

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Bibiana Noschang da Silva

**REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DEVIDO AO EMPREGO
DE MATERIAIS ALTERNATIVOS: CASA POPULAR EFICIENTE**

Santa Maria, RS
2017

Bibiana Noschang da Silva

**REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DEVIDO AO EMPREGO DE MATERIAIS
ALTERNATIVOS: CASA POPULAR EFICIENTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Alberto Óss Vaghetti

Santa Maria, RS
2017

Bibiana Noschang da Silva

***REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DEVIDO AO EMPREGO DE MATERIAIS
ALTERNATIVOS: CASA POPULAR EFICIENTE***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Civil**.

Aprovado em ... de Julho de 2017:

Marcos Alberto Óss Vaghetti, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Denis Rasquin Rabenschlag, Dr. (UFSM)

Ana Laura Felkl Cassiminho, Ma. (UFSM)

Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre foram o meu porto seguro e a minha maior fonte de força, tranquilidade e inspiração. Sem o seu amor, amizade e cuidado, essa graduação não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Palavras não podem descrever o sentimento de gratidão que tenho por meus pais, Gelsa e Derly, que sempre me incentivaram, me compreenderam, me amaram e me apoiaram incondicionalmente ao longo da minha vida. Mesmo frente às maiores dificuldades, sempre me fizeram acreditar que eu seria capaz de superar todos os desafios que transpusessem o meu caminho. A vocês, todo o meu amor, carinho, respeito e gratidão.

Às minhas irmãs, Anna e Cris, toda a minha gratidão, por estarem sempre do meu lado a todos os momentos, por serem minhas manas amadas e pelo amor, amizade e apoio de sempre. Eu me considero uma pessoa de muita sorte por tê-las na minha vida.

À minha namorada, Susana, por ser a melhor dupla de vida que eu poderia ter e por toda a paciência, o carinho e o amor de sempre. Também por todo o auxílio e apoio durante esses anos de faculdade e, em especial, durante a realização deste trabalho. A toda a minha família, pelo amor, pelo carinho e pela torcida.

A todos os meus amigos, por me inspirarem a buscar ser uma pessoa melhor e por compreenderem a minha ausência.

A todos os irmãos que a Engenharia me trouxe, em especial à Renata, ao André, à Marie, à Jay, ao Felipe e à Bárbara, toda a minha gratidão por terem tornado esses anos muito mais leves e alegres. Também, pela amizade que, tenho certeza, é para toda a vida e por todas as madrugadas de *raves* de projetos e estudos que vencemos juntos.

Ao meu orientador Marcos Alberto Óss Vaghetti, pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho e pela confiança em mim depositada. Também por todo o auxílio, a atenção e os ensinamentos.

À Construtora Jobim e ao Gustavo Jobim, pela inestimável oportunidade de trabalhar com execução de grandes obras a mim concedida.

Ao Engenheiros Roger Ciocari Machado e Felipe Parcianello e ao Mestre de Obras e Técnico em Edificações Giuliano Teixeira, por terem acreditado em minha capacidade de realizar as tarefas solicitadas e pelos ensinamentos valiosos.

Finalmente, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que a conclusão do curso de Engenharia Civil.

RESUMO

REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DEVIDO AO EMPREGO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS: CASA POPULAR EFICIENTE

AUTORA: Bibiana Noschang da Silva
ORIENTADOR: Marcos Alberto Óss Vaghetti

O dióxido de carbono é um dos principais responsáveis pelo aumento da intensidade do efeito estufa e, conseqüentemente, pelas mudanças climáticas e pela degradação ambiental do nosso planeta, decorrentes do aumento de sua concentração na atmosfera terrestre. Sendo construção civil um dos setores mais poluentes da indústria brasileira, respondendo por 7,9% das emissões de CO₂, o cuidado na especificação de materiais com menores emissões associadas pode contribuir para a redução dessas emissões. Por este motivo, esta pesquisa buscou mensurar os danos evitados pelo emprego de materiais alternativos e estabelecer materiais de construção menos agressivos ao meio ambiente, em termos de emissão de CO₂. Para tanto, foram comparadas as quantificações das emissões de CO₂ de materiais da Casa Popular Eficiente, e de materiais comumente empregados em residências populares, utilizando o Método QE-CO₂, de autoria de Costa (2012), que considera as fases de extração de matérias-primas, transporte e produção de materiais empregados na construção civil. Os resultados obtidos permitiram constatar que a escolha por materiais alternativos, em detrimento dos materiais utilizados tradicionalmente em casas populares, gera benefícios expressivos em termos de redução de emissões CO₂.

Palavras-chave: Construção Civil. Sustentabilidade. Emissões de CO₂.

ABSTRACT

REDUCTION OF CO₂ EMISSIONS DUE TO EMPLOYMENT OF ALTERNATIVE MATERIALS: CASA POPULAR EFICIENTE

AUTHOR: Bibiana Noschang da Silva
ADVISOR: Marcos Alberto Óss Vaghetti

Carbon dioxide is one of the main factors responsible for the increase in the intensity of the greenhouse effect and, consequently, for the climate changes and the environmental degradation of our planet, due to the increase of its concentration in the terrestrial atmosphere. As civil construction is one of the most polluting sectors of the Brazilian industry, accounting for 7.9% of CO₂ emissions, a careful specification of materials with lower associated emissions can contribute to the reduction of these emissions. For this reason, this research sought to measure the damages avoided by the use of alternative materials and to establish construction materials less aggressive to the environment, in terms of CO₂ emissions. In order to do so, the quantification of CO₂ emissions from Casa Popular Eficiente materials and materials commonly used in popular homes were compared using the QE-CO₂ Method, by Costa (2012), which considers the extraction phases of materials, transportation, and production of materials used in construction. The results obtained showed that the choice of alternative materials, to the detriment of materials traditionally used in popular houses, generates significant benefits in terms of reducing CO₂ emissions.

Keywords: Civil Construction. Sustainability. CO₂ Emissions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do desenvolvimento do Método QE-CO ₂	50
Figura 2 – Planta Baixa da CPE– escala livre	63
Figura 3 – Corte BB – escala livre.	64
Figura 4 – Corte AA – escala livre.	64
Figura 5 – Fachada frontal da Casa Popular Eficiente	65
Figura 6 – Fachada lateral da Casa Popular Eficiente	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos fatores de perda (FP) de materiais na obra, em (%)	52
Tabela 2 - Relação dos fatores de emissão FEP_j (calculados para a cidade do Rio de Janeiro, no Nível Básico- válido para estimativas de emissões de CO_2 em todo o Brasil)	55
Tabela 3 - Resumo dos fatores de emissão (FE) e de emissão corrigido (FEC) dos energéticos, no Nível Básico (respectivamente colunas "B", "E" e "F", "G")	60
Tabela 4 - Resumo do consumo médio de combustíveis de meios de transporte (CO_t).....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Os erros mais comuns em estratégias de seleção de produtos para projetos mais sustentáveis.....	42
Quadro 2 - Quantificação das emissões de CO ₂ da Casa Popular Eficiente.....	68
Quadro 3 - Apresentação dos fatores de perda (FP) e de emissão de CO ₂ (FEP) devido à utilização de determinado produto na Casa Popular Eficiente.....	68
Quadro 4 - Relação de fatores de perda (FP) adotados na CPE e suas respectivas fontes.....	69
Quadro 5 - Cálculo do fator de emissão (FEP) das telhas ecológicas (para a cidade de Santa Maria, no Nível Básico do Método QE-CO ₂)	70
Quadro 6 - Emissões de CO ₂ das telhas Tetra Pak em razão do transporte, em tCO ₂ /t produto acabado.....	70
Quadro 7 - Emissões de CO ₂ das telhas Tetra Pak devido ao consumo de energia, em tCO ₂ /t produto acabado.....	71
Quadro 8 – Quantificação das emissões de CO ₂ da segunda alternativa de residência popular.....	72
Quadro 9 - Apresentação dos fatores de perda (FP) e de emissão de CO ₂ (FEP) devido à utilização de determinado produto na segunda alternativa de residência popular.....	72
Quadro 10 - Relação de fatores de perda (FP) adotados para os materiais da segunda alternativa de casa popular e suas respectivas fontes.....	73
Quadro 11 - Comparação entre as emissões dos materiais alternativos da CPE e as dos materiais convencionais da outra alternativa de residência popular, sem levar em consideração o fator de perda (FP) de cada material.....	74
Quadro 12 - Comparação entre as emissões dos materiais alternativos da CPE e as dos materiais convencionais da outra alternativa de moradia popular, desconsiderando-se os fatores de perda (FP) dos materiais.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Aqua	Alta Qualidade Ambiental
ASBEA	Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology
CaCO ₃	Calcário
CaO	Cal virgem
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CBIC	Câmara Brasileira da Construção
CH ₄	Metano
CPE	Casa Popular Eficiente
CO ₂	Dióxido de carbono
FEC	Fator de Emissão Corrigido
FEP	Fator de Emissão do Produto
FP	Fator de Perda
GEE	Gases de Efeito Estufa
H ₂ O	Vapor d'água
HQE	Haute Qualité Environnemental
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
LEED	Liderança em Energia e Design Ambiental
mppc	mudanças dos padrões de produção e consumo
NBR	Norma Brasileira
N ₂ O	Óxido Nitroso
O ₃	Ozônio
ONU	Organização das Nações Unidas
OSB	Oriented Strand Board
PVC	Polyvinyl chloride
RS	Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WRI	World Resources Institute

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	14
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	JUSTIFICATIVA.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	EFEITO ESTUFA.....	16
2.1.1	Gases de efeito estufa	17
2.1.2	CO₂	18
2.2	AQUECIMENTO GLOBAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	19
2.3	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	22
2.4	A CONSTRUÇÃO CIVIL E O MEIO AMBIENTE.....	27
2.4.1	Emissões de CO₂ da Construção Civil	28
2.4.2	Materiais e geração de CO₂	30
2.5	CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	32
2.5.1	A Construção Sustentável no Brasil	34
2.5.2	Necessidade de visão sistêmica	35
2.5.3	Necessidade de inovação na Construção Civil	37
2.5.4	Edificações Sustentáveis	38
2.5.5	A especificação de materiais	40
3	METODOLOGIAS DE QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE	45
3.1	INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE.....	45
3.2	NORMAS E PROTOCOLOS.....	46
3.2.1	2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories	46
3.2.2	GHG Protocol	47
3.2.3	ISO 14064	47
3.3	SOFTWARES DE CÁLCULO DE IMPACTOS E DE COMPARAÇÃO AMBIENTAL ENTRE DIFERENTES MATERIAIS.....	48
3.3.1	2006 IPCC Software for National Greenhouse Gas Inventories	48
3.3.2	Planilhas da UNFCCC	48
3.3.3	Athena Ecocalculator	49
3.4	MÉTODO QE-CO ₂	49
3.4.1	Fórmula Geral	50
3.4.2	Dados Disponíveis na Literatura	51
3.4.3	Dados Calculados	52
3.4.4	Método QE-CO₂ no Nível Básico	53
3.4.5	Método QE-CO₂ no Nível Intermediário	55
3.4.6	Método QE-CO₂ no Nível Avançado	56
3.4.7	Materiais Analisados	56
3.4.8	Setor de Energia no Nível Básico do Método QE-CO₂	57
3.4.9	Setor de Transporte no Nível Básico do Método QE-CO₂	61
4	QUANTIFICAÇÕES DE EMISSÕES DE CO₂, RESULTADOS E ANÁLISES	63
4.1	APRESENTAÇÃO DA CASA POPULAR EFICIENTE	63
4.2	QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DA CASA POPULAR EFICIENTE UTILIZANDO O NÍVEL BÁSICO DO MÉTODO QE-CO₂	67

4.3	QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE ALTERNATIVA DE MORADIA POPULAR CONSIDERANDO O EMPREGO DE MATERIAIS CONVENCIONAIS.....	71
4.4	COMPARAÇÃO ENTRE AS EMISSÕES DOS MATERIAIS CONVENCIONAIS E AS DOS MATERIAIS ALTERNATIVOS.....	73
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
6	REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As mudanças climáticas são consideradas um dos mais graves problemas ambientais deste século. Nos últimos 100 anos, registrou-se um acréscimo de aproximadamente 1 grau centígrado na temperatura média da Terra. A causa desse problema é o efeito estufa, que, por sua vez, está relacionado ao aumento da concentração, na atmosfera da Terra, de determinados gases, principalmente o dióxido de carbono (CO₂), o metano e o óxido nitroso. (LOPES, 2002). Segundo o IPCC (2007), *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), grupo designado pela ONU com mais de 2 mil cientistas, dos três principais gases de efeito estufa liberados em decorrência da ação humana no mundo, 76,7% corresponde à emissão de CO₂.

O dióxido de carbono é, portanto, um dos principais responsáveis pelo aumento da intensidade do efeito estufa. Sendo assim, é um dos grandes responsáveis pelas mudanças climáticas e pela degradação ambiental do nosso planeta, decorrentes do aumento de sua concentração na atmosfera terrestre. (PEREIRA, 2014).

A construção civil é um dos setores mais poluentes da indústria brasileira. (PEREIRA, 2014). Ainda segundo o relatório do IPCC (2007), 7,9% das emissões de CO₂ acontecem devido à construção civil.

Por este motivo, esta pesquisa visa estabelecer materiais de construção menos agressivos ao meio ambiente. Espera-se, com isto, facilitar e incentivar a escolha por materiais menos poluentes, por parte de profissionais da construção civil, e, assim, contribuir para a redução das emissões de CO₂ à atmosfera e, conseqüentemente, ajudar na prevenção de impactos ambientais gerados por essas emissões.

Para atingir todos os objetivos deste trabalho, serão feitas duas quantificações: a primeira calculará as emissões de CO₂ devido ao emprego de materiais alternativos na construção da Casa Popular Eficiente (CPE), enquanto a segunda quantificará as emissões de CO₂ devido à construção de uma casa de mesmas dimensões que esta, porém construída com materiais mais amplamente utilizados na construção de casas populares brasileiras. A partir dos resultados destes cálculos, será feita uma

comparação que apontará quais são os materiais menos poluentes em termos de emissões de CO₂.

Neste trabalho, serão quantificadas as emissões de CO₂ dos seguintes materiais utilizados na CPE: tijolos de solo-cimento, telha ecológica Tetra Pak, forro de OSB (Oriented Strand Board), piso de PVC reciclado e esquadrias de Eucalyptus Grandis. Da mesma forma, serão quantificadas as emissões de materiais comumente empregados em habitações populares brasileiras, com a finalidade de fazer uma comparação entre as emissões dos materiais. Assim, adotou-se os seguintes materiais convencionais: tijolos de cerâmica, telhas francesas (de cerâmica), forro de PVC e esquadrias de alumínio. Além disso, serão quantificadas as emissões de materiais comuns às fundações das duas alternativas de habitações populares: o cimento, o aço, os agregados graúdos e os agregados miúdos contidos no radier, para que seja possível o cálculo da participação da infraestrutura da casa nas emissões totais de CO₂ da mesma.

As quantificações serão feitas através do Método QE-CO₂, de autoria de Costa (2012). Esta metodologia foi a escolhida para este trabalho, dentre as várias pesquisadas, porque considera as fases de extração de matérias-primas, transporte e produção de materiais empregados na construção civil, além de ser adaptada à realidade brasileira.

Assim, a apresentação do Método QE-CO₂ e as quantificações realizadas neste trabalho facilitarão a escolha por materiais que possuem menores emissões associadas, dentre os materiais analisados. A abordagem do método facilita a realização de novas quantificações que possam servir de base para melhores escolhas ambientais no processo da especificação de materiais.

A apresentação do Método QE-CO₂ e as quantificações realizadas neste trabalho visam identificar, dentre os materiais analisados, aqueles que possuem menores emissões de CO₂ associadas. Os resultados obtidos por meio das quantificações dos materiais utilizados na Casa Popular Eficiente da UFSM e da comparação com os materiais convencionais permitirão avaliar os benefícios da escolha de materiais alternativos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como principal objetivo mensurar os danos evitados pelo emprego de materiais alternativos na construção da Casa Popular Eficiente.

1.2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral deste estudo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Quantificar as emissões de CO₂ geradas na extração, produção e transporte dos materiais empregados na Casa Popular Eficiente

- Quantificar as emissões de CO₂ geradas na extração, produção e transporte dos materiais mais comumente empregados na construção civil;

- Fazer uma análise comparativa entre os materiais utilizados na construção da Casa Popular Eficiente e os materiais mais largamente empregados na Construção Civil, indicando quais são os menos poluentes.

1.3 JUSTIFICATIVA

O tema deste trabalho está vinculado à necessidade de se estabelecer, dentre uma determinada gama de materiais, quais são os menos poluentes em relação às emissões de CO₂ à atmosfera, considerando as fases de extração, produção e transporte dos materiais. A escolha por este tema se justifica pela necessidade de alertar a classe dos Engenheiros Civis e Arquitetos e Urbanistas em relação à responsabilidade ambiental que tem ao projetar e especificar materiais e sistemas estruturais para suas edificações.

A pesquisa é justificada academicamente pela carência de materiais publicados acerca do assunto. Nesse sentido, o trabalho proposto também é importante na medida em que fornece dados que podem ser utilizados no grupo de pesquisa GEPETECS. Além disso, é de interesse pessoal da autora ampliar os conhecimentos referentes à temática da sustentabilidade aplicada à engenharia civil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EFEITO ESTUFA

O sol emite energia na forma de luz e radiação para a Terra. A superfície terrestre absorve a maior parte dessa energia, que é então irradiada para a atmosfera sob a forma de calor. Elementos presentes na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂), o vapor d'água (H₂O) e as nuvens, absorvem radiação infravermelha e a reirradiam para a superfície da Terra, fazendo com que parte desse calor fique retido na troposfera. (MATTOS e GRANATO, 2010; DIAS, 2002).

Esse fenômeno se chama efeito estufa e é responsável por manter a atmosfera cerca de 30°C mais aquecida. Sem ele, a Terra apresentaria uma temperatura média de -18°C, ao invés de 15°C, como apresenta atualmente. (DIAS, 2002; DOW e DOWNING, 2007; MATTOS e GRANATO, 2010).

Logo, o efeito estufa é um fenômeno natural que capta e retém parte do calor do sol e, assim, possibilita a vida na Terra. Sem ele, grandes extensões do planeta estariam cobertas por gelo e os seres humanos e outras formas de vida não sobreviveriam. (BNDES, 1999; DOW e DOWNING, 2007; MATTOS e GRANATO, 2010).

O problema é a ampliação do efeito estufa, provocada pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, principalmente CO₂, metano e óxido nitroso. Quanto maior o número de moléculas desses gases, maior será a quantidade de calor retido na atmosfera. (DIAS, 2002; MATTOS e GRANATO, 2010; ROTHSCHILD, 2007). Segundo a cartilha do BNDES (1999, p. 6) sobre Efeito Estufa e a Convenção Sobre Mudança do Clima, "O aquecimento total depende da relação entre a magnitude do aumento da concentração de cada gás associado ao efeito estufa, de suas propriedades radiativas e de suas concentrações já presentes na atmosfera. "

Deste modo, toda e qualquer alteração nas concentrações de GEE e no balanço radiativo do planeta tenderá a modificar as temperaturas atmosféricas e oceânicas. Como consequência, modificará também seus padrões de circulação e tempo, bem como o ciclo hidrológico. (BNDES, 1999).

Nas últimas décadas, a intensificação do efeito estufa vem causando um incremento da temperatura média da Terra e diversas alterações associadas ao clima. (Dow e Downing 2007). Dentre os adversos impactos já sinalizados e perceptíveis, “há um consenso de que o efeito estufa, por ter a capacidade de modificar o clima global e de provocar mudanças profundas nas dinâmicas ecológicas, econômicas, sociais, políticas, dentre outras, é o componente mais dramático”. (DIAS, 2002, p.58).

2.1.1 Gases de efeito estufa

A atmosfera é formada por uma mistura de gases: o nitrogênio (N_2) e o oxigênio (O_2), que, em conjunto, somam 99% da totalidade; o dióxido de carbono (CO_2), o ozônio (O_3), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), que, juntamente com o vapor d'água (H_2O) e alguns gases minoritários formam o 1% restante. Estes últimos naturalmente constituem os chamados gases de efeito estufa (GEE) e recebem tal nome por apresentarem a propriedade de reter calor, da mesma forma que o revestimento de uma estufa sob a incidência do sol. (BNDES, 1999).

Em relação aos gases de efeito estufa, Dow e Downing (2007, p.15) explicam que

São os gases presentes na atmosfera, naturais ou antropogênicos, que absorvem e emitem radiação com comprimentos de onda específicos em um espectro de radiação de ondas longas emitidas pela superfície da Terra, pela atmosfera e pelas nuvens. Essa propriedade causa o efeito estufa.

Cabe mencionar que alguns GEE permanecem na atmosfera por apenas alguns dias, enquanto outros podem ficar por anos, décadas, séculos e até milênios. Existem mecanismos naturais poderosos para remoção dos GEE da atmosfera. Todavia, mais gases estão sendo liberados do que absorvidos pelos sistemas naturais. (DIAS, 2002).

O dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso são os contribuintes gasosos que mais têm sido discutidos. Entretanto, é importante dar atenção prioritária ao gás que mais contribui para intensificação do efeito estufa: o dióxido de carbono, uma vez que o volume de suas emissões para a atmosfera representa cerca de 55% do total das emissões de GEE e o tempo de sua permanência na atmosfera é de pelo menos 10 décadas. (BNDES, 1999).

2.1.2 CO₂

De acordo com Dias (2002), o gás carbônico é um composto comum no planeta: está presente, em quantidades imensas, nos solos, em rochas carbonatadas, dissolvido na água oceânica e na atmosfera. Na Terra, todos os seres vivos participam do ciclo do carbono, que inicia com a extração do gás carbônico do ar pelas plantas e algas que o decompõem em carbono e oxigênio. Enquanto o oxigênio é liberado para a atmosfera em sua forma molecular (O₂), o carbono é incorporado à biomassa das plantas e algas, formando carboidratos. Ainda, sobre o ciclo do carbono, o autor explica que:

A biomassa se oxida e retorna o gás carbônico para a atmosfera ou armazena o carbono orgânico no solo, nas rochas ou em outros produtos orgânicos. Assim, o ciclo do carbono envolve a sua assimilação pelas plantas como gás carbônico, seu consumo na forma de tecidos vegetais e animais, sua liberação por meio da respiração, e seu acúmulo na biomassa e em reservatórios de longa duração como combustíveis fósseis. (DIAS, 2002, p. 62).

Segundo o IPCC (1986), pesquisas feitas com amostras de gelo antártico indicam que esse ciclo passou a perder o seu estado de equilíbrio nos últimos 200 anos. Ainda, indicam que isso ocorreu a partir de quando as emissões de gás carbônico começaram a exceder a capacidade de absorção pelos sistemas naturais da Terra (fotossíntese e absorção oceânica). (DIAS, 2002).

As principais fontes antropogênicas de emissão de gás carbônico são a queima de combustíveis fósseis e os desflorestamentos, respondendo por 80% e 20% das emissões, respectivamente. Essas atividades elevaram as emissões anuais de gás carbônico, de 6 bilhões de toneladas no início da década de 90, para 7,8 bilhões de toneladas em 2001. (DIAS, 2002). Segundo Dow e Downing (2007, p. 34), “As concentrações de CO₂ e metano na atmosfera nunca estiveram tão altas em 650 mil anos”.

Nos últimos 150 anos, a concentração de gás carbônico na atmosfera passou de 280 partes por milhão (ppm) para cerca de 390ppm. A relação entre essa concentração de carbono e o aumento de temperaturas é frequentemente apontada como um indício de que o efeito estufa está na raiz do aquecimento global. (MATTOS e GRANATO, 2010, p.25).

No mesmo sentido, Dow e Downing (2007) e Fujihara e Lopes (2009) afirmam que há uma correlação clara entre o aumento da concentração de GEE e o aumento de temperatura observado nas últimas décadas. O CO₂ é responsável por 66% a 74% do aquecimento do planeta. Nos últimos 30 anos, a temperatura média da Terra subiu 0,6°C e a inércia no sistema fará com que haja um acréscimo de, pelo menos, mais 0,6°C até 2020. (DIAS, 2002).

O planeta está mais quente que no milênio anterior e os GEE emitidos hoje seguirão provocando mudanças climáticas. O aquecimento futuro se confirma pelos níveis de gás carbônico presentes na atmosfera. Tais condições nunca foram enfrentadas pela sociedade moderna, que deverá achar meios de se adaptar às mudanças profundas decorrentes do aquecimento global. (DIAS, 2002; DOW E DOWNING, 2007).

2.2 AQUECIMENTO GLOBAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Hoje, o clima é um assunto que gera polêmica. Muitas pessoas têm a crença de que a maior ameaça ambiental que o ser humano jamais teve de enfrentar é uma questão política, o que não é verdade. O aquecimento global é um fato científico: a temperatura global está subindo e as observações feitas no mundo todo indicam alterações consistentes com as expectativas dos cientistas. (DOW E DOWNING, 2007; ROTHSCHILD, 2007).

Ainda assim, as opiniões a respeito da velocidade com que ele está acontecendo divergem. Segundo o relatório do IPCC, durante o século XXI, a temperatura média da Terra poderá subir entre 1,1°C e 6,4°C. Para o Hadley Centre, instituição britânica dedicada exclusivamente às mudanças climáticas, se as emissões de gases de efeito estufa não forem reduzidas, um aumento de 4°C poderá ocorrer já na década de 2060. (MATTOS E GRANATO, 2010).

Em 1995, o IPCC, em sua segunda revisão periódica da ciência das mudanças climáticas, concluiu que as evidências sugeriam, então, a influência humana no clima global. Hoje, essa influência já é amplamente reconhecida. (DOW E DOWNING, 2007; ROTHSCHILD, 2007).

O termo “aquecimento global” diz respeito à principal causa das iminentes mudanças climáticas globais: o aumento da temperatura da Terra provocado pelo

aumento da intensidade do efeito estufa. Este, como já foi dito, é causado pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, principalmente CO₂, metano e óxido nitroso. (BENTO, 2009; ROTHSCHILD, 2007).

Já a respeito do termo “mudanças climáticas”, a UNFCCC explica, em seu artigo 1º, que são “Mudanças no clima atribuídas direta ou indiretamente à atividade humana que alteram a composição da atmosfera global, somadas às variações naturais do clima observadas em períodos de tempo comparáveis”. (Dow e Downing, 2007, p.15). Explica, ainda, que essas alterações podem ser causadas por processos internos naturais, pela força radioativa externa, por mudanças antrópicas persistentes na composição da atmosfera ou pelo uso do solo. (DOW E DOWNING, 2007).

O conceito de mudança do clima está embasado em estudos científicos e econômicos aceitos pela comunidade internacional, que indicam uma mudança parcialmente inevitável, mas que pode ser mitigada a partir de iniciativas públicas e privadas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Os efeitos da mudança do clima, sejam eles sociais, econômicos ou ambientais, causarão mudanças radicais no panorama global, afetando diversos setores da economia. (FUJIHARA e LOPES, 2009, p. 21).

Os profundos e importantes efeitos da mudança do clima deverão afetar a todos. Infelizmente, espera-se que o clima fique mais instável e que eventos extremos ocorram com maior frequência, atingindo todos os biomas naturais. (AGOPYAN e JOHN, 2011). Mattos e Granato (2010, p. 40) explicam que “O aumento de alguns graus irá alterar o ciclo das águas e dos ventos, ampliar as regiões desérticas, aumentar a frequência e a intensidade de furacões, entre diversas outras consequências desastrosas para o ser humano”, como:

- Elevação do nível dos oceanos: o aumento da temperatura dos oceanos e o degelo elevarão o nível dos mares, ameaçando muitas cidades costeiras. O degelo da calota polar da Groenlândia será rápido, provocando uma elevação de 7 metros no nível do mar. (DOW e DOWNING, 2007; ROTHSCHILD, 2007).
- Cidades ameaçadas: a erosão da costa, a invasão da água salgada em reservatórios de água potável e os temporais ameaçam as áreas litorâneas- geralmente regiões de alto crescimento populacional e intenso crescimento econômico. (DOW e DOWNING, 2007).

- Reservas de água ameaçadas: a escassez de água já é uma preocupação real. Em alguns lugares, a mudança climática tornará o problema ainda mais crítico. Em torno de 2080, até 3 bilhões de pessoas poderão sofrer com a falta de água e 200 a 600 milhões passarão fome. (DOW e DOWNING, 2007; ROTHSCHILD, 2007).
- Ecossistemas destruídos: Espécies e ecossistemas ameaçados pelo crescimento populacional talvez não consigam se adaptar às novas condições e aos extremos climáticos. As mudanças climáticas acelerarão a extinção de um grande número de espécies. Entre 20 e 30% de todas as espécies pode entrar em extinção. (DOW e DOWNING, 2007; ROTHSCHILD, 2007).
- Segurança alimentar: a capacidade dos países em desenvolvimento de sustentar a produção agrícola e a segurança alimentar já está ameaçada. A população carente, que tem mais probabilidade de não ter o que comer, sentirá mais. (DOW E DOWNING, 2007).
- Ameaças à saúde: Nos lugares onde as pessoas estão mais expostas a doenças associadas à pobreza e desnutrição, qualquer mudança no clima afetará a saúde. (DOW e DOWNING, 2007). Segundo Dias (2002), haverá uma maior incidência de doenças infecciosas.
- Perdas culturais: A destruição de culturas indígenas, monumentos históricos e sítios arqueológicos seria uma das perdas incalculáveis causadas pelas mudanças climáticas. (DOW E DOWNING, 2007).
- No Brasil, os Estados nordestinos serão os mais atingidos, principalmente pelo fortalecimento do El Niño. Algumas paisagens já mudaram. (DIAS, 2002).
- Ocorrência de chuvas torrenciais. Como consequência, ocorrerão enchentes frequentes e secas prolongadas – o que afetará os suprimentos de água e a geração de energia hidrelétrica. (DOW E DOWNING, 2007).

As mudanças climáticas já podem ser vistas nos muitos registros climáticos e nas alterações em ecossistemas e espécies. Fica evidente que a velocidade e a intensidade do aumento da temperatura média da Terra nas últimas décadas são

incompatíveis com o tempo necessário à adaptação natural dos ecossistemas. (BNDES, 1999; DOW E DOWNING, 2007; ROTHSCILD, 2007).

2.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Medidas da concentração de CO₂ no ar preso em geleiras formadas há centenas de milhares de anos indicam que, em meados do século XVIII, a concentração de CO₂ começou a subir rapidamente, a partir da Revolução Industrial. Desde então, o planeta tem sido afetado por ações humanas, que desequilibram o ambiente. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Durante a geração passada, o ambiente da Terra mudou mais rapidamente do que qualquer outro tempo comparável na história. Embora os fenômenos naturais tenham um papel importante nessas mudanças, a fonte primária dessa dinâmica tem sido precipitada pelas interações do ser humano com a biosfera. (DIAS, 2002, p. 57).

A forma de interação do humano com a biosfera sofreu uma relevante alteração quando o crescimento econômico do pós-Segunda Guerra Mundial acelerou o processo de urbanização. A partir de então, os sintomas da perda de qualidade ambiental começaram a aparecer em diversas partes do mundo. (DIAS, 2002).

A década de 1960 apresentou as consequências do consumismo difundido pelo modelo de desenvolvimento vigente e os agravamentos trazidos pelo crescimento populacional. Foram registrados níveis alarmantes de poluição atmosférica nos grandes centros urbanos de países industrializados. Os rios mostravam-se envenenados por despejos industriais e domésticos, evidenciando o comprometimento dos recursos hídricos. Além disso, a rápida destruição da cobertura vegetal da Terra trouxe resultados como: intensos processos de destruição de habitats, pressões crescentes sobre a biodiversidade, erosão, perda de fertilidade do solo e desertificação. Em contrapartida, surgiram os primeiros movimentos ambientalistas. (DIAS, 2002; VALLE, 2002).

Esta foi uma fase precursora em termos de conscientização sobre o meio ambiente. Em 1962, Rachel Carson publicou o seu livro-crônica *Primavera Silenciosa* (*Silent Spring*, 1962, 45 edições), descrevendo minuciosamente o panorama e denunciando a irresponsabilidade dos setores produtivos com a natureza. O “pai” da educação ambiental, Patrick Geddes, também expressou a sua preocupação com o

processo de urbanização e suas consequências ambientais. As manifestações geraram uma inquietação na comunidade internacional. (DIAS, 2002; VALLE, 2002).

Essa inquietação levou a delegação da Suécia na ONU a chamar a atenção da comunidade internacional para a crescente crise do ambiente humano, enfatizando a necessidade de uma abordagem global para a busca de soluções contra o agravamento dos problemas ambientais. (DIAS, 2002, p. 22).

A década de 1970 marcou pelo avanço na regulamentação e controle ambiental. O Clube de Roma, que foi criado em 1968 por um grupo de trinta especialistas de diversas áreas, publicou o seu histórico relatório “Os limites do crescimento”. Utilizando-se de modelos matemáticos, o documento alertou sobre os riscos de um crescimento econômico contínuo baseado na exploração de recursos naturais esgotáveis. Denunciando que esse modelo de desenvolvimento possivelmente levaria a sociedade ao colapso. (DIAS, 2002; VALLE, 2002).

As acirradas discussões que o tema ambiental passou a despertar, ainda sob o calor dos apelos do livro de Rachel Carson e do relatório do Clube de Roma, levaram a Organização das Nações Unidas a promover na Suécia, de 5 a 16 de junho de 1972, a Conferência da ONU sobre o Ambiente Humano, ou Conferência de Estocolmo, como ficou consagrada. Essa Conferência reuniu representantes de 113 países, com o objetivo de estabelecer uma visão global e princípios comuns que servissem de inspiração e orientação à humanidade, para a preservação e melhoria do ambiente humano. A Conferência gerou a Declaração sobre o Ambiente Humano e estabeleceu um Plano de Ação, documentos que serviriam de base para o surgimento de instrumentos de políticas de gestão ambiental. (DIAS, 2002, p. 22).

Após a Conferência de Estocolmo, os países começaram a estruturar seus órgãos ambientais e estabelecer legislações sobre controle da poluição ambiental, ocorrendo a criminalização desses atos em diversas nações. A crise energética da década de 1970 trouxe à tona a discussão a respeito de dois temas: a racionalização do uso da energia e a busca por fontes renováveis de combustíveis. Neste contexto, a necessidade de garantir formas sustentáveis de desenvolvimento a longo prazo entra em foco. (VALLE, 2002).

Na década de 1980 o conceito de ecoeficiência - produzir bens e serviços de melhor qualidade, buscando a redução contínua no uso de recursos e na poluição resultante – foi incorporado pelo empresariado, que adotou um comportamento mais ativo, baseado na redução dos desperdícios e no conseqüente favorecimento da

imagem das organizações. Em 1983, foi criada pela ONU (Organização das Nações Unidas) a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, ou Comissão Brundtland, que deveria propor soluções realistas para assegurar o progresso humano evitando o comprometimento dos recursos ambientais para as gerações futuras. O relatório da Comissão, divulgado em 1987, tratou das preocupações, desafios e esforços para promoção do desenvolvimento sustentável, destacando o papel da economia internacional, do crescimento populacional, da segurança alimentar, da energia, da indústria, do desafio urbano e da necessidade de mudanças institucionais. (DIAS, 2002; VALLE 2002).

Em 1988, a ONU criou o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), reunindo um grupo de cientistas que compilavam estudos e trabalhos sobre mudanças climáticas, influência antrópica na mudança do clima, impactos e previsões para o meio ambiente. O grupo trabalhou para elevar o nível de certeza de suas afirmações e correlações, conquistando o respaldo científico que levaria o mundo a entender a necessidade de agir. Alguns anos depois, em 1992, a ONU promoveu no Rio de Janeiro, a Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como ECO-92, que reuniu representantes de 170 países, com a meta de examinar a situação ambiental do mundo e as alterações ocorridas desde a Conferência de Estocolmo. (DIAS, 2002; FUJIHARA e LOPES, 2009; MATTOS e GRANATO, 2010).

A partir de então, ainda que tratado de forma marginal pela sociedade em geral, o tema mudança do clima entrou para a agenda política mundial. Durante a ECO-92, foi destacada a importância das mudanças dos padrões de produção e consumo (mppc), reconhecendo-se que o desenvolvimento sustentável só seria viável se os impactos causados pelos padrões vigentes fossem reduzidos. Diversos documentos importantes foram produzidos na Conferência, um deles é a Agenda 21. O documento, além de apontar como origem da degradação ambiental os níveis insustentáveis de produção e consumo praticados nos países industrializados, ressaltou a necessidade de adoção de estratégias locais e globais, para ações apropriadas referentes às principais questões ambientais. (BRANDSMA e EPPEL, 1997; DIAS, 2002; VALLE, 2002).

Durante a década de 1990, foram introduzidas normas internacionais de gestão ambiental (denominadas série ISO 14000), além de novos conceitos, como

Certificação Ambiental e Auditoria Ambiental, reforçando o comprometimento das empresas com a preservação do meio ambiente. Em 1995, foi publicado o segundo relatório do IPCC que, mesmo não apresentando evidências insofismáveis da correlação entre a mudança do clima e efeitos antrópicos, levou a comunidade internacional ao ápice da preocupação com as questões ambientais. (FUJIHARA e LOPES, 2009; VALLE 2002).

O peso desse relatório, associado a ações de países e grupos de formadores de opinião e grupos de pressão, levou ao Protocolo de Quioto, estabelecido em 1997 na reunião da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Nessa época foram definidos compromissos formais de países desenvolvidos para reduzir suas emissões totais de gases de efeito estufa em relação às emissões desses países em 1990 (FUJIHARA e LOPES, 2009, p. 147).

O Protocolo de Quioto comprometeu os países industrializados à redução de emissões de GEE em 5,2%, até 2012. Além das metas de redução, surgem os mecanismos de flexibilização de atendimento dessas metas – por meio de projetos ou ações que levem à redução das emissões de GEE. A partir de então, a expressão “mercado de carbono” passa a ser utilizada, e, gradativamente, os valores transacionados aumentam, passando a ultrapassar os bilhões de dólares. (FUJIHARA e LOPES, 2009; VALLE, 2002).

Europa sai na frente e se estrutura em um grande mercado, denominado Esquema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS), com regras claras e um modelo de funcionamento baseado em mercados similares. Ainda assim, países importantes se mantêm à margem de compromissos formais, como Estados Unidos e Austrália, além de outros importantes países recuarem em suas posições iniciais, como o Canadá. (FUJIHARA e LOPES, 2009, p. 148).

Em 2001, o relatório publicado pelo IPCC continha evidências mais claras da relação entre influências antrópicas e a mudança do clima. Contudo, o espaço para questionamento sobre esta correlação só sofreu uma redução significativa com a publicação do relatório de 2007, quando as conclusões do IPCC foram de fato consolidadas. (FUJIHARA e LOPES, 2009).

O aumento da certeza científica associado ao conhecimento adquirido em formas de atuação para lidar com o problema, levou o mundo a um novo patamar de discussão. Começaram a inclusão e a mobilização de

praticamente todos os setores da sociedade. (FUJIHARA e LOPES, 2009, p. 148).

A verdade é que, a despeito dos frequentes alertas lançados por organismos internacionais, *think tanks* e renomados membros da comunidade acadêmica, e, dos atos internacionais que firmaram o compromisso das nações com o meio ambiente nos últimos anos, a humanidade ainda sofre com as alterações climáticas e a grave perda de qualidade de vida. A situação ambiental do planeta é adversa e os impactos gerais para o futuro ainda são difíceis de prever. (DIAS, 2002; VALLE, 2002).

O estágio em que nos encontramos atualmente, é um reflexo do modelo de desenvolvimento vigente. Neste sentido, Mattos e Granatto (2010, p.46), afirmam que

À medida em que a humanidade cresce e se desenvolve, torna-se maior o consumo de água, de alimentos e de energia, itens indispensáveis que ao longo da história foram obtidos à custa de superexploração e degradação ambiental. No mundo todo cresce a produção de bens industrializados, o que estimula o aumento do consumo e do desperdício.

Atualmente, cerca de 10 toneladas de matérias-primas naturais são extraídas por habitante a cada ano, podendo atingir 80 toneladas/habitante anualmente em alguns países. A quantidade de materiais para manutenção da vida moderna cresce em um ritmo que não pode ser mantido. Ademais, considera-se que a economia global já atingiu os limites biofísicos do planeta, no que tange a capacidade natural de absorção de CO₂. (AGOPYAN e JOHN, 2011; DIAS, 2002).

O aquecimento global é uma das consequências desse comportamento da humanidade. Neste contexto, é importante lembrar que a relação entre emissões de GEE e o crescimento econômico não é inevitável, considerando o aumento da diversidade tecnológica. A evolução neste sentido, depende do empenho dos governos, contribuindo com leis adequadas e formas de controle e fiscalização eficientes, e das empresas, desenvolvendo tecnologias que reduzam os impactos ambientais. Especialmente para os países emergentes, o investimento em infraestrutura menos dependente do carbono representa uma potencial economia no longo prazo. (DOW e DOWNING, 2007; MATTOS e GRANATO, 2010; VALLE, 2002).

Por fim, é preciso que ocorra uma mudança profunda nos paradigmas de percepção, pensamento e ação que conduziram a humanidade até aqui. Para que assim, possamos estabelecer um padrão de desenvolvimento sustentável, atendendo

às necessidades da geração atual, sem comprometer o direito de as futuras gerações atenderem a suas próprias necessidades. (DIAS, 2002; VALLE, 2002).

2.4. A CONSTRUÇÃO CIVIL E O MEIO AMBIENTE

A pressão que a espécie humana exerce sobre os recursos naturais do planeta acarreta em alterações ambientais globais. Os padrões de consumo, ditados pelo modelo de desenvolvimento imposto pelos países ricos, influenciam diversos aspectos do sistema mundial como a política, a educação, e a informação. Esse modelo de desenvolvimento, fundamentado no lucro, visa o aumento da produção, que é evacuada por meio da cultura de consumo dissipada pela mídia. O estilo de vida, baseado em uma relação inconsequente entre produção e consumo, está intrinsecamente ligado à degradação ambiental. (DIAS, 2002).

As áreas mais profundamente alteradas da biosfera são uma consequência da expansão urbana ocorrida nas últimas duas gerações. A tendência de urbanização deve agravar os problemas ambientais nas cidades. Estima-se que nos países em desenvolvimento, os centros urbanos concentrarão 90% do crescimento populacional e do crescimento econômico. (DIAS, 2002).

Em muitos países, as cidades geram a maior parte das atividades econômicas, consomem a maior parte dos recursos naturais e produzem a maior parte da poluição e do lixo. As questões ambientais urbanas, embora muito importantes nas escalas local, nacional e global, são frequentemente omitidas. A negligência com que essas questões são tratadas podem comprometer objetivos econômicos, sociais e ambientais na maioria das nações desenvolvidas, em desenvolvimento ou subdesenvolvidas. (DIAS, 2002, p. 25).

A indústria da construção sofreu uma importante expansão nas décadas recentes. Este crescimento está vinculado à necessidade de oferecer à população um ambiente construído de qualidade - saudável, confortável e seguro. Isso inclui habitações adequadas, bem como, o incremento da infraestrutura de abastecimento de água, de saneamento, de transporte e de comunicação. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Este processo atravessa a questão do desenvolvimento sustentável, visto que, a construção em geral, e o uso dos edifícios em particular, tem uma relevante contribuição para as mudanças climáticas. Com a participação de, geralmente, 10%

do PIB, a construção consome aproximadamente 50% dos materiais, apresentando uma intensidade de utilização de materiais consideravelmente superior aos demais setores. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

A construção civil é reconhecida como uma das atividades de maior pegada ecológica em nosso planeta. Segundo dados das Nações Unidas, a construção consome 40% de toda energia, [...] gera 25% dos resíduos sólidos, consome 25% da água e ocupa 12% das terras. Infelizmente, a construção também não fica atrás quando se trata de emissões atmosféricas, respondendo por 1/3 do total de emissões de gases de efeito estufa. (CTE, 2011).

Mesmo os produtos considerados naturais como as rochas, o solo e a madeira, não estão livres de exercer impactos no meio ambiente. O impacto causado por um mesmo produto pode variar, visto que está condicionado a questões como: processo produtivo, natureza do combustível utilizado, distâncias e modalidades de transporte, detalhes do projeto, condições de exposição durante o uso, manutenção e práticas a serem adotadas após a vida útil dos materiais. Dessa forma, considerar a integridade do ciclo de vida dos produtos é primordial na avaliação dos impactos ambientais gerados pela construção civil. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

2.4.1 Emissões de CO₂ da construção civil

Existem três principais fontes de emissões de GEE dos materiais. São elas: a queima de combustíveis fósseis na fabricação e no transporte dos materiais, a decomposição térmica do calcário e outros carbonatos durante a calcinação e a extração e uso de madeira nativa como material ou combustível, em especial a não manejada. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

A respeito do uso de combustíveis fósseis na fabricação e transporte de materiais, Costa (2012, p. 78) explica que

Durante a combustão, o carbono e o hidrogênio são convertidos principalmente em CO₂ e água, liberando a energia química do combustível em forma de calor. Este calor é geralmente usado diretamente ou é empregado (com algumas perdas de conversão) para produzir energia mecânica e para gerar eletricidade.

Segundo Agopyan e John (2011) e Costa (2012), o setor de transporte- que engloba as emissões devido à utilização de energéticos para o funcionamento de

veículos como caminhões, trens e navios- foi responsável por 8,1% das emissões totais de CO₂ no ano de 2005 e uma fração significativa dessas emissões ocorreu devido à movimentação de materiais de construção. Observa-se que muitos dos produtos da construção civil são transportados por grandes distâncias por caminhões, que usam diesel como combustível.

Outra fonte de emissão de CO₂ da construção civil que necessita de muita atenção é a decomposição do calcário durante o processo de calcinação, uma vez que quase a totalidade dos materiais industrializados passa por esse tipo de processo- cerâmicos, cimento, aço, vidro, alumínio, etc. (JOHN, 2011). De acordo com John (2011), o calcário é constituído de 44% CO₂, que é liberado a temperaturas acima de 800°C de acordo com a seguinte equação:



Isto é, cada tonelada de calcário (CaCO₃) libera 440 kg de CO₂ e produz somente 560 kg de óxido de cálcio, ou cal virgem (CaO). Além disso, na maior parte das vezes, essas altas temperaturas são alcançadas com a utilização de combustíveis fósseis (energia não renovável), como derivados do petróleo e o carvão mineral, ou, até mesmo, lenha de desmatamento. De qualquer forma, o combustível utilizado na calcinação aumenta, ainda mais, as emissões de CO₂ à atmosfera durante a produção dos materiais de construção. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

A terceira grande fonte de emissão de CO₂ dos materiais é a extração e processamento de madeira nativa, especialmente de forma não manejada- que não assegura a recuperação da floresta-, para uso como material ou combustível. (AGOPYAN e JOHN, 2011). Os autores (AGOPYAN E JOHN, 2011, p. 62) observam que “Mesmo a madeira nativa, por ser transportada por longas distâncias, tem uma pegada ecológica de CO₂ elevada. ”

Em adição às emissões devido à extração, a madeira apresenta significativas emissões de CO₂ em seu processamento e transporte, bem como em sua decomposição e de seus resíduos. Dessa forma, a mitigação das emissões de CO₂ referentes à madeira só é possível através do combate ao desmatamento e do incentivo à escolha por madeira nativa certificada ou madeira de plantação, como o eucalipto. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

2.4.2 Materiais e geração de CO₂

Conforme John (2011), a emissão de CO₂ à atmosfera é o impacto ambiental mais importante associado à produção de cimento, sendo que as principais causas são o uso de combustíveis fósseis na sua produção e a decomposição do calcário durante a calcinação. Por isso- e também por ser o material artificial de maior consumo no mundo- o cimento responde por 5% das emissões de dióxido de carbono antropogênico. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

O processo de produção do cimento se inicia na extração das matérias-primas (como carbonato de cálcio, sílica) de rochas calcárias ou argila por meio de detonações. Elas são trituradas e transportadas para a indústria onde são armazenadas e homogeneizadas, produzindo um pó fino conhecido como cru, o qual é pré-aquecido e em seguida introduzido em um forno rotativo. Na etapa posterior, o material é aquecido a uma temperatura de 1.500°C (por uma chama de 2.000°C), antes de ser subitamente resfriado por rajadas de ar, sendo produzido o clínquer. [...] Uma quantidade de gesso (3 a 5%) é adicionada ao clínquer e então a mistura é novamente moída sendo adicionados outros materiais. [...] Por fim, o cimento é armazenado em silos, podendo ser enviado a granel ou em sacos para os locais de consumo. Em todas as etapas são consumidos energéticos líquidos, sólidos ou gasosos, além de eletricidade proveniente de centrais elétrica públicas e da autoprodução. (COSTA, 2012, p. 101).

As emissões específicas (kg/t) de CO₂ do cimento brasileiro foram estimadas, no inventário nacional de 2005, em 595 kg/t, enquanto a média mundial tem emissões unitárias entre 814 e 870 kg/t. Agopyan e John (2011) observam que, ainda que as emissões de CO₂ por tonelada de cimento estejam sendo reduzidas, a produção de cimento está em rápida expansão e a tendência é que haja um crescimento ainda mais acentuado nos próximos anos. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Agopyan e John (2011) observam que existem poucas oportunidades de mitigação de CO₂ na produção de cimento no Brasil. Uma delas é a substituição do coque de petróleo, combustível usado atualmente, por energéticos de menor intensidade de CO₂, de preferência madeira plantada. Outra é o aumento na eficiência da utilização do cimento. Para isso, deve haver redução do desperdício- comprovadamente muito elevado-, aumento do emprego de materiais cimentícios industrializados- o que causaria redução do consumo de cimento *in natura*- e inserção de inovações na maneira de empregar o produto. Agopyan e John (2011, p. 45)

explicam, ainda, que “A alternativa ao aumento da eficiência da utilização do cimento é a implantação de sistemas de captura e estoque de carbono que exigirão elevados investimentos além de elevado custo operacional [...] e [...] irão causar um aumento no preço do produto.”

A indústria do aço é responsável por 6 a 7% das emissões globais de CO₂, mas apenas uma parcela desse aço tem como fim a construção civil. Ainda,

Os aços para concreto armado no Brasil são produzidos quase que exclusivamente em aciaria de arco elétrico, usando elevado teor de sucata e energia limpa, que apresentam emissões significativamente menores. [...] O setor de aço estabeleceu, em nível internacional, um consórcio de pesquisa para desenvolver soluções que baixem o nível de carbono. (AGOPYAN e JOHN, 2011, p. 45).

Já o processo de produção de componentes cerâmicos depende da calcinação da argila, que depende do consumo de energia. No entanto, não há registros desta contribuição, uma vez que o setor é altamente informal e os dados estatísticos são escassos. Segundo estimativa do Inventário Nacional, as emissões de CO₂ do setor cerâmico geradas na queima de combustível fóssil representam 0,25% das emissões nacionais totais. As opções para mitigação dos GEE no setor cerâmico envolvem o crescimento da eficiência energética, a redução do desperdício na produção e a adoção de biomassa plantada no lugar de combustíveis fósseis. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Dessa forma, para que a mitigação das emissões de GEE da construção civil seja possível, é necessária uma ação setorial mais abrangente, que leve em consideração detalhes das cadeias produtivas de materiais de construção—especialmente a da madeira e a do transporte de produtos. Para que isso ocorra, é preciso o desenvolvimento de estudos aprofundados das emissões de GEE de todas as partes da cadeia produtiva, que levem em conta as especificidades regionais dos setores produtivo e de consumo. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Ainda de acordo com Agopyan e John (2011), um dos grandes desafios para a construção civil será a desmaterialização da construção sem perder a capacidade térmica e de isolamento acústico, mas com a adoção de massa e volume menores de materiais, para que haja, também, a redução dos impactos ambientais gerados. Agopyan e John (2011, p. 61) apontam que “esse desafio exigirá do setor um grande esforço de inovação”.

2.5 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

A indústria da Construção Civil, demorou a reagir aos problemas relacionados à sustentabilidade. Apesar da conscientização tardia, o setor assumiu uma postura cada vez mais proativa. A partir da década de 1990, a indústria começou a incorporar o conceito de construção sustentável. Com isso, importantes avanços foram conquistados com o desenvolvimento de trabalhos sobre a reciclagem, a redução de perdas, a redução de consumo de energia, entre outros aspectos relativos à redução de impactos. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Em 1999, foi publicada a Agenda 21 para a Construção Sustentável para Países em Desenvolvimento- um documento para discussão. O documento foi elaborado como versão voltada para os países em desenvolvimento, incorporando suas peculiaridades e sugerindo estratégias adequadas. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

A agenda parte do pressuposto de que a responsabilidade pela sustentabilidade do planeta deve ser compartilhada por todos, independentemente do grau de desenvolvimento econômico do país, questionando diretamente a estratégia adotada por muitos países em desenvolvimento de primeiro crescer para somente depois se preocupar com a sustentabilidade. [...] O documento prevê que as mudanças tecnológicas e organizacionais a serem produzidas pela sustentabilidade no setor da construção serão muito mais radicais do que quaisquer das revoluções energéticas setoriais anteriores, como a introdução do concreto armado e a industrialização pós-Segunda Grande Guerra, pois ela vem no bojo de uma drástica mudança de pensamento de toda a sociedade, que exige uma postura nova dos profissionais envolvidos. (AGOPYAN e JOHN, 2011, p. 33).

Ainda que a sustentabilidade seja uma questão de ordem global, a forma como esse problema se apresenta para cada região é diferente. Assim como, as prioridades sociais e ambientais e recursos disponíveis em cada nação. Nos países desenvolvidos são adotadas estratégias abrangentes, em que a indústria tem um papel importante, antecipando-se no atendimento dos anseios da sociedade. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Além da pauta ser diferente nos países em desenvolvimento - onde o incremento da qualidade do ambiente construído é, por si só, uma demanda do desenvolvimento sustentável – as estratégias são restritas à economia de energia e metodologias de certificação pouco viáveis. Neste contexto, as políticas públicas isoladas, carentes de avaliação técnica sobre a adequação à realidade local e de

processos participativos, cria uma dinâmica incoerente, que não resulta nas transformações esperadas. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

A pauta também é diferente para os países desenvolvidos e a estratégia de atuação também é diferenciada. A pauta é adotar estratégias abrangentes, em que a indústria tem um papel importante, antecipando-se no atendimento dos anseios da sociedade. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Em cerca de uma década a construção civil sofreu mudanças radicais muito abrangentes em quase todos esses países e muito mais profundas que a simples criação de conselhos e selos de *green building*. Enfoques novos, gerenciais, como a qualidade do processo de produção, e tecnológicos, como a qualidade do ar interno, redução e reciclagem de resíduos, bem como redução da toxicidade, foram integrados a temas mais tradicionais, como uso racional de água e economia de energia incorporada e consumida durante o uso. Surgiram novos conceitos e ferramentas sofisticadas como de simulação do comportamento em uso dos edifícios, particularmente na área de energia, conforto térmico e iluminação, novos conceitos de gestão e operação de edifícios e infraestrutura, políticas públicas complexas, etc. Novos materiais são introduzidos, como os materiais de mudança de fase, e novas funções são agregadas a materiais tradicionais, como o vidro e o concreto autolimpantes. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

O conceito de sustentabilidade é complexo e deve ser entendido no seu sentido abordagem sistêmica na forma de um conjunto coordenado de ações, adequadas a cada realidade aspectos ambientais, com os econômicos e sociais. Ainda, essa abordagem tem de ter o comprometimento de toda a cadeia produtiva da Construção Civil, bem como o empenho dos órgãos governamentais que legislam o setor e definem as políticas públicas. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

2.5.1 A Construção Sustentável no Brasil

Os conceitos de desenvolvimento sustentável para a construção chegaram no Brasil com um grande atraso. O Simpósio do CIB sobre Construção e Meio Ambiente - da teoria para a prática, realizado em 2000 pode ser considerado o marco inicial da preocupação sobre construção sustentável no país. Entre as entidades setoriais nacionais destacam-se: a ANTAC, que constituiu um grupo de trabalho em

desenvolvimento sustentável, discutindo o tema e apresentando sugestões em diversos encontros; o Instituto Brasileiro do Concreto; a Câmara Brasileira da Construção (CBIC) e a Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (ASBEA). (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Em 2007, foi formado o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). A entidade que congrega representantes dos diversos setores da construção civil e da sociedade, procura desenvolver e implementar conceitos e práticas mais sustentáveis contemplando as dimensões social, econômica e ambiental da cadeia produtiva da indústria da construção civil. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

O mercado de certificação de edifícios no Brasil conta com duas certificações importadas e adaptadas, o Leadership in Energy and Environmental Design (Leed), aplicado pelo GBC Brasil, que é o método de avaliação ambiental de edificações mais utilizado no Brasil. O Processo Aqua, Alta Qualidade Ambiental, que é um sistema brasileiro, voluntário, de certificação de edificações, adaptação do método francês francês HQE – Haute Qualité Environnemental. O BREEAM (*Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*), desenvolvido na Inglaterra, é o método de avaliação ambiental mais utilizado no mundo e vem sendo introduzido no Brasil. (AGOPYAN e JOHN, 2011; COSTA, 2012).

Dentre as certificações, o Selo Casa Azul de Construção Sustentável, desenvolvido pela Caixa Econômica Federal do Brasil, e, professores das Universidades de São Paulo, Santa Catarina e Campinas, é único produto desenvolvido exclusivamente para a realidade brasileira. Além destes rótulos, existe o selo Procel, que consiste em um programa para equipamentos (aparelhos de ar condicionado, geladeiras, fogões) e outro para edifícios - o "Procel Edifica". Os resultados provenientes das certificações atuais ainda são incoerentes, pois não são baseados em quantificação e minimização de impactos e por não haver equivalência em edifícios certificados por sistemas diferentes. (AGOPYAN e JOHN, 2011; COSTA, 2012).

Tivemos o lançamento, no mercado, de inúmeros produtos para a economia de água (torneiras automáticas, e as já citadas bacias sanitárias de baixo consumo) e de energia (lâmpadas fluorescentes compactas, aquecedores solares), além de cimentos de baixo teor de clínquer, madeiras certificadas e plantadas etc. Essas iniciativas são muito importantes, pois representam redução real dos impactos socioambientais e uma mudança de mentalidade na sociedade. No entanto, ainda falta ao País uma política sistêmica, pois

essas iniciativas atendem parcialmente aos anseios da sociedade. (AGOPYAN e JOHN, 2011, p. 16).

No Brasil, as iniciativas legislativas isoladas ainda predominam, e, frequentemente são introduzidas sem estudos técnicos sólidos e motivadas por interesses econômicos, o que resulta na imposição de soluções para o setor da construção. Ainda falta uma política coerente e estruturada de construção sustentável. Neste sentido, são esperadas iniciativas do Governo na criação de um programa de fomento àecoinovação – considerando o potencial de retorno ambiental e de ganho de competitividade da indústria – bem como, exemplos concretos nas obras públicas, incluindo as habitacionais, que ainda estão imunes a essa abordagem. (AGOPYAN E JOHN, 2011).

2.5.2 Necessidade de visão sistêmica

Analisando-se a cadeia produtiva de materiais de construção, isoladamente, percebe-se o quão expressivo é o seu impacto ambiental e o quanto este necessita de mitigação. A gama de produtos em oferta pelo mercado restringe as escolhas para projetistas e usuários e, conseqüentemente, tem influência decisiva no impacto ambiental de edificações no decorrer do seu ciclo de vida. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

A agenda 21 sobre construção sustentável deixou claro, a respeito da cadeia produtiva, que todas as partes envolvidas devem assumir suas responsabilidades: clientes, proprietários, empreendedores, investidores, responsáveis técnicos, projetistas, produtores de insumos, empreiteiras, empresas de manutenção, usuários e profissionais de ensino e pesquisa da área. O documento também ressalta que o desafio mais importante é o de tomar medidas de prevenção imediatas e preparar toda a cadeia produtiva para mudanças fundamentais à evolução do processo construtivo. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

De uma forma resumida, o impacto ambiental da Construção Civil depende de toda uma enorme cadeia produtiva: extração de matérias-primas; produção e transporte de materiais e componentes; concepção e projetos; execução (construção), práticas de uso e manutenção e, ao final da vida útil, a demolição/desmontagem, além da destinação de resíduos gerados ao longo da vida útil. Esse processo é influenciado por normas técnicas, códigos de obra e planos diretores e ainda políticas públicas mais amplas, incluindo

as fiscais. Todas essas etapas envolvem recursos ambientais, econômicos e têm impactos sociais que atingem a todos os cidadãos, empresas e órgãos governamentais, e não apenas aos seus usuários diretos. O aumento da sustentabilidade do setor depende de soluções em todos os níveis, articuladas dentro de uma visão sistêmica. (AGOPYAN e JOHN, 2011, p. 14).

Normas técnicas, códigos de obra e planos diretores apresentam um grande potencial de estimular e orientar o setor a empregar soluções mais sustentáveis, o que ainda não é muito bem explorado. Todavia, esses documentos restringem a liberdade de escolha de soluções – e por vezes, dificultam a introdução de inovações –, admitindo e, inclusive, impondo soluções que representam um maior o impacto ambiental no decorrer da vida útil da edificação. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Políticas públicas, incluindo as fiscais, podem tanto incentivar quanto desestimular a introdução de soluções e produtos no mercado. Entretanto, devido aos altos índices de informalidade no país, o poder de influência dessas políticas e da normalização é relativo: só atinge quem opta por trabalhar formalmente. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Um problema muito sério da informalidade é que as políticas públicas que geram despesas adicionais a quem trabalha formalmente aumentam as vantagens competitivas de quem trabalha informalmente – os quais não têm responsabilidades sociais, nem ambientais. Isso pode acabar com as vantagens previstas pelo poder público e, até, remover corporações formais do mercado. Mais ainda, pode estimular um aumento do mercado do setor informal ou, até mesmo, da adesão ao mercado informal. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

As decisões de projeto, como localização das obras, a definição do produto a ser construído, o partido arquitetônico e a especificação de materiais e componentes, afetam diretamente o consumo de recursos naturais e de energia, bem como a otimização ou não da execução e o efeito global no seu entorno (corte, aterro, inundações, ventilação, insolação), sem falar nos impactos estéticos e urbanísticos mais amplos. Os insumos empregados são, por si só, grandes consumidores de recursos naturais e de energia. (AGOPYAN e JOHN, 2011, p. 15).

Como acontece com todas as soluções sustentáveis, considerar o consumo de recursos desde o princípio é fundamental para um bom projeto. No Brasil, a indústria da construção civil é responsável por algo entorno de 50% de todo o uso de matérias-primas e a especificação de materiais tem grande influência nisso. (AGOPYAN E JOHN, 2011). Dessa forma, “é essencial o aproveitamento consciente da água e do

solo, assim como dos recursos de mineração e extrativismo”. (BURKE e KEELER, 2010, p.23).

2.5.3 Necessidade de inovação na Construção Civil

Para que se atinja a sustentabilidade da construção, com a redução do consumo de matérias-primas, das emissões de GEE e da energia de produção e de utilização, é imprescindível a incorporação da inovação pela Construção Civil, com modificações em todas as suas atividades, tanto no processo quanto nos materiais e componentes. Deve-se parar de promover apenas inovações gradativas, essenciais, porém, insuficientes para reduzir os indicadores de consumo da nossa cadeia produtiva a curto prazo. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

A aceleração do processo de inovação na construção está apenas começando, mas já é bastante visível. Já estão disponíveis no mercado produtos multifuncionais, dentre eles pinturas autolimpantes, sistemas capazes de reagir a estímulos e sensores embutidos em componentes. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Materiais, componentes e sistemas para eficiência energética apresentam muitas oportunidades, inclusive sistemas de telhados reflexivos e autolimpantes, argamassas isolantes ou com elevada capacidade térmica, sistemas de ventilação mecânica noturna, que permitam conforto térmico sem introduzir ruído urbano, materiais cimentícios ecoeficientes etc. Tecnologias que permitam a utilização de madeira plantada em grande escala, gerando estoques de carbono, também são importantes. [...] Sistemas construtivos que permitam a desmontagem ou que sejam integralmente recicláveis certamente têm um enorme mercado potencial em um futuro mais sustentável. (AGOPYAN e JOHN, 2011, p. 80).

No entanto, ecoeficiência dessas soluções poderá ser comprovada apenas quando se puder determinar, em cada situação, a sua vida útil esperada. Infelizmente, uma mistura de ignorância técnica, com oportunidades de retornos financeiros rápidos e excesso de entusiasmo ambientalista tem levado produtos e sistemas prematuramente ao mercado. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

A sustentabilidade depende, definitivamente, da durabilidade. A vida útil dos produtos influencia decisivamente o período de tempo em que a edificação vai prestar serviços e a quantidade de recursos necessários para sua manutenção. Logo, define não só o impacto ambiental, como também o social e o econômico. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

É geralmente aceito que o uso de tecnologias mais ecoeficientes já disponíveis no mercado pode gerar uma redução importante dos impactos ambientais das edificações. No entanto, a redução dos impactos em um prazo exíguo (10 a 20 anos) e a universalização do acesso a um ambiente construído adequado vai exigir reinventar a construção pela inserção de inovações, incrementais ou radicais. Diante disso, é preciso que se invista- e muito- no desenvolvimento de novos conhecimentos, assim como na transformação dos conhecimentos adquiridos em inovações a serem inseridas no mercado. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

2.5.4 Edificações Sustentáveis

Existem muitas definições para o termo “edificação sustentável”. No entanto, a maior parte dos profissionais da área concorda que, para uma edificação ser considerada sustentável, a mesma deve sanar mais do que apenas um problema ambiental, como, por exemplo, as emissões de CO₂, o esgotamento dos recursos naturais, a lotação dos depósitos de lixo, etc. De acordo com Burke e Keeler (2010, p. 49), mesmo que não consiga sanar todos os problemas, a edificação sustentável deve:

- Tratar das questões de demolição no terreno e de resíduos da construção, bem como dos resíduos gerados pelos seus usuários.
- Buscar a eficiência na utilização dos recursos.
 - Minimizar o impacto da mineração e do extrativismo na produção de materiais e contribuir para a recuperação dos recursos naturais.
 - Reduzir o consumo de solo, água e energia durante a manufatura dos materiais, a construção da edificação e a utilização por seus usuários.
 - Planejar uma baixa energia incorporada durante o transporte dos materiais ao terreno.
 - Trabalhar de modo lógico à medida que a cadeia de produção de materiais é traçada.
- Buscar a conservação de energia e projetar visando ao consumo eficiente de energia na alimentação dos sistemas de calefação, refrigeração, iluminação e força. Já que a construção de edificações está

entre os principais emissores de dióxido de carbono (CO₂), planejar a redução de tais emissões é um grande desafio e logo se tornará uma obrigação social e política inegociável.

- Oferecer um ambiente interno “saudável”:
 - Evitar o uso de materiais de construção e limpeza que emitam compostos orgânicos voláteis (VOCs) e suas interações sinérgicas.
 - Evitar o uso de equipamentos que não controlem ou não filtrem de maneira adequada a entrada ou a produção de particulados
 - Controlar a entrada de poluentes externos por meio de filtragem do ar, ventilação e capachos adequados; o mesmo se aplica aos contaminantes usados pelos usuários, como em produtos de higiene pessoal.
 - Projetar uma conexão com o exterior que forneça ventilação natural, iluminando diurna e vistas para o exterior. (BURKE e KEELER, 2010, p.49).

O enfoque da edificação integrada, que leva conta o ciclo de vida em todos os níveis, é fundamental para a definição de edificação sustentável. (BURKE e KEELER, 2010). Ainda, segundo Pereira (2009), uma construção só poderá ser nomeada sustentável quando contar com uma convivência harmoniosa compreendendo os três aspectos do desenvolvimento sustentável – econômico, social e ambiental.

Como bem notam Burke e Keeler (2010), enquanto não houver algum sistema de certificação ou outras diretrizes de sustentabilidade que se tornem obrigatórios e passem a ser aceitos por diferentes entidades, não existirá uma definição única, amplamente difundida e aceita do que é uma edificação sustentável. Apesar de o LEED e outros programas de construção sustentável serem adotados voluntariamente, diretrizes sólidas surgirão somente “quando o ato de construir sustentavelmente deixar de ser uma opção e se tornar uma necessidade. Todavia, [...] há um ponto em comum – a edificação sustentável equivale a um projeto de qualidade.” (BURKE e KEELER, 2010, p. 50).

As edificações sustentáveis deixam um grande legado de projeto. É possível citar inúmeras edificações que foram consideradas bem projetadas porque seu projeto se adaptou ao clima regional; utilizou os materiais de construção disponíveis e as técnicas já testadas de modo eficiente; garantiu um bom nível de conforto com a termoacumulação (por meio da massa térmica); ou aproveitou os benefícios do meio ambiente ao armazenar a água. (BURKE e KEELER, 2010, p.50).

Neste sentido, Burke e Keeler (2010) ressaltam a importância da preocupação com os danos ambientais extensos que podem ser evitados pela construção de edificações sustentáveis. A Casa Popular Eficiente construída no Centro de Eventos da Universidade Federal de Santa Maria (RS) é um exemplo de edificação sustentável. A especificação de materiais inclui tijolos de solo-cimento, telhas tetrapak, painéis OSB, piso de PVC reciclado, esquadrias de madeira feita com 'eucalyptus grandis', impermeabilizantes e tintas ecológicas. Ainda, todos os recursos disponíveis na natureza são aproveitados: o sol, o vento, o solo, a vegetação e a água da chuva. Assim, a casa não só é sustentável, como é de baixo custo e tem objetivo social. (VAGHETTI, 2014).

2.5.5 A especificação de materiais

A especificação dos materiais de construção é fundamental para a criação de edificações sustentáveis. De acordo com Burke e Keeler (2010, p. 26), "Fazer perguntas sobre a vida útil dos produtos é uma boa maneira de aprender sobre a variabilidade, a utilidade e a contribuição dos materiais para a degradação do meio ambiente".

Ao longo do processo de projeto, os profissionais da construção civil responsáveis pelo projeto e pela escolha de materiais devem coletar informações a respeito dos materiais e produtos que pretendem especificar para que possam, então, gerar edificações eficientes no uso de recursos naturais, com o uso inteligente de materiais de mineração e extrativismo. Os projetistas devem se inteirar sobre todas as especificidades dos produtos: (BURKE e KEELER, 2010).

- a embalagem que acompanha o produto;
- a energia incorporada no mesmo;

- o conteúdo de material reciclado;
 - a viabilidade de reciclagem, de reuso e de recuperação do material;
 - a geração de lixo;
 - o processo de fabricação em circuito fechado;
 - a durabilidade e a vida útil do produto e
 - o uso e a proporção de recursos renováveis e não renováveis em cada produto.
- (BURKE e KEELER, 2010).

Existem bancos de dados e sistemas de avaliações de materiais que tornam mais fácil a busca por dados que fundamentem a eleição de melhores escolhas ambientais. Um exemplo disso é o Pharos, um banco de dados criado pela Healthy Building Network que é usado por engenheiros, arquitetos e designers de todo o mundo na avaliação de produtos de construção. (BURKE E KEELER, 2010).

Muitas vezes, ao adotar uma estratégia genérica de seleção de materiais “sustentáveis”, os projetistas acabam por cometer muitos equívocos, que podem gerar problemas diversos. O quadro a seguir mostra os erros que são cometidos por projetistas- muitas vezes, bem-intencionados, que estão buscando um projeto mais sustentável. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Quadro 1 – Os erros mais comuns em estratégias de seleção de produtos para projetos mais sustentáveis.

ERRO	DESCRIÇÃO	EXEMPLOS
Desconsideração dos impactos sociais	Produtos aparentemente ecoeficientes podem ser associados à sonegação de impostos, desrespeito à legislação social e ambiental.	Um material verde pode ter utilizado mão de obra semiescrava em sua produção.
Foco em apenas um aspecto do problema	Um material que é o mais competitivo em um determinado impacto pode ser o menos em outro.	Energia incorporada, conteúdo de resíduos, ausência de determinado composto indesejado, reciclabilidade, produzido com recursos naturais, etc.
Comparação de produtos com funções diferentes	Somente podem ser comparados produtos que possuem uma mesma função por um mesmo período de tempo.	MJ/kg; kgCO ₂ /t. Essas unidades somente servem para calcular impacto da unidade funcional.
Utilização de dados fora do contexto	Empregos de dados obtidos em outros países e, até mesmo, empresas ou gerados há décadas, sem uma análise sobre sua adequação.	Emprego de dados do consumo de energia da década de 1970 na indústria cimenteira. Uso de dados europeus para analisar.
Desconsideração da durabilidade ou vida útil nas condições de uso	Produtos com menores vidas úteis serão mais rapidamente substituídos multiplicando os impactos ambientais de produção e gerando mais resíduos. A vida útil é influenciada pelo projeto, pelas condições de uso, pelo microclima e pela biodiversidade local.	Comparação de produtos ignorando o fato de que, nas condições locais, suas vidas úteis serão muito diferentes. Pintar o teto de branco para reduzir o ganho energético esquecendo que, em climas úmidos e quentes, em pouco tempo, fungos e deposição de sujeiras deixarão a superfície preta.
Desconsideração do impacto do transporte	Transporte implica significativos impactos ambientais, particularmente em produtos cuja massa é elevada e que são transportados por via rodoviária.	Seleção de produtos importados ou produzidos em regiões afastadas, com base no fato de que, no país de origem apresentam baixo impacto ambiental.
Priorização de materiais tradicionais	Seleção de materiais tradicionais sem qualquer evidência de seus reais impactos ambientais de produção e de seu desempenho.	Tijolos cerâmicos são a melhor solução pois são utilizados há milênios.
Energia incorporada	Comparação de produtos com base na energia incorporada na fase de produção, ignorando diferenças entre energias renováveis ou não, bem como o impacto no consumo energético dos edifícios.	O produto A é preferível, pois possui a menor quantidade de energia incorporada.
Desconsideração das perdas durante a construção	Diferentes produtos, práticas de gestão em canteiro e detalhes de projetos possuem perdas maiores do que outros.	Esquecer que as perdas de cimento in natura em obras são significativamente maiores do que as perdas de concreto produzido em central.
Decisão baseada em declarações não verificadas e não abrangentes	Em qualquer produto é possível achar algum aspecto em que ele é melhor do que outro. Identificada a vantagem, ela é incorporada na publicidade e, até mesmo, pode possibilitar a certificação.	Por exemplo: fabricante declara que produto metálico não contém COV. Com base neste critério, é possível criar selo para qualquer produto. Produto certificado por entidade, de acordo com regras, critérios de medida e amostragem que não são públicos e verificáveis.
Desconsideração do efeito durante o uso da construção	O impacto ambiental e social da construção se estende por todo o ciclo de vida. Em muitas situações, um aumento do impacto na fase de construção pode gerar redução dos impactos durante a fase de uso.	A colocação de uma barreira de radiação pode reduzir a demanda energética de condicionamento, mas aumenta o impacto da construção.
Esquecimento das implicações para os usuários ou operadores	Muitas soluções exigem intervenções frequentes dos usuários, que podem não estar dispostos ou capacitados a fazê-las. Ausência de práticas de treinamento dos usuários.	Instalação de sistemas de reuso de água que exigem operação e monitoramento. Tetos reflexivos ou aquecedores solares que exigem limpeza ou repintura periódica.
Não emprego do conceito de desempenho	Qualidade e desempenho adequados são pré-condições para a sustentabilidade.	Produtos que não têm desempenho ou qualidade adequados, ou apresentam altas taxas de falha, acabam sendo substituídos e multiplicam os impactos.

Fonte: (AGOPYAN E JOHN, 2011, P. 70).

A análise do ciclo de vida do edifício combinada com a seleção de fornecedores com base em critérios de sustentabilidade e formalidade é a única estratégia consistente para a seleção de materiais e fornecedores com critérios de sustentabilidade. (AGOPYAN e JOHN, 2011, p. 72).

Entretanto, a análise do ciclo de vida dos materiais ainda não é viável, considerando a limitação dos dados que estão hoje à disposição. Portanto, recomenda-se que se inicie o processo de seleção pela análise dos fornecedores disponíveis através de ferramentas de seleção de fornecedores, como a do CBCS. Intitulada “Seis Passos”, a ferramenta é online, gratuita e fácil de usar. Resumidamente, os seis passos são:

1. Verificação da formalidade da empresa fabricante e fornecedora, que deve ser devidamente registrada (ter CNPJ) e estarem situação regular com o Fisco;
2. Verificação de licença ambiental que é obrigatória para o todos os produtores;
3. Verificação das questões sociais, com a eventual existência de trabalho infantil, trabalho escravo, jornadas excessivas de trabalho, bem como a verificação da situação da higiene no trabalho;
4. Verificação de qualidade e observação de normas técnicas do produto, observando se a fornecedora participa dos Programas Setoriais do PBQP-H, e, caso o tipo de produto ainda não esteja inserido nesse programa se tem certificação ou avaliação (no caso de produto inovador);
5. Consulta sobre perfil de responsabilidade socioambiental da empresa, o seu relacionamento com os funcionários e fornecedores, com o meio ambiente, a comunidade e a sociedade, e sobre sua transparência e governança;
6. Identificação da existência de propaganda enganosa, analisando a consistência e relevância das afirmações. (AGOPYAN e JOHN, 2011, p. 117).

Finalmente, deve-se aplicar as ferramentas de decisão disponíveis. Ainda, é importante que sempre se verifique se as informações são consistentes e adequadas à situação específica. (AGOPYAN e JOHN, 2011).

Dessa forma, deve-se tomar muito cuidado com as listas genéricas de materiais sustentáveis. As mesmas são intrinsicamente falhas, uma vez que não consideram o contexto geral, focam em aspectos específicos e, na tentativa de serem universais, ignoram um dos princípios básicos da sustentabilidade: pense globalmente e aja

localmente. Esquecem-se da dimensão social da sustentabilidade. (AGOPYAN E JOHN, 2011).

Portanto, a estratégia mais consistente hoje disponível no Brasil para uma melhor escolha ambiental de materiais e fornecedores, dado o nível atual de informações disponíveis sobre o ciclo de vida dos materiais, consiste em fazer a seleção de fornecedores com base em critérios de sustentabilidade e formalidade, além de julgar criticamente se as informações obtidas são consistentes e se o emprego desejado é adequado. Quando for possível, esta decisão deverá ser baseada, também, na análise do ciclo de vida de todos os materiais do edifício. (AGOPYAN E JOHN, 2011).

3 METODOLOGIAS DE QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE

3.1 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE

O inventário de emissões de GEE é uma ferramenta que, ao mesmo tempo em que possibilita a autoavaliação de organizações, também mostra sua preocupação para com questões ambientais. Através de um inventário, as organizações podem colocar o discurso em prática, uma vez que o mesmo objetiva entender o quanto as corporações emitem de GEE para a atmosfera e o quanto impactam, com suas ações organizacionais, no meio ambiente. (FUJIHARA e LOPES, 2009).

Logo, o inventário de emissões de GEE viabiliza ações consistentes para mitigar as emissões de GEE. Essas ações deverão fazer parte das atividades da empresa, contribuindo para o seu desenvolvimento sustentável. (FUJIHARA e LOPES, 2009).

Fujihara e Lopes (2009) sugerem que, uma vez que um dos intuitos do inventário é direcionar e otimizar os recursos utilizados em projetos de mitigação de emissões de GEE, é indicado o desenvolvimento periódico do mesmo. Ainda de acordo com os mesmos autores (FUJIHARA E LOPES, 2009, p. 59), “Mesmo para inventários mais completos existem fontes de emissão de GEE novas e fontes que deixam de existir de um ciclo para o outro, bem como alterações em métodos de cálculo e fatores de emissão empregados.”

Hoje, o desenvolvimento de um inventário de emissões de GEE é um ato voluntário, no entanto, acredita-se que deva se tornar obrigatório em breve. Isso pode acontecer devido à constante pressão mundial, que exige a redução das emissões de GEE, com o objetivo de mitigar os resultados das mudanças climáticas em setores de alta visibilidade ou que apresentem grandes emissões de GEE. (FUJIHARA e LOPES, 2009).

Desta forma, considerando-se o atual contexto dos assuntos diplomáticos pertinentes às mudanças climáticas, acredita-se que a obrigatoriedade deverá surgir ou por pressão política, ou do mercado. De acordo com Fujihara e Lopes (2009, p.61),

A pressão política viria por meio de ações governamentais, com possível criação de leis e órgãos regulatórios. Essa pressão está altamente relacionada com acordos diplomáticos entre países, e, como melhor exemplo, pode ser citado o Protocolo de Quioto. Já a pressão de mercado surge pela

necessidade comercial relacionada com a adequação da empresa a exigências dos *stakeholders*. Dessa forma, a companhia obtém maior competitividade empresarial e conquista o consumidor final (FUJIHARA e LOPES, 2009, p. 61).

Fujihara e Lopes (2009, P.57) explicam que “O processo de desenvolvimento de um inventário de emissões de GEE geralmente é embasado em referências nacionais e internacionais, a fim de criar um padrão de comparabilidade entre relatórios de diferentes lugares do mundo”. Segundo os autores, dentre todos os protocolos e normas existentes para a concepção de inventários de emissões de GEE, os que apresentam maior confiabilidade são:

- 2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories;
- Norma NBR ISO 14064;
- GHG Protocol – Corporate Protocol of World Business Council for Sustainable Development e World Resources Institute. (FUJIHARA e LOPES, 2009, p. 57).

Além disso, existem algumas planilhas eletrônicas, bastante difundidas, que também objetivam a concepção de inventários de GEE. São elas: 2006 IPCC Software for National Greenhouse Gas Inventories, Planilhas da UNFCCC e Athena EcoCalculator. Acredita-se que, conforme forem surgindo regulamentações, as estimativas de emissões da cadeia produtiva deverão se tornar mais precisas, possibilitando o conhecimento, no futuro, das emissões de GEE e do ciclo de vida de cada material. (COSTA, 2012; FUJIHARA e LOPES, 2009).

3.2 NORMAS E PROTOCOLOS

3.2.1 2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories

O relatório "Diretrizes do IPCC para Inventários de Gases de Efeito Estufa" (IPCC, 2006) presta auxílio a países que estão no processo de compilação de seus inventários nacionais de GEE. (COSTA, 2012). Esta metodologia foi concebida a convite da UNFCCC com o objetivo de ser um guia para a realização de cálculos para inventários. (FUJIHARA E LOPES, 2009).

O documento é dividido em cinco volumes, sendo que cada um trata de uma fonte: energia, processos industriais e uso de produtos, agricultura e demais usos da

terra e resíduos- de qualquer tipo. Ao longo destes volumes, são dados fatores de emissão médios específicos de várias atividades, estimados para que possam ser utilizados em qualquer lugar do mundo. No entanto, seu uso é recomendado somente quando não se tem um fator nacional médio específico. Ainda assim, esta é a metodologia mais empregada no desenvolvimento de inventários de emissão de GEE. (FUJIHARA e LOPES, 2009).

3.2.2 GHG Protocol

O Protocolo GEE é uma parceria entre todas as partes interessadas (*multistakeholder*), governos, dentre outras entidades, reunidos pelas organizações não governamentais *World Resources Institute (WRI)* e pelo *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*. (COSTA, 2012). Segundo Fujihara e Lopes (2009, p. 58), “O objetivo é criar e desenvolver normas internacionalmente aceitas para monitoramento e comunicação das emissões de GEE”.

O protocolo é composto por duas normas, sendo que cada ferramenta é formada por uma planilha eletrônica, acompanhada de um guia que mostra, passo a passo, como utilizá-la. O GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard permite às empresas calcular e comunicar suas emissões de GEE, enquanto o GHG Protocol Project Quantification Standard serve como guia para quantificar as reduções de projetos mitigadores de GEE. (COSTA, 2012; FUJIHARA E LOPES, 2009).

Existem vários setores ligados à construção civil que são considerados nas planilhas do GHG Protocol: produção de alumínio, de cimento, de ferro e de aço, de cal, além da combustão estacionária, do uso de eletricidade comprada e transporte e fontes móveis. A grande desvantagem do protocolo, no entanto, é a exigência de se ter conhecimentos prévios sobre inventários de emissões de GEE, uma vez que o usuário deve inserir a grande maioria dos dados nas tabelas, inclusive fatores de emissão e outras informações específicas. (COSTA, 2012).

3.2.3 ISO 14064

Segundo Fujihara e Lopes (2009), a ABNT NBR ISO 14064 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental, pela Comissão de Estudo de Mudanças Climáticas. A norma é dividida da seguinte forma:

- ISO 14064-1: GEE - Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de GEE;
- ISO 14064-2: GEE - Parte 2: Especificação e orientação a projetos para quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios das reduções de emissões ou da melhoria das remoções de GEE;
- ISO 14064-3: GEE - Parte 3: Especificação e orientação para a validação e a verificação de declarações relativas a GEE. (ABNT e SEBRAE, 2015, p. 37).

3.3 SOFTWARES DE CÁLCULO DE IMPACTOS E DE COMPARAÇÃO AMBIENTAL ENTRE DIFERENTES MATERIAIS

3.3.1 2006 IPCC Software for National Greenhouse Gas Inventories

O 2006 IPCC Software for National Greenhouse Gas inventories é um aplicativo baseado nas metodologias do 2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories e foi feito com o objetivo de ajudar a reunir Inventários Nacionais de GEE. Possui a aparência de uma planilha eletrônica, com campos que se atualizam conforme o usuário insere os seus dados. Além disso, o aplicativo emite relatórios completos ou por categoria do IPCC (2006) e desenvolve inventários setoriais ou de unidades fabris. O aplicativo não permite, no entanto, a realização de comparações entre processos produtivos e entre materiais de forma direta. (COSTA, 2012).

3.3.2 Planilhas da UNFCCC

As planilhas da UNFCCC têm muito em comum com o programa do IPCC: também permitem a realização de inventários nacionais de GEE, de inventários setoriais e de unidades fabris e, da mesma forma, não permitem fazer comparações entre sistemas produtivos e materiais de forma direta. Não produz relatórios

customizados, somente o padrão pré-definido. A inserção de dados nas tabelas é demorada, uma vez que são 8 planilhas, separadas por categoria. (COSTA, 2012).

3.3.3 Athena EcoCalculator

A Athena EcoCalculator é uma planilha desenvolvida no Canadá, pelo Athena Institute, que mensura o impacto ambiental de 215 materiais e sistemas construtivos. É baseada na ACV de sistemas construtivos americanos, que analisa várias fases, desde a extração até a demolição do sistema estrutural e transporte para aterro sanitário. A calculadora obtém dados do banco de dados do inventário de ciclo de vida dos E.U.A (U.S. LCI Database), que fornece dados sobre o fluxo de materiais em diversos processos produtivos. (COSTA, 2012).

O *EcoCalculator* pode ser usado apenas em edificações de, no máximo, quatro pavimentos e ele analisa oito categorias de impacto, dentre elas o consumo de energia, o uso de matérias primas e o potencial de aquecimento global. A planilha divide a edificação em sete subplanilhas, nas quais devem ser inseridos os dados em pés quadrados ou jardas cúbicas. A calculadora, apresenta, então, o impacto ambiental do produto, segundo a categoria de impacto. Ainda, traz um resumo dos impactos ambientais gerados por cada parte do edifício, além de gráficos que mostram o quanto cada uma dessas partes contribui para os impactos ambientais analisados. (COSTA, 2012).

No entanto, esta metodologia não é muito indicada para uso no Brasil, uma vez que, segundo Costa (2012, p. 65), “utiliza unidades de medida, fatores de caracterização e fatores de normalização americanos.” Além disso, não admite a inserção de dados customizados e assume vários pressupostos, como vida útil da edificação de 60 anos, altura de pilares, resistência do concreto e altura da edificação. (COSTA, 2012).

3.4 MÉTODO QE-CO₂

No trabalho proposto, será feita uma quantificação das emissões de CO₂ geradas nas fases de extração de matérias primas, transporte e produção dos materiais utilizados na construção da Casa Popular Eficiente, através do método QE-

CO₂. De acordo com Costa (2012), autor do método, o mesmo foi criado a partir de dados do IPCC, da UNFCCC, da 2ª Comunicação Nacional do Brasil, do Balanço Energético Nacional, de artigos científicos, de associações e fabricantes e das metodologias existentes. Trata-se de um método de quantificação de emissões de CO₂ adaptado às condições brasileiras, que considera as fases de extração de matérias-primas, transporte e produção de materiais utilizados na construção civil.

Figura 1 - Fluxograma do desenvolvimento do Método QE-CO₂.



Fonte: (COSTA, 2012, P. 73).

3.4.1 Fórmula Geral

De acordo com Costa (2012), o método QE-CO₂ consiste na multiplicação da quantidade de produto utilizado na obra pelo fator de perda e pelo somatório das emissões geradas pelo consumo de energia e pelo transporte, de acordo com a fórmula geral apresentada na Equação 2.

$$\text{Emissões}_{MT1,j} = QT_j \times FP_j \times (\text{Emissões}_{TR1,i} + \text{Emissões}_{EN1,i}) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Emissões_{MT1,j} = emissões de CO₂ devido a utilização do produto j em edificações, em toneladas de CO₂;

QT_j = quantidade de produto j necessária na obra, em toneladas;

FP_j = fator de perda do produto j, adimensional (Tabela 1);

Emissões_{TR1,i} = emissões de CO₂ devido ao consumo da energia i para o transporte de matérias primas e do produto j para a edificação, em toneladas de CO₂/tonelada de produto j;

Emissões_{SEN1,i} = emissões de CO₂ devido ao consumo da energia i para extração e processamento do produto j necessário na edificação, em toneladas de CO₂/tonelada de produto j.

A fórmula geral do Método QE- CO₂ é adaptada para cada material de construção analisado [...] com o objetivo de levar em consideração as particularidades dos materiais, de seus sistemas produtivos e da qualidade dos dados disponíveis. Dessa forma, o Método QE- CO₂ é subdividido em três níveis de precisão de estimativas de CO₂ geradas por cada material analisado: Nível Básico, Nível Intermediário e Nível Avançado. O Nível Básico é baseado em dados médios, a nível nacional, produzindo estimativas de emissões de CO₂ menos precisas enquanto o Nível Avançado, por empregar dados específicos das unidades fabris sobre os processos produtivos, é o método mais preciso. (COSTA, 2012, p.74).

Ainda de acordo como autor (COSTA, 2012), os três níveis do Método QE-CO₂ são desenvolvidos para cálculo das emissões de CO₂ do consumo de energia, do transporte e da produção e emprego de cada material de construção selecionado. Este trabalho abordará e utilizará na quantificação proposta apenas o Nível Básico do método.

3.4.2 Dados Disponíveis na Literatura

Alguns dados disponíveis na literatura foram utilizados na concepção do Método QE-CO₂. Segundo Costa (2012, p.74), dentre eles estão:

- a) a quantidade de energia consumida em determinados processos produtivos;
- b) o conteúdo de carbono padrão de energéticos;
- c) distância entre os centros de extração, de produção e de consumo, incluindo a tipologia do principal meio de transporte;

d) fator de perda de determinado material, devido a desperdícios na aplicação durante a obra (obtido a partir de dados sobre as perdas de materiais nos canteiros de obras do Brasil, Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo dos fatores de perda (FP) de materiais na obra, em (%).

Identificação	Média	Mínimo
Aço	10	4
Alumínio (esquadrias)	2	-
Areia	76	7
Argamassa parcial / totalmente produzida fora canteiro (alvenaria)	116	26
Argamassa parcial / totalmente produzida fora canteiro (chapisco)	21	14
Argamassa parcial / totalmente produzida fora canteiro (contrapiso)	42	36
Argamassa parcial / totalmente produzida fora canteiro (emboco/massa)	99	5
Argamassa parcial / totalmente produzida fora canteiro (reboco)	13	13
Argamassa produzida em obra	18	18
Blocos e tijolos	17	3
Cal	97	6
Cimento	56*	6
Concreto produzido em obra	6	6
Concreto usinado	9	2
Gesso	45	0
Gesso (placa acartonada) *1	10	-
Pedra	75	9
Placas cerâmicas	16	2
Tubos *2	29	0
Tubos (elétrica) *2	18	5

Fonte: (COSTA, 2012, P. 75); (*AGOPYAN, 1998; *1: MARCONDES, 2007; *2: SOUZA ET AL., 1998).

3.4.3 Dados Calculados

Alguns dados foram calculados pelo autor para que as emissões de CO₂ estimadas pelo Método QE-CO₂ estejam de acordo com a realidade brasileira. O único dado que foi calculado e é importante para este trabalho é o fator de emissão de CO₂ médio brasileiro decorrente da extração de matérias-primas, produção e transporte dos materiais de construção analisados (FEP_i, Tabela 2). (COSTA, 2012, p. 75).

3.4.4 Método QE-CO₂ no Nível Básico

O Nível Básico é o mais elementar dentre os três níveis do método, gerando estimativas menos precisas do que os demais. É calculado de acordo com a Equação 2 ou 3. De acordo com Costa (2012, p. 75), a equação 2 deve ser utilizada

Quando somente estão disponíveis valores médios, a nível nacional, sobre consumo de energéticos, transporte e/ou composição química dos materiais. Quando os dados são limitados, ou seja, quando não se conhece detalhes dos consumos energéticos, emissões ou composição química, assim como distâncias entre locais de extração, produção e consumo ou tipo de meio de transporte utilizado, deve-se empregar a Equação 3.

$$\text{Emissões}_{\text{MT},j} = \text{QT}_j \times \text{FP}_j \times \text{FEP}_j \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

QT_j = quantidade de produto j necessária na obra, em toneladas;

FP_j = fator de perda do produto j , adimensional;

FEP_j = fator de emissão de CO₂ devido a utilização do produto j em edificações, em toneladas de CO₂ / tonelada de produto acabado.

Costa (2012, p. 76) explica que a Equação 3 “deve ser utilizada, portanto, quando apenas se conhece a quantidade de material empregado na obra visto que os valores dos fatores de perda (FP) e de emissão de CO₂ brasileiro (FEP_j - calculado no Nível Básico de cada material) [...] são fornecidos” [na dissertação de Costa, 2012, p. 76]. Os valores fornecidos nas tabelas do método podem ser empregados em todo o Brasil.

O fator FEP_j é igual ao somatório ($\text{Emissões}_{\text{TR1},j,i} + \text{Emissões}_{\text{EN1},j,i}$) e foi fornecido pelo autor em uma tabela (Tabela 2) para diversos materiais. Para os materiais não contemplados pela tabela, é necessário que se faça uma pesquisa na Literatura e/ou diretamente com o fornecedor, para coleta de dados que possibilitem o cálculo das emissões devido ao transporte ($\text{Emissões}_{\text{TR1},j,i}$) e das emissões devido à energia ($\text{Emissões}_{\text{EN1},j,i}$). Sobre o FEP_j , Costa (2012, p. 76) explica que

Sempre que disponíveis, contabiliza valores médios, a nível nacional (em alguns casos são utilizados valores específicos de determinada indústria no Brasil ou médios do exterior), de consumo de combustível em veículos de

transporte, distância média entre locais de extração, produção e uma obra fictícia, no centro do Rio de Janeiro (latitude 22°54'12.74" Sul e longitude 43°12'34.51" Oeste), energia consumida para extração de matérias primas e processamento, emissões oriundas das reações químicas, para fornecimento de uma tonelada (ou m³) de produto acabado para a obra.

A Tabela 2 apresenta a relação de todos os fatores de emissão de diversos produtos (fator FEP_j), calculados pelo autor do Método QE-CO₂ (COSTA, 2012), considerando as emissões geradas nas fases de extração, processamento e transporte dos materiais de construção para a cidade do Rio de Janeiro- entretanto, como representam uma média nacional, podem ser usados para o cálculo das emissões de CO₂ em todo o Brasil. Devem ser empregados na Equação 3, no Nível Básico do método, “quando a disponibilidade de dados sobre consumo de energéticos, distância percorrida pelo transporte ou reações químicas for limitada ou inexistente”.

Tabela 2 - Relação dos fatores de emissão FEP_j (calculados para a cidade do Rio de Janeiro, no Nível Básico- válido para estimativas de emissões de CO₂ em todo o Brasil).

Identificação	Unidade	Valor
Aço	tCO ₂ /t produto	1,845
Agregados graúdos	tCO ₂ /t produto	0,086
Agregados miúdos	tCO ₂ /t produto	0,086
Alumínio (perfil)	tCO ₂ /t produto	4,441
Argamassa 01	tCO ₂ /t produto	0,197
Argamassa 02	tCO ₂ /t produto	0,162
Argamassa 03	tCO ₂ /t produto	0,142
Argamassa 04	tCO ₂ /t produto	0,190
Argamassa 05	tCO ₂ /t produto	0,159
Argamassa 06	tCO ₂ /t produto	0,139
Argamassa 07	tCO ₂ /t produto	0,186
Argamassa 08	tCO ₂ /t produto	0,155
Argamassa 09	tCO ₂ /t produto	0,137
Cal hidratada	tCO ₂ /t produto	0,911
Cal virgem	tCO ₂ /t produto	1,184
Cerâmica (revestimento)	tCO ₂ /t produto	0,187
Cerâmica (telhas e tijolos)	tCO ₂ /t produto	0,111
Cimento	tCO ₂ /t produto	0,652
Concreto (bloco)	tCO ₂ /t produto	0,184
Concreto (piso intertravado)	tCO ₂ /t produto	0,270
Concreto (tubo)	tCO ₂ /t produto	0,224
Concreto (15MPa com cimento CP II-F-32)	tCO ₂ /m ³ produto	0,328
Concreto (20MPa com cimento CP II-F-32)	tCO ₂ /m ³ produto	0,351
Concreto (25MPa com cimento CP II-F-32)	tCO ₂ /m ³ produto	0,359
Concreto (30MPa com cimento CP II-F-32)	tCO ₂ /m ³ produto	0,387
Concreto (35MPa com cimento CP II-F-32)	tCO ₂ /m ³ produto	0,404
Concreto (40MPa com cimento CP II-F-32)	tCO ₂ /m ³ produto	0,424
Concreto (45MPa com cimento CP II-F-32)	tCO ₂ /m ³ produto	0,451
Concreto (50MPa com cimento CP II-F-32)	tCO ₂ /m ³ produto	0,48
Gesso	tCO ₂ /m ³ produto	0,639
Gesso (placas)	tCO ₂ /m ³ produto	0,766
Madeira na IMPM, para Eucalipto	tCO ₂ /m ³ produto	0,409
Madeira na IMPM, para madeira Amazônica	tCO ₂ /m ³ produto	0,496
Madeira na IMPM, para Pinus	tCO ₂ /m ³ produto	0,405
Madeira na IPM, para aglomerado e chapa de fibra	tCO ₂ /m ³ produto	0,308
Madeira na IPM, para HDF, MDF, MDP e OSB	tCO ₂ /m ³ produto	0,331
Plástico (PVC)	tCO ₂ /t produto	0,615
Vidro	tCO ₂ /t produto	0,844

Fonte: (COSTA, 2012, P. 163).

3.4.5 Método QE-CO₂ no Nível Intermediário

O Nível Intermediário segue o mesmo procedimento do Nível Básico, no entanto é um método mais preciso do que este. Baseia-se em informações mais

específicas do processo produtivo e do fabricante do material, como na distância exata percorrida por determinado produto- desde a extração de suas matérias primas e envio destas para as indústrias, até o envio do produto final à obra- e no emprego de um fator de emissão corrigido específico de determinado energético. (COSTA, 2012).

3.4.6 Método QE-CO₂ no Nível Avançado

O Método QE-CO₂ no Nível Avançado é destinado principalmente a fabricantes de produtos e indústrias que desejam inventariar suas emissões de CO₂. É o nível mais preciso, dentre os três apresentados, pois apresenta maior aprofundamento, uma vez que se baseia em informações específicas, como a quantidade de energéticos consumidos e quilômetros percorridos no transporte, por unidade fabril, o fator de emissão corrigido específico de determinado produtor de energia e a composição química das matérias primas e do produto final. (COSTA, 2012).

3.4.7 Materiais Analisados

Neste trabalho, serão desenvolvidas duas quantificações de emissões de CO₂. A primeira consiste no cálculo das emissões de CO₂ devido ao emprego de materiais alternativos na construção da Casa Popular Eficiente. Portanto, serão analisados, através do Método QE-CO₂ em seu Nível Básico, nove materiais da Casa Popular Eficiente. São eles:

- a) O cimento contido no concreto do radier (fundação);
- b) O aço das armaduras do radier (fundação);
- c) Os agregados graúdos (brita 1) do concreto empregado no radier;
- d) Os agregados miúdos (areia) contidos no radier;
- e) Forro com chapas OSB;
- f) Piso de PVC reciclado;
- g) Telhas ecológicas Tetra-Pak;
- h) Esquadrias de Eucalyptus Grandis e
- i) Tijolos ecológicos de solo-cimento.

Posteriormente, será feita uma segunda quantificação de emissões de CO₂, desta vez compreendendo materiais comuns em residências populares brasileiras. A quantificação considerará uma segunda opção de residência, construída com diferentes materiais, porém, com as mesmas dimensões da Casa Popular Eficiente. Os materiais a serem analisados são:

- a) O cimento contido no concreto do radier (fundação);
- b) O aço das armaduras do radier (fundação);
- c) Os agregados graúdos (brita 1) do concreto empregado no radier;
- d) Os agregados miúdos (areia) contidos no concreto do radier;
- e) Forro de PVC;
- f) Piso de cerâmica;
- g) Telhas francesas de cerâmica;
- h) Esquadrias de Pinus;
- i) Tijolos de cerâmica.

Devido à escassez de dados a respeito das telhas Tetra-Pak, será necessário que se estude e investigue a respeito das emissões devido à energia gasta para produzir e transportar as telhas Tetra-Pak. Por isso, será abordada a parte do método QE-CO₂ que trata das emissões dos Setores de Energia e de Transporte brevemente.

3.4.8 Setor de Energia no Nível Básico do Método QE-CO₂

Costa (2012, p. 78), explana que

A energia é impulsionada, em grande parte, pela queima de combustíveis fósseis. Durante a combustão, o carbono e hidrogênio são convertidos principalmente em CO₂ e água, liberando a energia química do combustível em forma de calor. Este calor é geralmente usado diretamente ou é empregado (com algumas perdas de conversão) para produzir energia mecânica e para gerar eletricidade. [...] Dentro do contexto da construção de edificações e dos sistemas produtivos de materiais, a energia engloba o consumo de eletricidade (para iluminação e operação de equipamentos) e de combustíveis líquidos, sólidos ou gasosos (para a operação de maquinário de extração de matérias primas, de produção e de transporte).

De acordo com Costa (2012), as emissões de CO₂ devido ao consumo de energia podem ser calculadas através de duas equações. A primeira (Equação 4) deve ser usada quando se conhece a quantidade de energia consumida para a

produção de uma tonelada de produto acabado, enquanto a segunda (Equação 5) é utilizada quando se conhece o rendimento dos equipamentos utilizados na produção.

$$\text{Emissões}_{\text{EN1,1,i}} = \text{ConsumoEnergia}_i \times \text{FEC}_i \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$\text{Emissões}_{\text{EN1,1,i}}$ = emissões de CO₂ do consumo da energia i , em tCO₂/ tonelada de produto acabado;

ConsumoEnergia_i = quantidade de energia i consumida, em unidade de volume ou massa ou energia/tonelada de produto acabado;

FEC_i = fator de emissão corrigido da energia i , em tCO₂ / unidade de volume ou massa ou energia (Tabela 3, colunas “F” ou “G”). (COSTA, 2012, p.79)

$$\text{Emissões}_{\text{EN1,2,i}} = \text{CO}_{w,y} \times \text{PR}_{w,y} \times \text{FEC}_i \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$\text{Emissões}_{\text{EN1,2,i}}$ = emissões de CO₂ devido a extração e/ou processamento, em toneladas de CO₂/ tonelada de produto acabado;

$\text{CO}_{w,y}$ = fator de consumo médio de energia de determinado tipo de equipamento w , em unidade de volume ou massa ou energia/ unidade de tempo y ;

$\text{PR}_{w,y}$ = quantidade de produto acabado produzido por determinado tipo de equipamento w , em toneladas de produto acabado/ unidade de tempo y ;

FEC_i = fator de emissão corrigido da energia i , em tCO₂/ unidade de volume ou massa ou energia. (COSTA, 2012, p.79)

Segundo o autor do método (COSTA, 2012), o valor do FEC_i pode ser obtido pronto na Tabela 3 para diversos energéticos. Entretanto, quando se quiser calcular o fator de emissão corrigido (FEC_i) de algum energético não contemplado pela tabela, pode-se utilizar a Equação 6.

$$\text{FEC}_i = \text{FE}_i \times \text{FR}_i \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

FEC_i = fator de emissão corrigido da energia i , em tCO_2 /unidade de volume ou massa ou energia;

FE_i = fator de emissão padrão da energia i , incluindo o fator de oxidação padrão igual a um, em tCO_2 /unidade de volume ou massa ou energia (Tabela 3, colunas “B” ou “E”);

FR_i = fator de correção padrão da energia i , adimensional (sendo igual a 1,0 para energia primária e eletricidade; e 1,20 para energias secundárias e 1,263 para gás natural). (COSTA, 2012, p.79)

O fator de correção (FR_i) diz respeito à “contabilização das perdas na transformação de energéticos primários em energéticos secundários assim como perdas na distribuição e armazenagem de energéticos primários e secundários”. (COSTA, 2012, p. 80). Para fontes energéticas primárias, em razão da insuficiência de dados, o criador do método (Costa, 2012) considerou, conservadoramente, que não houve consumo energético para sua oferta ao mercado- por isso seu fator de correção (FR_i) é igual à unidade.

A Tabela 3 apresenta os dados empregados no cálculo dos fatores de emissão corrigidos (FEC_i) de diversos energéticos utilizados no trabalho de Costa (2012). O autor (Costa, 2012, p. 84) esclarece que

A coluna “A” refere-se ao conteúdo de carbono padrão de determinado energético de acordo com dados de Brasil (2010f). A coluna “B” refere-se ao fator FE_i , em tCO_2/TJ . A coluna “E” refere-se ao fator FE em tCO_2 /unidade de medida constante na coluna “D”. Os valores da coluna “E” são obtidos através da multiplicação do fator de conversão da coluna “C” (em TJ/unidade da coluna “D”) pelo valor da coluna “B”. Os valores da coluna “F” (em tCO_2 /unidade de medida da coluna “D”) correspondem ao fator FEC_i e são obtidos através da multiplicação dos valores da coluna “E” pelos respectivos valores de FR. Os valores de FR são de 1,20 para as fontes energéticas secundárias e de 1,26 para o gás natural, conforme cálculo anterior (item 3.1.1). Finalmente a coluna “G” (fator FEC) apresenta os valores da coluna “F” em outra unidade de medida (em tCO_2 /unidade de medida da coluna H).

Tabela 3 - Resumo dos fatores de emissão (FE) e de emissão corrigido (FEC) dos energéticos, no Nível Básico (respectivamente colunas “B”, “E” e “F”, “G”).

Identificação	A	B	C	D	E	F	G	H
Alcatrão	25,8	94,6	35,8	t	3,39	4,07	-	-
Álcool Etílico Anidro	18,8	68,9	22,4	m3	1,54	1,85	0,0019	L
Álcool Etílico Hidratado	18,8	68,9	21,3	m3	1,47	1,77	0,0018	L
Asfalto	22,0	80,7	42,6	m3	3,44	4,13	0,0041	L
Bagaço de Cana	27,0	99,0	8,9	t	0,88	0,88	-	-
Caldo de Cana	20,0	73,3	2,6	t	0,19	0,19	-	-
Carvão Metalúrgico Imp.	25,8	94,6	31,0	t	2,93	2,93	-	-
Carvão Metalúrgico Nac.	25,8	94,6	26,9	t	2,54	2,54	-	-
Carvão Vapor 3100 kcal/kg	25,8	94,6	12,4	t	1,17	1,17	-	-
Carvão Vapor 3300 kcal/kg	25,8	94,6	13,0	t	1,23	1,23	-	-
Carvão Vapor 3700 kcal/kg	25,8	94,6	14,7	t	1,39	1,39	-	-
Carvão Vapor 4200 kcal/kg	25,8	94,6	16,8	t	1,58	1,58	-	-
Carvão Vapor 4500 kcal/kg	25,8	94,6	17,8	t	1,68	1,68	-	-
Carvão Vapor 4700 kcal/kg	25,8	94,6	18,6	t	1,76	1,76	-	-
Carvão Vapor 5200 kcal/kg	25,8	94,6	20,5	t	1,94	1,94	-	-
Carvão Vapor 5900 kcal/kg	25,8	94,6	23,5	t	2,22	2,22	-	-
Carvão Vapor 6000 kcal/kg	25,8	94,6	23,9	t	2,26	2,26	-	-
Carvão Vapor s/ especific.	25,8	94,6	11,9	t	1,13	1,13	-	-
Carvão Vegetal	29,1	106,7	27,1	t	2,89	2,89	-	-
Coque de Carvão Mineral	29,5	108,2	28,9	t	3,12	3,12	-	-
Coque de Petróleo	27,5	100,8	36,5	m3	3,68	4,43	0,0044	L
Eletricidade C. Autoprod.	15,1	55,4	3,6	GWh	199,35	199,35	0,1993	MWh
Eletricidade C. Públicas	3,5	12,8	3,6	GWh	46,12	53,42	0,0534	MWh
Gás de coqueira (10 ³)	12,1	44,4	26,8	m ³	1,19	1,43	0,0014	L
Gás de Refinaria	18,2	66,7	27,4	m3	1,83	2,20	0,0022	L
Gás natural seco (10 ³)	15,3	56,1	36,8	m ³	2,07	2,61	-	-
Gás natural úmido (10 ³)	16,0	58,7	41,6	m ³	2,44	2,44	-	-
Gás Natural Veicular	-	-	-	m3	2,00	2,40	-	-
Gasolina Automotiva	18,9	69,3	32,2	m3	2,23	2,68	0,0027	L
Gasolina de Aviação	19,5	71,5	32,0	m3	2,28	2,75	0,0027	L
GLP	17,2	63,1	25,6	m3	1,61	1,94	0,0019	L
Lenha	28,9	106,0	13,0	t	1,38	1,38	-	-
Lixívia	23,9	87,6	12,0	t	1,05	1,05	-	-
Lubrificantes	20,0	73,3	37,3	m3	2,73	3,29	0,0033	L
Melaço	20,0	73,3	7,8	t	0,57	0,57	-	-
Nafta	20,0	73,3	32,1	m3	2,35	2,82	0,0028	L
Óleo Combustível	21,1	77,4	40,2	m3	3,11	3,73	0,0037	L
Óleo Diesel	20,2	74,1	35,5	m3	2,63	3,16	0,0032	L
Outros Prod. Não En.Petr.	20,0	73,3	37,3	m3	2,73	3,28	0,0033	L
Outros Prod. Sec. Petr.	20,0	73,3	37,3	m3	2,73	3,28	0,0033	L
Petróleo	20,0	73,3	37,3	m3	2,73	2,73	0,0027	L
Querosene de Aviação	19,5	71,5	34,4	m3	2,46	2,96	0,003	L
Querosene Iluminante	19,6	71,9	34,4	m3	2,47	2,97	0,003	L
Solventes	20,0	73,3	32,7	m3	2,40	2,88	0,0029	L

A: conteúdo de carbono, em tC/TJ, segundo Brasil (2010f); B: fator FE, em tCO₂/TJ; C: fator de conversão, em TJ/(D); D: unidade de medida; E: fator FE, em tCO₂/(D); F: fator FEC, em tCO₂/(D); G: fator FEC, em tCO₂/(H); H: unidade de medida. Fonte: (COSTA, 2012. p. 84).

3.4.9 Setor de Transporte no Nível Básico do Método QE-CO₂

O setor de transporte considera as emissões devido à utilização de energéticos para o funcionamento de caminhões, trens e navios, usados no transporte de materiais de construção. No Nível Básico do Método QE-CO₂, as emissões de CO₂ decorrentes do transporte são calculadas através da Equação 7, “levando-se em consideração o consumo médio de energéticos para o transporte de matérias primas e do produto acabado”. (COSTA, 2012, p. 87).

$$\text{Emissões}_{\text{STR1}} = \text{km} \times \text{CO}_t \times \text{FEC}_i \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

$\text{Emissões}_{\text{STR1}}$ = emissões de CO₂ em razão do transporte, em toneladas de CO₂/ tonelada de produto acabado;

km = distância percorrida pelo veículo no transporte de matérias primas e produto acabado (somatório da distância de ida mais a de volta), em km;

CO_t = fator de consumo médio de energia de determinado tipo de veículo, em L/t/km;

FEC_i = fator de emissão corrigido da energia *i*, em tCO₂/L.

O valor do fator de emissão corrigido (FEC_i) de diversos energéticos pode ser obtido da Tabela 3 (colunas “F” ou “G”) enquanto o fator de consumo médio de energia de vários tipos de veículos (CO_t) é obtido da Tabela 4. Em relação à distância percorrida pelo veículo (km), o autor do método adotou como sendo a distância média entre locais de extração/processamento/indústrias e uma obra fictícia no centro da cidade do Rio de Janeiro (latitude 22°54'12.74" Sul e longitude 43°12'34.51" Oeste). (COSTA, 2012).

Tabela 4 - Resumo do consumo médio de combustíveis de meios de transporte (CO_t).

Identificação	Consumo (L/t/km)
Caminhão Leve	0,0446
Caminhão Médio	0,0347
Caminhão Semipesado	0,0196
Caminhão Pesado	0,0121
Caminhão Extrapesado	0,0114
Trem	0,0115
Navio	0,005

Fonte: (COSTA, 2012, p. 89).

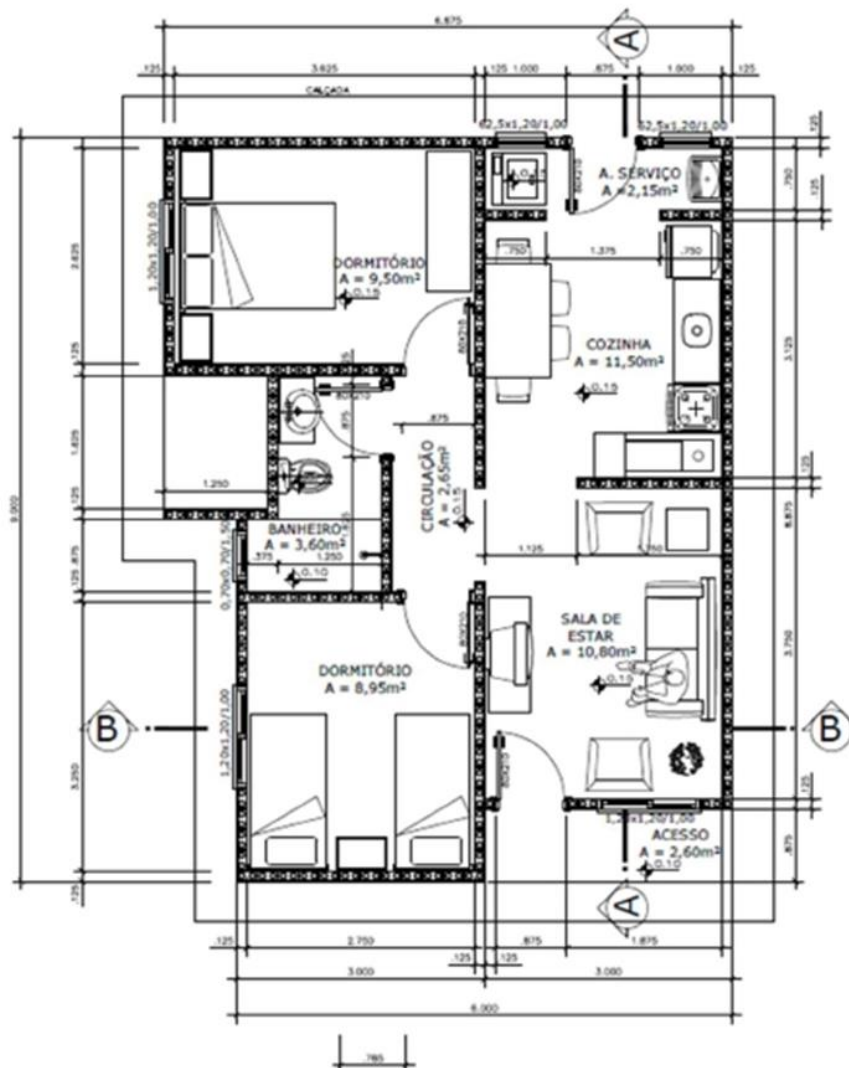
4 QUANTIFICAÇÕES, RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 APRESENTAÇÃO DA CASA POPULAR EFICIENTE

A Casa Popular Eficiente já possui um protótipo localizado no Centro de Eventos da UFSM, no campus de Camobi, Santa Maria (RS). De acordo com o Memorial Descritivo do projeto, a casa possui as seguintes características:

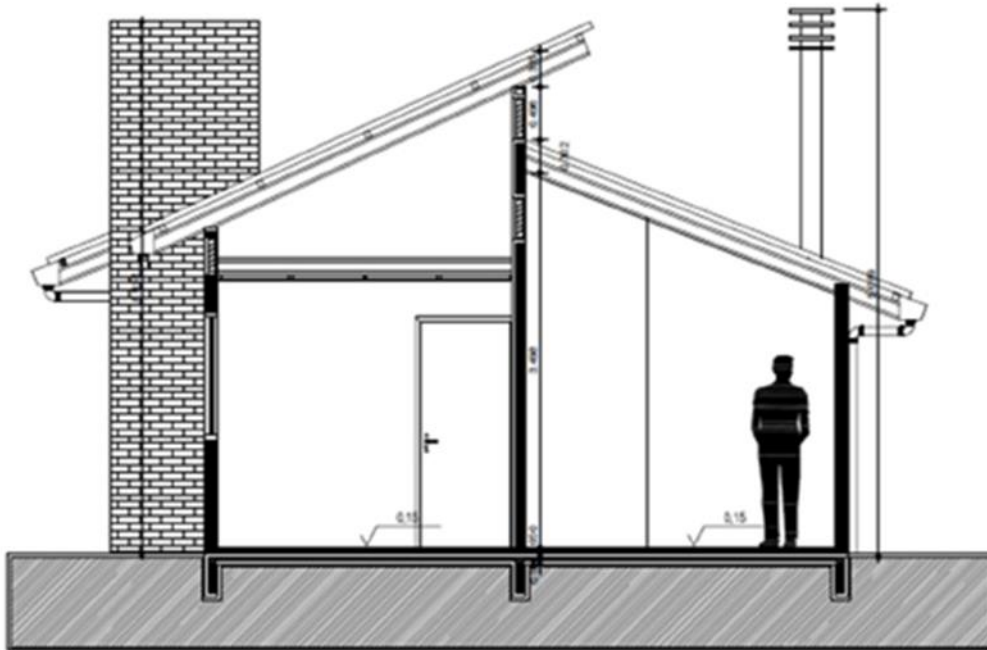
- A área da residência é de 55,42m², sendo que estes se dividem em dois dormitórios, um banheiro, corredor de circulação, sala de estar, cozinha e área de serviço.

Figura 2 - Planta Baixa da CPE– escala livre.



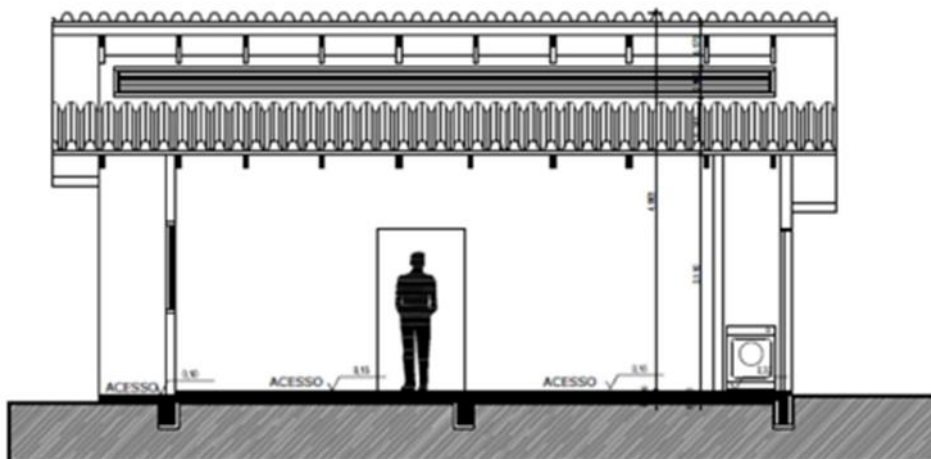
Fonte: (VAGHETTI *et al.*, 2013).

Figura 3 – Corte BB – escala livre.



Fonte: (VAGHETTI *et al.*, 2013).

Figura 4 – Corte AA – escala livre.



Fonte: (VAGHETTI et al., 2013).

Figura 5 – Fachada frontal da Casa Popular Eficiente.



Fonte: (a autora, 2017).

Figura 6 – Fachada lateral da Casa Popular Eficiente.



Fonte: (a autora, 2017).

- A infraestrutura apresenta fundação do tipo radier, de área igual a 103,125m² e espessura igual a 10cm, utilizando concreto usinado. Foi executada uma camada de brita de aproximadamente 7 cm, que permitiu fazer o nivelamento fino do terreno e evitar o contato da armação com o solo. Foi utilizada brita 1 e sobre ela, colocou-se uma lona plástica, para atuar na impermeabilização e não deixar que a nata do concreto fresco desça para a brita. A armação foi feita com malha dupla de 15x15 cm com ferros de ϕ 10mm. O cobrimento mínimo foi garantido com espaçadores plásticos.
- No piso foi utilizado PVC reciclado, com dimensões de 15,24 x 91,44 x 0,5cm em uma área total de 41,2m².
- A superestrutura foi executada de acordo com o projeto estrutural, seguindo os dispositivos constantes da NBR 6118 (ABNT,2003) no que tange aos materiais, execução, controle e aceitação da estrutura. Empregou-se concreto usinado de $f_{ck}=25$ Mpa sendo que este foi preparado, lançado e adensado mecanicamente. A relação água/aglomerante do concreto e o cobrimento das armaduras estavam de acordo com as recomendações da NBR 6118/2003. Foi feito uso de espaçadores plásticos em todos os elementos da estrutura de concreto armado para garantir o cobrimento especificado em projeto.
- A alvenaria será feita com tijolos ecológicos de solo-cimento (25 x 12,5 x 6,3cm – 64 tijolos/m²), auto encaixáveis, vazados, de primeira qualidade, assentados com cola pva à base d'água -em pequena quantidade-, além do rejuntamento com rejunte flexível; *com furos para a passagem de dutos hidráulicos, elétricos e grauteamento de pilares*. Para as vergas, contra-vergas e vigotas serão utilizadas canaletas ecológicas de solo cimento. Para as laterais das portas e janelas serão utilizadas o meio tijolo, quando necessário. Os tijolos ecológicos deverão ser feitos da mistura de 88% de saibro e 12% de cimento, em prensa hidráulica e curados com água, com resistência mínima de 3 MPa, com comprovação através de certificados de determinação de resistência à compressão (NBR 10836/94) e da absorção d'água (NBR 10836/94) feitos em laboratório.

- A respeito das esquadrias, as janelas de correr, maxi ar, venezianas fixas e móveis basculantes para ventilação cruzada foram executadas em madeira de Eucalyptus Grandis. Para as portas maciças externas utilizou-se madeira de Pinho. As portas internas semi-ocas são de compensado de Pinho. Todo o material recebeu tratamento contra xilófagos.
- A cobertura será com telhas onduladas TetraPak, constituídas com materiais presentes nas embalagens longa vida da TetraPak, sendo 75% plástico, 23% alumínio e 2% fibras naturais. A fixação será com parafusos apropriados com $\phi 8$ mm e 110 mm de comprimento e demais acessórios de acordo com as recomendações do fabricante, devendo ter pelo menos 2 parafusos por telha em cada terça.
- Forros de OSB (Painel de Tiras de Madeira Orientadas) de 2,5m x 1,25m de 11mm de espessura, é um painel estrutural de madeira com uma liga de resina sintética, feita de três camadas prensadas com tiras de madeira ou "strands", alinhados em escamas, de acordo com a EN 300 OSB (Norma Europeia). As chapas possuem alta resistência mecânica e rigidez.
- A pintura externa foi feita com verniz impermeabilizante diretamente na superfície do tijolo à vista. Na parte interna da casa foi utilizada tinta ecológica.

4.2 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DA CASA POPULAR EFICIENTE UTILIZANDO O NÍVEL BÁSICO DO MÉTODO QE-CO₂

A especificação de materiais de construção alternativos para a Casa Popular Eficiente visa a redução de impactos ambientais, em especial a redução da geração de CO₂. Os materiais cujas emissões de CO₂ foram calculadas- e são apresentadas no Quadro 2- são: tijolos de solo-cimento, telhas Tetra Pak, aço, forro de OSB, piso de PVC reciclado, cimento, aço, agregados graúdos (brita 1), agregados miúdos e esquadrias em madeira de Eucalyptus Grandis. A geração de CO₂ decorrente da utilização destes materiais na Casa Popular Eficiente seus valores estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Quantificação das emissões de CO₂ da Casa Popular Eficiente.

MATERIAL	VOLUME	UNIDADE	Emissões de CO ₂ sem FP (tCO ₂)	Emissões de CO ₂ com FP (tCO ₂)
Alvenaria de tijolos de solo-cimento	32,236	t	2,521	2,950
Telha ecológica Tetra Pak	0,511	t	0,022	0,024
Forro de OSB	0,539	m ³	0,179	0,205
Piso de PVC reciclável	0,288	t	0,177	0,195
Cimento	2,653	t	1,729	2,698
Aço	1,710	t	3,156	3,503
Agregados graúdos (brita 1)	25,159	t	2,164	2,358
Agregados miúdos (areia)	8,520	t	0,733	0,784
Esquadrias em Eucalyptus Grandis	0,048	m ³	0,020	0,020
TOTAL			10,700	12,737

Fonte: (elaborado pela autora).

As emissões de CO₂ dos materiais supracitados da Casa Popular Eficiente foram quantificadas, levando-se em consideração as fases de extração de matérias primas, de processamento e de transporte, através das Equações 2, 3, 4 e 7 do Método QE-CO₂ em seu nível básico. Os resultados finais obtidos, desconsiderando-se as perdas em obra e considerando-se o fator de perda em obra, foram expressos no quadro acima (Quadro 2), em toneladas de CO₂.

Para que a quantificação pudesse ser feita, foram necessários cálculos e coletas de dados através da Literatura, de sites e catálogos de fabricantes e de contato direto com os mesmos para que o Método QE-CO₂ pudesse ser adaptado e usado para todos os materiais listados. Os dados necessários à quantificação das emissões de CO₂ da Casa Popular Eficiente são apresentados no quadro abaixo.

Quadro 3 - Apresentação dos fatores de perda (FP) e de emissão de CO₂ (FEP) devido à utilização de determinado produto na Casa Popular Eficiente.

MATERIAL	QUANTIDADE	UN.	FP (%)	FEP	UNIDADE
Alvenaria de tijolos de solo-cimento vazados	32,236	t	17	0,6518	tCO ₂ /t produto
Telha ecológica Tetra Pak	0,511	t	8	0,043409	tCO ₂ /t produto
Forro de OSB	0,539	m ³	15	0,3312	tCO ₂ /m ³
Piso de PVC reciclável	0,288	t	10	0,615	tCO ₂ /t produto
Cimento	2,653	t	56	0,6518	tCO ₂ /t produto
Aço	1,710	t	11	1,845	tCO ₂ /t produto
Agregados graúdos (brita 1)	25,159	t	9	0,086	tCO ₂ /t produto
Agregados miúdos (areia)	8,520	t	7	0,086	tCO ₂ /t produto
Esquadrias em Eucalyptus Grandis	0,048	m ³	0	0,4086	tCO ₂ /m ³

Fonte: (elaborado pela autora).

As quantidades de materiais foram obtidas através de medições e cálculos com base nas dimensões dos materiais e da casa e seu peso, quando indisponível na Literatura, foi calculado com base na densidade ou peso específico do material. Alguns fatores de perda foram obtidos da Tabela 1 do Método QE-CO₂. Quando não encontrados nesta tabela, foram buscados na Literatura e, por vezes, em catálogos e sites de fabricantes.

Quadro 4 - Relação de fatores de perda (FP) adotados na CPE e suas respectivas fontes.

MATERIAL	FP (%)	FONTE
Alvenaria de tijolos de solo cimento vazados	17	Costa (2012)
Telha ecológica Tetra Pak	8	Skoyles (1976) apud Rosa (2001, p. 32)
Forro de OSB	15	Skoyles (1976) apud Rosa (2001, p. 32)
Piso de PVC reciclável	10	Nakamura (2006)
Cimento	56	Sousa et al. (1998)
Aço	11	Sousa et al. (1998)
Agregados graúdos (brita 1)	9	Costa (2012)
Agregados miúdos (areia)	7	Costa (2012)

Fonte: (elaborado pela autora, com base nos autores supracitados).

O fator de perda das esquadrias de *Eucalyptus Grandis* foi considerado nulo, devido à insuficiência de dados. Da mesma forma, adotou-se perdas nulas também para as esquadrias de alumínio, que serão quantificadas junto aos materiais da segunda alternativa de residência popular.

Os fatores de emissão do produto (FEP) foram obtidos da Tabela 2 para a maioria dos materiais. Porém, como o método não contempla as telhas feitas com embalagens longa vida (Tetra Pak), foi necessário o cálculo das emissões devido ao consumo de energia e ao transporte deste material.

Para tanto, foi preciso entrar em contato com o fornecedor para a obtenção dos seguintes dados: energia necessária para a produção de 1 t de telhas Tetra Pak, tipo de energia que o maquinário utiliza, tipo de veículo que realiza o transporte de matérias-primas para a indústria e de produtos acabados para os locais das obras e tipo de energético que esse(s) veículo(s) utiliza(m).

Quadro 5 - Cálculo do fator de emissão (FEP) das telhas ecológicas (para a cidade de Santa Maria, no Nível Básico do Método QE-CO₂).

MATERIAL	EMISSIONES TR _{1,j,i} (tCO ₂)	EMISSIONES EN _{1,1,i}	FEP = EM _{tr1,j,i} +EM _{en1,1,i} (tCO ₂ /t produto)
Telha ecológica	0,01050624	0,03290256	0,0434088

Fonte: (elaborado pela autora).

A partir dos dados colhidos, foi possível o cálculo do fator FEP para as telhas Tetra Pak, obtido através do somatório entre as emissões devido ao transporte e as emissões devido à energia no nível básico. O resultado é apresentado no Quadro 5. Os Quadros 6 e 7 mostram como as emissões foram calculadas.

Quadro 6 - Emissões de CO₂ das telhas Tetra Pak em razão do transporte, em tCO₂/t produto acabado.

MATERIAL	QUANTIDADE	UN.	DIST. (km)	Cot (L/t/km)	FEC _i (tCO ₂ /L)	Emissões TR _{1,i,j} (tCO ₂)
Telha ecológica	0,51123563	t	308	0,0114	0,0032	0,01123584

Fonte: (elaborado pela autora).

Segundo o fabricante das telhas, o veículo utilizado no transporte de materiais é um caminhão extrapesado, movido a óleo diesel. Daí temos que o consumo médio de combustível (CO_t) é de 0,0114L/t/km, de acordo com a tabela 4, e que o fator de emissão médio corrigido específico (FEC_i) do energético utilizado (óleo diesel) vale 0,0032 tCO₂/L. A fábrica localiza-se na cidade de Santa Cruz do Sul, a 144 km de Santa Maria, portanto, considerou-se como distância percorrida pelo transporte duas destas viagens (288km), às quais se somou 20km referentes à estimativa do transporte de matérias primas para a fábrica. Assim, através da equação 7, chegou-se ao resultado de 0,001123584 tCO₂/t de produto acabado, para as emissões devido ao transporte das telhas ecológicas empregadas na Casa Popular Eficiente.

Quadro 7 - Emissões de CO₂ das telhas Tetra Pak devido ao consumo de energia, em tCO₂/t produto acabado.

MATERIAL	QUANTIDADE	UN.	CONSUMO DE ENERGIA P/ PRODUIR 1 t	FECi	EMISSÕES EN1,1,i
Telha ecológica	0,51123563	t	0,584MWh	0,05634tCO ₂ /MWh	0,03290256

Fonte: (elaborado pela autora).

Ainda de acordo com o mesmo fabricante, a energia utilizada pelo maquinário na produção das telhas ecológicas é a eletricidade, cujo FEC vale 0,05634 tCO₂/MWh. Para se chegar ao valor de 0,584MWh referente ao consumo de energia para produzir uma tonelada de produto acabado foi necessário um breve cálculo, uma vez que a única informação obtida do fabricante era de que se gastava R\$9000,00 em eletricidade para se produzir 1600 telhas. Então, através da Equação 4, foi possível o cálculo das emissões de CO₂ devido ao consumo de energia na produção das telhas ecológicas e o resultado foi de 0,03290256 tCO₂/t produto acabado.

4.3 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE ALTERNATIVA DE MORADIA POPULAR CONSIDERANDO O EMPREGO DE MATERIAIS CONVENCIONAIS

Para efeito de comparação, a segunda alternativa de residência popular, fictícia, assumirá as mesmas dimensões da Casa Popular Eficiente e as quantidades de materiais consideradas serão iguais às calculadas para a Casa Popular Eficiente. Deseja-se, com isso, facilitar a comparação entre emissões de materiais alternativos e convencionais. Os materiais largamente empregados em casas populares cujas emissões de CO₂ foram calculadas- e são apresentadas no Quadro 8- são: tijolos de cerâmica vazados, telhas francesas, aço, forro de PVC, piso de cerâmica, cimento, aço, agregados graúdos (brita 1), agregados miúdos e esquadrias em alumínio.

Quadro 8 - Quantificação das emissões de CO₂ da segunda alternativa de residência popular.

MATERIAL	VOLUME	UNIDADE	Emissões de CO2 sem FP (tCO2)	Emissões de CO2 com FP (tCO2)
Alvenaria de tijolos de cerâmica vazados	32,236	t	3,578	4,187
Telha de cerâmica	0,511	t	0,057	0,062
Forro de PVC	0,539	m ³	0,331	0,348
Piso de placas cerâmicas	0,288	t	0,054	0,064
Cimento	2,653	t	1,729	2,698
Aço	1,710	t	3,156	3,503
Agregados graúdos (brita 1)	25,159	t	2,164	2,358
Agregados miúdos (areia)	8,520	t	0,733	0,784
Esquadrias de alumínio	0,048	m ³	0,214	0,214
TOTAL			12,016	14,218

Fonte: (elaborado pela autora).

As emissões de CO₂ dos materiais desta segunda alternativa de casa popular foram calculadas, considerando-se as fases de extração de matérias primas, de processamento e de transporte, através das Equação 3 do Método QE-CO₂ no nível básico. Os resultados finais obtidos, desconsiderando-se o fator de perda em obra (FP) e o levando em conta, foram expressos no quadro acima (Quadro 8), em toneladas de CO₂.

Para que esta quantificação pudesse ser feita, foi preciso fazer buscas de dados através da Literatura, de sites e catálogos de fabricantes. Os dados necessários à quantificação das emissões de CO₂ da residência popular construída com materiais convencionais são apresentados no quadro abaixo (Quadro 9).

Quadro 9 - Apresentação dos fatores de perda (FP) e de emissão de CO₂ (FEP) devido à utilização de determinado produto na segunda alternativa de residência popular.

MATERIAL	VOLUME	UN.	FP (%)	FEP	UNIDADE
Alvenaria de tijolos de cerâmica vazados	32,236	t	17	0,1110	tCO2/t produto
Telha de cerâmica	0,511	t	10	0,111	tCO2/t produto
Forro de PVC	0,539	m ³	5	0,615	tCO2/m ³
Piso de placas cerâmicas	0,288	t	19	0,187	tCO2/t produto
Cimento	2,653	t	56	0,6518	tCO2/t produto
Aço	1,710	t	11	1,845	tCO2/t produto
Agregados graúdos (brita 1)	25,159	t	9	0,086	tCO2/t produto
Agregados miúdos (areia)	8,520	t	7	0,086	tCO2/t produto
Esquadrias de alumínio	0,048	m ³	0	4,441	tCO2/m ³

Fonte: (elaborado pela autora).

As quantidades de materiais consideradas nesta segunda quantificação, como já foi explanado, são iguais às quantidades de materiais alternativos utilizados na Casa Popular Eficiente. Isto é, considerou-se que os materiais desta segunda casa têm dimensões e quantidades de materiais (volume ou massa) idênticas às da Casa Popular Eficiente.

Os fatores de emissão de CO₂ (FEP) foram obtidos da Tabela 2 para todos os materiais. Alguns fatores de perda (FP) foram obtidos da Tabela 1 do Método QE-CO₂. Quando não encontrados nesta tabela, foram buscados na Literatura e, por vezes, em catálogos e sites de fabricantes.

Quadro 10 - Relação de fatores de perda (FP) adotados para os materiais da segunda alternativa de casa popular e suas respectivas fontes.

MATERIAL	FP (%)	FONTE
Alvenaria de tijolos de cerâmica vazados	17	Costa (2012)
Telha de cerâmica	10	Skoyles (1976) apud Rosa (2001, p. 32)
Forro de PVC	5	fornecedor Madeira Madeira
Piso de placas cerâmicas	19	Agopyan et al. (1998)
Cimento	56	Sousa et al. (1998)
Aço	11	Sousa et al. (1998)
Agregados graúdos (brita 1)	9	Costa (2012)
Agregados miúdos (areia)	7	Costa (2012)

Fonte: (elaborado pela autora, com base nos autores citados acima).

Como já foi comentado, foi adotado fator de perda nula para as esquadrias de alumínio, assim como para as esquadrias de Eucalyptus Grandis. Essa simplificação teve de ser adotada devido à escassez de dados a respeito de desperdícios de esquadrias em obra.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS EMISSÕES DOS MATERIAIS CONVENCIONAIS E AS DOS MATERIAIS ALTERNATIVOS

A partir dos valores já apresentados, é possível fazer uma comparação entre as emissões dos materiais das duas concepções de moradias populares e decidir

quais são os menos poluentes, em termos de emissão de CO₂, dentre as alternativas analisadas. Os resultados finais da quantificação proposta neste trabalho são mostrados nos quadros abaixo (Quadros 11 e 12).

Quadro 11 - Comparação entre as emissões dos materiais alternativos da CPE e as dos materiais convencionais da outra alternativa de residência popular, sem levar em consideração o fator de perda (FP) de cada material.

Casa Popular Eficiente		Alternativa de casa popular considerando o uso de materiais convencionais	
MATERIAL	Emissões de CO ₂ sem FP (tCO ₂)	MATERIAL	Emissões de CO ₂ sem FP (tCO ₂)
Alvenaria de tijolos de solo cimento	2,521	Alvenaria de tijolos de cerâmica vazados	3,578
Telha ecológica Tetra Pak	0,022	Telha de cerâmica	0,057
Forro de OSB	0,179	Forro de PVC	0,331
Piso de PVC reciclável	0,177	Piso de placas cerâmicas	0,054
Cimento	1,729	Cimento	1,729
Aço	3,156	Aço	3,156
Agregados graúdos (brita 1)	2,164	Agregados graúdos (brita 1)	2,164
Agregados miúdos (areia)	0,733	Agregados miúdos (areia)	0,733
Esquadrias em Eucalyptus Grandis	0,020	Esquadrias de alumínio	0,214
TOTAL	10,700	TOTAL	12,016

Fonte: (elaborado pela autora).

A alvenaria de tijolos de solo-cimento se mostrou muito menos poluente, em termos de emissão de CO₂, do que a alvenaria de tijolos de cerâmica. Enquanto a primeira emitiu aproximadamente 2,52 tCO₂ à atmosfera, a segunda emitiu quase 3,58 tCO₂. Portanto, seu emprego impediu que mais de uma tonelada de CO₂ fosse emitido à atmosfera. Isto se deve, em grande parte, à diferença entre os processos de fabricação: enquanto o tijolo de cerâmica passa pelo processo de queima, o tijolo de solo-cimento é feito de uma mistura de solo e cimento que é prensada e não exige queima em forno a lenha, o que evita desmatamentos e emissões de GEE à atmosfera. (SALA, 2006).

O Tijolo Solo-Cimento gera uma menor quantidade de resíduos, pode ser usado na fabricação os resíduos de outras construções e sua matéria-prima é abundante. [...] O tijolo solo-cimento pode ser montado por encaixe, colocando-se um sobre o outro, facilitando o assentamento e o tempo de execução e diminuindo a quantidade de argamassa ou cola empregada. Ocorre que o peso das alvenarias fica menor, o que diminui o dimensionamento das fundações e outras estruturas. Esse tijolo possui dois furos, e isso aumenta o isolamento termo acústico, pois os furos compõem câmaras de ar no âmago das alvenarias. E, em relação ao tijolo convencional,

ele também é mais resistente, impermeável e durável. (MOTTA et al., 2014, p. 14).

Quanto ao telhamento, as telhas de cerâmica emitiram mais do que o dobro de CO₂ à atmosfera do que as telhas ecológicas, provando que estas consistem em uma melhor escolha ambiental. As telhas Tetra Pak emitiram 22 kgCO₂ enquanto as de cerâmica emitiram quase 57 kgCO₂, resultando em uma diferença de 35 kgCO₂.

Enquanto as telhas francesas de cerâmica apresentam um alto potencial de poluição e utilização dos recursos naturais, cada telha ecológica reaproveita de 2 a 3 mil embalagens longa vida, que teriam como destino lixões ou aterros sanitários. (NUNES, 2012; GLZ TELHAS, 2009). Há de se considerar, ainda, o tempo que este material demoraria para se decompor em meio à natureza e o quanto isso contribuiria para os impactos ambientais.

O forro de OSB também se mostrou uma escolha muito menos prejudicial ao meio ambiente do que o forro de PVC. O forro OSB emitiu 0,178tCO₂ e o de PVC 0,331tCO₂- quase duas vezes mais que o primeiro.

Os painéis OSB foram criados com o objetivo de atender a uma demanda não satisfeita pelos painéis compensados tradicionais: aliar resistência mecânica para fins estruturais ao baixo custo. (SANTOS E AGUILAR, 2007). José e Beraldo (2004, p. 2), explicam que:

A produção de chapas de tiras de madeira possibilita a fabricação de móveis, divisórias, pisos, [forros, vigas] e revestimentos, sem a necessidade de efetuar o corte de grandes árvores, que levam muitos anos para atingir as dimensões necessárias à confecção de chapas maciças para fabricação destes objetos.

No Brasil, o OSB ainda é um painel pouco conhecido. Diante disso, se faz necessária uma maior divulgação de seus atributos e possibilidades de utilização, especialmente na construção civil. (SANTOS E AGUILAR, 2007).

Já o piso de PVC reciclado gerou maiores emissões de CO₂ do que o de cerâmica. O primeiro emitiu 177 kgCO₂ e o segundo, 54kgCO₂.

Analisando-se somente os números, presume-se que as placas cerâmicas são menos poluentes, em termos de emissão de CO₂. Entretanto, há de ponderar o fato de que o piso de PVC reciclado é composto de 67% de material reciclado, reduzindo bastante a utilização de recursos naturais.

Considerando-se somente as emissões da fração não reciclada do piso de PVC e, ainda, que o piso de cerâmica é mais espesso do que o de PVC reciclado- forçando o uso de uma maior quantidade de material, em massa e volume-, as emissões do piso de cerâmica acabam, por fim, sendo maiores do que as emissões do piso de PVC. Portanto, acredita-se que o piso de PVC reciclado continua sendo uma escolha menos poluente em termos de emissão de CO₂, ainda que suas emissões pareçam mais elevadas em um primeiro momento.

No entanto, recomenda-se uma investigação mais aprofundada a respeito das emissões do PVC reciclado, bem como o cálculo de um fator de emissão (FEP) específico para o produto. Além disso, recomenda-se interpretar os resultados com cautela, levando-se sempre em consideração as peculiaridades do material e de seus processos de extração, de produção e transporte.

As infraestruturas das casas são idênticas. A fundação consiste em um radier de área igual a 103,13m² e os materiais contidos nela são: o cimento, o aço, os agregados graúdos e os miúdos.

O cimento e o aço contidos no radier apresentaram emissões de 1,729 tCO₂ e 3,155tCO₂, respectivamente. Os agregados graúdos emitiram 2,16tCO₂ e os miúdos, aproximadamente 0,733tCO₂. Observou-se, a partir disso, que a infraestrutura foi responsável por 72,72% das emissões totais da Casa Popular Eficiente e por 64,75% das emissões da segunda moradia popular.

A respeito das esquadrias, aquelas feitas de Eucalyptus Grandis apresentaram emissões dez vezes menores do que as de alumínio: suas emissões foram de 19,7 kgCO₂ e 214,4 kgCO₂, respectivamente. Além disso, as esquadrias de Eucalyptus Grandis empregam, em sua fabricação, madeira proveniente de florestas plantadas, o que ajuda a diminuir a pressão sobre a exploração de florestas nativas- e, por conseguinte, a reduzir impactos ambientais.

Finalmente, a Casa Popular Eficiente emitiu um total de 10,7 tCO₂ contra 12,02 tCO₂ da segunda alternativa de moradia popular. Os resultados dessas quantificações expressam o quanto vale a pena se preocupar com os impactos ambientais que podem ser evitados pelo emprego de materiais menos poluentes: o cuidado na escolha dos materiais da Casa Popular Eficiente impediu que 1,32 tCO₂ fosse lançada à atmosfera, onde permaneceria por décadas, contribuindo para a intensificação do

efeito estufa e, conseqüentemente, para o aquecimento global e demais mudanças climáticas decorrentes disso.

Quadro 12 - Comparação entre as emissões dos materiais alternativos da CPE e as dos materiais convencionais da outra alternativa de moradia popular, desconsiderando-se os fatores de perda (FP) dos materiais.

Casa Popular Eficiente		Alternativa de casa popular considerando o uso de materiais convencionais	
MATERIAL	Emissões de CO ₂ com FP (tCO ₂)	MATERIAL	Emissões de CO ₂ com FP (tCO ₂)
Alvenaria de tijolos de solo cimento	2,950	Alvenaria de tijolos de cerâmica vazados	4,187
Telha ecologica Tetra Pak	0,024	Telha de cerâmica	0,062
Forro de OSB	0,205	Forro de PVC	0,348
Piso de PVC reciclável	0,195	Piso de placas cerâmicas	0,064
Cimento	2,698	Cimento	2,698
Aço	3,503	Aço	3,503
Agregados graúdos (brita 1)	2,358	Agregados graúdos (brita 1)	2,358
Agregados miúdos (areia)	0,784	Agregados miúdos (areia)	0,784
Esquadrias em Eucalyptus Grandis	0,020	Esquadrias de alumínio	0,214
TOTAL	12,737	TOTAL	14,218

Fonte: (elaborado pela autora).

Se fossemos fazer a comparação baseada nas emissões contabilizando os fatores de perda em obra dos materiais, a diferença seria ainda maior. Neste caso, o emprego de materiais alternativos evitou a emissão de 1,48 tCO₂. Esses resultados indicam, mais uma vez, que a especificação de materiais alternativos tem o potencial de reduzir as emissões de GEE, evitando que maiores impactos ambientais sejam causados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar quais materiais são menos poluentes em termos de emissão de CO₂, comparando as emissões geradas pelas fases de extração de matérias primas, produção e transporte dos materiais utilizados na Casa Popular Eficiente com aqueles comumente encontrados em residências populares brasileiras. Pretende-se, com isso, alertar sobre os impactos ambientais evitados pelo uso de materiais alternativos e guiar projetistas nas especificações de materiais menos agressivos ao meio ambiente.

A revisão bibliográfica deste trabalho permitiu constatar que a crescente preocupação global com a questão das mudanças climáticas fez com que esta passasse a ser levada em conta em tomadas de decisão, nos setores público e privado. Surge assim, um caminho de mitigação para os efeitos causados pela emissão de GEE.

Frente à inevitabilidade das mudanças climáticas, faz-se necessária a adoção de duas estratégias: medidas de mitigação, compensatórias- como sequestro de carbono- e de redução das emissões de CO₂ a longo prazo; assim como, medidas de adaptação dos diversos setores da economia.

A importância de estabelecer um modelo de desenvolvimento sustentável já é consenso entre a comunidade internacional. Entretanto, a aplicabilidade deste conceito ainda está em questão. O fato é que ações são demandadas com urgência, considerando as previsões pessimistas para o futuro do meio ambiente terrestre.

A busca pela sustentabilidade no setor da construção civil - que é um grande agente impactante do meio ambiente em função da utilização de recursos naturais e dos resíduos gerados - é um desafio de enormes proporções. Países em desenvolvimento, como o Brasil, que passam por acelerados processos de crescimento populacional e urbanização, apresentam condições gerais habitacionais precárias. Neste cenário, a ampliação da qualidade do ambiente construído é uma necessidade real para garantir a qualidade de vida em bases sustentáveis.

Cabe lembrar que políticas públicas isoladas não resultam nas mudanças demandadas para o setor. Ainda que a postura incentivadora do governo seja essencial, as estratégias devem ser integradas, envolvendo toda a cadeia produtiva da Construção Civil. A indústria tem um papel muito importante, com a oferta de

materiais menos impactantes. Assim como, é fundamental que as decisões dos profissionais responsáveis pela especificação de materiais sejam convergentes, no sentido de priorizar a escolha de materiais que gerem menos emissões de CO₂.

A partir da pesquisa sobre metodologias de quantificação de emissões de GEE aprovadas, concluiu-se que as mesmas não consistem em métodos integrados e adaptados à realidade brasileira. Pensando nisso, adotou-se o Método QE-CO₂, criado por Costa (2012), que permite o cálculo das emissões geradas pelo consumo de energia para extração, processamento e transporte dos materiais em qualquer lugar do Brasil.

No capítulo 4, foi feita a quantificação das emissões de CO₂ geradas pela construção da Casa Popular Eficiente na cidade de Santa Maria, RS, Brasil. Os cálculos foram feitos através das Equações 2, 3, 4 e 7 do Método QE-CO₂, conforme os Quadros 2, 3, 5, 6 e 7. A seguir, com a Equação 3 da mesma metodologia, calculou-se as emissões de CO₂ geradas pela construção de uma casa de mesmas dimensões que a Casa Popular Eficiente, porém com materiais mais comuns em residências populares- resultados no Quadro 8.

Assim, pôde-se fazer uma comparação entre as emissões de materiais alternativos e as dos materiais usuais analisados. A partir disso, pode-se concluir o seguinte:

- a) Os tijolos de solo-cimento emitem muito menos CO₂ à atmosfera do que a alvenaria de tijolos comuns de cerâmica. Os primeiros emitiram aproximadamente 2,52 tCO₂ à atmosfera, enquanto a segunda emitiu quase 3,58 tCO₂, totalizando uma diferença de 1,06 tCO₂.
- b) As telhas ecológicas Tetra Pak emitiram 22 kgCO₂ enquanto as cerâmicas emitiram mais que o dobro: quase 57 kgCO₂- resultando em uma diferença de 35 kgCO₂.
- c) O forro OSB emitiu 0,178tCO₂ e o de PVC 0,331tCO₂- quase duas vezes mais que o primeiro.
- d) O cimento e o aço contidos no radier emitiram 1,729 tCO₂ e 3,155tCO₂, respectivamente. Os agregados graúdos apresentaram emissões de 2,16 tCO₂ e os miúdos, de aproximadamente 0,733t CO₂. Concluiu-se, assim, que a infraestrutura foi responsável por 72,72% das emissões

totais da Casa Popular Eficiente e por 64,75% das emissões da segunda moradia popular.

- e) As esquadrias de Eucalyptus Grandis emitiram dez vezes menos CO₂ do que as de alumínio: suas emissões foram de 19,7 kgCO₂ e 214,4 kgCO₂, respectivamente.
- f) Por fim, a Casa Popular Eficiente emitiu um total de 10,7 tCO₂ contra 12,02 tCO₂ da segunda alternativa de moradia popular. A especificação de materiais da Casa Popular Eficiente impediu que 1,32 tCO₂ fosse lançada à atmosfera.
- g) Se fossemos fazer a comparação baseada nas emissões contabilizando os fatores de perda em obra dos materiais, a diferença seria ainda maior. Neste caso, o emprego de materiais alternativos evitaria a emissão de 1,48 tCO₂.

Os resultados desse trabalho comprovam a importância da preocupação com os impactos ambientais que podem ser evitados através do cuidado na especificação de materiais menos poluentes. Uma emissão de 1,48 tCO₂ permaneceria na atmosfera por décadas, contribuindo para a intensificação do efeito estufa e, assim, para o aquecimento global e outras alterações climáticas consequentes.

Considerando as conclusões acima, pode-se dizer que este trabalho atingiu todos os seus objetivos ao mensurar os danos evitados pelo emprego de materiais alternativos e ao permitir identificar, a partir da comparação entre as duas quantificações realizadas, quais são os materiais menos poluentes em termos de emissão de CO₂ dentre as alternativas analisadas. Espera-se, com isso, auxiliar os profissionais da construção civil na especificação dos materiais a serem empregados na construção e na comparação entre edificações e materiais, contribuindo, assim, para a redução das emissões de GEE.

É preciso que ocorram grandes melhorias em todos os setores da cadeia produtiva de materiais- o que inclui uma otimização dos recursos em seus processos produtivos e nos sistemas de transporte-, assim como a promoção de materiais de construção com baixas emissões associadas e a implementação de medidas que mitiguem ou compensem essas emissões. É necessário, também, que a quantificação e a compensação do CO₂ emitido pela construção de edificações tornem-se medidas

obrigatórias, impostas pelo governo, com a finalidade de promover o desenvolvimento sustentável e a contenção das emissões de CO₂ pela Construção Civil.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Guia de implementação: Gestão de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa** [recurso eletrônico] / Associação Brasileira de Normas Técnicas, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. – Rio de Janeiro: ABNT; Sebrae, 2015. Disponível em: <http://abnt.org.br/paginampe/biblioteca/files/upload/anexos/pdf/4ee5b810af4a3aee073ab89f0a573a1a.pdf>

AGOPYAN, V.; ANDRADE, A.C.; SOUZA, U.E.L.; PALIARI, J.C. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras**. Relatório final – VOLUME 2 – Metodologia. EPUSP/FINEP/ITQC, 1998.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. Série Sustentabilidade – V. 5. São Paulo: E. Blucher, 2011.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL- BNDES. **Efeito estufa e a convenção sobre mudança do clima**. Setembro, 1999.

BENTO, L. **“Mudanças climáticas” ou “Aquecimento global”?** Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://scienceblogs.com.br/discutindoecologia/2009/01/mudancas-climaticas-ou-aquecimento-global/> Acesso em 21 de maio de 2017.

BRANDSMA, E. H.; EPPEL, J. **Produção e consumo sustentáveis: um enfoque internacional**. In: RIBEMBOIM, J. (org.). Mudando os Padrões de Produção e Consumo. Brasília: MMA/IBAMA, 1997.

BURKE, B.; KEELER, M. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

Centro de Tecnologias e Edificações - CTE. **Emissões de Carbono e a Construção Civil**. Disponível em: <<http://www.cte.com.br/imprensa/2011-02-27-emissoes-de-carbono-e-a-construcao-civ/>>. Acesso em: 01 abr. 2017>.

COSTA, B. L. C. **Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2012.

DIAS, G. F. **Pegada ecológica e sustentabilidade humana**. São Paulo: E. Gaia, 2002.

DOW, Kirstin; DOWNING, Thomas E. **O atlas da mudança climática: o mapeamento completo do maior desafio do planeta**. Tradução de Vera Caputo. São Paulo: Publifolha, 2007.

FUJIHARA, M.A.; LOPES, F. G. **Sustentabilidade e mudanças climáticas: guia para o amanhã**. São Paulo: Senac São Paulo, 2009.

GLZ Telhas e Laminados Ecológicos) <http://www.glztelhas.com.br/index.php/recado>

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, National Greenhouse Gas Inventories Programme. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Reino Unido e Nova York:Cambridge University Press, 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm> Acesso em: 16 set. 2016.

JOSÉ, F.J; BERALDO, A.L., 2004. **Chapas prensadas de partículas de bambu e adesivo Poliuretana à base de óleo de mamona**. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia Agrícola. 14, 323-327.

LOPES, I. V. **O Manual do Desenvolvimento Limpo - MDL: guia de orientação**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002.

MADEIRA MADEIRA. Fabricante do forro de pvc. Disponível em: <https://www.madeiramadeira.com.br/forro-de-pvc-polifort-8mm-x-20cm-x-3m-m2-21115.html>

MARCONDES, F. C. S. **Sistemas logísticos reversos na indústria da construção civil: estudo da cadeia produtiva de chapas de gesso acartonado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

MARTINS, A. **Alternativas ao aquecimento global**. 1ª ed. São Paulo: Instituto Paulo Freire, 2007.

MATTOS, N. S.; GRANATO, S. F. **Terra em alerta**. 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

MOTTA, J. C. *et al.* **Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. 2014. Disponível em: <www.unibh.br/revistas/exacta/>. Acesso em: 29 mai. 2017.

NAKAMURA, J. **Piso de madeira com tábua corrida**. 2ª ed. REVISTA EQUIPE DE OBRA. São Paulo: E. Pini, 2006. Disponível em: <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/2/artigo27395-1.aspx>. Acesso em 07 jun. 2017.

NUNES, M.B. **Impactos ambientais na indústria da cerâmica vermelha**. Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro – REDETEC. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas- SBRT. 2012. Disponível em: <<http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTcwNQ==>>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

PEREIRA, M. F. Benedetti. **Conteúdo Energético e Emissões de CO₂ em coberturas verdes, de telha cerâmica e de fibrocimento: Estudo de Caso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2014.

PEREIRA, P. I. **Construção sustentável: o desafio.** Porto, 2009. Monografia (Licenciatura em Engenharia Civil) – Universidade Fernando Pessoa. Disponível em: <http://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/2674/3/T_13485.pdf>. Acesso em: 19 maio 2014.

ROSA, F. P. **Perdas na Construção Civil: Diretrizes e Ferramentas para Controle.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul.

ROTHSCHILD, David. **Manual *Live Earth* de sobrevivência ao aquecimento global: 77 táticas essenciais para frear as mudanças climáticas ou sobrevive a ela.** 1. ed. Barueri: Manole, 2007.

SANTOS, M. P.; AGUILAR, M. T. P. **Painéis de madeira como vedação vertical em construções.** Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, v. 14, n. 15, 2007. Disponível em: <http://portal.pucminas.br/imagedb/documento/DOC_DSC_NOME_ARQUI20081029100808.pdf>. Acesso em 13 jun. 2017.

SALA, L. G., **Proposta de Habitação Sustentável para Estudantes Universitários.** 2006. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.

SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C.; AGOPYAN, V. **Perdas de materiais em canteiros de obras: a quebra do mito.** São Paulo: PCC - USP, 1998.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses**: MDT. 7ª ed. rev. e atual. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2010.

VALLE, C. E. **Qualidade ambiental: ISO 14000**. 9ª ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2002.

VAGHETTI, M.A.O. *et al.* **Casa Popular Eficiente**: um benefício ambiental aliado a um custo mínimo. Santa Maria: UFSM, 2013. Projeto de Pesquisa (Protocolo GAP/CT nº 28582). Disponível em: <www.ufsm.br/gepetecs>. Acesso em: 10 nov. 2016.

VIEIRA, I. **Sustentabilidade é o mínimo**. Disponível em <www.setelombas.com.br/2009/04/27/sustentabilidade-e-o-minimo/#more-400>. Acesso em: 31 mar. 2017.