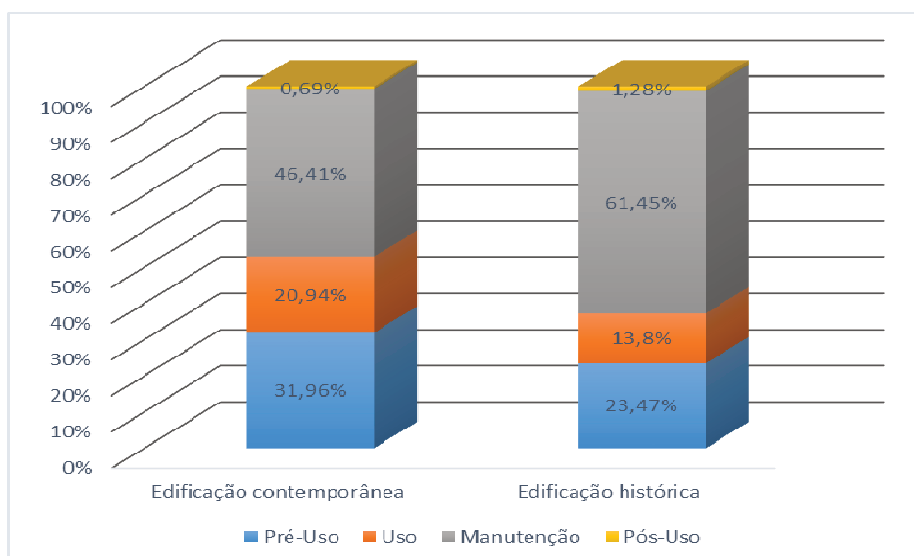


Figura 39 - Participação das Etapas no Ciclo de Vida de Emissões de CO_2 das Edificações.



Observa-se que a etapa de manutenção foi a de maior representatividade em ambas as edificações, com duração estipulada de 100 anos. Em contrapartida, a etapa de pós uso apresenta-se como a etapa de menor representatividade. A etapa de pré-uso apresentou valores mais significativos no total do ciclo de vida da edificação contemporânea frente a edificação histórica, devido ao consumo de energia e emissões atribuídas aos transportes de materiais e funcionários, além dos equipamentos utilizados na construção da obra. A etapa de uso apresenta-se com valor maior na edificação contemporânea, pois foi considerado a energia elétrica consumida pelos equipamentos de utilização diária, e a utilização do GLP para a cocção de alimentos, enquanto na edificação histórica somente foi considerado a cocção de alimentos com lenha.

A partir dos materiais empregados nas edificações que apresentam massa superior a 1%, identificou-se o consumo de energia e as emissões totais durante o ciclo de vida de 100 anos, considerando as reposições referente a cada um destes materiais, conforme apresentado nas Figuras 40 e 41.

Figura 40 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissão de CO₂ pelos Materiais da Edificação Contemporânea Durante o Ciclo de Vida Total.

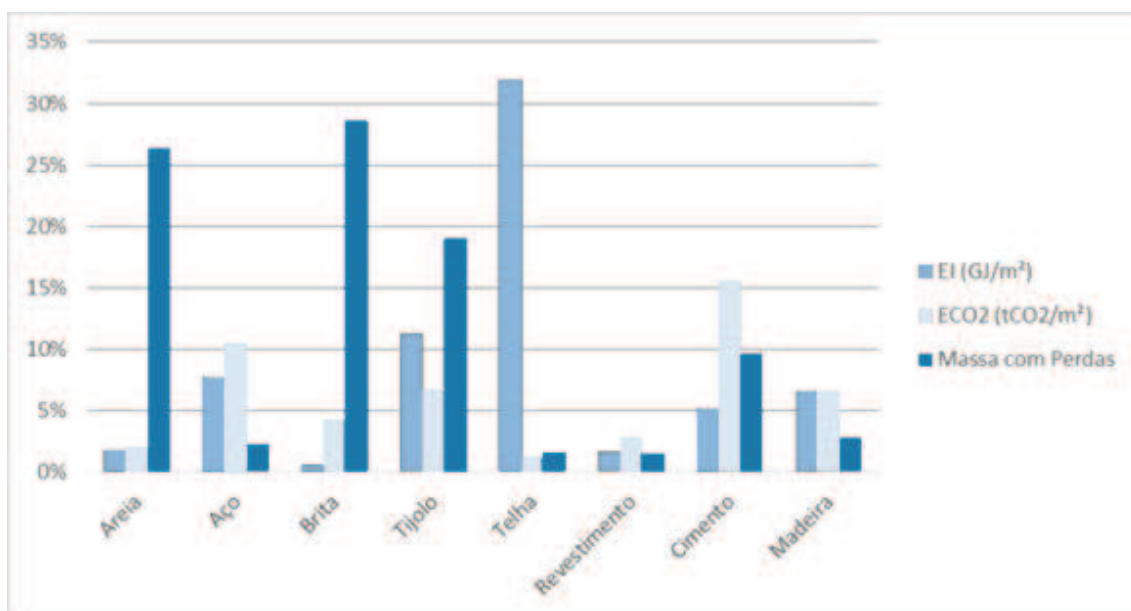
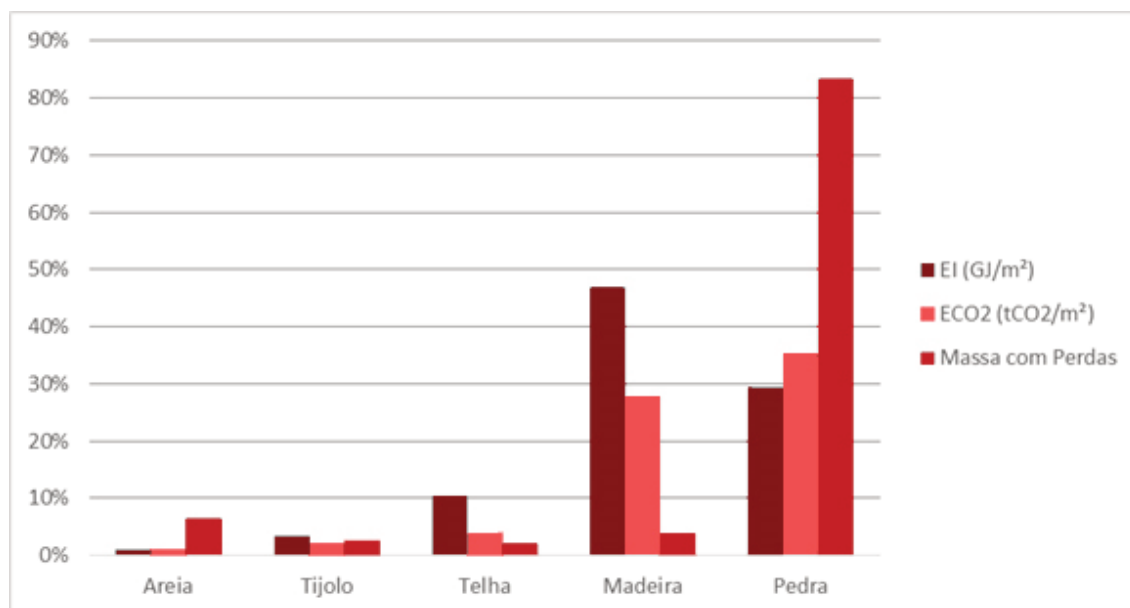


Figura 41 - Participação da Massa, Consumo de Energia e Emissão de CO₂ pelos Materiais da Edificação Histórica Durante o Ciclo de Vida Total.



De acordo com os resultados apresentados, percebe-se que durante o ciclo de vida adotado de 100 anos, considerando os fatores de reposição dos materiais, a edificação contemporânea apresentou maior consumo de energia pela telha, correspondendo a 31,89% e emissões de CO₂ em maior quantidade pelo cimento com 15,56%. Na edificação histórica, a madeira apresentou maior consumo de energia durante o ciclo de vida, correspondendo a 46,86% e a pedra como maior geradora de emissões de CO₂, com 35,02%.

Sabendo-se que os impactos ambientais estão associados ao consumo dos materiais, a escolha de elementos de menor energia atribuída e emissões de CO₂, garantem a redução dos impactos ambientais gerados durante as fases do ciclo de vida da edificação.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho analisou duas edificações construídas em diferentes séculos, na cidade de Novo Hamburgo/ RS, e foram analisados os impactos ambientais causados durante todas as fases do ciclo de vida destas duas edificações, considerando os diferentes materiais e técnicas construtivas empregadas, através do consumo de energia e emissões de CO₂ por meio das ferramentas ACVE e ACVCO₂.

A edificação histórica apresentou valores totais inferiores de consumo de energia e emissões de CO₂ comparadas a edificação contemporânea, que obteve um acréscimo de 47,83% no consumo de energia e 49,36% no total de emissões, devido a consideração da etapa operacional a partir do consumo de energia elétrica por equipamentos de uso diário, da etapa de transporte de funcionários e de materiais até a obra e dos equipamentos utilizados na construção da obra, considerados nulos na edificação histórica.

A etapa de uso foi a que apresentou maior variação nos resultados, devido a diferença na fonte de cocção e pela ausência da eletricidade no computo da edificação histórica para a energia operacional, apresentando EO de 8,8413 (GJ/m²) na edificação contemporânea enquanto este valor foi igual a zero na edificação histórica. Em relação as emissões, também houveram diferenças de valores encontrados, sendo ECO₂O de 0,2560 (tCO₂/m²) para a edificação contemporânea e ECO₂O de 0,0854 (tCO₂/m²) para a edificação histórica.

Em todo o ciclo de vida, as duas edificações apresentaram a fase de manutenção como a mais representativa e obtiveram resultados aproximados. Entretanto, a edificação histórica apresenta um acréscimo de 26,69% no total da massa da edificação contemporânea. Em ambas, o sistema de estrutura e vedação apresentou maior representatividade nesta fase, necessitando de menor quantidade de reposição na edificação histórica onde a vedação é em pedra. Já na contemporânea onde se utiliza o bloco cerâmico com maior fator de reposição, é responsável pela geração de maiores impactos ambientais associados a sua produção. Percebe-se a relação de quanto maior a vida útil de um material, maior sua durabilidade e menor sua necessidade de reposição e conseqüentemente, menores os impactos ambientais gerados.

Nas duas situações, a etapa de desconstrução comportou-se como sendo a de menor impacto, representando o menor percentual dentre as fases do ciclo de vida das edificações, ambas correspondendo a menos de 2%.

Os materiais: telhas, blocos cerâmicos, madeira, cimento, aço correspondem a um elevado consumo de energia e geração de emissões de CO₂ durante o ciclo de vida das edificações, devido ao seu consumo a partir da massa e da variação nos processos de fabricação. As decisões no emprego da materialidade e técnicas construtivas impactam de forma direta no meio ambiente. Optar por materiais com maior durabilidade, desempenho e que não necessitem de significativas distâncias de transporte para serem empregados na obra, garantem a redução da geração de impactos ambientais durante o ciclo de vida de edificações.

Além disso, é necessário que as fábricas busquem aprimorar os processos de produção dos materiais de construção, tornando-os mais eficientes e menos poluentes e prejudiciais a natureza, que se utilize fontes de energia renováveis como a energia solar e a eólica, para que as construções futuras sejam mais sustentáveis e menos nocivas ao meio ambiente que as edificações históricas e apresentem tecnologias e materiais mais eficientes que as edificações contemporâneas.

Os resultados desta pesquisa se tornam significativos para regiões que apresentem semelhança nos condicionantes climáticos, mesmas práticas construtivas, tecnologias, eficiência dos equipamentos para que seja possível uma comparação direta.

Por fim, pode-se concluir que é necessário o aperfeiçoamento na forma de construção convencional para que as construções futuras sejam mais sustentáveis ao meio ambiente que as edificações históricas e, apresentem tecnologias e materiais mais eficientes que as edificações contemporâneas. A intenção deste trabalho não foi incentivar as pessoas a retroceder a forma construtiva conforme as práticas do século XIX, e sim contribuir para a conscientização dos impactos ambientais gerados a partir das construções.

REFERÊNCIAS

ABD RASHID, A.F.; TUSOFF, S.A. A review of life cycle assessment method for building industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.45, p. 244-248, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115000532?via%3Dihub>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

ABEYSUNDARA, U. G. Y; BABEL, S.; GHEEWALA, S. A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka. **Building and Environment**, v. 44, ed. 5, p. 997-1004, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132308001741>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

ABU BAKAR, N. N., et al. Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 1-11, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114010703>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

ADALBERTH, K. Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: Examples. **Building and Environment**, v. 32, n. 4, p. 321-329, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132396000698>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

AGOPYAN, V; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. Vol. 5. São Paulo: Blucher, 2011. Disponível em: <http://issuu.com/editorablucher/docs/issuu_sustentabilidade_5/3?e=1099747/5172157>. Acesso em: 20 jan. 2018.

ASIF, M.; MUNEER, T.; KELLEY, R. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. **Building and Environment**, v.42, p. 1391-1394, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132305004956>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

ASSEFA, G.; AMBLER, C. The demolish or not to demolish: Life cycle consideration of repurposing buildings. **Sustainable Cities and Society**, v.28, p. 146-153, 2017. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/36FED479F9C21F92103D744711559513650FE3B8A5BB1B4E104087F8AA4B69B383CE90B9005BA573090B5C44E145C237>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1**: edificações habitacionais: desempenho: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2014a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2014b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 21930**: Sustentabilidade em edifícios e obras de engenharia civil: Regras básicas para declarações ambientais de produtos e serviços de construção. Rio de Janeiro, 2017.

ATMACA, A.; ATMACA, N. Life cycle energy (LCEA) and carbon dioxide emissions (LCCO_{2A}) assessment of two residential buildings in Gaziantep, Turkey. **Energy and Buildings**, v. 102, p. 417-431, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815300414>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

BALAGUERA, A., et al. Life cycle assessment of road construction alternative materials: A literature review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 132, p. 37-48, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134491830003X>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

BANSAL, D.; NANDY, P. Embodied energy in residential cost effective units: Up to 50 sqm plinth área. International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE), p. 321-335, **Anais...** 2010. Disponível em: <http://www.civil.mrt.ac.lk/conference/ICSBE_2010/vol_01/45.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2018.

BANSAL, D.; SINGH, R.; SAWHNEY, R. L. Effect of construction materials on embodied energy and cost of buildings: A case study of residential houses in India up to 60m² of plinth área. **Energy and Buildings**, v. 69, p. 260-266, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813006889>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

BANSAL, V., MISRA, R.; AGRAWAL, G.D.; MATHUR, J. Performance analysis of earth-pipe-air heat exchanger for summer cooling. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 5, p. 645-648, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778809002850>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

BARE, J.C. Development of impact assessment methodologies for environmental sustainability. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 16, p. 681-690, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-013-0685-4>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

BASTOS, J.; BATTERMAN, S. A.; FREIRE, F. Life-cycle energy and greenhouse gas analysis of three building types in a residential área in Lisbon. **Energy and Buildings**, v. 69, p. 344-353, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813006920>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

BAYER, C. et al. **Guide to building life cycle assessment in practice**. Washington: American Institute of Architects, 2010. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/344/6188/1109>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

BERMANN, C. **Energia no Brasil: para quê? para quem?**. 2ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003.

BESSA, V. M. T. **Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios**. 2010. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-21102010-114255/pt-br.php>>. Acesso em 10 fev. 2019.

BRANCO, A. S.; LIRA, J. S. M. M.; SPOSTO, R. M. Energia e emissões de CO₂ de sistema de vedação vertical em drywall. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 14, n. 2, p. 18-27, 2018. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/viewFile/47781/pdf>>. Acesso em 20 jul. 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 31 jan. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável**. Brasília, DF, 24 fev. 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lançada a 3ª edição das estimativas anuais de emissões do Brasil**. Brasília, DF, 24 fev. 2017. Disponível em: <<http://redd.mma.gov.br/pt/noticias-principais/760-lancada-a-3-edicao-das-estimativas-anuais-de-emissoes-do-brasil>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

BRASIL. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada**: para consecução do objetivo da convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima. Brasília, DF, [2018?]. Documento em PDF.

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A.; USÓN, A. A. 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. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310003549>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

BRIBIÁN, I. Z.; USÓN, A. A.; SCARPELLINI, S. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complemente for building certification. **Building and Environment**, v. 44, p. 2510-2520, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309001188>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

BROWN, S.; LUGO, A. E. Rehabilitation of tropical lands: A key to sustaining development. **Restoration Ecology**, USA, v. 2, n. 2, p. 97-111, 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1994.tb00047.x>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

BRUNTLAND, G.H. (editora). **Our common Future: The world commission on environment and Development**. Oxford. Oxford University Press. 398 pp. 1987.

BUCHANAN, A.; LEVINE, B. Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. **Environmental Science & Policy**, v.2, p. 427-437, 1999. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901199000386>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

BUCHANAN, A.H.; HONEY, B.G. Energy and carbon dioxide implications of building construction. **Energy and Buildings**, v. 20, p. 205-217, 1994. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378778894900248>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE). **Product category rules for type III environmental product declaration of construction products to EN 15804:2012**. Watford: BRE Response to Public Consultation Comments, 2013. Disponível em:

<http://www.bre.co.uk/filelibrary/Materials/BRE_EN_15804_PCR.PN514.pdf>.

Acesso em: 20 jul. 2018.

CABEZA, L. F, et. al. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29. p. 394-416.2014. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113005777>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

CABEZA, L. F. Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 23, p. 536–542, 2013.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113001767>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

CALDAS, L. R. **Avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO2 de uma edificação habitacional unifamiliar de light steel framing**. 2016. 174 f.

Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em:

<http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/21060/1/2016_LucasRosseCaldas.pdf>.

Acesso em: 15 ago. 2018.

CALDAS, L. R. et al. Sustentabilidade na construção civil: avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO2 de fachadas para habitações sociais.

Sustentabilidade em Debate, v. 7, n. 2, p. 238-256, 2016. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Lucas_Caldas2/publication/307588004_Sustentabilidade_na_construcao_civil_avaliacao_do_ciclo_de_vida_energetico_e_de_emissoes_de_CO2_de_fachadas_para_habitacoes_sociais/links/57cacd3108aedb6d6d9a1fdf/Sustentabilidade-na-construcao-civil-avaliacao-do-ciclo-de-vida-energetico-e-

de-emissoes-de-CO2-de-fachadas-para-habitacoes-sociais.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.

CALDAS, L. R., et. al. Emissões de CO₂ no Ciclo de Vida de Habitações de Interesse Social: Estudo de Caso Para o DF, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO - INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 9, 2015, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2015. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/sibraelagec2015/artigos/SIBRAGEC-ELAGEC_2015_submission_116.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2018.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Guia CBIC de boas práticas em sustentabilidade na indústria da construção**. Coordenador Técnico Rafael Tello. Brasília, DF: CBIC; Serviço Social da Indústria; Nova Lima: Fundação Dom Cabral, 2012. Disponível em: <http://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2013/08/Guia_de_Boas_Praticas_em_Sustentabilidade_CBIC_FDC.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2018.

CAMPOS, F. H. A. **Análise do ciclo de vida na construção civil**: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto. 2012. 123 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ISMS-8XVK6S>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

CAMPOS, G. C. de. **Patrimônio edificado de Laguna**: conhecer, interpretar e preservar. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Linguagem) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Linguagem, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2007. Disponível em: <http://pergamum.unisul.br/pergamum/pdf/90654_Gizely.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2018.

CANAZARO, C. C.; MORAES, C. A. M.; KERN, A. P. Avaliação do ciclo de vida e a certificação LEED. In: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 8, 2017, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: Instituto Venturi, 2017. Disponível em: <<http://institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/270>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

CARMINATTI JÚNIOR, R. **Análise do Ciclo de Vida Energético de Projeto de Habitações de Interesse Social Concebido em Light Steel Framing**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2012.

CARVALHO, M. T. M.; SPOSTO, R. M. Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto. **Ambiente Construído**, v. 12, n.1, p. 207-225, mar 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v12n1/v12n1a14>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

CATERINA, G. Strategie innovative per il recupero delle città storiche. **Techne Journal of Technology for Architecture and Environment**, v. 12, p. 33-35, 2016.

Disponível em:

<<http://www.fupress.net/index.php/techne/article/viewFile/19330/18205>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

CHAU, C. K.; LEUNG, T. M.; NG, W. Y. A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings.

Applied Energy, v. 143, p. 395-413, 2015. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191500029Xul>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

CHEHEBE, José Ribamar. **Análise do Ciclo de Vida dos produtos: ferramenta gerencial da ISO 14.000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

CONSELHO INTERNACIONAL DA CONSTRUÇÃO (CIB). **Agenda 21 on**

Sustainable Construction. CIB Report Publication n. 237. Rotterdam: CIB, Jul.

1999. Disponível em: <<http://cic.vtt.fi/eco/cibw82/A21text.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2008.

COSTA, B. L. C. **Quantificação das Emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na Construção Civil no Brasil**. 2012. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/BrunoLuisDeCarvalhoDaCosta.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2018.

CRAWFORD, R. B. **Life cycle assessment in the built environment**. London: Tylor and Francis, 2011. Disponível em:

<<https://www.taylorfrancis.com/books/9781135245092>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

CUELLAR-FRANCA, R. M.; AZAPAGIC, A. Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses. **Building and Environment**, v. 54, n. 8, p. 86-99, 2012.

CUNHA, I. B. **Quantificação das emissões de CO₂ na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais**. 2016. 136 f. e Tecnologia de Materiais e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em:

<http://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/6884/2/DIS_IASMINY_BORBA_DA_CUNHA_COMPLETO.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2018.

DEBNATH, A.; SINGH, S.V.; SINGH, Y.P. Comparative assessment of energy requirements for different types of residential buildings in India. **Energy and Buildings**, v.23 p. 141-146, 1995. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378778895009396>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

DEGANI, C. M.; CARDOSO, F. F. A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico. In: NUTAU 2002, 2002, São Paulo. Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano. **Anais...** São Paulo: USP, 2002.

DEVI, L. P.; PALANIAPPAN, S. A case study on life cycle energy use of residential buildings Southern India. **Energy and Buildings**, v. 80, p. 247-259. 2014. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0378778814004381/1-s2.0-S0378778814004381-main.pdf?_tid=6ed5b93f-1d2c-4345-b464-f1bceea5cfc1&acdnat=1535111749_aa0cc6a38360693a6332f9af90e5f51e>. Acesso em: 20 ago. 2018.

DIXIT, M. K. et al. Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p.3730-3743, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112002043>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

DIXIT, M. K.; CULP, C. H.; FERNANDEZ-SOLIS, J. L. System boundary for embodied energy in buildings: A conceptual model for definition. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 153-164, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112007423>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

DORIA, M. R. et al. Análise estatística da evolução do produto interno bruto da indústria da construção civil brasileira utilizando regressão linear simples. **Revista GEINTEC**. São Cristóvão, v. 2, n. 5, p. 505- 514, 2012. Disponível em: <<http://www.revistageintec.net/index.php/revista/article/view/74/0>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S. A., **PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**. Pesquisa de Posse de equipamentos e Hábitos de Uso - Ano base 2016 – Relatório Brasil. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2017>> Acesso em dezembro de 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco energético nacional: relatório final 2017**. Rio de Janeiro, 2017a. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco energético nacional: relatório síntese: ano base 2016**. Rio de Janeiro, 2017b. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2018.

EN 15804. Sustainability of construction works: **Environmental product declarations**: Core rules for the product category of construction products. European Committee for Standardization, 2012.

EN 15978. Sustainability of construction works: **Assessment of environmental performance of buildings**: Calculation method. European Committee for Standardization, 2011.

ENCICLO. **Declaração Ambiental de Produto (DAP)**: O que é e como fazer. Trindade, 2014. Disponível em:

<<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://blog.enciclo.com.br/declaracao-ambiental-de-produto-dap-o-que-e-e-como-fazer/>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

ESTOKOVA, A.; VILCEKOVA, S.; PORHINCAK, M. Analyzing embodied energy, global warming and acidification potentials of material in residential buildings. **Procedia Engineering**, v. 180, p. 1675-1683, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.330>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

FARIA, T. de F. C. et al. Arquitetura de terra: Alternativa sustentável para os impactos ambientais causados pela construção civil. **E-Xacta**, Belo Horizonte, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2015. Disponível em: <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/1331/812>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

FAVA, J. A. Life cycle initiative: A joint UNEP/SETAC partnership to advance the life-cycle economy. **International Journal of LCA**, v.7, n. 4, p. 196-198. 2002. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02978873>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

FAVA, J.; BAER, S.; COOPER, J. Increasing demands for life cycle assessments in North America. **Journal of Industrial Ecology**, v.13, p.491-494, 2009. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1530-9290.2009.00150.x>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

FEIJÃO NETO, F. G. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de Parnaíba-PI**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/95673/feijaoneto_fg_me_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 jan. 2018.

FERNANDES, D. M. et al. Novel electrochemical sensor based on n-doped carbon nanotubes and fe₃o₄ nanoparticles: Simultaneous voltammetric determination of ascorbic acid, dopamine and uric acid. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 432, p. 207-213, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002197971400469Xul>>. Acesso em: 20 juç. 2018.

FIGUEIREDO, G. M.; VARUM, H.; COSTA, A. Caracterização das técnicas construtivas em terra edificadas no século XVIII e XIX no centro histórico de São Luís. **Arquiteturarevista**, v.7, p.81-93, 2011. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/5843/1/Characterization%20of%20the%20earth-based%20construction%20techniques%20used%20in%20the%2018th%20and%2019th%20centuries%20in%20the%20historical%20centre%20of%20S%3%a3o%20Lu%3%ads%20MA%20Brazil_arquitet.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.

FRIEDRICH, Odilo Antonio. **Casarão e museu Friedrich-1845**. Novo Hamburgo, 19 maio 2011. Disponível em: <<http://odilofriedrich.blogspot.com/2011/05/casarao-e-museu-friedrich-1845.html>>. Acesso em: 20 fev. 2018. Blog.

FUMO, N.; BISWAS, M. A. R. Regression analysis for prediction of residential energy consumption. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 332-343, 2015. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115001884>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente e desenvolvimento**. 3ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011. 398p.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

GONZALEZ, M. J.; NAVARRO, J. G., Assessment of the decrease of CO2 emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact. **Building Environment**, v. 41, p. 902–909, 2006. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013230500140X?via%3DiHub>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

GRUPO DE PESQUISA EM MUDANÇAS CLIMÁTICAS DA UNICAMP (ALCSENS).

Gases de feito Estufa (GEE). Campinas, 2014. Disponível em:

<<https://www.cpa.unicamp.br/alcscens/abc/abc/18-gases-de-efeito-estufa-gee>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

HANSEN, A. M. D. **Padrões de consumo de energia elétrica em diferentes tipologias de edificações residenciais, em Porto Alegre**. 2000. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em:

<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3546/000295180.pdf?...1>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

HASENFUS, E. L. **Measuring the capital energy value in historic structures**.

2014. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Preservação Histórica), University of Pennsylvania, 2014. Disponível em:

<https://repository.upenn.edu/hp_theses/224/>. Acesso em: 30 mar. 2019.

HELLWEG, S.; CANALS, L. M. I. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1109–1113, 2014. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/344/6188/1109ul>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

HERÉDIA, V. A imigração europeia no século passado: O programa de colonização no Rio Grande do Sul. **Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, v. 94, n. 10, 2001. Disponível em: <<http://www.ub.edu/geocrit/sn-94-10.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

IBN-MOHAMMED, T. et al. Operational vs. embodied emissions in buildings—A review of current trends. **Energy and Buildings**, v. 66, p. 232–245, 2013. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0378778813004143/1-s2.0-S0378778813004143-main.pdf?_tid=6b9e0595-8a85-4ec3-8723-

436a11bf4a1f&acdnat=1520185154_d46d7c344e85ad517835401a9e55532f>.
Acesso em: 05 mar. 2018.

IMIGRAÇÃO no Brasil. **Portal São Francisco**, [S.l.], 2018. Disponível em:
<<https://www.portalsaofrancisco.com.br/historia-do-brasil/imigracao-no-brasil>>.
Acesso em: 15 jan. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil: SINAPI**. Rio de Janeiro, dez. 2017. Disponível em:
<<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/sinapi/default.shtm>>.
Acesso em: 15 jan. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT). **O que é SIVIC Brasil?**. Brasília, DF. s.d.. Disponível em:
<<http://acv.ibict.br/banco-nacional/o-que-e-sicv/>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland, 151 p., 2014. Disponível em:
<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/TR 14.047**. Environmental management - Life cycle assessment: Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to impact assessment situations, 2012a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/TR 14.049** Environmental management - Life cycle assessment: Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to goal and scope definition and inventory analysis, 2012b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/TS 14.048** Environmental management - Life cycle assessment: Data documentation format. 2002.

INVIDIATA, A. **Método de avaliação multicritério de estratégias de projeto de edificações mais sustentáveis**. 2017. 333 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em:
<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/188525>>. Acesso em: 31 jan. 2018,

JALALI, S.; TORGAL, F. P. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. 2. ed. Coimbra: Vilaverdense, Artes Gráficas, 2010.

JALALI, S.; TORGAL, F. P. Sustentabilidade: Tendências para a sustentabilidade dos materiais de construção. **Engenharia e vida**, v.42, p.2-5, 2008. Disponível em:
<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/8830/1/Torgal_RN_1_2008.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2018.

JOHN, V. M; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. **Seminário reciclagem de resíduos sólidos domiciliares**. São Paulo, 2013. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/profile/V_Agopyan/publication/228600228_Reciclage>

m_de_residuos_da_construcao/links/0046352af919c1984c000000.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2018

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V.; SJOSTROM, C. **Durability in the built environment and sustainability in developing countries**. [S.l.], 2002. Disponível em: <<https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB9145.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

KILBERT, C.J. **Sustainable construction**: Green building design and delivery. Hoboken. John Wiley and Sons, 2008.

KOTAJI, S.; SCHUURMANS, A.; EDWARDS, S. (ed). **Life cycle assessment in building and construction**: A state-of-the-art report. USA: Society of Toxicology and Chemistry (SETAC), 2003. Disponível em: <<https://www.sintef.no/globalassets/project/lore-lca/deliverables/lore-lca-wp2-d2.1-ifz-report.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (LBNL). **DOE – 2.2. Building Energy Use and Cost Analysis Program**. Berkeley: LBNL, 2004. Pplied Energy, v. 143, n.1, p. 395-413, 2015.

LIN, B.Q.; LIN, J. Evaluating energy conservation in China's heating industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 501-512, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616308824>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

LOBO, F. H. R. **Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas**: Estudo de caso no Estado do Paraná. 2010. 1000 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24855/Fernando%20Henrique.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

MATEUS, R. **Avaliação da sustentabilidade da construção, propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis**. 2009. 427 f. (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, 2009. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/9886>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (ed.). **Concreto**: ciência e tecnologia. Porto Alegre: IBRACON, 2011. Cap. 22, paginação irregular. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc55.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

MENZIES, G. F. **Historic Scotland Technical Paper 13**: Embodied Energy Considerations for Historic Buildings. Historic Scotland.2011. Disponível em: <<https://researchportal.hw.ac.uk/en/publications/historic-scotland-technical-paper-13-embodied-energy-consideratio>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

MEREB, Marcia Pellegrini (Coord.). **Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho ABNT NBR 15.575**. ASBEA: São Paulo, 2015.

MIRANDA, M. M. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <file:///D:/Meus%20Documentos/Downloads/DissertacaoMarianaMaiaDeMiranda.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

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, p. 179-188, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810003154>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

MONICH, C. R.; TAVARES, S. F. Energia e CO₂ embutidos na fabricação dos materiais de construção: panorama atual no brasil e exterior. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC, 13., 2010, Canela. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2010. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/636.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

MORAGA, G. L. **Avaliação do Ciclo de Vida e simulação termoenergética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida**. 2017. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2017. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/169822>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

MOTTA, S.; AGUILAR, M. T. Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo. v. 4, n. 1, p. 84-105, maio 2009. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/viewFile/50953/55034>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

NABUT NETO, A.C. **Energia Incorporada e Emissões de CO₂ de Fachadas. Estudo de Caso do Steel Frame para Utilização em Brasília**. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.repositorio.unb.br/handle/10482/9837>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

NAGALI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. Oficina de Textos. São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ebcWDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=recursos+naturais+constru%C3%A7%C3%A3o+civil&ots=EUqTwUnYib&sig=Lo3rPf5N8O46Y-oAR0Xx3POHQ-M#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 31 jan. 2018

NOVO HAMBURGO. Prefeitura Municipal. Secretária da Cultura. **Ficha M301 – Cadastro de bens**. Novo Hamburgo, maio 2013. Documento de uso interno.

NOVO HAMBURGO. Prefeitura Municipal. Secretária da Cultura. **Ficha M302 – Bem imóvel/ arquitetura**. Novo Hamburgo, jun. 2012a. Documento de uso interno.

NOVO HAMBURGO. Prefeitura Municipal. Secretária da Cultura. **Ficha M303 – Bem imóvel/ arquitetura**. Novo Hamburgo, jun. 2012b. Documento de uso interno.

OLIVEIRA, S. V. **Os planos diretores e as ações de preservação de patrimônio edificado em Novo Hamburgo**. 2009. 203 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, 2009. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/27781/000735164.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

ONDOVA, M.; ESTOKOVA, A. Environmental impact assessment of building foundation in masonry Family houses related to the total used building materials. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, v. 35, p. 1113-1120, 2016. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ep.12307>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OECD). **Emissões de dióxido de carbono incorporadas no comércio internacional**. 2015. Disponível em: <<http://www.oecd.org/sti/ind/carbondioxideemissionsembodiedininternationaltrade.htm>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recente developments based on LCA. **Construction and Building Materials**, v. 23, p. 28-39, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061807003005>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. Energia incorporada em habitações de interesse social na fase de pré-uso: O caso do Programa Minha Casa Minha Vida no Brasil. **Revista Oculum Ensaios**, v. 11, n. 1, p. 39-50, 2014. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/3517/351732218003.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

PEDROSO, G. M. P. **Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações**. 2015. 228f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Tese (Doutorado em Construção Civil) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/20953>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

PEREIRA, C. Principais tipos de sistemas construtivos utilizados na construção civil. **Escola Engenharia**, 2018. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sistemas-construtivos/>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

PRESTES, K. F. **Materiais e técnicas construtivas em edifícios históricos: um estudo de caso**. 2017. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em

Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/3674/TCC%20-%20KAMILA%20PRESTES%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

PROCEL-EDIFICA. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica:** áreas de atuação: edificações. 2010. Disponível em: <http://C:/Users/ADM/Downloads/PROCEL_Programa_Nacional_de_Conserva%C3%A7%C3%A3o_de_Energia_El%C3%A9trica_-_pdf.>. Acesso em: 10 de novembro de 2015.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **Relatório de resultados 2017 - ano base 2016.** Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2017>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 10, p. 1592–1600, out. 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810001696>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. K. Lifecycle energy analysis of a multifamily residential house: A case study in Indian context. **Open Journal of Energy Efficiency**, v. 2, p. 34-41, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/259033972_Life_Cycle_Energy_Analysis_of_a_Multifamily_Residential_House_A_Case_Study_in_Indian_Context>. Acesso em: 20 jul. 2018.

RAMOS, J. S.; NOIA, A. C. A construção de políticas públicas em habitação e o enfrentamento do déficit habitacional no Brasil: Uma análise do programa minha casa minha vida. **Desenvolvimento em questão**, v.14, p.65-105, 2016. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/752/75243198004/ul>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

REBITZER, G., et al. Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, v. 30, p. 701-720, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412003002459>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

REIS, D. C. **Ferramenta de apoio ao desenvolvimento de projetos no âmbito da sustentabilidade na construção.** 2015. 151 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia, Universidade de São Paulo (USP) São Carlos, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-25092015-165940/en.php>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

RIBEIRO, N. P. in: BRAGA, Márcia (org.) **Conservação e restauro:** arquitetura brasileira. Rio de Janeiro: Editora Rio, 2003. p. 53-84. Disponível em:

<<http://patricultufes.blogspot.com/2012/06/tecnicas-construtivas-tradicionais-das.html>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS S. **Ecohouse**: A casa ambientalmente sustentável. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ROSSETTI, E. P. Morar brasileiro: impressões e nexos atuais da casa e do espaço doméstico. **Vitruvius**, 2014. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/15.169/5220>>. Acesso em: 10 abril 2019.

ROTH, C. G.; GARCIAS, C. M. Construção civil e a degradação ambiental. **Desenvolvimento em Questão**, ano 7, n. 13, p. 111-128, jan./jun. 2009. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/752/75212355006/>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

SANTERO, N.J.; MASANET, E.; HORVATH, A. Life-cycle assessment of pavements. Part I: critical review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, p. 801-809, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344911000474>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

SANTOS, L. F.; MADUREIRA, E. M. P. A casa sustentável na arquitetura contemporânea. In: 3º SIMPÓSIO SUSTENTABILIDADE E CONTEMPORANEIDADE NAS CIÊNCIAS SOCIAIS, 2015. Cascavel. **Anais eletrônicos...** Cascavel, 2015. Disponível em: <<https://www.fag.edu.br/upload/contemporaneidade/anais/559547e108bb9.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2019.

SARTORI, I.; HESTNES, A. G. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 249-257, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778806001873>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

SATTLER, M. A. Edificações e comunidades sustentáveis: atividades em desenvolvimento no NORIE/UFRGS. In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DA REDE CYTED XIV.C., 4. 2006, Rio Grande do Sul. **Anais eletrônicos...** São Paulo: Páginas e Letras, 2006. Disponível em: <<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/189.pdf>> Acesso em: 15 jan. 2018.

SATTLER, M. A.; KUHN, E. A.; DE SOUZA, D. T. P. Embodied energy in wall subsystems of more sustainable buildings. In: PLEA2009 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec, 2009. **Anais eletrônicos...** Quebec, 2009. Disponível em: <<http://www.plea2009.arc.ulaval.ca/Papers/3.IMPLEMENTATION/3.3%20Materials,%20components%20and%20innovative%20systems/POSTER/3-3-07-PLEA2009Quebec.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

SCHNECK, E. R. **Tipo arquitetônico em empreendimentos habitacionais de interesse social: impactos ambientais, diferenças no custo e em quesitos de habitabilidade**. 2013. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/4210/Eduardo%20Reuter%20Schneck.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

SCOLARO, A. M. Embodied energy e prestazione residua: misurare il valore ambientale dell'esistente. **Techne Journal of Technology for Architecture and Environment**, n. 16, p. 226-234, 2018. Disponível em: <<http://www.fupress.net/index.php/techne/article/view/23003/21739>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

SEIXAS, A. L. J. de. **Gestão das áreas de entorno de bens tombados**: estudos de caso nas cidades gaúchas de Piratini e Novo Hamburgo. 2014, 128 f. Dissertação (Mestrado em Preservação do Patrimônio Cultural) - Programa de Pós-Graduação em Preservação do Patrimônio Cultural, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Disserta%2B%C2%BA%2B%C3%BAo%20Ana%20Luisa%20Jeanty%20de%20Seixas.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

SILVA, A. T., et al. Novas exigências decorrentes de programas de certificação ambiental de prédios e de normas de desempenho na construção. **Arquiteturarevista**, v. 10, n. 2, p.105-114, 2014. Disponível em: <<http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/arq.2014.102.06>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

SILVA, B. V. **Construção de ferramenta para a avaliação do ciclo de vida de edificações**. 2013. 146 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://200.144.182.130/iee/sites/default/files/BrunaCorrigida.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

SILVA, B. V. **Construção de ferramenta para a avaliação do ciclo de vida de edificações**. 2013. 146 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://200.144.182.130/iee/sites/default/files/BrunaCorrigida.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2018.

SINGH, A. et al. Review of life-cycle assessment applications in building construction. **Journal of Architectural Engineering**, v. 17, p. 15-23, 2011. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29AE.1943-5568.0000026>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

SINGH, M. K.; MAHAPATRA, S. ATREYA, S. K. Adaptive thermal comfort model for diferente climatic zones of North – East India. **Applied Energy**, v. 88, p.2420-2428, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911000225>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

SMITH, R. C. **Robert Smith e o Brasil**: Arquitetura e urbanismo. v.1. Brasília, DF: Iphan, 2012. p. 369. Organização Nestor Goulart Reis Filho. Disponível em:

<http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/robert_smith_e_o_brasil_vol1_parte1.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2018.

SOBHY, I.; BRAKEZ, A.; BENHAMOU, B. Analysis for thermal behaviour and energy savings of a semi-detached house with different insulation strategies in hot semi-arid climate. **Journal of Green Building**, v.12, p. 78-106, 2017. Disponível em: <<http://www.journalofgreenbuilding.com/doi/abs/10.3992/1552-6100.12.1.78>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

SOCKER Jr., J. L.; MANENTI, L. Novo Hamburgo: O patrimônio arquitetônico da “cidade industrial”. VI Colóquio Latino Americano sobre Recuperação e Preservação do Patrimônio Industrial. Comitê Brasileiro para a Preservação do Patrimônio Industrial (TICCIH)/Serviço Social do Comércio (Sesc-SP)/Centro Universitário Belas Artes de São Paulo/Cinemateca Brasileira. São Paulo (SP), **Anais Eletrônicos...** 2012.
<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/VI_coloquio_t1_novo_hamburgo.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2018.

SPOSTO, R. M.; PAULSEN, J. S. Energia incorporada em habitações de interesse social na fase de pré-uso: O caso do programa minha casa minha vida no Brasil. **Oculum Ensaios**, v.11, p. 39-50, 2014. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=351732218003>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

TAKENAKA, E. M. M.; ARANA, A. R. A.; ALBANO M. P. construção civil e resíduos sólidos: Coleta e disposição final no município de Presidente Prudente-SP In: VIII FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA (ANAP), 8, 2012, Tupã. **Anais eletrônicos...** Tupã: ANAP, 2012. Disponível em: <https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/articloe/view/363/371>. Acesso em: 15 jul. 2018.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89528/236520.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

TAVARES, S. F.; BRAGANÇA, L. Índices de CO2 para materiais de construção em edificações brasileiras. In: SBE16 BRAZIL E PORTUGAL, 2016, Vitória. **Anais eletrônicos...** Braga: UMINHO, 2016. Disponível em: <http://sbe16.civil.uminho.pt/app/wp-content/uploads/2016/09/SBE16-Brazil-Portugal-Vol_2-Pag_927.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2019.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. Estudos Comparativos Sobre Consumo Energético no Ciclo de Vida de Edificações Residenciais do Brasil, Austrália e Suécia. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ANTAC, 2004.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. Consumo de energia para construção, operação e manutenção das edificações residenciais no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL E

LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC/ELACAC), 8., 2005, Maceió; ENCONTRO NACIONAL E LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC/ELACAC), 6., 2005, Maceió. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ENCAC, 2005. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/encac/files/2005/ENCAC05_2037_2045.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2018.

TEODORO, M. I. T. M. **Energia embutida na construção de edificações no Brasil**: Contribuições para o desenvolvimento de políticas públicas a partir de um estudo de caso em Mato Grosso do Sul. 2017. 234 f. Tese (Doutorado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-01022018-151533/pt-br.php>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

THORMARK, C. Environmental analysis of a building with reused building materials. **International Journal of Low Energy & Sustainable Building**, v.1, documento não paginado, 2000. Disponível em: <<http://muep.mau.se/bitstream/handle/2043/9844/Staffanstorp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

TORGAL, F.P.; JALALI, S. **Construção Sustentável**. O caso dos materiais de construção. 3º Congresso Nacional de Construção 2007, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2007.

UNEP Sustainable Buildings & Climate Initiatives. **Buildings and Climate Change**: Summary of decision makers. Paris: Sustainable Consumption & Production Branch, 2009. Disponível em: <http://www.greeningtheblue.org/sites/default/files/Buildings%20and%20climate%20change_0.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2018.

VALE, A. T., et al. Estimativa do Consumo Residencial de Lenha em uma Pequena Comunidade Rural do Município de São João D’aliança, GO. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 159-165, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982003000200159&script=sci_abstract&lng=pt>. Acesso em: 30 mar. 2019.

VASCONCELLOS, S. C. **Arquitetura no Brasil**: Sistemas construtivos. Belo Horizonte (UFMG), 1979.

WU, H. J., et al. Life cycle energy consumption and CO₂ emission of na office building in China. **Building and Environment**, v. 17, p. 105-118, 2012. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11367-011-0342-2.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

WU, X. F.; CHEN, G. Q. Global primary energy use associated with production, consumption and international trade. **Energy Policy**, v. 111, p. 85-94. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517305839>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

YOKOO, N.; YOKOYAMA, K. (ed.) **Evaluation of embodied energy and CO₂eq for buildings construction**. Overview of Annex 57 results. Japan: Institute for Buildings Environment and Energy Conservation, 2016.

YUAN, X.L.; WANG, X.J.; ZUO, J. Renewable energy in buildings in China: A review. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 24, p. 1-8, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113001810>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

ZHAO, H.X.; MAGOULES, F. A review on the prediction of building energy consumption. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 16, n. 16, p. 3586-3592, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112001438ul>>. Acesso em 20 jun. 2018.

ZHOU, Z., et al. Heating energy saving potential from building envelope design and operation optimization in residential buildings: A case study in northern China. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 413-423, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617325416>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

ZUO, J. ZHAO, Z. Y. Green building research-current status and future agenda: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 30, p. 271-281, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211300720X>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

ZUO, J., et al. Sustainability policy of construction contractors: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 3910-3916, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112001931>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

APÊNDICE A – PLANILHAS DE CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA (EI) E EMISSÕES DE CO₂ (ECO₂l) DA EXTRAÇÃO E PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS

Tabela A.1 - Planilha de cálculo do consumo de energia (EI) e emissões (ECO₂l) da extração e processamento dos materiais e componentes - edificação contemporânea

Materiais e componentes	Dados					Cálculos			
	Quantidade original (kg)	Participação	FE (MJ/kg)	FCO ₂ (kgCO ₂ /kg)	Perdas (%)	Quantidade com perdas (kg)	Quantidade com perdas (kg/EHU)	EI (MJ/EHU)	ECO ₂ l (kgCO ₂ /EHU)
Água (assentamento e revestimento)	26818,8216	5,66%	0,02	0,001	5	28230,3385	57,0022	1,1372	0,0569
Areia (assentamento e revestimento)	105199,0714	26,37%	0,5	0,03	20	131498,8392	265,5201	127,4497	7,6470
Aço (estrutura)	11228,2339	2,30%	35	2,73	2	11457,3815	23,1345	809,3851	63,1320
Brita (estrutura)	88339,6388	28,57%	0,15	0,09	38	142483,2884	287,6997	36,9234	22,1540
Cal	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cerâmica - revestimento (piso)	7154,7172	1,46%	3	0,29	2	7300,7318	14,7415	44,2068	4,2733
Cerâmica - telha (cobertura)	7148,1006	1,59%	5,4	0,11	10	7942,3340	16,0370	85,7339	1,7464
Cerâmica - tijolo (vedação)	80357,3082	18,96%	5	0,17	15	94538,0097	190,8895	932,9723	31,7211
Cimento (assentamento e revestimento)	38570,1097	9,67%	4,5	0,79	20	48212,6371	97,3501	420,5524	73,8303
Cobre (instalações)	4,7961	0,00%	75	3,95	5	5,0485	0,0102	0,7626	0,0402
Fibrocimento (cobertura)	1870,0999	0,42%	6	0,72	10	2077,8888	4,1956	24,9221	2,9906
Gesso (forro)	660,9488	0,19%	4,5	0,76	30	944,2125	1,9065	7,8073	1,3186
Impermeabilizante (piso)	81,7409	0,02%	90	5,5	15	96,1658	0,1942	17,0827	1,0439
Madeira - estrutura telhado (cobertura)	8589,9184	1,91%	0,5	0,4	10	9544,3538	19,2718	9,5395	7,6316
Madeira - piso e forro (piso/ forro)	3259,5203	0,77%	13,6	0,41	15	3834,7298	7,7430	102,9357	3,1032
Madeira - esquadrias (esquadrias)	861,9623	0,17%	2	0,11	1	870,6690	1,7580	3,5157	0,1934
Metal (esquadria)	128,4670	0,03%	155	10,19	0	128,4670	0,2594	40,2067	2,6433
Pedra (piso)	2880,7920	0,61%	1,5	0,1	4,7	3022,8667	6,1037	9,1354	0,6090
Plástico (instalações)	52,9828	0,01%	80	5,02	1	53,5180	0,1081	8,6441	0,5424
PVC (instalações)	996,8505	0,20%	60,9	0,61	1	1006,9197	2,0332	123,8067	1,2401
Tinta (pintura)	727,5824	0,17%	75	3,57	15	855,9793	1,7284	126,7117	6,0315
Vidro (esquadrias)	2003,0950	0,42%	18,5	0,99	5	2108,5210	4,2575	78,5666	4,2044
Massa Total (kg/m²)	386934,7577	99,50%	-	-	-	496212,9001	1001,9443	3,0120	0,2362

Tabela A.2 - Planilha de cálculo do consumo de energia (EI) e emissões (ECO_{2l}) da extração e processamento dos materiais e componentes - edificação histórica

Materiais e componentes	Dados					Cálculos			
	Quantidade original (kg)	Participação	FE (MJ/kg)	FCO ₂ (kgCO ₂ /kg)	Perdas (%)	Quantidade com perdas (kg)	Quantidade com perdas (kg/EHU)	EI (MJ/EHU)	ECO _{2l} (kgCO ₂ /EHU)
Água (assentamento e revestimento)	2138,8523	0,36%	0,02	0,001	5	2251,4235	4,5460	0,0907	0,0045
Areia (assentamento e revestimento)	32810,6414	6,52%	0,5	0,03	20	41013,3017	82,8133	39,7504	2,3850
Aço (estrutura)	361,0234	0,06%	35	2,73	2	368,3912	0,7438	26,0243	2,0299
Brita (estrutura)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cal (assentamento e revestimento)	2682,0353	0,67%	3	0,87	36	4190,6802	8,4617	22,0953	6,4076
Cerâmica - revestimento (piso)	2328,9994	0,38%	3	0,29	2	2376,53	4,7986	14,3902	1,3911
Cerâmica - telha (cobertura)	12152,0430	2,15%	5,4	0,11	10	13502,27	27,2635	145,7509	2,9690
Cerâmica - tijolo (vedação)	13139,5465	2,46%	5	0,17	15	15458,29	31,2131	152,5540	5,1868
Cimento (assentamento e revestimento)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobre (instalações)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fibrocimento (cobertura)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gesso (forro)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Impermeabilizante (piso)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Madeira - estrutura telhado (cobertura)	2823,5880	0,50%	0,5	0,4	10	3137,32	6,3348	3,1357	2,5086
Madeira - piso e forro (piso/ forro)	12416,1540	2,32%	13,6	0,41	15	14607,24	29,4947	392,1023	11,8207
Madeira - esquadrias (esquadrias)	6167,5713	0,99%	2	0,11	1	6229,87	12,5792	25,1560	1,3836
Metal (esquadria)	30,5100	0,00%	155	10,19	0	30,51	0,0616	9,5488	0,6278
Pedra (estrutura / vedação)	499750,3307	83,38%	1,5	0,1	4,7	524396,9892	1058,8531	1584,7711	105,6514
Plástico (instalações)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PVC (instalações)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tinta (pintura)	118,7373	0,02%	75	3,57	15	139,6909	0,2821	20,6786	0,9843
Vidro (esquadrias)	930,1004	0,16%	18,5	0,99	5	979,0531	1,9769	36,4810	1,9522
Massa Total (kg/m²)	587850,1330	99,97%	-	-	-	628681,5598	1269,4226	2,4725	0,1453

APÊNDICE B – PLANILHA DE CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA (ET) E EMISSÕES DE CO₂ (ECO₂T) DO TRANSPORTE DOS MATERIAIS

Tabela B.1 - Planilha de cálculo do consumo de energia (ET) e emissões (ECO₂T) do transporte dos materiais - edificação contemporânea

Materiais e componentes	Dados					Cálculos		
	Quantidade com perdas (t)	Quantidade com perdas (kg)	Localização da fábrica	Localização da obra	Distância (km)	Consumo diesel (L/t.km)	ET (MJ/EHU)	ECO2T (kgCO2/EHU)
Água (assentamento e revestimento)	28,2303	28230,3385	Novo Hamburgo/ RS		0	0	-	-
Areia (assentamento e revestimento)	131,4988	131498,8392	Osório/ RS		102,00	0,0137	13,2707	1,0833
Aço (estrutura)	11,4574	11457,3815	Sapucaia do Sul/ RS		20,90	0,0137	0,2369	0,0193
Brita (estrutura)	142,4833	142483,2884	Triunfo/ RS		69,10	0,0137	9,7412	0,7952
Cal	-	-	Porto Alegre/ RS		43,00	0,0137	-	-
Cerâmica - revestimento (piso)	7,3007	7300,7318	Criciúma/ SC		271,00	0,0137	1,9575	0,1598
Cerâmica - telha (cobertura)	7,9423	7942,3340	Bom Princípio/ RS		51,50	0,0137	0,4047	0,0330
Cerâmica - tijolo (vedação)	94,5380	94538,0097	Novo Hamburgo/ RS		14,70	0,0137	1,3750	0,1122
Cimento (assentamento e revestimento)	48,2126	48212,6371	Esteio/ RS		23,30	0,0137	1,1114	0,0907
Cobre (instalações)	0,0050	5,0485	Guarulhos/ SP		1176	0,0137	0,0059	0,0005
Fibrocimento (cobertura)	2,0779	2077,8888	Esteio/ RS	Novo Hamburgo/ RS	25,10	0,0137	0,0516	0,0042
Gesso (forro)	0,9442	944,2125	Porto Alegre/ RS		43,40	0,0137	0,0405	0,0033
Impermeabilizante (piso)	0,0962	96,1658	Feira de Santana/ BA		3005,00	0,0137	0,2859	0,0233
Madeira - estrutura telhado (cobertura)	9,5444	9544,3538	Igrejinha/ RS		40,50	0,0137	0,3824	0,0312
Madeira - piso e forro (piso/ forro)	3,8347	3834,7298	Taquari/ RS		93,70	0,0137	0,3555	0,0290
Madeira - esquadrias (esquadrias)	0,8707	870,6690	Novo Hamburgo/ RS		6,50	0,0137	0,0056	0,0005
Metal (esquadria)	0,1285	128,4670	Novo Hamburgo/ RS		8,30	0,0137	0,0011	0,0001
Pedra (piso)	3,0229	3022,8667	Taquara/ RS		28,20	0,0137	0,0843	0,0069
Plástico (instalações)	0,0535	53,5180	Novo Hamburgo/ RS		5,80	0,0137	0,0003	0,0000
PVC (instalações)	1,0069	1006,9197	Joinville/ SC		621,00	0,0137	0,6187	0,0505
Tinta (pintura)	0,8560	855,9793	Novo Hamburgo/ RS		6,10	0,0137	0,0052	0,0004
Vidro (esquadrias)	2,1085	2108,5210	São Leopoldo/ RS		15,40	0,0137	0,0321	0,0026
Total							0,0300	0,0024

APÊNDICE C – PLANILHAS DE CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA (EC) E EMISSÕES DE CO₂ (ECO₂C) DA ETAPA DE CONSTRUÇÃO

Tabela C.1 - Planilha de cálculo do consumo de energia (ETf) e emissões (ECO₂Tf) da transporte dos funcionários - edificação contemporânea

Serviço	Quantidade	Unidade	Dias trabalhados	Trajetos ida e volta (km)	Consumo diesel (l/km)	(kgCO ₂ /l)	ETf (MJ/EHU)	ECO ₂ Tf (kgCO ₂ /EHU)
Pedreiro	2220,8	horas	252	20	0,32	2,63	2,8536	0,2144
Servente	5853,4	horas	665	20	0,32	2,63	7,5213	61,8156
Auxiliar de armador	714,7	horas	81	20	0,32	2,63	0,9183	7,5473
Operador de bate estacas	45,6	horas	5	20	0,32	2,63	0,0586	0,4812
Ferreiro	703,7	horas	80	20	0,32	2,63	0,9042	7,4317
Carpinteiro	1654,4	horas	188	20	0,32	2,63	2,1258	17,4711
Eletricista	14,0	horas	2	20	0,32	2,63	0,0180	0,1478
Instalador hidráulico	16,0	horas	2	20	0,32	2,63	0,0206	0,1690
Pintor	1272,7	horas	145	20	0,32	2,63	1,6353	13,4401
Motorista de caminhão	14,0	horas	2	20	0,32	2,63	0,0180	0,1478
Operador de máquina leve	280,0	horas	32	20	0,32	2,63	0,3598	2,9573
Serralheiro	166,7	horas	19	20	0,32	2,63	0,2141	1,7599
Telhadista	565,4	horas	64	20	0,32	2,63	0,7265	5,9707
Vidraceiro	60,4	horas	7	20	0,32	2,63	0,0776	0,6381
Auxiliar instalador hidráulico	8,0	horas	1	20	0,32	2,63	0,0103	0,0845
Auxiliar de eletricista	6,0	horas	1	20	0,32	2,63	0,0077	0,0634
Apontador/Auxiliar de gestão	1440,0	horas	164	20	0,32	2,63	1,8503	15,2072
Mestre até 25 subordinados	1440,0	horas	164	20	0,32	2,63	1,8503	15,2072
Engenheiro/ Arquiteto	72,0	horas	8	20	0,32	2,63	0,0925	0,7604
Total							0,0213	0,1515

Tabela C.2 - Planilha de cálculo do consumo de energia (EEq) e emissões (ECO₂Eq) dos equipamentos de obra - edificação contemporânea

Equipamento	Quantidade (horas)	Consumo (KW/h)	Fator Eletricidade (MJ/KWh)	Fator Eletricidade (kgCO ₂ /KWh)	Energia (MJ)	Emissão (kgCO ₂)
Equipamento para micro-estaca - 15 kW	18,304	274,56	3,6	0,15	988,416	41,184
Guindaste sobre rodas capacidade 370 kNm - 75 kW	8	600	3,6	0,15	2160	90
Vibrador com motor elétrico 2HP	100,5142	149,9	3,6	0,15	539,64	22,485
Betoneira 400L cap mist 280L	8 me	10,92	3,6	0,15	39,312	1,638
Compactador manual placa vibratória 3 kW	280,035	840,105	3,6	0,15	3024,378	126,016
Total					0,0136	0,0006

APÊNDICE D – PLANILHAS DE CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA (EM) E EMISSÕES DE CO₂ (ECO₂M) DA ETAPA DE MANUTENÇÃO

Tabela D.1 - Planilha de cálculo do consumo de energia (EM) e emissões (ECO₂M) da manutenção - edificação contemporânea

Materiais e componentes	Extração e processamento dos materiais							Transporte materiais de reposição		Manutenção total	
	Quantidade com perdas (kg)	Vida útil edificação (anos)	Vida útil sistemas (anos)	FR	Quantidade materiais manutenção final (kg)	Emi (MJ/UF)	ECO ₂ Mi (kgCO ₂ /UF)	EMt (MJ/UF)	ECO ₂ Mt (kgCO ₂ /UF)	EM (MJ/UF)	ECO ₂ M (kgCO ₂ /UF)
Água (assentamento e revestimento)	28230,3385	100	40	2,5	42345,5078	1,7101	0,0855	0	0,0000	1,7101	0,0855
Areia (assentamento e revestimento)	131498,8392	100	40	2,5	197248,2588	199,1401	11,9484	19,9060	1,6250	219,0461	13,5734
Aço (estrutura)	11457,3815	100	50	2	11457,3815	809,7089	63,1573	0,2369	0,0193	809,9459	63,1766
Brita (estrutura)	142483,2884	100	50	2	142483,2884	43,1550	25,8930	9,7412	0,7952	52,8962	26,6882
Cal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cerâmica - revestimento (piso)	7300,7318	100	13	7,69	48841,8957	295,8621	28,6000	13,0958	1,0690	308,9579	29,6690
Cerâmica - telha (cobertura)	7942,3340	100	13	7,69	53134,2145	579,3534	11,8016	2,7074	0,2210	582,0608	12,0227
Cerâmica - tijolo (vedação)	94538,0097	100	40	2,5	141807,0146	1431,6710	48,6768	2,0625	0,1684	1433,7335	48,8452
Cimento (assentamento e revestimento)	48212,6371	100	40	2,5	72318,9557	657,1132	115,3599	1,6672	0,1361	658,7803	115,4960
Cobre (instalações)	5,0485	100	20	5	20,1940	3,0582	0,1611	-	-	3,0582	0,1611
Fibrocimento (cobertura)	2077,8888	100	13	7,69	13901,0761	168,4128	20,2095	0,3452	0,0282	168,7581	20,2377
Gesso (forro)	944,2125	100	13	7,69	6316,7816	57,3963	9,6936	0,2712	0,0221	57,6675	9,7157
Impermeabilizante (piso)	96,1658	100	20	5	384,6632	69,9035	4,2719	1,1437	0,0934	71,0471	4,3652
Madeira - estrutura telhado (cobertura)	9544,3538	100	20	5	38177,4152	38,5436	30,8349	1,5298	0,1249	40,0734	30,9597
Madeira - piso e forro (piso/ forro)	3834,7298	100	8	12,5	44099,3927	1211,0081	36,5083	4,0883	0,3337	1215,0964	36,8421
Madeira - esquadrias (esquadrias)	870,6690	100	20	5	3482,6760	14,0643	0,7735	0,0224	0,0018	14,0867	0,7754
Metal (esquadria)	128,4670	100	20	5	513,8680	160,8269	10,5731	0,0042	0,0003	160,8312	10,5734
Pedra (piso)	3022,8667	100	13	7,69	20222,9782	61,2508	4,0834	0,5642	0,0461	61,8151	4,1294
Plástico (instalações)	53,5180	100	4	25	1284,4320	207,4802	13,0194	0,0074	0,0006	207,4876	13,0200
PVC (instalações)	1006,9197	100	20	5	4027,6788	495,2764	4,9609	2,4747	0,2020	497,7511	5,1629
Tinta (pintura)	855,9793	100	5,5	18	14551,6481	2203,6822	104,8953	0,0878	0,0072	2203,7700	104,9024
Vidro (esquadrias)	2108,5210	100	20	5	8434,0840	315,0541	16,8597	0,1285	0,0105	315,1826	16,8701
Total					865,0534	9,0237	0,5624	0,0601	0,0049	9,0838	0,5673

Tabela D.2 - Planilha de cálculo do consumo de energia (EM) e emissões (ECO₂M) da manutenção - edificação histórica

Extração e processamento dos materiais						Manutenção total	
Materiais e componentes	Quantidade com perdas (kg)	Vida útil edificação (anos)	Vida útil sistemas (anos)	FR	Quantidade materiais manutenção final (kg)	EM (MJ/UF)	ECO ₂ M (kgCO ₂ /UF)
Água (assentamento e revestimento)	2251,4235	100	40	2,5	3377,1353	0,1364	0,0068
Areia (assentamento e revestimento)	41013,3017	100	40	2,5	61519,9526	62,1100	3,7266
Aço (estrutura)	368,3912	100	50	2	368,3912	26,0347	2,0307
Brita (estrutura)	-	-	-	-	-	-	-
Cal (assentamento e revestimento)	4190,6802	100	13	7,69	28035,6505	169,8273	49,2499
Cerâmica - revestimento (piso)	2376,53	100	13	7,69	15898,9857	96,3088	9,3099
Cerâmica - telha (cobertura)	13502,27	100	13	7,69	90330,1863	984,9228	20,0632
Cerâmica - tijolo (vedação)	15458,29	100	40	2,5	23187,4350	234,0983	7,9593
Cimento (assentamento e revestimento)	-	-	-	-	-	-	-
Cobre (instalações)	-	-	-	-	-	-	-
Fibrocimento (cobertura)	-	-	-	-	-	-	-
Gesso (forro)	-	-	-	-	-	-	-
Impermeabilizante (piso)	-	-	-	-	-	-	-
Madeira - estrutura telhado (cobertura)	3137,32	100	20	5	12549,2800	12,6696	10,1357
Madeira - piso e forro (piso/ forro)	14607,24	100	8	12,5	167983,2600	4612,9679	139,0674
Madeira - esquadrias (esquadrias)	6229,87	100	20	5	24919,4800	100,6339	5,5349
Metal (esquadria)	30,51	100	20	5	122,0400	38,1953	2,5110
Pedra (estrutura / vedação)	524396,9892	100	50	2	524396,9892	1588,2796	105,8853
Plástico (instalações)	-	-	-	-	-	-	-
PVC (instalações)	-	-	-	-	-	-	-
Tinta (pintura)	139,6909	100	5,5	18	2374,7453	359,6283	17,1183
Vidro (esquadrias)	979,0531	100	20	5	3916,2124	146,2896	7,8285
Total					958,9797	8,4321	0,3804

APÊNDICE E – PLANILHAS DE CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA (EP) E EMISSÕES DE CO₂ (ECO₂P) DA ETAPA DE PÓS- USO

Tabela E.1 - Planilha de cálculo do consumo de energia (EP) e emissões (ECO₂P) do pós-uso - edificação contemporânea

Materiais e componentes	Demolição da edificação					Transporte resíduos até a destinação final		Pós - uso total	
	FE demolição (MJ/kg)	FCO ₂ demolição (kgCO ₂ /kg)	ED (MJ/EHU)	ECO ₂ D (kgCO ₂ /EHU)	Distância obra/destinação final (km)	ETr (MJ/EHU)	ECO ₂ Tr (kgCO ₂ /EHU)	EP (MJ/EHU)	ECO ₂ P (kgCO ₂ /EHU)
Água (assentamento e revestimento)	0,0354	0,00247	5,0447	0,3520	13,8	0,9636	0,0846	6,0083	0,4366
Areia (assentamento e revestimento)	0,0354	0,00247	23,4985	1,6396	13,8	4,4886	0,3939	27,9871	2,0335
Aço (estrutura)	0,0354	0,00247	1,6379	0,1143	13,8	0,3129	0,0275	1,9508	0,1417
Brita (estrutura)	0,0354	0,00247	20,3691	1,4212	13,8	3,8909	0,3414	24,2600	1,7627
Cal	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cerâmica - revestimento (piso)	0,0354	0,00247	4,0130	0,2800	13,8	0,7666	0,0673	4,7796	0,3473
Cerâmica - telha (cobertura)	0,0354	0,00247	4,3657	0,3046	13,8	0,8339	0,0732	5,1996	0,3778
Cerâmica - tijolo (vedação)	0,0354	0,00247	16,8937	1,1787	13,8	3,2270	0,2832	20,1207	1,4619
Cimento (assentamento e revestimento)	0,0354	0,00247	8,6155	0,6011	13,8	1,6457	0,1444	10,2612	0,7456
Cobre (instalações)	0,0354	0,00247	0,0018	0,0001	13,8	0,0003	0,0000	0,0021	0,0002
Fibrocimento (cobertura)	0,0354	0,00247	1,1422	0,0797	13,8	0,2182	0,0191	1,3603	0,0988
Gesso (forro)	0,0354	0,00247	0,5190	0,0362	13,8	0,0991	0,0087	0,6181	0,0449
Impermeabilizante (piso)	0,0354	0,00247	0,0344	0,0024	13,8	0,0066	0,0006	0,0409	0,0030
Madeira - estrutura telhado (cobertura)	0,0354	0,00247	3,4111	0,2380	13,8	0,6516	0,0572	4,0627	0,2952
Madeira - piso e forro (piso/ forro)	0,0354	0,00247	3,4263	0,2391	13,8	0,6545	0,0574	4,0808	0,2965
Madeira - esquadrias (esquadrias)	0,0354	0,00247	0,3112	0,0217	13,8	0,0594	0,0052	0,3706	0,0269
Metal (esquadria)	0,0354	0,00247	0,0459	0,0032	13,8	0,0088	0,0008	0,0547	0,0040
Pedra (piso)	0,0354	0,00247	1,6616	0,1159	13,8	0,3174	0,0279	1,9790	0,1438
Plástico (instalações)	0,0354	0,00247	0,0956	0,0067	13,8	0,0183	0,0016	0,1139	0,0083
PVC (instalações)	0,0354	0,00247	0,3599	0,0251	13,8	0,0687	0,0060	0,4286	0,0311
Tinta (pintura)	0,0354	0,00247	1,1013	0,0768	13,8	0,2104	0,0185	1,3117	0,0953
Vidro (esquadrias)	0,0354	0,00247	0,7536	0,0526	13,8	0,1439	0,0126	0,8975	0,0652
Total			0,0973	0,0068	-	0,0186	0,0016	0,1159	0,0084

Tabela E.2 - Planilha de cálculo do consumo de energia (EP) e emissões (ECO₂P) do pós-uso - edificação histórica

Demolição da edificação			Pós - uso total	
Materiais e componentes	Fator energia demolição (MJ/kg)	Fator CO ₂ demolição (kgCO ₂ /kg)	ED (MJ/EHU)	ECO ₂ D (kgCO ₂ /EHU)
Água (assentamento e revestimento)	0,0354	0,00247	0,4023	0,0281
Areia (assentamento e revestimento)	0,0354	0,00247	7,3290	0,5114
Aço (estrutura)	0,0354	0,00247	0,0527	0,0037
Brita (estrutura)	-	-	-	-
Cal (assentamento e revestimento)	0,0354	0,00247	2,3035	0,1607
Cerâmica - revestimento (piso)	0,0354	0,00247	1,3063	0,0911
Cerâmica - telha (cobertura)	0,0354	0,00247	7,4218	0,5179
Cerâmica - tijolo (vedação)	0,0354	0,00247	2,7624	0,1927
Cimento (assentamento e revestimento)	-	-	-	-
Cobre (instalações)	-	-	-	-
Fibrocimento (cobertura)	-	-	-	-
Gesso (forro)	-	-	-	-
Impermeabilizante (piso)	-	-	-	-
Madeira - estrutura telhado (cobertura)	0,0354	0,00247	1,1213	0,0782
Madeira - piso e forro (piso/ forro)	0,0354	0,00247	13,0514	0,9106
Madeira - esquadrias (esquadrias)	0,0354	0,00247	2,2265	0,1554
Metal (esquadria)	0,0354	0,00247	0,0109	0,0008
Pedra (estrutura / vedação)	0,0354	0,00247	74,9668	5,2307
Plástico (instalações)	-	-	-	-
PVC (instalações)	-	-	-	-
Tinta (pintura)	0,0354	0,00247	0,1797	0,0125
Vidro (esquadrias)	0,0354	0,00247	0,3499	0,0244
Total			0,1135	0,0079

ANEXO A – CADASTRO PATRIMÔNIO HISTÓRICO CASA FRIEDRICH

Ficha M301 – Cadastro de bens				
MÓDULO CADASTRO				
1. IDENTIFICAÇÃO				
1.1. Recorte Territorial				
Região Sul do Brasil, Estado do Rio Grande do Sul, Vale do Sinos – Novo Hamburgo – Unidade Individual				
1.2. Recorte Temático				
Imigração Alemã no Sul do Brasil				
1.3. Identificação do Bem				1.4. Código identificador geral
Casa Friedrich				
2. LOCALIZAÇÃO DO UNIVERSO/ OBJETO DE ANÁLISE				
2.1.UF	2.2.Município	2.3.Localidade		
RS	Novo Hamburgo	Bairro Guarani		
2.4.Endereço Completo				2.5.Código Postal
Rua Germano Friedrich, 55 (Cód. Localização: 27.063.0300)				
2.6.Coordenadas Geográficas		3.PROPRIEDADE		
Latitude		3.1. Identificação do Proprietário		
Longitude		X Privada	Odilo Friedrich	
Altitude [m]		Mista	3.2. Cômodos	
Erro Horiz. [m]		Outra	Odilo Friedrich	
4. NATUREZA DO BEM		5. CONTEXTO		6. PROTEÇÃO EXISTENTE
<input type="checkbox"/> Bem arqueológico		Rural		Patrimônio mundial
<input type="checkbox"/> Bem paleontológico		X Urbano		Federal/ individual
<input type="checkbox"/> Patrimônio natural		Entorno preservado		Federal/ conjunto
X <input checked="" type="checkbox"/> Bem imóvel		Entorno alterado		Estadual/ individual
<input type="checkbox"/> Bem móvel		Forma conjunto		Estadual/ conjunto
<input type="checkbox"/> Bem integrado		Bem isolado		Municipal/ individual
4.1 Classificação				Municipal/ conjunto
Arquitetura e patrimônio Histórico e Ambiental				
Museu Familiar / Memória da Vida Colonial				Entorno de bem protegido
				Entorno de bem protegido
8. ESTADO DE PRESERVAÇÃO		9. ESTADO DE CONSERVAÇÃO		6.1. Tipo/ legislação incidente
X <input checked="" type="checkbox"/> íntegro		X <input checked="" type="checkbox"/> Bom		X Nenhuma
<input type="checkbox"/> Pouco alterado		<input type="checkbox"/> Precário		
<input type="checkbox"/> Muito alterado		<input type="checkbox"/> Em arruinamento		
<input type="checkbox"/> Descaracterizado		<input type="checkbox"/> Arruinado		
				7.1 Tipo/ legislação incidente
10. IMAGENS				
				
Fachada frontal				
11. DADOS COMPLEMENTARES				
11.1. Informações Históricas				
<p>O Casarão Friedrich origina-se na antiga Colônia nº 30, destinada ao imigrante alemão Georg Michael Renck. Para sua moradia, este construiu um sobrado em pedra grês, aparelhadas e rejuntadas com barro, sem cimento nem ferro. Da mesma forma foi edificado o prédio da atafona, destinada a beneficiar a produção de mandioca em farinha. Trata-se de um dos mais belos conjuntos arquitetônicos luso-açorianos do Estado, erguido por volta de 1845. O acervo de maquinaria, equipamentos, ferramentas de trabalho e afins, preservado desde então e devidamente restaurado e organizado, permite uma visão didática do que foi uma unidade de produção agrícola colonial, durante os séculos XIX e XX. Em conjunto com a senzala, estabulo, aviário, mangueira de taipa, animais e plantas, facilitam entender melhor e inferir o modo de vida e de trabalho, os saberes, formas de expressão e tecnologias das famílias de alemães e de seus descendentes, chegados ao Rio Grande do Sul a partir de 1824/25. Desde 1887 o casarão está em poder da família Friedrich.</p> <p>Histórico obtido através do cartão postal do museu.</p>				
11.2. Outras informações				



Ficha M301 – Cadastro de bens




MÓDULO CADASTRO

1. IDENTIFICAÇÃO		
1.1. Recorte Territorial		
Região Sul do Brasil, Estado do Rio Grande do Sul, Vale do Sinos – Novo Hamburgo – Unidade Individual		
1.2. Recorte Temático		
Imigração Alemã no Sul do Brasil		
1.3. Identificação do Bem		1.4. Código Identificador Iphan
Casa Friedrich		
<p>Uma casa de alvenaria assobradada, mais galpões e benfeitorias e o respectivo terreno situado no Bairro Guarani, no quarteirão formado pelas ruas Demétrio Ribeiro, Fernando de Noronha, pela estrada Estadual RS-239 e Estrada Germano Friedrich, com área de 65.358,95m², medindo 413,90m de frente ao oeste para a Estrada Germano Friedrich, lado ímpar, 156,84m de frente ao sul para a Demétrio Ribeiro, formando esquina, 90,73m ao norte confrontando com imóvel da CEEE, sendo a face leste constituída de linha quebrada que, partindo da frente sul, segue em direção ao norte por 222,77m, forma ângulo e segue por 86,84m em direção leste, forma novo ângulo e segue por 107,06m em direção norte, confrontando nessas faces com imóvel do município de Novo Hamburgo, desse ponto segue em direção oeste por 49,62m, forma ângulo e segue em direção noroeste por 114,13m até encontrar a face norte, confrontando nessas extensões com imóvel do casal Niveo Leopoldo Friedrich. Código de Localização Nº 27.63.300 – Matrícula nº 86.615.</p>		
12. PREENCHIMENTO		
12.1. Entidade	Prefeitura de Novo Hamburgo	12.2. Data
12.3. Responsável	Hannelore Roeben Tesomer - CAU A6718-0	Maior 2013



Ficha M302 – Bem Imóvel/ Arquitetura

MÓDULO CADASTRO

1. IDENTIFICAÇÃO					
1.1. Recorte Territorial					
Região Sul do Brasil, Estado do Rio Grande do Sul, Vale do Sinos - Novo Hamburgo - Unidade Individual					
1.2. Recorte Temático					
Imigração Alemã no Sul do Brasil					
1.3. Identificação do Bem					1.4. Código Identificador Urban
Casa Friedrich			Germano Friedrich, 55		
2. PLANTA/ CROQUI IMPLANTAÇÃO NO TERRENO			3. IMAGENS/ CROQUIS DAS FACHADAS		
			 <p>Fachada frontal</p>  <p>Fachada dos fundos</p>		
4. TIPOLOGIA		5. EPOCA/ DATA DA CONSTRUÇÃO		6. TOPOGRAFIA DO TERRENO	
<input checked="" type="checkbox"/> Religiosa <input checked="" type="checkbox"/> Civil <input type="checkbox"/> Oficial <input type="checkbox"/> Militar <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Ferroviária <input type="checkbox"/> Outra		8. USO ORIGINAL Residencial		<input checked="" type="checkbox"/> Plano <input type="checkbox"/> Em aclive <input type="checkbox"/> Em declive <input type="checkbox"/> Inclinado <input type="checkbox"/> Acidentado	
		9. USO ATUAL		7. PAVIMENTOS	
		Residencial e Museu		Acima da rua (n°) 1 Abaixo da rua (n°) - Sótão <input checked="" type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não Porão <input type="checkbox"/> sim <input checked="" type="checkbox"/> não Outros	
11. OBSERVAÇÕES					
10. MEDIDAS GERAIS DA EDIFICAÇÃO [m]					
			Altura fachada frontal		Altura da cumeeira
			Altura fachada posterior		Altura total
			Largura		Pé direito térreo
			Profundidade		Pé direito tipo
12. FOTOS E ILUSTRAÇÕES DE DETALHES IMPORTANTES					
 <p>Senzala</p>		 <p>Estrebaria</p>		 <p>Visão dos fundos com visual da senzala</p>	
 <p>Engenho de cana</p>					



SICG . Sistema Integrado de Conhecimento e Gestão
 Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - Ministério da Cultura

Ficha M302 – Bem Imóvel/ Arquitetura

MÓDULO CADASTRO

1. IDENTIFICAÇÃO			
1.1. Recorte territorial			
Região Sul do Brasil, Estado do Rio Grande do Sul, Vale do Sinos - Novo Hamburgo – Unidade Individual			
1.2. Recorte temático			
Imigração Alemã no Sul do Brasil			
1.3. Identificação do Bem			1.4. Código identificador Ighis
Casa Friedrich			Germano Friedrich, 55
			
	Detalhe porta principal dos fundos	Detalhe janela da senzala	
			
Pia de areito	Vista lateral da casa principal	Caminho entre casa e senzala	Vista estrebeira
13. BREVE DESCRIÇÃO ARQUITETÔNICA			
13.1. Paredes externas			
Estrutura portante de tijolos. Alvenaria rebocada.			
13.2. Cobertura			
Predios tem cobertura em duas águas com telhas canal.			
13.3. Aberturas e elementos integrados			
Portas principais de madeira trabalhadas com almofadas e bandeiras com vidro. Janelas duplas com madeira trabalhada com almofadas externas no terreo e janela com caixilhos de vidro interna. No segundo pavimento a ordem foi invertida. Vidro por fora e madeira por dentro.			
14. INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES			
O conjunto dos predios esta em ótimo estado de conservação.			
15. LEVANTAMENTO ARQUITETÔNICO EXISTENTE			
15.1. Planta	15.2. Escala	15.3. Localização e base disponível	15.4. Data
16. OUTROS LEVANTAMENTOS/ BASES DE DADOS			
16.1. Tipo	16.2. Quant.	16.3. Autoria, localização e base disponível	16.4. Data
Fotografias		Arlete Herbert e Andréa Schütz	
17. FONTES BIBLIOGRÁFICAS E DOCUMENTAIS			
18. PREENCHIMENTO			
18.1. Entidade	Prefeitura Municipal de Novo Hamburgo	18.2. Data	
18.3. Responsável	Hannelore Roeben Testmer – Arquitea e Urbanista OAU 17.804-1		Junho de 2012



Ficha M303 – Bem Imóvel/Arquitetura















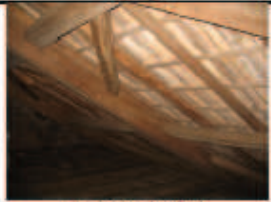

MÓDULO CADASTRO

1. IDENTIFICAÇÃO		
1.1. Recorte territorial		
Região Sul do Brasil, Estado do Rio Grande do Sul, Vale do Sinos - Novo Hamburgo - Unidade Individual		
1.2. Recorte temático		
Imigração Alemã no Sul do Brasil		
1.3. Identificação do bem		1.4. Código identificador iphan
Casa Friedrich		Germano Friedrich, 55
2. CÔMODOS		3. PLANTA/ CROQUI DE PLANTA BAIXA
2.1. Uso original	2.2. Uso atual	
01		
02		
03		
04		
05		
06		
07		
08		
09		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
4. DIVISÓRIAS		
4.1. Tipo/material	4.2. Cômodos	4.3. Acabamentos
5. PISOS		
5.1. Tipo/material	5.2. Cômodos	5.3. Acabamentos
6. FORROS		
6.1. Tipo/material	6.2. Cômodos	6.3. Acabamentos
7. OBSERVAÇÕES		
8. BENS MÓVEIS E INTEGRADOS DE INTERESSE		
9. SELEÇÃO DE IMAGENS DO INTERIOR E DETALHES		



Ficha M303 – Bem Imóvel/ Arquitetura

MÓDULO CADASTRO

1. IDENTIFICAÇÃO			
1.1. Recorte territorial			
Região Sul do Brasil, Estado do Rio Grande do Sul, Vale do Sinos - Novo Hamburgo - Unidade Individual			
1.2. Recorte temático			
Imigração Alemã no Sul do Brasil			
1.3. Identificação do Bem		1.4. Código Identificador Iphan	
Casa Friedrich		Germano Friedrich, 55	
			
Hall de entrada	Detalhe porta principal	Vista interna do dormitório	Vista interna estrebaria
			
Detalhe bandeira da porta e foro	Sotão casa Friedrich	Vista interna da senzala	Detalhe do telhado da senzala
			
Detalhe do telhado da senzala	Vista da janela da senzala	carroça	Escada interna da senzala
			
Atafona	Vista da porta da estrebaria	Vista interna do telhado	Vista sotão
18. PREENCHIMENTO			
18.1. Entidade	Prefeitura Municipal de Novo Hamburgo	18.2. Data	
18.3. Responsável	Hannelore Roeben Tessmer – Arquiteta E Urbanista CAU A6718-0	Junho 2012	



SICG - Sistema Integrado de Conhecimento e Gestão
 Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - Ministério da Cultura