



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NA CONSTRUÇÃO DE  
UNIDADES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES COM DIFERENTES  
MATERIAIS**

**IASMINY BORBA DA CUNHA**  
LICENCIADA EM MATEMÁTICA  
ENGENHEIRA CIVIL

**DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM  
ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

**Porto Alegre**

**Abril, 2016**



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

# **QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NA CONSTRUÇÃO DE UNIDADES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES COM DIFERENTES MATERIAIS**

**IASMINY BORBA DA CUNHA**  
LICENCIADA EM MATEMÁTICA  
ENGENHEIRA CIVIL

ORIENTADOR: PROF. DR. JAIRO JOSÉ DE OLIVEIRA ANDRADE

Dissertação de Mestrado realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais.

**Porto Alegre**  
**Abril, 2016**

*“A busca pela sustentabilidade ambiental deve partir, primeiramente, da sensibilidade dos seres humanos em relação ao impacto que seus hábitos causam ao planeta; só depois disso é que diferentes soluções conjugadas poderão contribuir para sanar o problema global.”*  
(Autor Desconhecido)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a meus avôs Quina e Lenes, ao meu irmão Lucas e em especial aos meus pais Márcia e Nino Cunha.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, por estar sempre no meu caminho, iluminando e guiando às escolhas certas.

Aos meus pais Márcia e Nino Cunha, que foram à base de tudo pra mim, apoiando-me nos momentos difíceis com força, confiança, amor, ensinando-me a persistir nos meus objetivos e ajudando a alcançá-los.

Ao meu irmão Lucas, agradeço pela companhia, carinho e momentos de descontração vividos a cada dia.

Aos meus avôs Quina e Lenes, pelo amor que tem comigo. Por acreditarem e torcerem sempre por mim, me incentivando em todos os momentos em que precisei.

Se chegar até aqui foi possível, foi devido ao apoio de todos vocês que são únicos.

Agradeço ao meu orientador, professor Jairo José de Oliveira Andrade, por todo apoio e transmissão de conhecimento durante o desenvolvimento dessa pesquisa.

Enfim, agradeço todos que de alguma forma contribuíram para o sucesso deste trabalho. Muito obrigado!



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

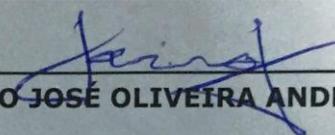
FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

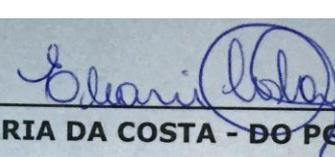
## QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NA CONSTRUÇÃO DE UNIDADES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES COM DIFERENTES MATERIAIS

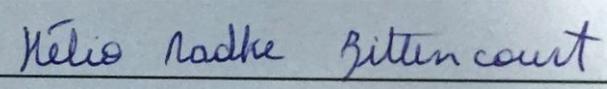
**CANDIDATA: IASMINY BORBA DA CUNHA**

Esta dissertação de Mestrado foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS e aprovada sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

  
DR. JAIRO JOSÉ OLIVEIRA ANDRADE - ORIENTADOR

**BANCA EXAMINADORA**

  
DRA. ELEANI MARIA DA COSTA - DO PGETEMA/FENG - PUCRS

  
DR. HÉLIO RADKE BITTENCOURT - PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO DA ODONTOLOGIA - PUCRS

**PUCRS**

Campus Central

Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - Sala 103 - CEP: 90619-900

Telefone: (51) 3353.4059 - Fax: (51) 3320.3625

E-mail: engenharia.pg.materiais@pucrs.br

www.pucrs.br/feng

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>5</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>14</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS .....</b>	<b>15</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>18</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>19</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>1.1. Justificativa.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2. Objetivos .....</b>	<b>24</b>
1.2.1. Objetivo Geral .....	24
1.2.2. Objetivos Específicos.....	24
<b>1.3. Delimitações do Trabalho.....</b>	<b>25</b>
<b>1.4. Estrutura do Trabalho .....</b>	<b>25</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1. Histórico.....</b>	<b>29</b>
<b>2.2. Construção Sustentável .....</b>	<b>32</b>
<b>2.3. Instrumentos para avaliação e classificação do desempenho ambiental das edificações.....</b>	<b>36</b>
<b>2.4. A indústria da construção civil e o desenvolvimento do país .....</b>	<b>38</b>
<b>2.5. Impactos ambientais gerados na fabricação dos materiais de construção e execução das obras .....</b>	<b>39</b>
2.5.1. Aço para construção .....	40
2.5.2. Agregados.....	42
2.5.3. Bloco de Concreto.....	44
2.5.4. Bloco de solo-cimento.....	45
2.5.5. Cal.....	46

2.5.6. Cimento Portland .....	48
2.5.7. Produtos de cerâmica vermelha .....	50
<b>2.6. Análise do Ciclo de Vida - ACV .....</b>	<b>51</b>
2.6.1. Histórico da Análise do Ciclo de Vida- ACV .....	52
2.6.2. Análise do Ciclo de Vida no Brasil .....	54
2.6.3. Principais aplicações da análise do ciclo de vida na construção civil .....	55
2.6.4. Estrutura metodológica da Análise do Ciclo de Vida.....	58
2.6.4.1. Definição de Objetivo e Escopo .....	59
2.6.4.2. Inventário do Ciclo de Vida (ICV).....	60
2.6.4.3. Avaliação de Impacto Ambiental do Ciclo de Vida (AICV) .....	61
2.6.4.4. Interpretação de impacto do ciclo de vida.....	61
<b>2.7. Análise do Ciclo de Vida Energético - ACVE .....</b>	<b>62</b>
<b>3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>66</b>
<b>3.1. Método de Pesquisa.....</b>	<b>66</b>
<b>3.2. Método de Trabalho .....</b>	<b>67</b>
<b>3.3. Escolha das unidades habitacionais.....</b>	<b>68</b>
3.3.1. Cenário 1 – Paredes de alvenaria de blocos cerâmicos .....	68
3.3.1. Cenário 2 – Paredes de alvenaria de blocos de solo-cimento .....	70
3.3.2. Cenário 3 – Paredes de alvenaria de blocos de concreto.....	70
<b>3.4. Levantamento das etapas e serviços a serem quantificadas.....</b>	<b>70</b>
<b>3.5. Levantamento dos quantitativos de materiais e serviços .....</b>	<b>71</b>
<b>3.6. Levantamento do consumo de materiais empregados na construção das unidades residenciais.....</b>	<b>72</b>
<b>3.7. Levantamento das emissões de CO<sub>2</sub> por materiais .....</b>	<b>72</b>
<b>3.8. Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> .....</b>	<b>75</b>
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
<b>4.1. Levantamento do consumo dos materiais.....</b>	<b>77</b>
<b>4.2. Emissões de CO<sub>2</sub> por materiais .....</b>	<b>82</b>
<b>4.3. Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> das unidades residenciais .....</b>	<b>84</b>
4.3.1. Cenário 1 – Parede de alvenaria de blocos cerâmicos .....	87
4.3.2. Cenário 2 – Parede de alvenaria com blocos de solo-cimento .....	89
4.3.3. Cenário 3 – Parede de alvenaria com blocos de concreto.....	90
<b>4.4. Emissões de CO<sub>2</sub> totais .....</b>	<b>98</b>

<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>105</b>
<b>5.1. Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>106</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>132</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ciclo de vida dos principais produtos da construção civil .....	28
Figura 2.2 – Representação do ciclo de vida de um produto .....	51
Figura 2.3 - Ciclo de vida das edificações .....	52
Figura 2.4 - Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida .....	59
Figura 2.5 - Níveis conforme proposto pelo IFIAS.....	63
Figura 2.6 - Etapas e Níveis do Ciclo de vida energético de uma edificação .....	64
Figura 3.1 - Fluxograma das etapas realizadas na pesquisa .....	67
Figura 3.2 - Fachada das unidades habitacionais .....	68
Figura 3.3 - Planta baixa das residências estudadas .....	69
Figura 4.1 - Intensidade de Emissões por produto.....	80
Figura 4.2 - Gráfico da emissão de tonelada de dióxido de carbono por etapa quantificada.....	95
Figura 4.3 - Valor da emissão de dióxido de carbono referente à etapa de alvenaria (blocos cerâmicos, blocos de solo-cimento e concreto) .....	97
Figura 4.4 - Comparativo entre a emissão de dióxido de carbono dos blocos cerâmicos e blocos de solo-cimento .....	99
Figura 4.5 - Comparativo entre a emissão de dióxido de carbono dos blocos cerâmicos e blocos de concreto .....	101
Figura 4.6 - Gráfico da emissão de tonelada de dióxido de carbono por etapa quantificada.....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.2 – Trabalhos desenvolvidos sobre a Análise do Ciclo de Vida .....	56
Tabela 3.1 - Energia Embutida em materiais de construção brasileiros.....	72
Tabela 3.2 - Consumo primário de energia por fontes em % MJ nos materiais de construção.....	73
Tabela 3.3 – Emissão de CO <sub>2</sub> por fontes de energia .....	74
Tabela 4.1 - Quantitativo dos materiais por unidade .....	77
Tabela 4.2 –Consumo de materiais para 1 m <sup>3</sup> de concreto, traço 1:2,5:3.....	78
Tabela 4.3 –Consumo de materiais para 1 m <sup>3</sup> de argamassa, traço 1:2:9.....	78
Tabela 4.4 - Consumo de materiais utilizados para o chapisco de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria, traço 1:3 .....	79
Tabela 4.5 - Quantitativo de materiais utilizados para o emboço de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria, traço 1:2:8 .....	79
Tabela 4.6 - Quantitativo de materiais utilizados para o reboco de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria, traço 1:2 .....	79
Tabela 4.7 - Cubagem da madeira.....	80
Tabela 4.8 - Taxa de emissões de CO <sub>2</sub> da madeira Lyptus .....	81
Tabela 4.9 - Quantidade de madeira utilizada nas esquadrias.....	81
Tabela 4.10 – Emissão de CO <sub>2</sub> por materiais .....	82
Tabela 4.11 - Quantitativo de aço e concreto nas fundações .....	84
Tabela 4.12 - Emissões de CO <sub>2</sub> por 1 m <sup>3</sup> de concreto produzido <i>in loco</i> .....	85
Tabela 4.13- Emissões de CO <sub>2</sub> do aço .....	85
Tabela 4.14- Quantitativo de aço e concreto na supraestrutura.....	85
Tabela 4.15 - Emissões de CO <sub>2</sub> geradas na etapa de supraestrutura .....	86

Tabela 4.16 - Cubagem da madeira .....	86
Tabela 4.17 - Sequestro de CO <sub>2</sub> .....	86
Tabela 4.18 - Emissões de CO <sub>2</sub> sequestrada pela madeira .....	87
Tabela 4.19 – Rendimento total dos blocos cerâmicos .....	87
Tabela 4.20 - Emissões de CO <sub>2</sub> gerado pelos blocos cerâmicos.....	88
Tabela 4.21 - Quantitativo de materiais para argamassa de assentamento por metro quadrado de alvenaria.....	88
Tabela 4.22- Emissões de CO <sub>2</sub> geradas pela argamassa de assentamento das alvenarias de vedação .....	88
Tabela 4.23- Emissões de CO <sub>2</sub> gerado pelos blocos de solo-cimento da alvenaria .	89
Tabela 4.24 - Emissões de CO <sub>2</sub> geradas pela argamassa de assentamento das alvenarias de vedação .....	89
Tabela 4.25 - Quantitativo de materiais para argamassa de assentamento por metro quadrado de alvenaria.....	90
Tabela 4.26 - Emissões de CO <sub>2</sub> geradas pela argamassa de assentamento das alvenarias de vedação .....	90
Tabela 4.27 - Emissões de CO <sub>2</sub> gerado pelos blocos de concreto da alvenaria .....	91
Tabela 4.28 - Emissões de CO <sub>2</sub> geradas pela argamassa de assentamento das alvenarias de vedação .....	91
Tabela 4.29 - Quantitativo de materiais para argamassa de assentamento por metro quadrado de alvenaria.....	92
Tabela 4.30 - Emissões de CO <sub>2</sub> geradas pela argamassa de assentamento das alvenarias de vedação .....	92
Tabela 4.31 - Quantitativo de materiais utilizados para o chapisco de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria.....	93
Tabela 4.32 - Emissões de CO <sub>2</sub> geradas pelo chapisco .....	93
Tabela 4.33 - Quantitativo de materiais utilizados para o emboço de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria.....	93

Tabela 4.34 - Emissões de CO <sub>2</sub> geradas pelo emboço.....	94
Tabela 4.35 - Quantitativo de materiais utilizados para o reboco de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria, traço 1:2 .....	94
Tabela 4.36 - Emissões de CO <sub>2</sub> geradas pelo reboco .....	94
Tabela 4.37 - Emissões de dióxido de carbono por unidade habitacional (em tCO <sub>2</sub> )	95
Tabela 4.38 - Emissões totais de dióxido de carbono em tCO.....	98

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1– Nove passos para construção sustentável .....	33
Quadro 2.2– Princípios básicos para construção sustentável .....	34
Quadro 2.3– Princípios básicos para construção sustentável .....	37
Quadro 2.4– Metas para construção sustentável .....	40
Quadro 2.5 - Normas referentes à Análise do Ciclo de Vida .....	54
Quadro 3.1 - Serviços a serem executados na construção das unidades habitacionais .....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABCV	Associação Brasileira do Ciclo de Vida
ABIHA	Arquitetura de Baixo Impacto Humano e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise do Ciclo de Vida
ACVE	Análise do Ciclo de Vida Energético
AICV	Avaliação de Impacto Ambiental do Ciclo de Vida
APP	Área de Preservação Permanente
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
AsBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CAD	Desenho Assistido por Computador
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CD	Centro de Distribuição
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CIB	Pesquisa e Inovação em Construção
COP	Conferência do Clima
$E_{\text{cocção}}$	Energia para cocção de alimentos
$E_{\text{dem}}$	Energia de demolição e remoção de resíduos
$E_{\text{desp}}$	Energia de desperdício de materiais
EE	Energia Embutida
EEI	Energia Embutida Inicial
$E_{\text{eq. obra}}$	Energia consumida por equipamentos de obra
$E_{\text{equip}}$	Energia consumida por equipamentos eletrodomésticos
$EE_{\text{mat}}$	Energia Embutida dos materiais
$E_{\text{manut}}$	Energia de reposição de materiais
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EO	Energia de Operação
EPD	Declaração ambiental de produtos para construção

ESC	Escala
$E_{\text{trans. mat}}$	Energia consumida no transporte dos materiais de construção
$E_{\text{tr. dem}}$	Energia consumida no transporte de demolição
$E_{\text{tr. desp}}$	Energia consumida no transporte do desperdício de materiais
$E_{\text{tr. obra}}$	Energia consumida no transporte de trabalhadores até a obra
FCAV	Fundação Carlos Alberto Vanzolini
FIEMG	Federação das Indústrias do estado de Minas Gerais
FSC	Conselho de Manejo Florestal
GANAP	Grupo de Apoio à Normalização
GEE	Gases do efeito estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HK – BREEAM	Hong Kong - <i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
HQE	<i>Association for La Haute Qualité Environnementale</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IDHEA	Instituto para o Desenvolvimento de Habitação Ecológica
IFIAS	<i>International Federation of Institutes for Advanced Studies</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INT	Interna
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ISO	Organização Internacional de Normalização
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LEED CS	<i>Leadership in Energy and Environmental Design Core e Shell</i>
LEED NC	<i>Leadership in Energy and Environmental Design New Construction</i>
MRI	<i>Midwest Research Institute</i>
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
ONU	Organizações das Nações Unidas
PBQP – H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
pH	Potencial de hidrogênio
PI	<i>Porcelain Enamel Institute</i>
PIB	Produto Interno Bruto

PVC	Policloreto de Vanilia
QAE	Qualidade Ambiental do Edifício
REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
RTE	Requisitos Totais de Energia
SETAC	Sociedade Internacional para a Química e Toxicologia Ambiental
SGE	Sistema de Gestão do Empreendimento
TCPO	Tabelas de Composições de Preços para Orçamento
USGBC	<i>U. S. Green Building Council</i>
WCED	<i>World Commission on Environment and Development</i>

## RESUMO

CUNHA, Iasminy Borba da. **Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais.** Porto Alegre - RS. 2016. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

O presente trabalho teve por objetivo, quantificar as emissões de dióxido de carbono, durante o processo de construção de vinte unidades residenciais unifamiliares com área total de 42,89 m<sup>2</sup>. A quantificação foi realizada, através da Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), uma forma simplificada de conduzir uma análise de impactos ambientais. A ACVE foi baseada, na metodologia proposta por Tavares (2006), que utiliza a Energia Embutida (EE) para quantificar as emissões de CO<sub>2</sub>, dos principais materiais empregados pela construção civil: aço, agregados, cerâmica vermelha, cal e cimento. A utilização desses materiais na construção das unidades estudadas irá emitir 60.157,00 kg de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Devido, a esse alto índice de emissão, foi proposta a substituição dos blocos cerâmicos que serão utilizados na vedação, por materiais alternativos: blocos de solo-cimento e blocos de concreto. A substituição foi proposta a fim de verificar, se esses materiais não possuem uma emissão de dióxido de carbono inferior, pois assim poderia tornar as construções menos impactante ao meio ambiente. O emprego dos blocos de concreto não é vantajosa, pois aumentaria em 1.873,29 kg a emissão de CO<sub>2</sub>. Enquanto isso, a utilização dos blocos de solo-cimento, iria reduzir 8.018,00kg, tornando assim a construção das unidades, uma atividade com menor impacto ambiental. Isso ocorreria, pois o bloco de solo-cimento, durante a fabricação não passam pelo processo de queima tornando-o um material sustentável.

**Palavras chaves:** Construção; Emissões de CO<sub>2</sub>; Materiais de Construção; Sustentabilidade.

## ABSTRACT

CUNHA, Iasmily Borba da. **Quantification of CO<sub>2</sub> emissions in the construction of single-family residential units with different materials.** Porto Alegre. 2016. Master. Graduation Program in Materials Engineering and Technology, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL.

This study aimed to quantify the carbon dioxide emissions during the process of construction of twenty single-family residential units, each with a total area of 42.89 m<sup>2</sup>. Quantification was performed by using Energy Life Cycle Analysis (ELCA), a simplified way to conduct an analysis of environmental impacts. The ELCA was based on the methodology proposed by Tavares (2006), which uses the Embedded Energy (EE) to quantify the emissions of CO<sub>2</sub> in the main materials used for construction, i.e: Steel, aggregates, red ceramic, lime and cement. The use of these materials in the construction of the studied units will emit 60,157.00 kilograms of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. Due to this high rate of emission, the replacement material was proposed using ceramic blocks in sealing, instead of alternative materials of soil-cement blocks and concrete blocks. The replacement was proposed in order to verify if these materials have lower carbon dioxide emissions, so they could make the buildings less impactful to the environment. The use of concrete blocks is not advantageous because it would increase CO<sub>2</sub> emissions by 1873.29 kg. Meanwhile, the use of soil-cement blocks would reduce CO<sub>2</sub> emissions by 8.018,00 kg, thus making the construction of the units an activity with less environmental impact. This would occur because the soil-cement block during manufacture, does not pass through the burning process, making it a sustainable material.

**Keywords:** Construction; CO<sub>2</sub> emissions; Construction Materials; Sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente e um futuro sustentável ganhou mais destaque nas últimas décadas (PAULSEN; SPOSTO, 2014). De acordo com *National Strategies for Sustainable Development* (COELHO; SANTOS, 2014), a concepção sobre a sustentabilidade, surgiu durante discussões realizadas no início dos anos 70, seguindo uma série de publicações chaves, que destacavam a exploração do meio ambiente pelo homem, enfocando o desenvolvimento econômico e o aumento da preocupação global quanto aos objetivos e às limitações ambientais.

Sendo assim, o conceito de desenvolvimento sustentável foi definido na *World Commission Environment and Development*, em 1987, através do documento *Our Common Future*, que definiu desenvolvimento sustentável, como aquele que satisfaz as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as próprias necessidades (CIB, 2000). Apesar do conceito de sustentabilidade parecer lógico, ele não vem sendo colocado em prática pela população.

Segundo dados do relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (do inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC) publicado em 2007, indicam que a culpa dos problemas ambientais do planeta são decorrentes ao estilo de vida de seus habitantes, pois são pessoas sem consciência de preservação ambiental que acabam poluindo o meio ambiente com lixo e desperdiçando energia e água. O que acaba, tornando os problemas ambientais mastodônticos e as possíveis soluções cada vez mais árduas.

O desenvolvimento da sociedade deveria conciliar a preservação ambiental e a melhoria da qualidade de vida do ser humano. Por isso, o conceito de sustentabilidade tem como objetivo, manter o equilíbrio entre o homem e a natureza. Através da utilização de novas tecnologias, mudanças de tendências e pensamentos, consumo consciente de bens e serviços, utilização de recursos renováveis e controle nos resíduos.

Segundo Mulfarth (2002), à frente de um cenário de degradação ambiental global, escassez de matéria prima, de água, de energia, aumento da poluição, crise social e econômica, começam a surgir e vigorar os conceitos, voltados para o desenvolvimento de uma Arquitetura de Baixo Impacto Humano e Ambiental (ABIHA).

“Buscar uma construção mais sustentável é adicionar mais valor, poluir menos, fornecer maior retorno às partes interessadas e melhorar a qualidade de vida presente sem comprometer o futuro. É procurar o equilíbrio entre a viabilidade econômica, essencial para manter as atividades e negócios, as limitações do ambiente e as necessidades da sociedade” (KALBUSCH 2011).

Devido à necessidade de construir de maneira sustentável, vem surgindo a imprescindibilidade de reavaliar os projetos, materiais empregados e aprimorar os processos de produção.

Nesse contexto, a Análise do Ciclo de Vida (ACV) apresenta-se como uma excelente ferramenta de avaliação de desempenho dos materiais, sistemas produtivos ou mesmo de uma edificação ao longo de toda a sua vida útil (BUILDING, 2013). Atualmente várias ACV vêm sendo desenvolvidas pelo setor da construção civil e todas, estão baseadas na NBR ISO 14.040 e NBR ISO 14.044 (ABNT, 2009) e dão ênfase aos principais materiais empregados pelo setor: aço, agregados, cimento e cerâmica vermelha.

Vechi (2015), afirma que é muito complexo realizar uma ACV completa de uma edificação, pois incluem uma grande quantidade de materiais e sistemas construtivos. Desta forma, alguns estudos estão sendo propostos visando à simplificação dessa ferramenta.

Com a simplificação, poderá ser analisada a energia utilizada no ciclo de vida da edificação como um indicador para impacto ambiental, já que a sua produção gera a maior parte das emissões, além de ser responsável pelo consumo excessivo dos recursos não renováveis. Sendo assim, surgiu a Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), que está baseada na metodologia da análise do ciclo de vida (ACV), e considera todas as entradas de energia de uma edificação no seu ciclo de vida, incluindo as etapas de pré-uso, uso e pós-uso (HESTNES; SARTORI, 2007).

Esse estudo propõe realizar, uma quantificação das emissões de dióxido de carbono de unidades habitacionais na fase de pré-uso, realizando um comparativo entre os impactos ambientais gerados pelos blocos cerâmicos, blocos de solo-cimento e blocos de concreto, utilizados na alvenaria como sistema de vedação de unidades que serão construídas no município de Capão da Canoa, Rio Grande do Sul, através de uma análise de ciclo de vida energético.

### **1.1. Justificativa**

De acordo com Silva (2012), toda atividade humana, independentemente de suas características, acarreta em impactos ao meio ambiente. O autor afirma que mesmo na era pré-histórica, quando os homens sobreviviam da caça e da coleta, o impacto ambiental já estava presente.

Ele ainda afirma que com o surgimento das civilizações, o homem passou a retirar do meio ambiente muito mais do que o necessário para sua subsistência. E assim começaram a surgir às preocupações com o meio ambiente, pois o homem começou a sentir o detrimento que causou a natureza. Conforme afirma Mattos (2008, p. 60):

“Ao poucos, o homem toma consciência do seu impacto sobre o mundo e a escassez dos recursos naturais e percebe que é preciso transmutar seu modo de vida. A sociedade hodierna consome 25 % a mais do que o planeta tem capacidade de renovar, ou seja, não vivemos de forma sustentável. Em alguns locais do mundo já surgem as consequências como falta de água, poluição urbana, aquecimento global e esgotamento de outros recursos naturais. Para modificar esse quadro, é necessário trazer para o dia-a-dia, soluções sustentáveis que geram menor impacto ambiental” (MATTOS, 2008).

Com isso é possível perceber a extrema importância da realização de estudos que visem melhorar a qualidade de vida e minimizar os danos causados pelo ser humano. Na construção civil, estudos de desenvolvimento de novos produtos que não agridem o meio ambiente, reutilização de recursos naturais, racionalização do uso de energia, utilização de sistema para reduzir o consumo de água e reciclagem de materiais vem sendo realizados para tentar diminuir os impactos ambientais ocasionado pelo setor (CUNHA, 2009).

E para esses estudos diversas metodologias vêm sendo empregadas, dentre elas a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que consiste num método que permite realizar um minucioso levantamento qualitativo e quantitativo dos insumos utilizados, energia consumida, processo produtivo, transporte, utilização, reutilização, reciclagem e disposição final. A ACV é uma ferramenta de avaliação extremamente complexa, pois considera todas as parcelas de interferência durante o ciclo de vida de um determinado produto (SILVA, 2012).

Devido à complexibilidade do método, surgiu a necessidade de otimizar os recursos disponíveis e simplificar essa metodologia. E para isso foi criada a análise do ciclo de vida energético (ACVE), aonde na mesma observa-se a energia embutida inicial, que é o conjunto de insumos energéticos para a fabricação e transporte de materiais (TAVARES, 2006).

A ACVE dá condições para avaliar, a emissão de dióxido de carbono, que é o principal gás causador do efeito estufa. Sendo assim essa dissertação utilizou essa metodologia para quantificar as emissões de CO<sub>2</sub>, na construção de unidades residenciais unifamiliares.

Através dessa quantificação foi possível, propor a substituição de materiais que largamente são utilizados pelo setor, por materiais alternativos. O objetivo da proposta é tentar encontrar materiais menos impactante, para que assim seja possível construir respeitando o meio ambiente (TSAI, 2013).

Edificar desse modo é construir sustentavelmente, reduzindo o impacto ambiental, diminuindo o desperdício e garantindo a qualidade do produto (LOTTI, 2015).

## **1.2. Objetivos**

A seguir são apresentados os objetivos gerais e específicos do presente trabalho.

### **1.2.1. Objetivo Geral**

Esta pesquisa tem como objetivo principal, comparar as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera considerando o emprego de diferentes materiais na construção de unidades residenciais unifamiliares.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Essa pesquisa tem como objetivos específicos:

- Desagregar os valores de consumo de energia em fontes primárias, para que assim, seja possível mensurar as emissões de CO<sub>2</sub> por materiais de construção;
- Quantificar as emissões de CO<sub>2</sub>, que ocorrerão durante a construção de vinte unidades residenciais;
- Propor a substituição de materiais, que largamente são empregados na execução de paredes em alvenaria;
- Realizar uma análise comparativa entre as emissões de CO<sub>2</sub> das construções considerando três cenários para a execução de paredes em alvenaria: empregando bloco cerâmico, bloco de solo-cimento e bloco de concreto.

### **1.3. Delimitações do Trabalho**

A pesquisa quantificou as emissões de dióxido de carbono, que ocorrem durante a construção de unidades residenciais. Todas as unidades quantificadas terão o mesmo sistema construtivo e empregarão os mesmos materiais: aço, agregados, cal, cimento e blocos cerâmicos.

A quantificação das emissões foi realizada através da Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), que é calculada a partir da energia embutida (EE) dos materiais de construção e o CO<sub>2</sub> embutido na fabricação dos mesmos, considerando as etapas de fabricação dos materiais e sua aplicação na construção.

Após a obtenção das emissões de CO<sub>2</sub>, foi proposta a substituição do material empregado na execução das vedações (blocos cerâmicos), por blocos de solo-cimento e blocos de concreto. Vale salientar que as residências não serão efetivamente executadas, cujas análises realizadas têm como foco a etapa de pré-uso.

A pesquisa não avaliou as emissões que ocorreram nas etapas de operação, manutenção e demolição. Além disso, itens como a energia elétrica, energia de equipamentos e transporte de funcionários, não foram estimados, devido à carência de uma base de dados para referência.

### **1.4. Estrutura do Trabalho**

Este trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos e referências bibliográficas, além de ser complementado por apêndice.

O primeiro capítulo inicia com a introdução, os objetivos, a justificativa do estudo e a estrutura da apresentação do trabalho.

No segundo capítulo é realizada uma revisão bibliográfica, na qual se procura fornecer uma visão geral dos tópicos de maior relevância deste estudo.

Primeiramente, são apresentados os conceitos básicos relacionados ao desenvolvimento sustentável e sustentabilidade. Em um segundo momento é apresentado o modelo de avaliação e classificação de desempenho ambiental das edificações. Num terceiro momento, foram apresentados os impactos ambientais gerados na produção dos principais materiais empregados pelo setor da construção civil. E logo após, foram apresentadas as principais características da análise de ciclo de vida (ACV), além da apresentação da Análise de Ciclo de Vida Energético (ACVE), uma ferramenta simplificada para avaliação de impactos ambientais.

No terceiro capítulo, está descrito o método utilizado. Nele, são ainda definidas todas as premissas necessárias para a análise do ciclo de vida energética das etapas de fundações, alvenarias, estrutura, revestimentos, esquadrias e ferragens.

No capítulo quatro, são apresentados os resultados, de modo a possibilitar uma análise comparativa entre os materiais empregados na alvenaria.

O capítulo cinco apresenta as conclusões deste estudo, com a apresentação de sugestões para pesquisas futuras, sendo sucedido pelas referências bibliográficas dos mesmos.

O apêndice traz o projeto estrutural e memorial descritivo, referente às unidades residenciais pesquisadas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A indústria da construção civil é um dos setores mais importantes na economia brasileira, pois é responsável por 5,8 % do Produto Interno Bruto (PIB), além de ser um dos setores que mais geram empregos diretos e indiretos (DORIA *et al.*, 2012). Em 2015 devido à crise econômica Brasileira o setor da construção civil encolheu 8,4 %, e segundo o Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo (Sinduscon - SP), em 2016 a queda será de 5 % (QUINTÃO, 2015).

Mas apesar de toda a sua importância no desenvolvimento econômico e social do país, o setor é responsável por uma grande parcela dos impactos ambientais (FARIA *et al.*, 2015). A construção civil utiliza 60 % das matérias primas disponíveis no planeta (CAMPOS, 2012). É responsável por 30 % das emissões de carbono, sendo que o parque edificado consome 42 % da energia produzida (JALALI; TORRALBA, 2010).

Sendo assim, é necessário tornar a construção uma atividade sustentável. E para isso ocorrer, devem-se utilizar materiais e tecnologias que melhoram a condição de vida do ser humano e diminua o impacto gerado durante todo o processo construtivo (GUERRA; LOPES, 2015).

Para que os conceitos de sustentabilidade sejam empregados na construção civil, os arquitetos e engenheiros devem utilizar em seus projetos elementos naturais, que garantam um aproveitamento racional dos recursos necessários para iluminar e ventilar os ambientes, de forma a reduzir os desperdícios nessas áreas (GUERRA; LOPES, 2015). Além de se preocuparem com o uso de materiais certificados, obtidos com fornecedores legalmente estabelecidos, que adotem as

mesmas convicções em relação à mitigação dos impactos ambientais e das emissões de gases poluentes (TSAI, 2013).

Hendrickson, Matthews e Ochoa (2002), acreditam que a geração de impacto da construção civil é grande, pois o setor é responsável por um produto com longa vida útil, que gera impacto da concepção até a demolição, conforme mostra a Figura 2.1.

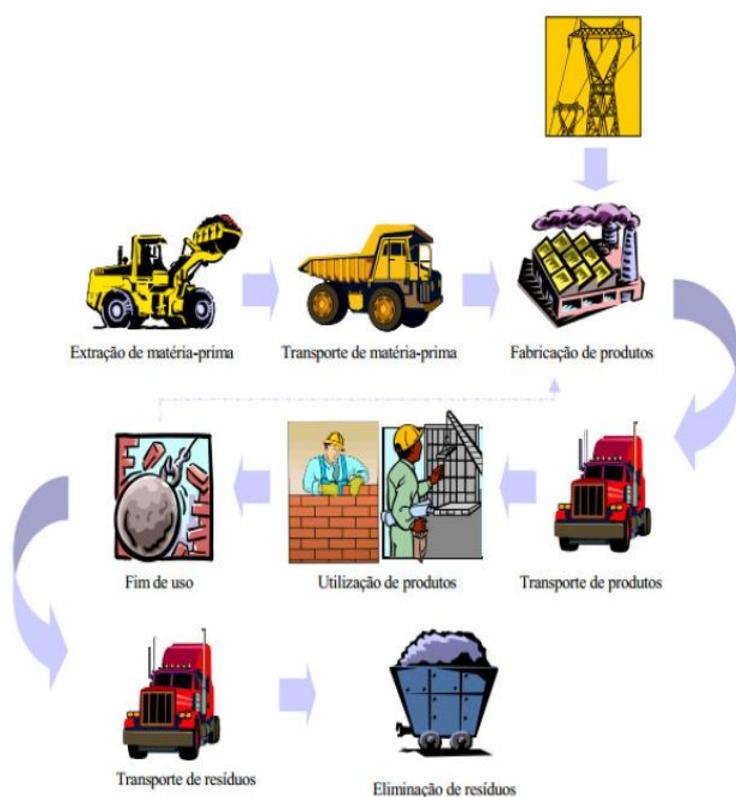


Figura 2.1 - Ciclo de vida dos principais produtos da construção civil

Fonte: Adaptado de Breitenbach *et al.*, 2002

Sendo assim, vem surgindo a necessidade de realizar estudos que visam desenvolver novas tecnologias construtivas, com o objetivo de tentar minimizar os impactos ambientais. Esses estudos estão sendo realizados, através da Análise de Ciclo de Vida (ACV), pois ela admite que todos os estágios da vida de um produto, causam algum impacto ambiental, e, portanto devem ser avaliados (EPA, 2006).

A ACV internacionalmente vem sendo aplicada para o cálculo do ciclo de vida de materiais de construção como os blocos cerâmicos (DOMPROS; KORONEOS, 2007), aberturas (YOST; NORRIS, 2001; ABEYSUNDRA; BABEL; GHEEWALA; SHARP, 2007), materiais isolantes (GILIJAMSE; HUIJBREGTS; RAGAS; REIJNDERS, 2003), cimento (EATMON; HUNTZINGER, 2009; CORTINA; GASSEL; GRANADOS; GUILLEM; JOSA; VALDERRAMA, 2011), estruturas em bambu (DOBBELSTEEN; JASSEN; LUGT, 2006), materiais estruturais (CRESMIK; MAYDEL; PASSER; SCHULTER, 2007; BRAGADIN; GUARDIGLI; MONARI, 2011; ALSHAMRANI; ALKASS; GALAL, 2014; HUGHES; LINKOSALMI; TAKANO; WINTER, 2014) e pavimentos (BISWAS, 2013; JÖNSSON; SVENSSON; TILLMAN, 1997; NICOLETTI; NOTARNICOLA; TSSIELLI, 2002; NEBEL; WEGENER; ZIMMER, 2006).

## 2.1. Histórico

Segundo Martins (2015), as preocupações da comunidade internacional com os limites do desenvolvimento do planeta surgiram na década de 60, quando começaram a ser discutidos os riscos da degradação do meio ambiente. Devido a essas discussões, em 1968 Aurelio Peccei, um industrial italiano, criou o Clube Roma, organização que reunia cientistas, pedagogos, economistas, humanistas, industriais e funcionários públicos, com o objetivo de alterar os problemas que desafiavam a humanidade: a degradação do meio ambiente; a perda de confiança nas instituições; o avolumamento urbano demasiado; a rejeição de valores tradicionais; a pobreza em meio à riqueza; a insegurança no emprego; a alienação da juventude; a inflação e outras rupturas econômicas e monetárias (NASCIMENTO, 2012).

As discussões tiveram como resultado, a publicação de um relatório em 1972, Os Limites do Crescimento (do inglês, *The limits to growth*), que argumentava sobre a necessidade de conquistar um equilíbrio global baseado em limites ao crescimento da população, no desenvolvimento econômico dos países subdesenvolvidos e em uma atenção aos problemas ambientais. Esse relatório causou impacto entre a comunidade científica, pois apresentava cenários catastróficos de como seria o

planeta, caso o padrão de desenvolvimento vigente na época permanecesse (XAVIER *et al.*, 2015).

Devido a tal alerta, nas décadas seguintes foram realizadas pela Organização das Nações Unidas (ONU) conferências mundiais para debater questões globais que visava à busca de soluções para os problemas ambientais. A primeira foi realizada em 1972 no mesmo ano da publicação do relatório, na capital da Suécia, em Estocolmo e ficou conhecida como a Conferência de Estocolmo, e chamou a atenção das nações para o fato de que as ações humanas estavam causando uma séria de degradação da natureza e criando riscos para o bem estar e para a própria sobrevivência da humanidade (NASCIMENTO, 2012).

Durante a conferência foi predominante a visão antropocêntrica do mundo, em que o homem era tido como o centro de toda a atividade realizada no planeta, desconsiderando o fato da espécie humana ser parte da cadeia ecológica que rege a vida na Terra (COELHO; SANTOS, 2014). A Conferência de Estocolmo contou com a participação de 113 países, 250 organizações não governamentais e dos organismos da ONU.

Ao término da conferência foi divulgada a Declaração sobre o Meio Ambiente Humano, na qual foi baseada em 26 princípios de comportamento e responsabilidade que deveriam governar as decisões relativas a questões ambientais (OTERO, 2013).

No ano de 1987, o conceito de desenvolvimento sustentável foi apresentado pela *World Commission on Environment and Development* (WCED), no relatório das Nações Unidas denominado “Nosso Futuro Comum” ou Relatório *Brundtland*. O mesmo afirmava que o desenvolvimento sustentável, é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer o atendimento das gerações futuras (GUERRA; LOPES, 2015). Sendo assim, o desenvolvimento sustentável deve buscar a conciliação harmônica entre eficiência econômica, ecologia e justiça social, o que ficou conhecido como *Triple Bottom Line* (ALVES e MARTINE, 2015).

A Assembleia Geral das Nações Unidas, em 1988, aprovou uma Resolução, determinando a efetuação de outra Conferência sobre o meio ambiente e desenvolvimento. Para que fosse, possível aquilatar como os países haviam promovido a proteção ambiental desde a Conferência de Estocolmo. Essa conferência foi realizada na cidade do Rio de Janeiro 1992, e ficou conhecida como ECO 92, tendo como objetivo a busca de meios que permitisse o desenvolvimento socioeconômico aliado à conservação da natureza (OLIVEIRA, 2012).

A ECO 92, contava com a presença de 172 países, representados por aproximadamente dez mil participantes, incluindo 116 chefes de Estados. Dessa conferência foram aprovadas duas importantes convenções: uma sobre biodiversidade e outra sobre mudanças climáticas. Outro resultado importante foi a assinatura da Agenda 21, um plano de ações com metas para a melhoria das condições ambientais do planeta (OLIVEIRA, 2012).

A Agenda 21 é um documento com 2500 recomendações para implantar estratégias de conservação do planeta e estabelecer escopo para a exploração sustentável do patrimônio natural, sem impedir, porém, o desenvolvimento de nenhum país, dando origem ao Protocolo de Kyoto, que é um acordo internacional, assinado em 1997 por 180 países e 9 nações, que visava reduzir as emissões de gases poluentes. Estes gases são os responsáveis pelo efeito estufa e o aquecimento global (OLIVEIRA, 2012).

O Protocolo de Kyoto previa que entre o ano de 2008 e 2012, os países reduziriam suas emissões em 5,2 % em comparação com os níveis medidos em 1990. O Protocolo de Kyoto entrou oficialmente em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005, após ter sido discutido na cidade de Kyoto, no Japão, e assinado por 84 países (GODOY; SAES, 2015).

As Nações Unidas, em 2002, promoveram um fórum de discussões em Johannesburgo, chamado de Rio+10 ou Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável, cujo objetivo era discutir as soluções propostas na Agenda 21, para que pudessem ser aplicadas de forma coerente pelo governo e cidadão.

A Conferência do Clima em Copenhague, realizada em 2009, foi considerada a maior realizada, pois 192 nações foram representadas. Ela foi uma preparação em âmbito governamental, para a revisão do Protocolo de Kyoto (CALDERÓN *et al.*, 2015).

Após dez anos em vigor, o Protocolo de Kyoto foi debatido na 18ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, realizada em 2012 na cidade de Doha, no Catar. Através do debate entre os países presente, foi possível perceber que as metas estabelecidas para as reduções de gases não foram atingidos. Sendo assim, o Protocolo foi estendido até o ano de 2020, pois atualmente é a única ferramenta que compromete os países industrializados a reduzir os gases de efeito estufa (CAMPELLO *et al.*, 2015).

Em dezembro de 2015 foi realizada em Paris a COP 21, cujo objetivo era estabelecer um novo acordo climático entre os países para diminuir a emissão de gases de efeito estufa, diminuindo o aquecimento global e em consequência, limitar o aumento da temperatura global em 2 °C até 2100. O Acordo de Paris entra em vigor em 2020, e marca um momento decisivo de transformações, pois pela primeira vez cada país do mundo se comprometeu a reduzir as emissões, fortalecer a resiliência e se unir em uma causa comum para combater a mudança do clima. (NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL, 2015).

## **2.2. Construção Sustentável**

Na Conferência Internacional sobre Construção Sustentável realizada em 1994, na cidade de Tampa, na Flórida surgiu o conceito de construção sustentável pela mão de Charles Kilbert, que a caracterizou como a criação e o planejamento responsável de um ambiente construído e saudável, com base na otimização dos recursos naturais disponíveis e em princípios ecológicos (KILBERT, 1994).

Cunha e Siqueira (2013) afirmam que a construção sustentável, é um sistema construtivo que promove intervenções no meio ambiente, de forma a atender as

necessidades de uso, produção e consumo humano, sem esgotar os recursos naturais, preservando-os para as gerações atuais e futuras.

Segundo o Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica (IDHEA), existem nove passos para o estabelecimento de uma construção sustentável e com base neles, em 2008 a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do estado de Minas Gerais criou um Manual de Obras Públicas Sustentáveis, onde estabeleceu as premissas para a concepção e planejamento de construções sustentáveis, conforme mostra o Quadro 2.1:

Quadro 2.1– Nove passos para construção sustentável

1	Planejamento sustentável da obra;
2	Aproveitamento passivo dos recursos naturais;
3	Eficiência energética;
4	Gestão e economia da água;
5	Gestão dos resíduos na edificação;
6	Qualidade do ar e do ambiente interior;
7	Conforto termo acústico;
8	Uso racional de materiais;
9	Uso de produtos e tecnologias ambientalmente amigáveis;

Fonte: FIEMG, 2008

Sendo assim, a construção sustentável tem por objetivo, empregar materiais ecológicos e soluções tecnológicas, para promover o bom uso e a economia de recursos finitos, a redução da poluição e o conforto de seus moradores (CUNHA; SIQUEIRA, 2013).

A construção civil através do conceito de sustentabilidade tenta minimizar o impacto que gera sobre o meio ambiente. De acordo com o Guia de Sustentabilidade a construção para ser sustentável deve atender de modo equilibrado, a quatro requisitos básicos: adequação ambiental, viabilidade econômica, justiça social e aceitação cultural.

A Associação dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA), o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e o Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica (IDHEA), apresentam diversos princípios básicos para a construção sustentável, conforme mostra o Quadro 2.2 (CUNHA; SIQUEIRA, 2013).

Quadro 2.2– Princípios básicos para construção sustentável

1	Redução do consumo de recursos
2	Reutilização de recursos
3	Utilização de recursos recicláveis
4	Proteção da natureza
5	Eliminação dos produtos tóxicos
6	Aplicação de análises de ciclo de vida em termos econômicos
7	Assegurar a qualidade

Fonte: Adaptado de Cunha e Siqueira, 2013

Os princípios básicos apresentados no Quadro 2.2, seguem a conceituação do Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção (do francês, *Conseil International du Bâtiment* - CIB), que define a construção sustentável como o “processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes construídos e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica” (CIB; UNEP, 2002, p. 8).

Baseado na definição do CIB, é possível perceber que a questão do restabelecimento da harmonia, retoma uma preocupação que foi desaprendida com os aperfeiçoamentos tecnológicos, em que o aproveitamento passivo de fontes naturais, como luminosidade, calor, ventilação, entre outros, foram substituídos por sistemas elétricos, como, por exemplo, os aparelhos para aquecimentos e resfriamento artificiais (REIS, 2015).

Além disso, deve-se ter em mente que para construir de maneira sustentável deve ser considerado todo o ciclo de vida do empreendimento, desde sua concepção até sua requalificação, desconstrução ou demolição. Sendo assim, é necessário um detalhamento, do que pode ser realizados em cada fase da obra,

demonstrando aspectos e impactos ambientais e como estes itens devem ser trabalho.

O detalhamento deve estar baseado nas normas ISO 21.930 (ABNT, 2007), que trata da Declaração ambiental de produtos para construção (do inglês, *Environmental declaration of building products - EPD*) e na ISO 15.392 (ABNT, 2008), que fala sobre os princípios gerais da construção sustentável, com base na análise de ciclo de vida.

O Comitê Técnico da ISO conceituou a edificação sustentável, “como aquela que pode manter moderadamente ou melhorar a qualidade de vida e harmonizar-se com o clima, a tradição, a cultura e o ambiente na região, ao mesmo tempo em que conserva a energia e os recursos, recicla materiais e reduz as substâncias perigosas dentro da capacidade dos ecossistemas locais e globais, ao longo do ciclo de vida do edifício” (SILVA, 2012).

Conforme o Guia da Sustentabilidade na Construção e o Conselho de Desenvolvimento Econômico e Social, para a construção ser sustentável deve ser priorizado no desenvolvimento dos projetos as seguintes condições (CBIC, 2012):

- Pré-condição 1 – Projeto de sustentabilidade tem que ter qualidade, pois será ele que irá garantir os níveis de excelência disseminados. Com isso, deve-se buscar um processo de gestão de qualidade, pois através da gestão será possível buscar melhoria nos processos, que estão ligados ao consumo de recursos naturais, produtividade, desperdício e durabilidade.
  
- Pré-condição 2 – Sustentabilidade não combina com informalidade. Por isso, é necessário selecionar fornecedores de materiais e serviços, assim como a equipe de mão de obra, formais.
  
- Pré-condição 3 – Busca constante pela inovação, pois através de tecnologias e inovações podem ser desenvolvidos projetos que usam racionalmente os recursos naturais.

O apoio para a sustentabilidade na construção, “é alinhar ganhos ambientais e sociais com os econômicos, daí a necessidade e importância de inovações” (CBIC, 2012).

### **2.3. Instrumentos para avaliação e classificação do desempenho ambiental das edificações**

Na década de 90, surgiu mecanismo de avaliação e classificação do desempenho ambiental e da sustentabilidade de edificações. Para Rios (2013), o surgimento e difusão dos conceitos de projeto sustentável, foi uma das mais importantes respostas do meio técnico à generalização da conscientização ambiental nesta década.

Segundo Burnett e Lee (2008), em 1990 no Reino Unido, foi desenvolvido o primeiro método de avaliação de edifícios: o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), que serviu de base para outros métodos de avaliação ambiental, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), HK-BEAM (*Hong Kong Building Environmental Assessment Method*), o *Green Star* e o CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*).

Os métodos de avaliações baseiam-se, “em indicadores de desempenho que atribuem uma pontuação técnica em função do grau de atendimento a requisitos relacionados aos aspectos construtivos, climáticos e ambientais, destacando o interior da edificação, suas proximidades e a sua relação com a cidade e o meio ambiente global” (ALCÂNTARA; NETO, 2015).

A partir da implantação da certificação ambiental, deu-se origem a expressão *Green Building*. A construção verde é localizada, construída e operada para elevar o bem estar de seus moradores e para minimizar os impactos negativos gerados, e possui como principais características, as descritas no Quadro 2.3 (FILHO, 2013):

Quadro 2.3– Princípios básicos para construção sustentável

1	Fornecer um ambiente mais saudável e confortável;
2	Promover uma gestão sustentável da implantação da obra;
3	Utilizar matérias primas eco eficientes;
4	Incorporar tecnologias de eficiência no uso de água e da energia, possibilitando assim um consumo racional e econômico de energia e água na implantação e ao longo de sua vida útil.

Fonte: Adaptado de Filho, 2013

Em 2008, a Fundação Carlos Alberto Vanzolini (FCAV) lançou o Selo Alta Qualidade Ambiental (AQUA) de certificação, o primeiro referencial brasileiro para avaliação e certificação de desempenho ambiental.

Primeiramente o sistema AQUA foi empregado na certificação das edificações comerciais e escolares. Todavia, somente em fevereiro de 2010 foi criado um referencial para edificações residenciais. O sistema AQUA é uma versão brasileira da metodologia francesa de certificação HQE (*Association por La Haute Qualité Environnemental*).

A sua aplicação permite a redução do consumo de água, energia, matérias primas e níveis de emissões do CO<sub>2</sub>, aumentando a qualidade de vida dos usuários e o desenvolvimento sócio econômico da região (TSAI, 2013).

O Brasil desenvolveu uma certificação ambiental, cujo objetivo era avaliar a eficiência energética das edificações. No ano de 2009, começou a ser realizado o processo de etiquetagem de edifícios comerciais, de serviços e públicos, baseado no Programa Brasileiro de Etiquetagem do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), para a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

Em 2010, esse processo foi ampliado para edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, abordado pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (PROCEL, 2010).

No ano de 2013, o processo AQUA passou a ser o AQUA-HQE, quando as organizações de certificação QUALITEL (residencial) e CERTIVEA (não residencial) se uniram para criar a Rede Internacional de Certificação HQE, cujo órgão certificador é a *Cerway* (BOTELHO, 2013). Todas as premissas da Rede estão baseadas na certificação francesa HQE e estruturadas em dois instrumentos de avaliação de desempenho de edificação (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2014):

- Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE): Avalia o sistema de gestão a ser implantado pelo empreendedor, assim permite o planejamento, a operacionalização e o controle de todas as etapas de seu desenvolvimento, partindo do comprometimento com um padrão de desempenho definido;
- Qualidade Ambiental do Edifício (QAE): Avalia o desempenho arquitetônico da edificação.

Segundo Degani (2009), as metodologias de avaliação e certificação de edifícios devem ser visto, como um mecanismo indutor para o aperfeiçoamento do desempenho das edificações.

#### **2.4. A indústria da construção civil e o desenvolvimento do país**

Segundo Falcão e Valentini (2015), a indústria da construção civil vem desempenhando um papel importante no crescimento das economias e no desenvolvimento dos países. O setor da construção é considerado um elemento chave na geração de empregos e na articulação de diferentes setores industriais que produzem insumos e equipamentos.

A construção civil até o ano 2003 vivenciou um período de instabilidade, caracterizado pela falta de financiamento do poder público. A partir de 2004, o setor começou a expandir, através do aumento dos investimentos em obras de unidades habitacionais e de infraestrutura.

A partir do ano de 2010, o setor acompanhou a tendência nacional com taxa

de crescimento de 11,6 %, o melhor desempenho nos últimos vinte anos, segundo dados do PIB setorial (AMORIM, 2014). E de acordo com os dados da Conferência Nacional da Indústria (CNI), no ano de 2015 a construção civil apresentou um caimento de 5,2 %, levando o PIB a uma queda de 3,8 % o maior dos últimos 12 anos (CBIC, 2016).

O Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SINDUSCON-SP) afirmou que essa retração do setor ocorreu, devido à crise política que o Brasil está enfrentando. Eles acreditam que a recessão deva continuar, pois segundo a pesquisa Focus, realizada pelo Banco Central em 2016, a estimativa de queda do PIB é de 3,45 % (RIOS, 2014).

Através desses números a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), afirmou que é necessária uma reação enérgica e imediata do governo e do Congresso Nacional na direção da aprovação de ajustes fiscais e de uma agenda de reformas estruturais que recuperem a credibilidade do país.

## **2.5. Impactos ambientais gerados na fabricação dos materiais de construção e execução das obras**

Segundo Freitas (2009), a indústria da construção e fabricação dos materiais, é reconhecida como uma grande consumidora de recursos naturais e energia, o que resulta na geração de resíduos sólidos e líquidos, que serão dispostos no ar, água ou solo. Essas disposições provocam desequilíbrio e contribuem para o aparecimento de diversos problemas ambientais, como chuva ácida, efeito estufa e aquecimento global (PIGA; MANSANO, 2015).

Devido a esse desequilíbrio do meio ambiente, foi necessário estabelecer metas para tornar a construção civil uma atividade mais sustentável, tais como as apresentadas no Quadro 2.4 (ALMEIDA; RODIRGUES, 2016):

Quadro 2.4– Metas para construção sustentável

1	Reduzir o consumo de recursos naturais;
2	Reduzir as gerações de resíduos e emissões aéreas;
3	Reduzir o consumo de energia e desperdícios durante o processo de produção dos produtos e componentes para a construção civil;
4	Reduzir o desperdício durante a fase de construção e utilização da obra.

Fonte: Adaptado de Almeida e Rodrigues, 2016

Todas essas metas ficaram estabelecidas na Agenda 21, um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis. Além dessas, outras diretrizes encontram-se disponíveis na Agenda 21, com o objetivo de construir edificações mais seguras e saudáveis, tais como: reduzir a poluição, economizar energia e água, minimizar a liberação de materiais perigosos no meio ambiente, diminuir o consumo de matérias primas renováveis e não renováveis, e no aprimoramento das condições de segurança e saúde dos trabalhadores e usuários (ALCÂNTARA; NETO, 2015).

Nesse contexto, na sequência estão descritos os principais materiais empregados nas obras civis, mostrando as contribuições de cada um deles no que diz respeito à sustentabilidade.

### 2.5.1. Aço para construção

O setor siderúrgico é responsável, pela transformação do minério de ferro em aço, que é uma liga metálica formada por carbono e ferro, encontrado na natureza na forma de óxidos, carbonatos e sulfetos (CAMIOTO; RABELATTO, 2014). Os óxidos são os minérios, que possuem maior percentual de ferro em massa, sendo encontrados na forma de hematita ( $Fe_2O_3$ ) ou de magnetita ( $Fe_3O_4$ ) (FABRIS *et al.*, 2013).

Para obtenção do ferro metálico a partir do minério do ferro, que é um óxido misturado com areia fina, o oxigênio deve ser removido, em geral, combinando-se com o carbono (FELÍCIO, 2012).

Segundo Oliveira (2014), durante o processo de produção do ferro gusa e aço, ocorre emissões atmosféricas, tais como: material particulado, óxido de nitrogênio, óxido de enxofre, óxido de carbono, metais pesados, compostos orgânicos voláteis, compostos acíclicos aromáticos, dioxinas e furanos.

A emissão de óxidos de carbono ocorre, no alto forno através da queima do coque, que é o combustível fóssil. Esse é o mesmo motivo que ocorre a emissão de dióxido de enxofre, que acaba reagindo com a umidade presente no ar, resultando na formação de  $H_2SO_4$ , que é o causador da chuva ácida, responsável por modificar o pH da água de lagos e lagoas, além de poder auxiliar na extinção da fauna e da flora local (OLIVEIRA, 2014).

O óxido de nitrogênio é proveniente do processo de combustão. E esse gás no âmbito ambiental, forma compostos na atmosfera, que combinados com a chuva acabam produzindo ácido nítrico, o que acarreta no aparecimento de neblina durante período de forte insolação (OLIVEIRA, 2014).

No âmbito da saúde, esses gases causam irritações, devido à sua capacidade de penetrar nas vias aéreas, além de ter compostos associados a alguns tipos de câncer (OLIVEIRA, 2014).

Com o objetivo de tornar o aço um material com baixo impacto ambiental, as indústrias siderúrgicas brasileiras vêm atuando segundo os princípios do desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, buscam aperfeiçoar a eco-eficiência de seus processos e produtos. Além de adotar medidas para a proteção do meio ambiente e da saúde, segurança e bem estar dos seus trabalhadores e da comunidade (JANSEN, 2013).

Para isso, as indústrias em parceria com as universidades, instituições de pesquisa e outros segmentos industriais, vêm desenvolvendo tecnologias mais limpas e ambientalmente mais eficientes, que permitam racionalizar o consumo de matérias primas e insumos, otimizar a eficiência energética e maximizar o aproveitamento de gases, água e co-produtos dos processos envolvidos na

produção do aço. Além disso, as indústrias desenvolvem programas de treinamento com os funcionários para reduzir os riscos de acidentes, assim evitando danos ambientais (JANSEN, 2013).

Essas medidas auxiliam na redução dos impactos ambientais gerados no processo de produção do aço, já que ele representa 90 % dos metais mais consumidos pela civilização industrial, devido ao seu baixo custo (AMARAL, 2013).

### **2.5.2. Agregados**

De acordo com a NBR 9.935 (ABNT, 2011), “os agregados para a construção civil são materiais minerais, granulares, sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia, tais como a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria, produtos industriais, entre outros”.

Segundo Crivelaro e Pinheiro (2016), os agregados são classificados de acordo com a origem, a densidade, tamanho dos fragmentos, forma e arredondamento das partículas e à textura da superfície. Essas classificações estão definidas nas normas NBR 7.211 (ABNT, 2009) e a NBR 9.935 (ABNT, 2011).

Quanto à origem, os agregados podem ser naturais, que são os que ocorrem na natureza, praticamente prontos para utilização, necessitando, no máximo, de um rápido processamento de lavagem e classificação, como as areias, pedregulhos e cascalhos provenientes de depósitos sedimentares. Ou podem ser artificiais, que são aqueles obtidos pela ação do homem, através de processos industriais ou rejeitos destes, como as pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto forno, argilas expandidas, entre outros (CRIVELARO; PINHEIRO, 2016).

Os principais agregados utilizados pelo setor da construção civil são os miúdos e grãos, que tem as suas características determinadas pela NBR 7.211 (ABNT, 2009). Tal norma define agregado miúdo, como areia de origem natural

resultante da britagem de rochas estáveis, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm (NBR 7.211, 2009, p. 3).

Já o agregado graúdo é definido, como pedregulho ou brita proveniente da fragmentação de rochas estáveis, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm (NBR 7.211, 2009, p. 3).

O agregado miúdo, utilizado na construção das unidades residenciais é proveniente da extração de areia, do leito do rio que é retirada através de dragas de sucção, instalada em plataformas flutuantes (CASTRO, 2012). Enquanto, o agregado graúdo é obtido através de um conjunto de operações que permitem a retirada de pedra natural da jazida e reduz a formas e tamanhos compatíveis para uso e aplicação em obras de engenharia (DUARTE, 2013).

Nesses dois processos para obtenção dos agregados, são gerados impactos negativos e positivos a nível social, econômico e ambiental. Como impactos positivos têm o aquecimento da economia local, a geração de empregos e impostos, que acabam sendo revertidos em serviço à população (AUGUSTIN; CUNHA, 2014).

Todavia, Guedes (2013) afirma que essa atividade é responsável por muitos impactos negativos, principalmente na área ambiental e que muitas vezes são irreversíveis. Isso ocorre, pois a atividade é considerada insustentável, pois o material extraído não será mais repostado.

Sendo assim, surge a necessidade de adotar medidas para minimizar o impacto da atividade, já que ela gera rejeitos que muitas vezes são lançados no solo ou cursos d'água, o que acaba degradando-os e os contaminando. Além, de serem responsáveis pela alteração dos processos geológicos e do meio atmosférico.

Muitas vezes os cursos de rios são alterados, acarretando no assoreamento, além de ocorrer o desmatamento de área de preservação permanente (APP), pode intercorrer impactos com a fauna local, devido ao barulho e movimentação

(GUEDES, 2013). Sendo assim, as empresas responsáveis pela mineração devem adotar medidas de controle e reabilitação da área explorada.

### 2.5.3. Bloco de Concreto

Segundo Chagas *et al.* (2014), o bloco de concreto é um componente industrializado, produzido em equipamentos que realizam a vibração e prensagem dos componentes utilizados na sua fabricação. O processo de fabricação dos blocos de concreto deve atender as exigências da NBR 6.136 (ABNT, 2014).

De acordo com a NBR 6.136 (ABNT, 2014), “os blocos possuem passagens suficientemente satisfatórias para o uso de eletrodutos sem o recorte e desperdício desse material. Além disso, eles devem apresentar um aspecto homogêneo e compacto, com arestas vivas, sem trincas e textura com aspereza adequada à aderência de revestimentos”. A resistência do bloco de concreto é determinada, pelo  $f_{ck}$  (resistência característica à compressão do concreto), sendo que o índice mínimo para paredes internas e externas com revestimento é 4,5 MPa, e para paredes externas sem revestimento é de 6 MPa (FREIRE, 2007).

Os blocos são classificados como: não modulares ou modulares. A vantagem de utilizar blocos modulares é poder construir através da técnica de coordenação, que tem como objetivo eliminar o uso de blocos com medidas especiais, e deduzindo-se assim a diversidade de elementos na obra, o que acaba facilitando o trabalho da mão de obra (FREIRE, 2007).

Outra vantagem da utilização do bloco de concreto, se comparado ao bloco cerâmico é a economia de material a ser utilizado (SANSÃO, 2011). Além de sua fabricação não necessitar de lenha para queima de fornos, o que reduz a poluição, mesmo sabendo que o principal componente do bloco, seja o cimento Portland um dos materiais com maiores emissões de  $CO_2$ . O bloco de concreto é um material reciclável o que reduz o impacto ambiental (STEINER, 2011).

#### 2.5.4. Bloco de solo-cimento

O bloco de solo-cimento é obtido através da mistura desses dois materiais (solo e cimento), que depois são prensados a uma pressão de seis toneladas. Seu processo de fabricação não exige queima em forno à lenha, o que evita desmatamentos e não polui o ar, pois não lança gases tóxicos no meio ambiente (CHAGAS *et al.*, 2014).

O bloco de solo-cimento possui dois furos internos, que permitem embutir a rede hidráulica e elétrica, dispensando o recorte das paredes. O sistema é modular e produz uma alvenaria uniforme. As principais vantagens do tijolo ecológico são (CHAGAS *et. al*, 2014) (BETSUYAKU, 2015):

- Alta durabilidade, verificada em testes de desgaste por ciclagem seca e úmida, em consequência de uma menor permeabilidade;
- Economia, relacionada à disponibilidade do solo;
- Não causam variações volumétricas consideráveis, devido a absorção e a perda de umidade do material;
- Não utiliza materiais térmico-condutivos, o que acarreta no conforto térmico devido à boa entropia do material;
- Construção limpa e com menor quantidade de resíduos de entulho;
- Dispensa do revestimento, reduzindo o tempo de execução da obra.
- Estrutura mais segura: como as colunas são embutidas nos furos, a carga de peso é distribuída melhor;
- Redução no uso de madeiras nas formas dos pilares e vigas;

- Economia de 70 % do concreto e argamassa de assentamento e de 50 % de ferro;
- Isolamento térmico e acústico é realizado através das câmaras de ar, geradas pelos furos do tijolo;
- Instalações hidráulicas e elétricas podem ser embutidas nos furos;

Segundo Amaral (2014), outra vantagem na utilização do bloco de solo-cimento é que ele durante seu processo de fabricação não precisa ser queimado o que proporciona economia de energia. Isso evita a emissão de grandes quantidades de gases causadores do efeito estufa no ambiente e o desmatamento. Além disso, ele pode ser utilizado à vista, dispensando o uso das camadas de revestimentos, chapisco, emboço e reboco, o que acarreta na diminuição do desperdício de matéria-prima.

Sendo assim, a utilização do bloco de solo-cimento é vantajosa, mesmo que em sua fabricação seja empregado cimento, que tem um alto consumo de energia durante o seu processo de produção, pois a energia consumida é inferior a que seria gasta com a queima dos blocos cerâmicos (AMARAL, 2014).

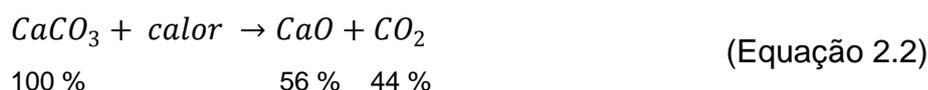
### 2.5.5. Cal

O Óxido de Cálcio (CaO), conhecido comercialmente como cal virgem, está entre os dez produtos de origem mineral mais consumido, além de ser um dos materiais de construção mais antigos do mundo (CUNHA, 2015).

A obtenção da cal ocorre, através da decomposição térmica (calcinação ou queima) de rochas calcárias moídas em diversos tipos de fornos, a uma temperatura média de 900°C, e a energia necessária é de cerca de 3,1 GJ/t, conforme representado genericamente pela Equação 2.1 (CUNHA, 2015).



No Brasil, a energia embutida no processo de produção da cal pode variar entre 2 e 4,4 GJ por tonelada de cal hidratada, devido ao forno utilizado no processo de fabricação (CINCOTTO *et al.*, 2014). Após a realização da decomposição, todo o CO<sub>2</sub> deverá ter sido eliminado ficando óxido de cálcio, apresentado na Equação 2.2 (CUNHA, 2015):



Através da reação é possível perceber que o calcário tem uma perda de 44 % do seu peso. Além disso, Júnior (2013), estima que ocorra uma perda de 12 a 20 % do volume.

Considerando apenas as transformações químicas, Shimabokuro e Shiguemoto (2011), afirmam que para cada tonelada de cal virgem produzida é necessária 1,75 toneladas de calcário, com liberação de 770 kg de CO<sub>2</sub> para atmosfera. Segundo Soares (2007), essas emissões de dióxido de carbono, ocorrem nos processos de extração e calcinação da matéria prima.

Barros, Duarte, Filho e Menor (2012), afirmam que essas emissões não ocorrem apenas no âmbito das unidades de produção, mas se dispersam na atmosfera, formando em seguida plumas de sedimentação que cobrem indistintamente solos e vegetação.

Além das emissões, Barros, Duarte, Filho e Menor (2012), asseguram que a produção da cal, durante o estágio inicial da lavra do minério e sua cominuição primária, para alimentação dos fornos, produzem poeira mineral carbonática. E de acordo com Reis e Zulli (2012), a poeira gerada, pode causar efeitos patogênicos capazes de ocasionar danos ao sistema respiratório humano, pois sua inalação pode resultar na irritação do nariz, garganta e trato respiratório superior, broncopneumonia, inflamação pulmonar, além de agravamento de doenças respiratórias crônicas pré-existentes.

Além disso, podem ocorrer danos ao sistema oftalmológico, o que acarreta em dor, excesso de lacrimejamento, edema e hemorragia da conjuntiva, edema de córnea e opacidade. A pele humana, também pode sofrer com os danos causados na fabricação da cal.

Para tentar minimizar os impactos, deve-se utilizar a cal que possui o selo de qualidade da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), que segue os parâmetros Programa Brasileira de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H). O selo atesta que a cal passou nos teste que verificam sua composição físico-química e a veracidade dos dados da embalagem.

#### **2.5.6. Cimento Portland**

Do latim *caementu* a palavra cimento designava na velha Roma uma espécie de pedra natural de rochedos (ESPOSTO, 2014). Neville (2016) afirma que cimento é todo material com propriedades adesivas e coesivas, capaz de ligar fragmentos de minerais entre si, de modo a formar um todo compacto.

A origem do cimento remonta há cerca de 4500 anos, pois no antigo Egito os monumentos já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. As grandes obras romanas e gregas, com o Coliseu e o Panteão, foram construídas com o uso de solos de origem vulcânica da ilha grega de Santorini ou da proximidade da cidade de Pozzuoli, localizada na Itália. Esse solo possuía propriedades de endurecimento sob a ação da água (DUARTE, 2013).

Segundo Esposto (2014), o grande passo no desenvolvimento do cimento foi dado em 1756 pelo inglês John Smeaton, que conseguiu obter um produto resistente por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1824 Joseph Aspdin, realizou um experimento, onde queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Essa mistura, quando secava se tornava tão dura quanto às pedras empregadas na construção, pois não se dissolvia em água.

Como esse material possuía propriedades de durabilidade e solidez, e cor semelhante às rochas da ilha britânica de Portland, passou a ser chamado de cimento Portland (DUARTE, 2013). De acordo com Andrade e Helene (2010), cimento Portland, ficou definido como um aglomerante hidráulico resultante da mistura de calcário e argila, calcinada em fornos.

As matérias primas utilizadas na fabricação do cimento são o calcário, argila, gesso, minério de ferro e areia. E o processo de fabricação envolve as seguintes operações: pré-homogeneização, moagem de cru, clínquerização, resfriamento, moagem e expedição do cimento (RENÓ, 2007).

Segundo Cremasco e Santi (2006), a indústria do cimento apresenta elevado potencial poluidor, pois em todo processo produtivo há fontes de poluição. De acordo com Ecycle (2015), durante o processo de extração do calcário pode ocorrer desmoronamentos e erosões devido às vibrações produzidas no terreno, além de emitirem gases poluentes. Enquanto a extração de argila em rios pode acarretar no aprofundamento dos cursos d'água, sintetizando a quantidade de água nos leitos e obstaculizando os habitats ali existentes, o que minimiza a biodiversidade da região.

Além de consumir 2 % de toda a energia global, as cimenteiras são responsáveis, por 5 % da emissão de dióxido de carbono mundial, o que acarreta no aumento do efeito estufa (LOPES, 2011). Elas ainda liberam óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e compostos de chumbos, sendo todas essas substâncias poluentes.

Apesar desses altos índices, a indústria brasileira de cimento, segundo a ABCP (2011), é reconhecida mundialmente pelo excelente desempenho energético e ambiental. Além, de serem responsável por uma das menores taxas de emissão de gases do efeito estufa, quando comparadas a outros países. Esse reconhecimento mundial, é fruto de um esforço das indústrias que realizam, há anos, ações para tentarem contribuir com a redução das emissões de gases do efeito estufa, e assim poderem contribuir no combate às mudanças climáticas.

### **2.5.7. Produtos de cerâmica vermelha**

Os produtos cerâmicos são materiais de construção, obtidos através dos processos de extrusão e prensagem dos materiais argilosos. Na fabricação de produtos cerâmicos a principal matéria prima é a argila, que é composta de sílica, silicato de alumínio e variadas quantidades de óxidos ferrosos, podendo ser ou não calcários (CRIVELARO; PINHEIRO, 2016).

Segundo Crivelaro e Pinheiro (2016), a matéria prima utilizada na indústria cerâmica é natural, encontrada em depósitos espalhados na crosta terrestre, pois se formaram através da desintegração de rochas ígneas sob a ação contínua dos agentes atmosféricos. A produção dos componentes de cerâmica vermelha passa, por várias etapas até a obtenção do produto final.

De acordo com Crivelaro e Pinheiro (2016), a etapa mais importante do processo de fabricação dos produtos de cerâmica vermelha, é a queima, pois as peças secas são submetidas aos fornos para adquirirem a características e propriedades desejadas. A queima é responsável, por uma grande quantidade de emissão de gases na atmosfera, devido à utilização da lenha como fonte de energia.

De acordo com Cruz (2012), na indústria de cerâmicas a madeira é um dos principais combustíveis, sendo utilizada na queima dos produtos, ou quando necessita de calor para secar artificialmente as peças extrudadas. Sendo assim, esse setor vem buscando mitigar os impactos ocasionados para obtenção dos produtos de cerâmica vermelha, através da substituição da lenha por materiais alternativos, tais como: lenha de reflorestamento e gás natural (LOPES, 2012).

Ainda de acordo com o autor, a indústria cerâmica pode auxiliar com a reutilização dos resíduos sólidos, transformando-os em matéria prima que podem ser incorporados à massa cerâmica.

## 2.6. Análise do Ciclo de Vida - ACV

A Análise do Ciclo de Vida é uma metodologia de avaliação de implicações ambientais associados a um produto ou processo, compreendendo etapas que vão desde a extração das matérias primas elementares da natureza que entram no sistema produtivo (berço) à disposição final do produto (túmulo), conforme mostra a Figura 2.2 (CHEHEBE, 1998; JENSEN, 1997; GRAEDEL, 1998; LIMA, 2007; *apud* RISSATO, 2012).

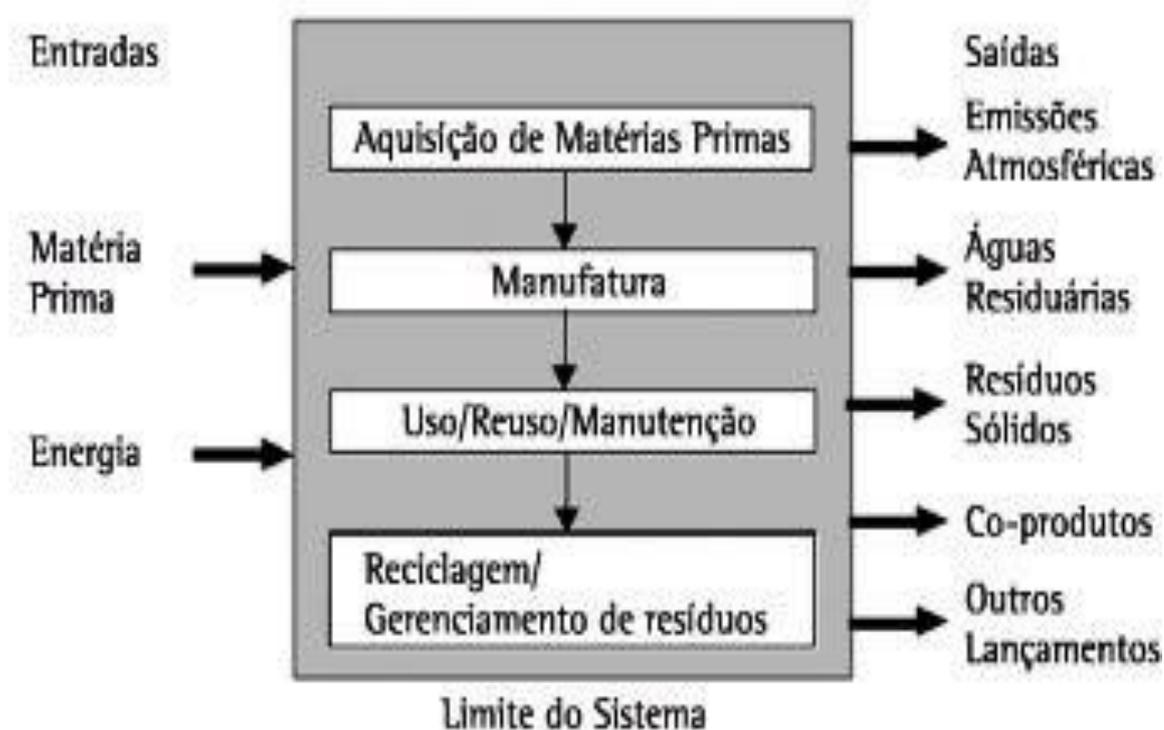


Figura 2.2 – Representação do ciclo de vida de um produto

Fonte: EPA e SETAC Europa, 2006

A análise inclui a extração, o processamento da matéria prima, a manufatura, o transporte, a distribuição, o uso, o reuso, a manutenção, a reciclagem e a disposição final dos materiais, conforme apresentado na Figura 2.3, que representa o ciclo de vida de uma edificação (CHEHEBE, 1998; JENSEN, 1997; GRAEDEL, 1998; LIMA, 2007; RISSATO, 2012).



Figura 2.3 - Ciclo de vida das edificações

Fonte: Júnior, 2012

Através da análise do ciclo de vida, são demonstrados os diversos impactos provocados ao meio ambiente, possibilitando a identificação de medidas mais adequadas do ponto de vista ambiental e econômico para a sua minimização. Com essas medidas de minimização, são constituídas técnicas de gerenciamento ambiental e desenvolvimento sustentável (CHEHEBE, 1998; JENSEN, 1997; GRAEDEL, 1998; LIMA, 2007; RISSATO, 2012).

Segundo o *World Commission Environment and Development* (1988), através do desenvolvimento sustentável será possível, atender as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades (FLORES *et al.*, 2012).

### 2.6.1. Histórico da Análise do Ciclo de Vida- ACV

As primeiras ACV foram realizadas pela Coca Cola em 1969, pelo *Midwest Research Institut* (MRI) nos Estados Unidos, cujo objetivo era estabelecer índices de

emissões de gases tóxicos gerados pelas embalagens de refrigerantes. Nessa ACV, foram analisadas as garrafas de vidro retornável e a garrafa plástica descartável. Nos Estados Unidos, esse processo de quantificação do uso de recursos e de emissões ficou conhecido como *Resource and Environmental Profile and Analysis* (REPA) (BAUMANN; TILLMAN, 2004).

O REPA teve um importante papel na crise do petróleo, pois foi durante esse período que a sociedade começou a questionar os limites de extração dos recursos naturais. Entre os anos de 1973 e 1975, os países industrializados realizaram estudos que avaliavam o potencial energético do planeta. Segundo Christiansen (1996), essas avaliações não incluíam apenas um diagnóstico situacional do problema, mas propostas de alternativas ao uso de combustíveis fósseis.

Logo após, a crise do petróleo, na década de 1980, foram publicados alguns estudos sobre o assunto, principalmente na Europa. Porém nessa época não havia um banco de dados e nem uma metodologia comum, para que mais organizações adotassem a análise. Devido a esses fatores e aos elevados custos para a realização de uma ACV, houve uma diminuição de interesse da comunidade científica pelo assunto (KULAY, 2004).

Entretanto, devido às catástrofes ambientais decorrentes do aquecimento global, em 1987, começaram a ser discutidos os conceitos de desenvolvimento sustentável. O primeiro conceito foi criado por *Brutland Report*, e afirmava que desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer o atendimento das gerações futuras.

No início da década de 1990, com avanços dos conceitos de sustentabilidade foi criado o primeiro guia sobre os Aspectos metodológicos de uma ACV. Em 1993 foi elaborado um Código de Práticas para uma ACV, pela Sociedade Internacional para a Química e Toxicologia Ambiental (do inglês, *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* - SETAC).

Esse código foi utilizado pela Organização Internacional para Padronização (ISO, do inglês *International Organization for Standardization*), para padronizar a ACV, resultando na publicação da série de normas ISO 14.040 (ABNT, 1997), conforme mostra a Quadro 2.5 (RIBEIRO, 2003).

Quadro 2.5 - Normas referentes à Análise do Ciclo de Vida

ISO 14.040: 1997	<i>Environmental management – Life Cycle Assessmente – Principles and Framework</i>
ISO 14.041: 1998	<i>Environmental management – Life Cycle Assessmente – Goal and scope definition and inventory analysis</i>
ISO 14.042: 2000	<i>Environmental management – Life Cycle Assessmente – Life cycle impact Assessmente</i>
ISO 14.043: 2000	<i>Environmental management – Life Cycle Assessmente – Life cycle Interpretation</i>
ISO 14.044: 2006	<i>Environmental management – Life Cycle Assessmente – Requirements and guidelines</i>
ISO/TR 14.049: 2000	<i>Environmental management – Life Cycle Assessmente – Examples of application of ISO 14.041 to goal and scope definition and inventory analysis</i>
ISO/TR 14.047: 2003	<i>Environmental management – Life Cycle Assessmente – Examples of application of ISO 14.042</i>

Fonte: Ribeiro, 2003

Em 2006, a ISO publicou a segunda edição das normas de Análise de Ciclo de Vida, cujo objetivo da publicação era melhorar a legibilidade e remover erros e outras inconsistências (RISSATO, 2012). A SETAC continua formando parecerias e criando iniciativas para colocar em prática o conceito de Ciclo de Vida e assim poder melhorar as ferramentas de apoios, através da obtenção de dados de impactos ambientais mais recentes.

### **2.6.2. Análise do Ciclo de Vida no Brasil**

No Brasil os estudos de ACV tiveram início em 1993, com a criação do Grupo de Apoio à Normalização (GANNA), junto a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O primeiro resultado obtido pelo GANNA foi publicado em 1998, por um de seus membros, que era conhecido por ser um militante na área ambiental (MAZUR, 2011).

Essa publicação ficou conhecida como análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14.000 (ABNT, 2004) (CHEHEBE, 1998). A ABNT traduziu e publicou em novembro de 2000 a Norma ISO 14.040 (ABNT, 2001). Através da publicação as empresas e instituições brasileiras começaram a ter interesse pela ACV, pois perceberam que poderiam realizar a avaliação de processos produtivos com ênfase ambiental (RISSATO, 2012).

No final de 2002, foi criada a Associação Brasileira do Ciclo de Vida (ABCV), cujo objetivo era divulgar a necessidade do desenvolvimento e utilização de ACV no Brasil para que fosse possível criar um inventário nacional (KULAY, 2004).

Atualmente pesquisadores, instituições e empresas brasileiras perceberam a importância de desenvolver a ACV, e por esse motivo podem ser encontrados vários trabalhos desenvolvidos.

### **2.6.3. Principais aplicações da análise do ciclo de vida na construção civil**

A análise do ciclo de vida tem como objetivo, identificar oportunidades de melhorias dos aspectos ambientais considerando as várias fases de um sistema de produção, contribuindo para a diminuição do consumo de recursos naturais e geração de resíduos (SEO *et al.*, 2015). Por isso, a ACV vem sendo utilizada pelo setor da construção civil, que mundialmente é reconhecido como um dos principais agentes causadores de contaminação ambiental (COSTA *et al.*, 2014).

O objetivo é utilizar a ACV como uma ferramenta para identificar melhorias dos aspectos ambientais, considerando as várias fases de um sistema de produção, contribuindo para a diminuição dos impactos ambientais algumas pesquisas pode ser observada na Tabela 2.2 (COSTA *et al.*, 2014).

Tabela 2.1 – Trabalhos desenvolvidos sobre a Análise do Ciclo de Vida

Pesquisa	Anos	Autores	Objetivos
Análise do Ciclo de Vida de produto cerâmicos da indústria de construção civil	2002	BREITENBACH et al.	Realização de um diagnóstico de impactos ambientais, através da análise do ciclo de vida de produtos cerâmicos: materiais estruturais e de revestimento.
Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos: aplicação de avaliação de ciclo de vidas	2004	PEREIRA	Realização da análise do ciclo de vida em dois processos de produção de pisos cerâmicos.
Indicadores de sustentabilidade e análise do ciclo de vida para madeira de reflorestamento na construção civil	2007	DERMARGO; PORTO	<i>Pesquisou indicadores de sustentabilidade do uso da madeira de reflorestamento na construção civil, baseado no método ACV.</i>
Avaliação do ciclo de vida de um sistema de cobertura alternativo em madeira de Pinus mais sustentável para habitação social. Caso assentamento rural Pirituba II.	2007	EGAS; INO	Analisar parte do ciclo de vida de um sistema estrutural de cobertura em madeira de Pinus.
Análise de ciclo de vida: Uso de software ECO-IT para comparação entre dois sistemas de fachada (alvenaria e vidro)	2008	PEREIRA; SANTOS	Análise do Ciclo de Vida de dois sistemas de fachadas utilizada em edifícios comerciais brasileiro: o de alvenaria cerâmica e o de vidro em estrutura de alumínio.
<i>On the optimal selection of wall cladding system to reduce direct and indirect CO<sub>2</sub> emissions.</i>	2010	RADHI	Pesquisa realizada nos Emirados Árabes, sobre a pegada de carbono em materiais de isolamento térmico de fachada.
Aplicação da análise do ciclo de vida em uma indústria de vidro plano	2010	GADEA	Aplicação da ACV em uma indústria de vidro plano para mensurar os impactos ambientais e sociais ocasionado pelo processo de produção
Avaliação do ciclo de vida dos tubos de PVC produzidos no Brasil	2010	LIMA	Realizar a análise do ciclo de vida do policloreto de vanília (PVC), segundo termoplástico mais consumido do mundo.
<i>Exploring the environmental impact of a residential life cycle, including retrofits: Ecological footprint application to a life cycle</i>	2011	BIN	Exploração dos impactos ambientais, ocasionado no Retrofits de uma residência, através da aplicação de uma análise do ciclo de vida, onde serão estimadas as emissões de carbono e consumo de energia numa

Tabela 2.1 – Trabalhos desenvolvidos sobre a Análise do Ciclo de Vida

<i>analysis Framework in Ontario</i>			residência
Aplicação da Análise do Ciclo de Vida na Construção Civil: discussão sobre alocação de impactos entre o aço e suas escórias	2011	GOMES, <i>et al.</i>	Conduzir uma Análise de Ciclo de Vida simplificada do aço e das escórias siderúrgicas, com a realização de uma avaliação comparativa dos resultados decorrentes do uso de critérios de alocação de impactos com base na massa e no valor econômico.
<i>Life-cycle energy and environmental analysis of partition wall systems in the UK.</i>	2011	BROUNA; MENZINES	Realizar um comparativo da energia operacional e incorporada em três sistemas de paredes de fechamento, com materiais distintos: bloco de barro, bloco de concreto e madeira tradicional. Além de identificar os impactos ambientais, ocasionado na construção das paredes nas obras da Inglaterra.
<i>Life-cycle assessment of residential buildings in three different European location, basic tool</i>	2011	GLAUMANN, <i>et al.</i>	Avaliação da energia incorporada, carbono incorporado e consumo de energia total consumida por prédios residenciais em três diferentes locais da Europa: Bruxelas, Coimbra e Lulea.
Método para avaliação do impacto ambiental da substituição de equipamentos economizadores de água a partir da avaliação do ciclo de vida	2011	KALBUSCH	Propor um método para verificação dos impactos ambientais quando da substituição de equipamentos em Programas de Uso Racional de Água, baseados nos conceitos da análise do ciclo de vida.
<i>Sustainable materials selection for Canadian construction industry: An energy based life-cycle analysis of conventional and LEED suggested construction materials</i>	2011	HEWAGE; HOSSAINI	Identificar no Canadá materiais de construção sustentáveis, comparando a energia específica dos principais materiais empregados pela indústria condense.
<i>Life cycle assessment evaluation of Green product labeling systems for residential construction</i>	2012	BILEC <i>et al.</i>	Compara os resultados das análises de ciclo de vida desenvolvidas para produtos de rotulagens verdes, que serão empregados na construção civil.
<i>Assessment of CO<sub>2</sub> emissions reduction in high-rise concrete office buildings using different material use options</i>	2012	CHAU <i>et al.</i>	Redução das emissões de dióxido de carbono em arranha céu de concreto da cidade de Hong Kong. Os edifícios serão utilizados para fins comerciais, e empregaram materiais alternativos
Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse	2012	JÚNIOR	Objetivo quantificar a energia embutida inicial total e por m <sup>2</sup> dos materiais e componentes necessários,

Tabela 2.1 – Trabalhos desenvolvidos sobre a Análise do Ciclo de Vida

social concebido em <i>Light Steel Framing</i>			sob o ponto de vista da ACVE.
Avaliação de aspectos e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com e sem amianto	2014	MARQUES	Realização da ACV para estimar as emissões atmosféricas causadoras do efeito estufa e chuva ácida, através do levantamento de impacto e aspectos ambientais.
Análise do ciclo de vida do sistema vedação vertical Quarter log.	2015	ALTOÉ <i>et al.</i>	Objetivo foi aplicar a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida de acordo com a ISO 14.040 em um sistema de vedação vertical em madeira <i>Quarter log</i> e analisar os principais impactos ambientais resultantes.
Correlação entre compactidade, energia incorporada e emissões de dióxido de carbono, em projetos de habitação de interesse social.	2015	GONZÁLEZ <i>et al.</i>	O objetivo do trabalho era investigar a correlação entre compactidade, energia incorporada e emissões de dióxido de carbono, em projetos de habitação de interesse social.
Avaliação ambiental do ciclo de vida de telhas de telhas de fibrocimento com fibra de amianto ou com fibras de polipropileno	2016	GOMES <i>et al.</i>	Avaliar o ciclo de vida de telhas de fibrocimento fabricada com fibras de amianto ou com fibras de polipropileno.

Segundo Evangelista *et al.* (2014), a análise do ciclo de vida para o setor da construção civil, apresenta algumas limitações, eles afirmam que é muito difícil obter informações e bases de dados confiáveis e adequados para materiais de construção. Sendo assim, pesquisadores andam realizando pesquisas que possam contribuir na criação de um banco de dados, para serem utilizados em pesquisas futuras.

#### 2.6.4. Estrutura metodológica da Análise do Ciclo de Vida

Em 1997, foi publicada a norma ISO 14.040 (ABNT, 2009), que especificava a estrutura, princípios e requisitos para conduzir estudos relacionados à Análise do Ciclo de Vida, definindo quatro fases para um estudo de ACV (CAMPOS, 2012), que podem ser observadas na Figura 2.4.

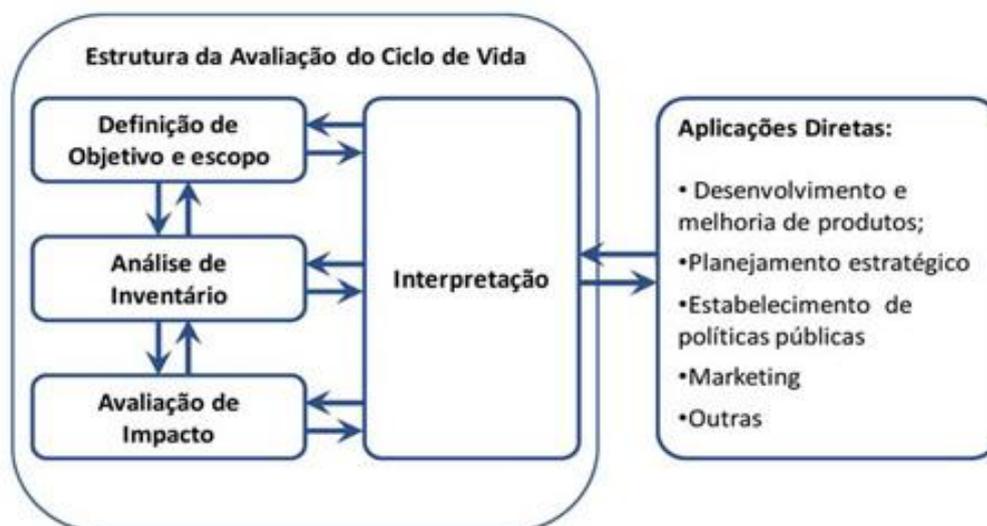


Figura 2.4 - Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida

Fonte: Norma (ABNT NBR ISO 14.040, 2009)

Na sequência, serão apresentados e discutidos os principais pontos associados com a estrutura da análise do ciclo de vida

#### 2.6.4.1. Definição de Objetivo e Escopo

O primeiro passo na Análise do Ciclo de Vida é estabelecer o objetivo de estudo de forma clara e consistente para que a aplicação da metodologia seja viável. Além disso, as razões para a realização do estudo e o público alvo devem estar claramente definidas (ELCOCK, 2007).

Os objetivos devem estar definidos, pois segundo Rissato (2012) a ACV tem como finalidade gerar informações que possam ajudar na tomada de decisões sobre a sustentabilidade de um produto.

O escopo, por sua vez, define o que está incluído no sistema e quais serão os métodos de avaliação utilizados. Segundo a norma ISO 14.044 (ABNT, 2009), durante a realização do escopo de um estudo da ACV devem ser considerados e descritos alguns aspectos.

O primeiro deles consiste na definição das funções do sistema de produto, unidade funcional (medida que permite a quantificação da função definida) e o fluxo de referência (referência em relação a qual os dados de entrada e saída serão normalizados).

Também deve constar o sistema de produto a ser estudado e suas fronteiras, que definem quais processos elementares ou subdivisões dos sistemas de produto dentro do fluxo produtivo serão incluídas no sistema a ser estudado (AUGUSTIN; CUNHA, 2014).

Segundo a norma ISO 14.040 (ABNT, 2009), o escopo deve ser bem definido, pois será ele que irá assegurar a extensão, profundidade e o grau de detalhamento necessário ao estudo.

Rissato (2012), afirma que um dos itens mais importantes do escopo são os procedimentos de alocação necessários, pois através dele serão observados os fluxos de materiais e de energia, e de liberações ao ambiente associadas. Nesta fase devem ser mencionados os impactos gerados, e a metodologia de avaliação empregada.

#### 2.6.4.2. Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A segunda fase da ACV é a análise do inventário. E segundo a NBR 14.040 (ABNT, 2009), é nela que são realizados o levantamento, a compilação e a quantificação das entradas e saídas de um dado sistema em termos de matéria prima, energia, transporte, emissões para atmosfera, efluentes, resíduos sólidos, entre outros.

Os levantamentos das variáveis devem ser realizados para todo o ciclo de vida de um produto, processo ou atividades. Sendo assim fica definido que a ICV, refere-se à coleta de dados e todos os procedimentos de cálculo (FILHO, 2013).

Filho (2013) em sua pesquisa compara a quantificação da ICV com um balanço contábil financeiro, só que com mensurações em termos energéticos ou de massa, ou seja, o total que entra no sistema estudado deve ser igual ao que sai. Desse modo o ICV fornece subsídios e informações para avaliação de impactos ambientais (LOBO, 2010).

Filho (2013) afirma que a fase de ICV deve ser organizada de acordo com o objetivo e o escopo do estudo, com o nível de precisão e de detalhamento da coleta de dados. A ICV deve ser realizada de acordo com os parâmetros definidos pela NBR 14.040 (ABNT, 2009) e NBR 14.041 (ABNT, 2009).

#### 2.6.4.3. Avaliação de Impacto Ambiental do Ciclo de Vida (AICV)

Para Coltro (2007), a avaliação de impacto ambiental, é a fase onde se procura compreender e avaliar a intensidade e o significado das alterações potenciais sobre o meio ambiente associadas ao consumo de recursos naturais, de energia e da emissão de substâncias relativas ao ciclo de vida do produto em estudo.

Gomes et al. (2011), afirmam que a fase de avaliação de impactos da ACV é a compreensão do tamanho e significância dos impactos baseada na análise de inventário do ciclo de vida. Segundo a norma NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009) este processo envolve a associação de dados de inventários com impactos ambientais específicos e a tentativa de compreensão. O nível de detalhamento, a escolha dos impactos avaliados e as metodologias empregadas, dependem dos objetivos e do escopo estruturado para a realização da ACV.

#### 2.6.4.4. Interpretação de impacto do ciclo de vida

É na fase de interpretação que os resultados são analisados, a fim de tirar conclusões, explicar limitações e fornecer recomendações para os tomadores de decisão, de forma consistente com o objetivo e o escopo do trabalho (HINZ *et al.*, 2006).

É importante que as interpretações expliquem as limitações do estudo, realizando uma análise crítica em relação à qualidade dos dados e do método empregado. Sendo assim a interpretação pode ser considerado um processo interativo, que permite rever e revisar as definições iniciais, assim como a qualidade e a natureza dos dados levantados (CHAVES, 2014).

## **2.7. Análise do Ciclo de Vida Energético - ACVE**

A análise energética ocorre, quando é realizada uma avaliação sistematizada para a determinação de energia necessária para a produção de um bem ou serviço (TAVARES, 2006). A análise energética, segundo Fay (1999), é um instrumento facilitador quanto aos assuntos relacionados à avaliação de recursos e planejamento energético.

A determinação de fronteiras para análise energética é um processo complexo, que exige definições e justificativas na adoção de critérios (WILTING, 1996; BOUSTEAD; HANCOCK, 1979; TAVARES, 2006).

Em 1974, foi realizado na Suécia pela *International Federation of Institutes for Advanced Studies* (IFIAS), uma conferência que determinava os parâmetros e limites das análises energéticas. Essa conferência foi realizada devido aos elevados custos que os insumos de energia começaram a representar, após a elevação do custo do petróleo (BRANDÃO, 1989).

Através dessa padronização metodológica da análise do ciclo de vida energético, foi possível estabelecer um banco de dados industriais, surgindo assim um roteiro de ACVE e através dele ficou determinado o passo a passo que devem ser seguidos durante a sua execução.

O primeiro passo, de uma ACVE é definir os limites de análise, pois através dessa definição será possível verificar a complexidade da análise. Uma das maneiras de determinar o limite é através do modelo da *International Federation of*

*Institutes for Advanced Study (IFIAS)*. Esse modelo apresenta quatro níveis para avaliação de requisitos totais de energia, como se pode observar na Figura 2.5.

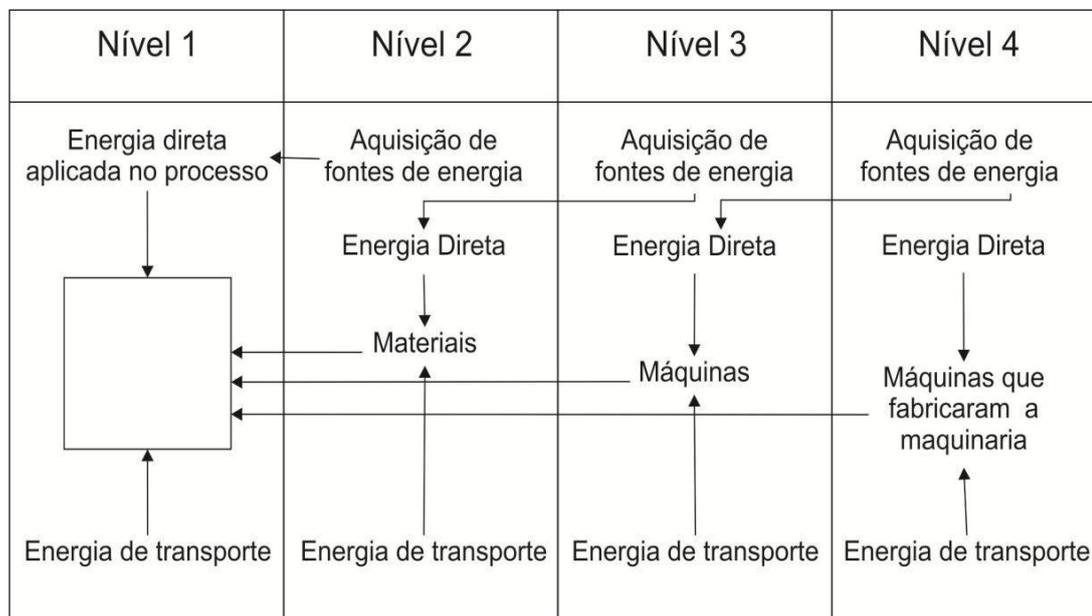


Figura 2.5 - Níveis conforme proposto pelo IFIAS

Fonte: Adaptado de WILTING, 1996, p.16

O primeiro nível mede os processos de energia direta consumida na fabricação do produto. Seus limites seriam o que a norma ISO 14.040 (ABNT, 2009) define como etapa *gate-to-gate*, ou seja, dentro dos limites da fábrica. Essa etapa pode representar em muitos casos 50 % do consumo total de energia.

Já o nível dois engloba a energia indireta consumida na manufatura do produto. Em conjunto com o nível 1, representa 90 % dos requisitos totais de energia do sistema analisado.

O nível três verifica a energia consumida, para fabricar bens de capital. Pode acrescentar até 9 % ao total dos requisitos totais de energia (RTE), que se referem à quantidade de energia exigida para a produção de determinado produto, sistema ou serviço. O quarto nível representa a energia indireta do nível três e normalmente tem valores muito pequenos (WILTING, 1996; TAVARES, 2006; LOBO, 2010).

A análise do IFIAS considera o consumo energético de transporte para cada nível respectivo (WILTING, 1996; ALCONR; BAIRD; HASLAMP, 1997; TAVARES, 2006). Segundo o IFIAS, além de definir o nível de uma ACVE, devem ser verificadas todas as etapas do ciclo de vida do sistema. Deeke (2009) determina como etapas de uma ACVE a fase de produção, uso, manutenção e descarte, deposição ou reciclagem das edificações (Figura 2.6).

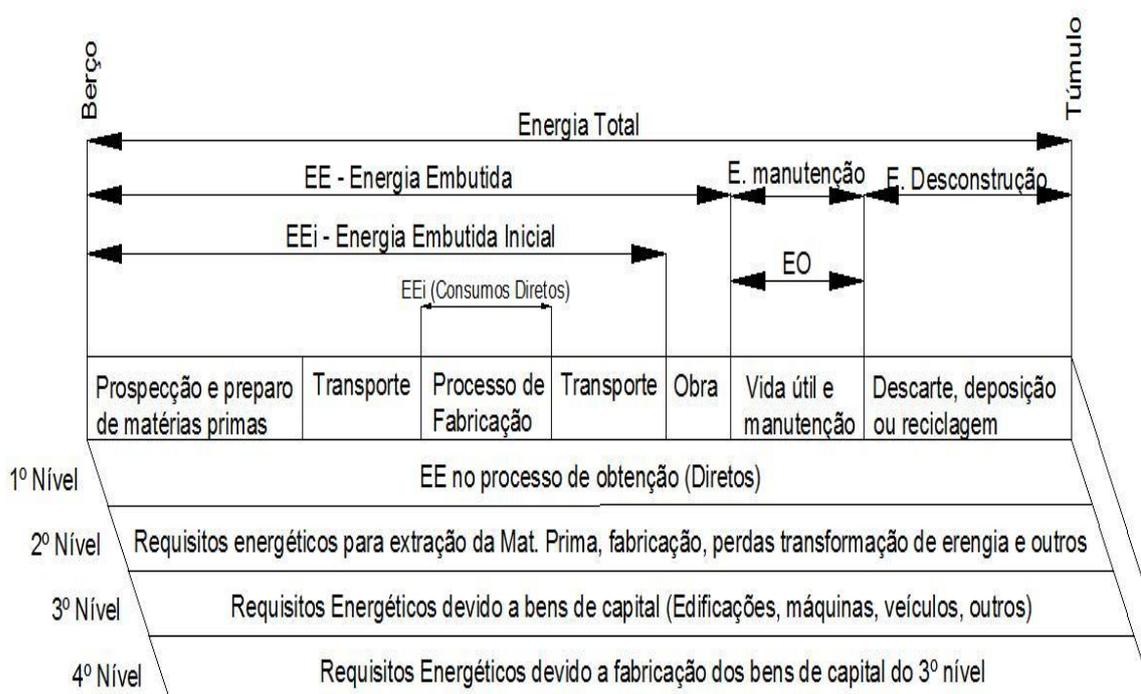


Figura 2.6 - Etapas e Níveis do Ciclo de vida energético de uma edificação

Fonte: Tavares, 2006

A energia embutida (EE) é definida, como o conjunto dos insumos energéticos, diretos, que são aqueles realizados dentro dos limites da fábrica para a obtenção dos materiais de construção, e os insumos indiretos, que são os obtidos na etapa de extração e beneficiamento das matérias primas dos materiais de construção, o transporte destas para as fábricas e posteriormente dos produtos acabados para os canteiros de obras, e finalmente a energia despendida na construção (TAVARES, 2006).

Durante a vida útil da edificação serão utilizados equipamentos que consomem energia operacional. Esses equipamentos são necessários para suprir as

necessidades de cocção, iluminação, entretenimento, climatização entre outros (TAVARES, 2006).

Existe ainda a energia de manutenção, que ocorre devido à necessidade da realização de reforma e manutenção, desencadeando no consumo de energia com transporte, materiais e aplicações destes (DEEKE, 2009).

Por fim, a energia de desconstrução, que é consumida na etapa final do ciclo por descarte, deposição ou reciclagem. Nessa etapa, deve ser considerado o total de insumos diretos para demolição ou desmontagem da edificação e o transporte dos resíduos ou materiais para reaproveitamento ou reciclagem. As edificações que utilizarem os materiais reaproveitados ou reciclados podem debitar o valor da energia embutida nos materiais (ADALBERTH, 1997; FAY, 1999; SCHEUER *et al.*, 2003).

As emissões de CO<sub>2</sub> dos materiais de construção estão relacionadas aos resultados referentes à fase da energia embutida inicial e o da energia total do ciclo de vida (TAVARES, 2006).

### **3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos, que foram empregados na quantificação das emissões de dióxido de carbono na construção de vinte unidades residenciais unifamiliares.

#### **3.1. Método de Pesquisa**

A pesquisa sob o ponto de vista da sua natureza pode ser classificada como aplicada, pois, tem como objetivo gerar conhecimento para a aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais (MENEZES; SILVA, 2005).

Já sob o ponto de vista da abordagem do problema esse trabalho é considerado como uma pesquisa quantitativa, pois considera que tudo pode ser quantificável, ou seja, traduz em números as informações, para posterior classificação e análise das mesmas (MENEZES; SILVA, 2005), considerando a necessidade de se buscar uma percepção sobre os impactos ambientais gerados na construção de residências habitacionais unifamiliares, através das emissões de dióxido de carbono na atmosfera, principal gás do efeito estufa.

Quanto aos objetivos trata-se de uma pesquisa exploratória porque tem como objetivo a formulação de uma problemática específica por meio de um estudo de caso, o qual exige: levantamento bibliográfico, discussão com envolvidos nos processos e análise de exemplos que estimulem a compreensão (MENEZES; SILVA, 2005).

Com relação aos procedimentos técnicos o trabalho caracteriza-se por ser um estudo de caso, que segundo Gil (1996) é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado, tarefa praticamente impossível mediante outros tipos de delineamentos considerados. O estudo de caso tem como objetivo explorar, descrever e explicar situações reais complexas em que os limites não são devidamente definidos.

### 3.2. Método de Trabalho

Na Figura 3.1 encontra-se um fluxograma com as etapas que foram executadas a fim de que os objetivos propostos no presente trabalho sejam alcançados.

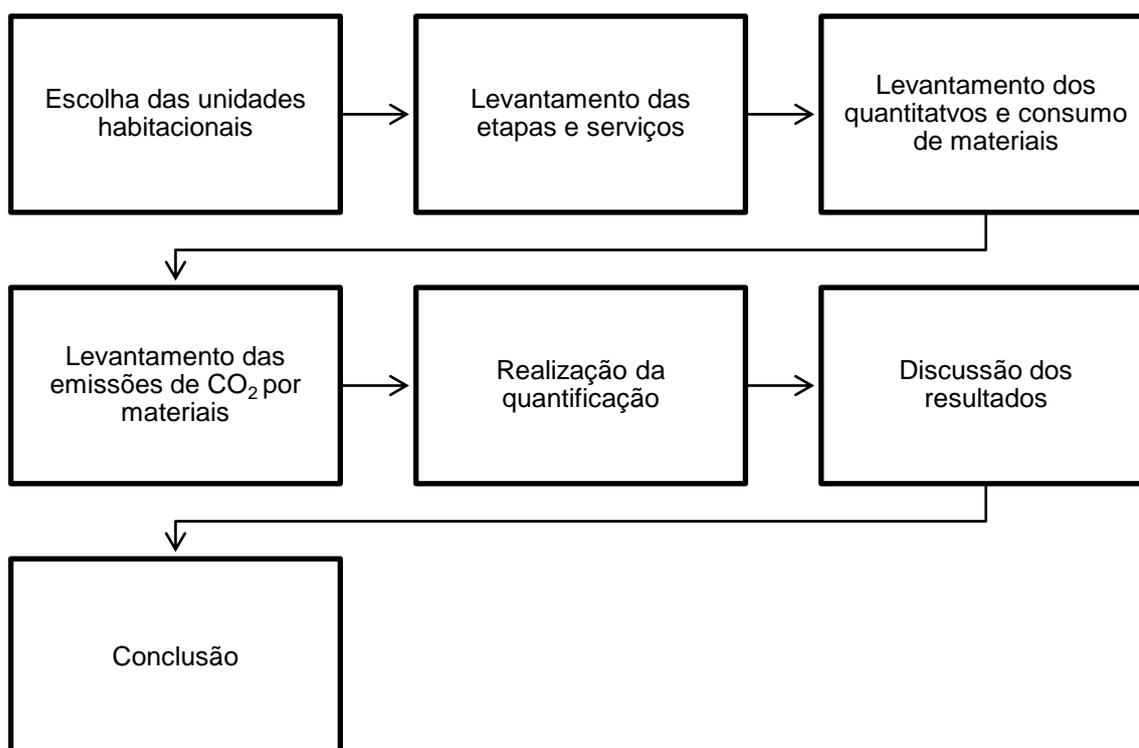


Figura 3.1 - Fluxograma das etapas realizadas na pesquisa

### 3.3. Escolha das unidades habitacionais

Inicialmente realizaram-se a escolha das edificações que foram objeto de estudo, compostas por vinte residências unifamiliares localizadas na cidade de Capão da Canoa, no litoral norte do Rio Grande do Sul.

Capão da Canoa é um dos principais municípios do litoral gaúcho. Sua população segundo o último censo realizado pelo IBGE em 2014, era de 46.467 habitantes e sua área total é de 91,100 km<sup>2</sup>. Conforme o Plano Diretor do município, Capão da Canoa esta dividida em quatro distritos: Capão da Canoa, Capão Novo, Arroio Teixeira e Curumim.

As residências serão construídas no bairro Arco Íris, que pelo Plano Diretor do município, está localizado no Distrito de Capão da Canoa sede da cidade. No presente estudo as residências foram agrupadas de acordo com os materiais empregados, conforme será apresentado na sequência.

#### 3.3.1. Cenário 1 – Paredes de alvenaria de blocos cerâmicos

O objeto desse cenário são vinte unidades habitacionais que ainda não foram construídas, encontrando-se na etapa de projeto. As mesmas apresentam uma área total de 42,89 m<sup>2</sup>, cuja representação da mesma encontra-se ilustrada na Figura 3.2.

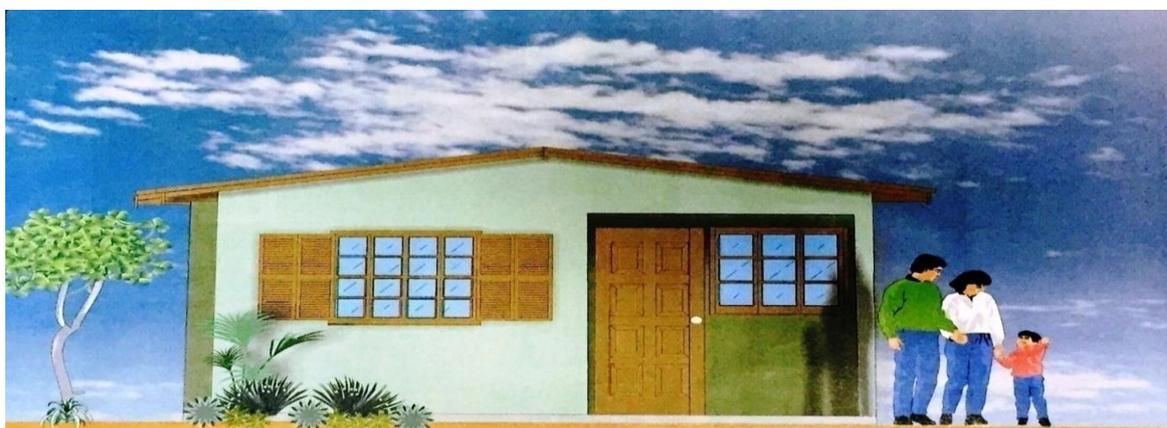


Figura 3.2 - Fachada das unidades habitacionais

As principais características de tal sistema construtivo são:

- Residências térreas;
- Paredes externas e internas em alvenaria de tijolos cerâmicos de vedação, rebocadas com argamassa convencional produzida “*in loco*” e pintadas;
- Portas e janelas externas em madeira certificada;
- Portas internas em madeira certificada;
- Vidro incolor, com espessura de 6 mm;
- Pavimentação interna em cerâmica e externa em concreto alisado;
- Alvenarias das paredes das áreas molhadas receberam revestimento cerâmico;

As residências apresentam os seguintes cômodos: dois dormitórios, banheiro, sala de estar e jantar, cozinha, área de serviço e área coberta, conforme pode ser observado na Figura 3.3.

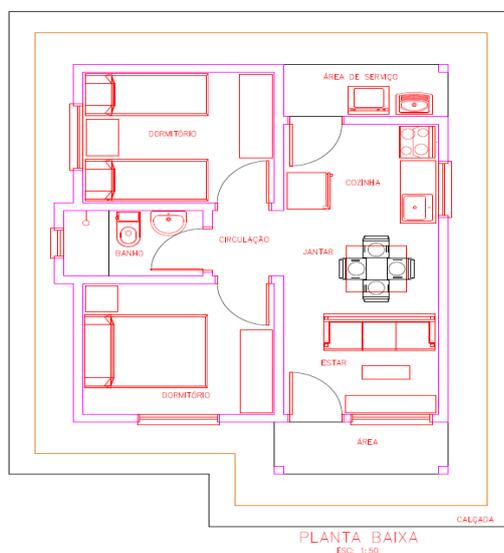


Figura 3.3 - Planta baixa das residências estudadas

### 3.3.1. Cenário 2 – Paredes de alvenaria de blocos de solo-cimento

O segundo modelo a ser empregado para fins de análise, foi concebido empregando-se o bloco de solo-cimento como alternativa ao uso de tijolo nas alvenarias de vedação. Tais blocos possuem dimensões iguais a 30 x 15 x 7,5 cm, sendo considerado um material alternativo de baixo custo.

### 3.3.2. Cenário 3 – Paredes de alvenaria de blocos de concreto

Como alternativa ao emprego do bloco cerâmico também se avaliou o uso do bloco de concreto, como componente construtivo para a parede de vedação.

Desta forma, escolhidas as três opções, serão determinados os valores da emissão de CO<sub>2</sub> e do CO<sub>2</sub> incorporado nos materiais de construção necessários para a execução das edificações, empregando-se o método proposto por Tavares, que utiliza a ACVE para quantificar as emissões.

## 3.4. Levantamento das etapas e serviços a serem quantificadas

Para a construção das unidades habitacionais, devem ser realizados os seguintes serviços apresentados no Quadro 3.1, que estão descritos pormenorizadamente no memorial que está apresentado no apêndice.

Quadro 3.1 - Serviços a serem executados na construção das unidades habitacionais

Limpeza dos terrenos;	Revestimentos;
Locação das obras;	Esquadrias e ferragens;
Movimentação de terra;	Pinturas;
Fundações;	Instalações elétricas;
Alvenarias;	Instalações hidrossanitárias;
Estrutura;	Instalação das redes de água;
Cobertura;	Limpeza final das obras;
Pavimentação;	

Todavia, deve-se salientar que a quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> foi realizada nas etapas de fundação, alvenaria, estrutura, revestimento e esquadrias.

Segundo Júnior (2006), essas etapas são responsáveis, por empregar os principais materiais utilizados pelo setor da construção civil que são: aço, areia, brita, cimento, cerâmica vermelha e PVC.

De acordo com o Institut IDD – Institut Wallon – Vitto (2001), Gastaldini e Isaia (2004), os principais materiais empregados na construção, são os que apresentam os maiores índices de emissões de gases causadores do efeito estufa (JÚNIOR, 2006).

### **3.5. Levantamento dos quantitativos de materiais e serviços**

O levantamento dos quantitativos de materiais a serem empregadas em cada obra foi realizado através da leitura da planta baixa das unidades residenciais estudadas, com o propósito de quantificar os trabalhos e serviços escolhidos para análise.

Para acelerar o processo de quantificação, foi realizado o levantamento diretamente em arquivos CAD, com o uso do software AutoCad 2011. O levantamento do quantitativo de materiais empregados na fundação e estrutura foi obtido, com o auxílio do software Eberick V7, onde ele estimou o volume de concreto e o consumo de aço.

As alvenarias foram calculadas considerando o comprimento das paredes em planta e o pé direito, subtraindo-se apenas as áreas que excedem o vão de 2 m<sup>2</sup>. Sendo assim, vãos com área inferior ou igual a 2 m<sup>2</sup> não serão descontados.

O chapisco e emboço serão realizados em todas as paredes internas e externas, então deve ser considerada a alvenaria multiplicada por dois. Enquanto o reboco será a área dos revestimentos anteriores, descontando-se a área total de portas e janelas.

Para determinar a quantidade de esquadrias de madeira devem-se seguir as indicações do projeto, e agrupá-las de acordo com as suas características.

Após o levantamento dos quantitativos de serviços, partiu-se para o levantamento do consumo de insumos empregados em cada serviço a ser executado.

### 3.6. Levantamento do consumo de materiais empregados na construção das unidades residenciais

Para que fosse possível realizar a quantificação das emissões de CO<sub>2</sub>, foi necessário estabelecer o consumo de materiais, e para isso foi utilizado as Tabelas de Composições para Orçamento (TCPO, 2010), além do levantamento realizado junto aos fornecedores.

### 3.7. Levantamento das emissões de CO<sub>2</sub> por materiais

Para a que fosse possível realizar o levantamento das emissões de dióxido de carbono foi necessário estabelecer o valor da energia embutida (EE) dos materiais que serão empregados na construção das unidades. Os valores de EE foram obtidos no trabalho realizado por Tavares (2006), onde ele utilizou dados provenientes de pesquisas anteriores sobre o assunto.

Na Tabela 3.1 encontram-se os valores de EE dos materiais tomados como referência para o desenvolvimento deste trabalho.

Tabela 3.1 - Energia Embutida em materiais de construção brasileiros

<b>Materiais</b>	<b>EE (MJ/m<sup>3</sup>)</b>
Aço	235.000
Areia	80
Bloco de concreto	2.000
Bloco de solo-cimento	1.020
Brita	247,5
Cal virgem	4.500
Cerâmica Vermelha	4.060
Cimento Portland	8.190
Concreto	2.760
Madeira	300

Fonte: Adaptado de Tavares, (2006)

A partir do consumo de materiais e da energia embutida (EE), pode ser realizada a desagregação dos valores de consumo de energia em fontes primárias. Para isso, é necessário conhecer a relação do consumo primário por fontes específicas de energia dos materiais de construção fabricados no Brasil, além da geração de CO<sub>2</sub> por essas fontes. Todos esses valores foram obtidos na pesquisa de Tavares (2006) e relacionados nas Tabelas 3.2 e 3.3.

A Tabela 3.2, apresenta a relação percentual de consumo de fontes específicas de energia por materiais de construção fabricados no Brasil (TAVARES, 2006).

Tabela 3.2 - Consumo primário de energia por fontes em % MJ nos materiais de construção

Materiais	Fontes não renováveis							Fontes renováveis				
	Óleo diesel e Combustível	Gás natural	GLP	Coque de Petróleo	Outras	Carvão Mineral	Coque de Carvão Mineral	Eletricidade	Carvão vegetal	Lenha	Outras fontes renováveis	Outras
Aço e Ferro	1	6					71	10				12
Alumínio	21	7			4		10	54				4
Areia	99							1				
Argamassa	86			10				4				
Cal	12							8		80		
Cerâmica revestida	15	68	5					12				
Cerâmica vermelha	4		8					2		85		1
Cimento	3			61		8		12	9			7
Cobre	10	44					5	41				
Concreto	82			9				9				
Fibrocimento	84		2					14				
Impermeabilizadores	10	30			34			26				
Madeira	83							17				
Pedra	85							15				
Plástico	10	30			34			26				
Tintas	90							10				

Fonte: Adaptado de Tavares, (2006)

Dos materiais relacionados na Tabela 3.2, verifica-se que 70 % dos insumos energéticos são provenientes de fontes fósseis não renováveis (MARCOS, 2009). Já

na Tabela 3.3, estão apresentados os valores das emissões de CO<sub>2</sub> liberadas por fontes de energia.

Tabela 3.3 – Emissão de CO<sub>2</sub> por fontes de energia

Fonte	CO <sub>2</sub> (%)
Eletricidade	0,0181
Óleo Combustível (Diesel)	0,0798
Gás natural	0,0506
GLP	0,0633
Coque de carvão mineral	0,0915
Coque de petróleo	0,0726
Carvão Vegetal	0,051
Lenha	0,0816
Outros	0,0357

Fonte: Adaptado de Tavares, (2006)

Desta forma, foi empregada a Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE) visando calcular as emissões de dióxido de carbono provenientes dos processos de produção dos principais materiais de construção, tomando-se como base os valores estabelecidos (Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3). Para tanto, inicialmente calculou-se a energia embutida aos materiais, conforme apresentado na Equação 3.1.

$$CO_2 = \sum_{m=1}^n CP_m * G_m * EE_m \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde:

CO<sub>2</sub> = Emissão de CO<sub>2</sub> por materiais (CO<sub>2</sub>/MJ)

CP<sub>m</sub> = Consumo primário dos materiais (kgCO<sub>2</sub>/MJ) (Tabela 3.3)

G<sub>m</sub> = Geração de CO<sub>2</sub> dos materiais (%MJ) (Tabela 3.2)

EE<sub>m</sub> = Energia Embutida dos materiais(MJ/m<sup>3</sup>) (Tabela 3.1)

Através dos dados obtidos até o momento, foi possível realizar a quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> das unidades residenciais unifamiliares.

### 3.8. Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub>

Para que fosse possível realizar a quantificação das emissões de dióxido de carbono das unidades residenciais unifamiliares foi necessário utilizar os valores de emissões de CO<sub>2</sub> por materiais, obtidos no item 3.7 e os valores de consumos dos materiais, conforme mostra a Equação 3.2.

$$TCO_2 = \sum_{i=1}^n Q_i * CO_2 \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde:

TCO<sub>2</sub> = Total de emissão de dióxido de carbono (kg)

Q<sub>i</sub> = Quantitativo de materiais (m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup>, m, unid e kg) (Tabelas 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6)

CO<sub>2</sub> = Emissões de CO<sub>2</sub> por materiais (kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) (Tabela 4.10)

Após a quantificação das emissões de dióxido de carbono dos principais materiais empregados na construção civil, foi realizado um comparativo entre as emissões da etapa de revestimento.

$$RCO_2 = \sum_{a=1}^n A_a * C_a * CO_2 \quad (\text{Equação 3.3})$$

Onde:

RCO<sub>2</sub> = Total de emissão de dióxido de carbono na etapa de revestimento e assentamento (kg)

A<sub>a</sub> = Área de alvenaria revestida (m<sup>2</sup>) (Tabelas 4.1)

C<sub>a</sub> = Consumo de materiais (m<sup>3</sup> e kg) (Tabelas 4.29 e 4.31, 4.33 e 4.35)

CO<sub>2</sub> = Emissões de CO<sub>2</sub> por materiais (kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) (Tabela 4.10)

Em seguida foi determinado o sequestro de CO<sub>2</sub> para a etapa de esquadrias, conforme mostra a Equação 3.4.

$$SEQ = \sum_{s=1}^n ((EST_s - E_s) + 1) * Q_s \quad (\text{Equação 3.4})$$

Onde:

SEQ = Sequestro total de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>)

EST<sub>s</sub> = Tonelada estocada por m<sup>3</sup> de madeira planta (tCO<sub>2</sub>) (Tabela 4.17)

E<sub>s</sub> = Emissão de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>) (Tabela 4.8)

Q<sub>s</sub> = Quantidade total de madeira (m<sup>3</sup>) (Tabela 4.16)

Através das equações apresentadas, foi possível realizar a quantificação das emissões de dióxidos de carbono na construção das vinte unidades residenciais. Todos os resultados obtidos foram discutidos no capítulo a seguir.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apresentam-se neste capítulo os resultados alcançados neste estudo no que se refere à avaliação dos três materiais que poderiam ser empregados na execução das alvenarias: bloco cerâmico, bloco de solo-cimento e bloco de concreto.

### 4.1. Levantamento do consumo dos materiais

A Tabela 4.1, apresenta o levantamento do quantitativo dos materiais a serem empregados na construção de uma das casas.

Tabela 4.1 - Quantitativo dos materiais por unidade

Serviços	Quantitativo	Unidade
<b>Infraestrutura</b>		
Alvenaria Bloco Grês (25 x 50 x 15)	1,77	m <sup>3</sup>
Volume de concreto CP IV	2,12	m <sup>3</sup>
Armadura diâmetro 8.0 mm	74,277	kg
Armadura diâmetro 4.2 mm	26,705	kg
<b>Alvenaria</b>		
Alvenaria tijolos 6 furos deitados	102,20	m <sup>2</sup>
<b>Supraestrutura</b>		
Volume de concreto (vigas) - $f_{ck}$ 20 MPa	1,09	m <sup>3</sup>
Armadura diâmetro 8.0 mm	13,362	kg
Armadura diâmetro 6.3 mm	37,730	kg
Armadura diâmetro 4.2 mm	16,895	kg
Volume de concreto(pilares) - $f_{ck}$ 20 MPa	0,18	m <sup>3</sup>
Armadura diâmetro 8.0 mm	12,576	kg
Armadura diâmetro 4.2 mm	2,834	kg
<b>Revestimento</b>		
Chapisco	203,00	m <sup>2</sup>
Emboço	203,00	m <sup>2</sup>
Reboco	184,00	m <sup>2</sup>
<b>Esquadrias</b>		
Janela Veneziana em Madeira completa 1,20/1,00	3,00	Unid
Janela Basculante em Madeira completa 1,00/1,00	1,00	Unid

Tabela 4.1 - Quantitativo dos materiais por unidade

Janela Basculante em Madeira completa 0,60/0,60	1,00	Unid
Porta Externa em Madeira completa 0,80/2,10	2,00	Unid
Porta Interna semi-oca completa 0,80/2,10	3,00	Unid

A fundação da edificação será do tipo direta, com bloco de grês constituídos por três camadas com dimensões de 25 x 50 x 15 cm e com viga de concreto armado moldada *in loco*. O proporcionamento desse concreto será de 1:2,5:3 (cimento:areia:brita), aonde na Tabela 4.2 está apresentado o consumo de materiais utilizados para produzir 1 m<sup>3</sup> de concreto.

Tabela 4.2 –Consumo de materiais para 1 m<sup>3</sup> de concreto, traço 1:2,5:3

Material	Unidade	Consumo
Areia lavada Tipo Média	m <sup>3</sup>	0,719
Pedra Britada 1	m <sup>3</sup>	0,337
Pedra Britada 2	m <sup>3</sup>	0,337
Cimento Portland CP IV	Kg	319

As alvenarias nas residências serão executadas com tijolos de 6 furos posicionados deitados, cujos ajustes serão realizados com meio tijolos nas dimensões de 9 x 14 x 19 cm. A argamassa de assentamento empregada terá um traço 1:2:9 (cimento:cal:areia), cujo consumo de material está apresentado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 –Consumo de materiais para 1 m<sup>3</sup> de argamassa, traço 1:2:9

ARGAMASSA MISTA		
Cimento, cal hidratada e areia sem peneirar		
Material	Unidade	Consumo
Areia lavada Tipo Média	m <sup>2</sup>	1,22
Cal Hidratada CH III	Kg	162,00
Cimento Portland CP IV	Kg	162,00

Fonte: Adaptado de TCPO, 2010

Após o assentamento, será realizado o acabamento da alvenaria. Inicialmente será empregado chapisco com argamassa de cimento e areia no traço 1:3 (cimento: areia) com elevada plasticidade, cujo consumo de material está apresentado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Consumo de materiais utilizados para o chapisco de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria, traço 1:3

<b>CHAPISCO</b>		
<b>Parede interna ou externa, com argamassa de cimento e areia sem peneirar</b>		
<b>Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Consumo</b>
Areia lavada Tipo Média	m <sup>3</sup>	2,4300
Cimento Portland CP II E-32	Kg	0,0061

Fonte: Adaptado de TCPO, 2010

A camada de emboço, terá o traço 1:2:8 (cimento:cal:areia) e espessura igual a 1,5 cm, cujo consumo de material está relacionado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Quantitativo de materiais utilizados para o emboço de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria, traço 1:2:8

<b>EMBOÇO</b>		
<b>Parede interna, com argamassa de cal hidratada e areia sem peneirar</b>		
<b>Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Consumo</b>
Areia lavada Tipo Média	m <sup>3</sup>	3,6440
Cal Hidratada CH III	Kg	3,6440
Cimento Portland CP II E-32	Kg	0,0244

Fonte: Adaptado de TCPO, 2010

O reboco, com traço de 1:2 (cal hidratada:areia) terá uma espessura de 0,5 cm, cujo consumo de materiais está apresentado na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Quantitativo de materiais utilizados para o reboco de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria, traço 1:2

<b>REBOCO</b>		
<b>Parede interna ou externa, com argamassa de cal hidratada e areia peneirada</b>		
<b>Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Consumo</b>
Areia Média – Secagem e peneiramento	m <sup>3</sup>	0,005
Cal Hidratada CH-III	Kg	1,825

Fonte: Adaptado de TCPO, 2010

Os pilares, vigas e vigas de respaldo serão de concreto armado, conforme projeto estrutural (Apêndice B). Já as portas e janelas externas serão em madeira maciça e as portas internas serão de madeira, do tipo semi-oca. Todas serão produzidas através de madeiras certificadas.

Segundo Grinover *et al.* (2009), 1 m<sup>3</sup> de madeira plantada estoca 1 tCO<sub>2</sub>, e se utilizada em construções ou mobiliários economiza outra tonelada de CO<sub>2</sub>. Sendo assim, 1m<sup>3</sup> de madeira equivale a 2 tCO<sub>2</sub>, que sequestram da atmosfera, reduzindo o efeito estufa, conforme mostra a Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Cubagem da madeira

Referências	Emissões (tCO <sub>2</sub> )
1 m <sup>3</sup> de madeira plantada	1
1 m <sup>3</sup> de madeira armazenada em produtos	1
<b>1 m<sup>3</sup> de artefatos em madeira</b>	<b>2</b>

Fonte: Deeke, 2009

Em 2007, a Aracruz elaborou o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, onde demonstrava a intensidade de emissão por tonelada de produto, conforme mostra a Figura 4.1.



Figura 4.1 - Intensidade de Emissões por produto

Fonte: Aracruz, 2007

Através do inventário publicado pela Aracruz em 2007, foi possível verificar que 1 m<sup>3</sup> de madeira plantada emite 1 tCO<sub>2</sub>, e a intensidade de emissões é de 0,382 tCO<sub>2</sub>/t.

Sendo assim, será possível determinar a emissão da madeira *Lyptus*, cuja densidade varia de 600 a 750 kg (LEITE, 2005). Para fins de cálculo, será atribuído o valor de 700 kg/m<sup>3</sup>.

De acordo com os dados fornecidos foi possível determinar a emissão, pois se 1000 kg emitem 0,382 tCO<sub>2</sub>, então 700 kg irá emitir 0,2674 tCO<sub>2</sub>, conforme mostra a Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Taxa de emissões de CO<sub>2</sub> da madeira *Lyptus*

Referências	Total
Taxa de emissão de CO <sub>2</sub> da madeira <i>Lyptus</i>	0,2674

Após, a determinação da emissão, foi necessário estabelecer o consumo desse material. Para isso foi realizado o levantamento junto aos fornecedores, conforme a Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Quantidade de madeira utilizada nas esquadrias

Elementos	Quantidade	Madeira ml/u	Madeira ml/tipologia
Janela Veneziana em madeira 1,20/1,00	3,00	10,45	31,35
Janela Basculante em madeira 1,00/1,00	1,00	8,70	8,70
Janela Basculante em madeira 0,60/0,60	1,00	3,13	3,13
Porta Externa em madeira 0,80/2,10	2,00	14,63	29,26
Porta Interna semi-oca completa 0,80/2,10	3,00	14,63	43,89
<b>Quantidade total de madeira</b>			<b>116,33</b>

Com a determinação do consumo dos principais materiais a serem utilizados nas etapas estabelecidas para estudo, foi possível quantificar as emissões CO<sub>2</sub> das unidades residenciais.

## 4.2. Emissões de CO<sub>2</sub> por materiais

O total de emissões de CO<sub>2</sub> para cada material a ser empregado na construção das residências está apresentado na Tabela 4.10. Tais valores foram calculados conforme o procedimento apresentado no item 3.7.

Tabela 4.10 – Emissão de CO<sub>2</sub> por materiais

Insumo	Consumo primário, em kg de CO <sub>2</sub> /MJ (Tabela 3.3)	Geração de CO <sub>2</sub> (Tabela 3.2)	EE <sub>C</sub> , em kg de CO <sub>2</sub> /MJ	EE (MJ/m <sup>3</sup> ) (Tabela 3.1)	Emissões de CO <sub>2</sub> por materiais (kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )
<b>AGREGADOS</b>					
Óleo diesel	0,0798	0,85	0,06783	247,5	16,78
Eletricidade	0,0181	0,15	0,002715		0,68
<b>Total de emissões</b>					17,46 kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
<b>AÇO</b>					
Óleo diesel	0,0798	0,01	0,000798	235.500	187,93
Eletricidade	0,0181	0,10	0,00181		426,26
Coque de carvão mineral	0,0915	0,71	0,064965		15.299,25
Gás natural	0,0506	0,06	0,003036		714,98
<b>Total de emissões</b>					16.628,42 kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
<b>AREIA</b>					
Óleo diesel	0,0798	0,99	0,079002	80	6,31
Eletricidade	0,0181	0,01	0,00181		0,14
<b>Total de emissões</b>					6,45 kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
<b>CERÂMICA VERMELHA</b>					
Óleo diesel	0,0798	0,04	0,003192	4.060	12,96
Eletricidade	0,0816	0,02	0,001632		6,63
<b>Total de emissões</b>					19,59 kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
<b>BLOCO DE SOLO-CIMENTO</b>					
Óleo diesel	0,0798	0,04	0,003192	1.020	3,26

Tabela 4.10 – Emissão de CO<sub>2</sub> por materiais

<b>Total de emissões</b>					3,26 kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
<b>BLOCO DE CONCRETO</b>					
Óleo diesel	0,0798	0,82	0,065436	2000	130,87
Eletricidade	0,0181	0,09	0,007344		14,69
<b>Total de emissões</b>					145,56 kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
<b>CIMENTO PORTLAND</b>					
Óleo diesel	0,0798	0,03	0,002394	9.190	22,00
Eletricidade	0,0181	0,12	0,002172		19,96
<b>Total de emissões</b>					41,96 kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
<b>CAL</b>					
Óleo diesel	0,0798	0,12	0,009576	4.500	43,10
Lenha	0,0816	0,80	0,06528		293,75
Eletricidade	0,0181	0,08	0,001448		6,52
<b>Total de emissões</b>					343,37 kg de CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>

Analisando-se a Tabela 4.10, pode-se observar que os principais insumos energéticos consumidos pela indústria de materiais de construção são o óleo diesel, lenha, coque de carvão mineral e gás natural. Além disso, esses são os materiais mais utilizados pelo setor da construção civil, e como se pode observar são responsáveis por uma alta emissão de dióxido de carbono na atmosfera.

De todos os materiais descritos o maior emissor de CO<sub>2</sub>, é o aço (aproximadamente 96,62%), seguido da cal (2,02%), bloco de concreto (0,85%), cimento (0,24%), bloco cerâmico (0,11%), agregados (0,10%), areia (0,04%) e o bloco de solo-cimento (0,02%).

O aço é material com a maior emissão de dióxido de carbono, devido à utilização de coque e carvão vegetal, como combustível e agentes redutores nos altos fornos.

Segundo Ferreira e Pereira (2009), a indústria da cal está entre as mais poluidoras do meio ambiente, pois no seu processo de produção há o emprego de óleo combustível, lenha ou carvão, o que acarreta na emissão de poluentes atmosféricos.

Outro material altamente poluente são os blocos de vedação, e devido aos altos índices de emissões, foram quantificados três diferentes tipos de blocos, a fim de ser verificado qual deles possuía uma menor emissão de CO<sub>2</sub>, principal gás causador do efeito estufa.

Através da quantificação percebeu-se que a utilização de blocos de solo-cimento era uma alternativa para minimizar a emissão de dióxido de carbono das construções a serem construídas, pois o mesmo não exige queima em forno à lenha, o que evita desmatamento e não polui o ar, pois não lança resíduos no meio ambiente (AMARAL, 2014).

### 4.3. Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> das unidades residenciais

Os índices encontrados por materiais (Tabela 4.10) foram, utilizados para quantificar as taxas de emissões das unidades habitacionais em cada etapa construtiva.

Na infraestrutura, foram calculadas as emissões de dióxido de carbono referentes à fundação. Para isso foi necessário realizar o levantamento do quantitativo dos materiais a serem utilizados, conforme apresentado na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Quantitativo de aço e concreto nas fundações

Serviços	Quantitativo	Unidade
<b>INFRAESTRUTURA</b>		
Concreto	2,12	m <sup>3</sup>
Aço	100,982	kg

Com os valores de consumo de materiais para execução de 1 m<sup>3</sup> de concreto produzido na obra (Tabela 4.2) e os índices de emissões por material (Tabela 4.10),

calcularam-se as taxas de emissão do concreto e aço utilizados na fundação e na supraestrutura, conforme apresentados nas Tabelas 4.12 e 4.13.

Tabela 4.12 - Emissões de CO<sub>2</sub> por 1 m<sup>3</sup> de concreto produzido *in loco*

Material	Unidade	Quantidade (Tabela 4.2)	CO <sub>2</sub> por materiais (Tabela 4.10)	CO <sub>2</sub> Total (kg)
Areia lavada tipo média	m <sup>3</sup>	0,719	6,45	4,64
Pedra britada 1	m <sup>3</sup>	0,337	17,46	5,88
Pedra britada 2	m <sup>3</sup>	0,337	17,46	5,88
Cimento Portland CP IV	kg	319	41,96	13.385,24
<b>Total das Emissões de CO<sub>2</sub></b>				<b>13.401,64</b>

Tabela 4.13- Emissões de CO<sub>2</sub> do aço

Material	Unidade	Quantidade (Tabela 4.11)	CO <sub>2</sub> por materiais (Tabela 4.10)	CO <sub>2</sub> Total (kg)
Aço	Kg	100,982	16.628,42	1.679.171,11
<b>Total das Emissões de CO<sub>2</sub></b>				<b>1.679.171,11</b>

Desta forma, verifica-se que para a produção de 1 m<sup>3</sup> de concreto, devem ser emitidos 13.401,64 kg de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Considerando que serão utilizados 2,12 m<sup>3</sup> de concreto, uma quantidade igual a 28.411,48 de CO<sub>2</sub> por residência será emitido, enquanto que o valor referente ao aço será igual a 1.679.171,11 de CO<sub>2</sub>.

Sendo assim, fica estabelecido que a emissão de CO<sub>2</sub> associada à etapa de fundação é de 1.707.582,59 kg.

Na etapa da supraestrutura o quantitativo dos materiais foi calculado com base nos dados extraídos do projeto estrutural (Apêndice B), e relacionados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14- Quantitativo de aço e concreto na supraestrutura

Serviços	Quantitativo	Unidade
Concreto	1,27	m <sup>3</sup>
Aço	83,397	Kg

A emissão de CO<sub>2</sub> associada com a etapa de supraestrutura é igual a 1.386.813,63 kg, conforme apresentado na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 - Emissões de CO<sub>2</sub> geradas na etapa de supraestrutura

Material	Unidade	Quantidade (Tabela 4.14)	CO <sub>2</sub> por materiais (Tabela 4.10)	CO <sub>2</sub> Total (kg)
Cimento	Kg	1,27	41,96	53,29
Aço	Kg	83,397	16.628,42	1.386.760,34
<b>Total das Emissões de CO<sub>2</sub></b>				<b>1.386.813,63</b>

Na etapa de colocação e fornecimento de esquadrias foram consideradas, somente as emissões incorporadas ao processo de produção florestal da madeira e seu beneficiamento, não se computado a energia de emissões do seu processo de fabricação.

Com o perfil definido em projeto (56 mm) e o levantamento total de esquadrias, foi realizado o cálculo da cubagem da madeira, conforme apresentado na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 - Cubagem da madeira

Elementos	Unidade	Quantidade
Total de metros lineares de madeira <i>Lyptus</i> utilizado nas esquadrias	ml	116,33
Dimensões dos perfis: 56 x 56 mm	m <sup>2</sup>	0,003136
<b>Quantidade de madeira</b>	m <sup>3</sup>	0,37

De acordo com Grinoveret *al.* (2009), a madeira é um recurso natural renovável. Quando retirada da floresta a partir de práticas sustentáveis, ela pode realizar o sequestro de carbono, conforme mostra a Tabela 4.17.

Tabela 4.17 - Sequestro de CO<sub>2</sub>

Referências	Estoque de carbono (tCO <sub>2</sub> )	Emissão de CO <sub>2</sub> gasta (Tabela 4.8)	CO <sub>2</sub> estocado nas árvores	Sequestro total de tCO <sub>2</sub>
Madeira <i>Lyptus</i>	1	0,2674	0,7326	1,7326

Sendo assim, na Tabela 4.18 fica estabelecido o total de sequestro das emissões de dióxido de carbono realizado pela madeira que será utilizado nas esquadrias.

Tabela 4.18 - Emissões de CO<sub>2</sub> sequestrada pela madeira

Referências	Unidade	Total
Sequestro de CO <sub>2</sub> da madeira <i>Lyptus</i>	m <sup>3</sup>	1.732,60
Quantidade total de madeira utilizada	m <sup>3</sup>	0,37
<b>Total do seqüestro de emissões de CO<sub>2</sub></b>		- 641,06

Conforme mencionado anteriormente, será avaliada a emissão de CO<sub>2</sub> considerando o emprego de três sistemas construtivos diferente para a execução da alvenaria (blocos cerâmico, bloco de solo-cimento e bloco de concreto), além da argamassa de revestimento.

#### 4.3.1. Cenário 1 – Parede de alvenaria de blocos cerâmicos

Neste caso, para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> considerou-se que as residências serão construídas com paredes de alvenaria com blocos cerâmicos. Considerou-se uma perda de 5 % associada com a execução e um rendimento de 50 blocos/m<sup>2</sup>. As emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo material estão apresentadas na Tabela 4.20.

Tabela 4.19 – Rendimento total dos blocos cerâmicos

Material	Área (Tabela 4.1)	Rendimento por m <sup>2</sup>	Rendimento total dos blocos cerâmicos (Unidades)
Blocos cerâmicos	102,20	50,00	5.110,00
Perda			255,5
Total de Blocos		5,00 %	5.366

**Observação: \*A perda foi estimada pela TCPO, 2010**

Para o cálculo de emissão da alvenaria executada de bloco cerâmico será adotado o índice de 19,59 kg de CO<sub>2</sub>, que foi calculado na Tabela 4.10.

Tabela 4.20 - Emissões de CO<sub>2</sub> gerado pelos blocos cerâmicos

Material	Quantidade de blocos cerâmicos (Tabela 4.19)	CO <sub>2</sub> por materiais (Tabela 4.10)	CO <sub>2</sub> Total (kg)
Bloco cerâmico	5.366	19,59	105.119,94
<b>Total das Emissões de CO<sub>2</sub></b>			<b>105.119,94</b>

Considerando as dimensões do bloco cerâmico adotado, temos uma área igual a 0,0171 m<sup>2</sup> por bloco, obtendo-se um rendimento de 50 blocos/m<sup>2</sup>. Sendo assim, para executar 1m<sup>2</sup> de parede de alvenaria é necessária uma área de junta de 0,145 m<sup>2</sup>, totalizando em 0,855 m<sup>2</sup> de bloco cerâmico. Como a espessura da parede é de 0,14 m obtém-se o volume de 0,0203 m<sup>3</sup> de argamassa por metro quadrado de alvenaria executada.

Aplicando esse coeficiente sobre os valores da Tabela 4.3 quantificam-se os materiais necessário para assentar 1 m<sup>2</sup> de alvenaria, conforme a Tabela 4.21.

Tabela 4.21 - Quantitativo de materiais para argamassa de assentamento por metro quadrado de alvenaria

Material	Unidade	Consumo
Areia lavada Tipo Média	m <sup>3</sup>	0,0248
Cal Hidratada CH III	kg	3,2886
Cimento Portland CP IV	kg	3,2886

A alvenaria será assentada com argamassa, que utiliza materiais que emitem CO<sub>2</sub>, conforme mostra a Tabela 4.22.

Tabela 4.22- Emissões de CO<sub>2</sub> geradas pela argamassa de assentamento das alvenarias de vedação

Material	Unidade	Área (Tabela 4.1)	Consumo (Tabela 4.21)	Consumo total	CO <sub>2</sub> por materiais (Tabela 4.10)	CO <sub>2</sub> Total (kg)
Cimento	Kg	102,20	3,2886	336,09	41,96	14.102,54
Cal	Kg	102,20	3,2886	336,09	343,37	115.404,24
Areia	m <sup>3</sup>	102,20	0,0248	2,53	6,45	16,35
<b>Total das Emissões de CO<sub>2</sub></b>						<b>129.523,13</b>

Sendo assim fica determinado que o assentamento da alvenaria emitirá, cerca de 129.523,13 kg de CO<sub>2</sub>.

Enquanto, as execuções das paredes de vedações irão emitir 234.643,07 kg de CO<sub>2</sub> por residência, esse valor representa o somatório da alvenaria e assentamento (Tabelas 4.20 e 4.22).

#### 4.3.2. Cenário 2 – Parede de alvenaria com blocos de solo-cimento

O bloco de solo tem o rendimento de 45 blocos/m<sup>2</sup>, e a perda de rendimento do material é de 1 %, conforme mostram as Tabelas 4.23 e 4.24.

Tabela 4.23- Emissões de CO<sub>2</sub> gerado pelos blocos de solo-cimento da alvenaria

Material	Área (Tabela 4.1)	Rendimento por m <sup>2</sup>	Rendimento total dos blocos de solo-cimento (Total de blocos de solo-cimento)
Blocos de solo-cimento	102,20	45,00	4.599,00
Perda	1,00 %		45,99
Total de Blocos			4.553,01

**Observação: \*A perda foi estimada pela TCPO, 2010**

Para o cálculo de emissão da alvenaria executada de bloco de solo-cimento será adotado o índice de 3,26 kg de CO<sub>2</sub>, que foi calculado na Tabela 4.10.

Tabela 4.24 - Emissões de CO<sub>2</sub> geradas pela argamassa de assentamento das alvenarias de vedação

Material	Quantidade de blocos de solo-cimento (Tabela 4.23)	CO <sub>2</sub> por materiais (Tabela 4.10)	CO <sub>2</sub> Total (kg)
Blocos de solo-cimento	4.553,01	3,26	1.114,80
<b>Total das Emissões de CO<sub>2</sub></b>			<b>14.842,81</b>

Considerando as dimensões do bloco de solo-cimento adotado, temos uma área igual a 0,0225 m<sup>2</sup> por bloco, obtendo-se um rendimento de 45 blocos/m<sup>2</sup>. Sendo assim, para executar 1 m<sup>2</sup> de parede de alvenaria é necessário uma área de junta de 0,145 m<sup>2</sup>, totalizando 0,855 m<sup>2</sup> de bloco de solo-cimento. Como a espessura da parede é de 0,15 m obtém-se o volume de 0,02175 m<sup>3</sup> de argamassa por metro quadrado de alvenaria executada.

Aplicando esse coeficiente sobre os valores da Tabela 4.3 quantificam-se os materiais necessário para assentar 1 m<sup>2</sup> de alvenaria, conforme a Tabela 4.25.

Tabela 4.25 - Quantitativo de materiais para argamassa de assentamento por metro quadrado de alvenaria

Material	Unidade	Consumo
Areia lavada Tipo Média	m <sup>3</sup>	0,027
Cal Hidratada CH III	Kg	3,5235
Cimento Portland CP IV	Kg	3,5235

A alvenaria será assentada com argamassa, que utiliza materiais que emitem CO<sub>2</sub>, conforme mostrado na Tabela 4.26.

Tabela 4.26 - Emissões de CO<sub>2</sub> geradas pela argamassa de assentamento das alvenarias de vedação

Material	Unidade	Área (Tabela 4.1)	Consumo (Tabela 4.25)	Consumo total	CO <sub>2</sub> por materiais (Tabela 4.10)	CO <sub>2</sub> Total (kg)
Cimento	Kg	102,20	3,5235	360,10	41,96	15.109,80
Cal	Kg	102,20	3,5235	360,10	343,37	123.647,54
Areia	m <sup>3</sup>	102,20	0,027	2,76	6,45	17,80
<b>Total das Emissões de CO<sub>2</sub></b>						<b>138.775,14</b>

Sendo assim fica determinado que o assentamento da alvenaria emitirá, cerca de 138.775,14 kg de CO<sub>2</sub>.

Enquanto isso, as execuções das paredes de vedações irão emitir 153.617,95 kg de CO<sub>2</sub> por residência, esse valor representa o somatório da alvenaria e assentamento (Tabelas 4.24 e 4.26).

#### 4.3.3. Cenário 3 – Parede de alvenaria com blocos de concreto

Para o cálculo de emissão da alvenaria executada de bloco de concreto será adotado o índice de emissão de 145,56 kg de CO<sub>2</sub>, calculado na Tabela 4.10.

O bloco de concreto tem o rendimento de 14 blocos/m<sup>2</sup>, e a perda de rendimento do material é de 3 %. Com tais valores puderam-se calcular as emissões

de CO<sub>2</sub> para uma parede construída com tal material, conforme apresentado na Tabela 4.27.

Tabela 4.27 - Emissões de CO<sub>2</sub> gerado pelos blocos de concreto da alvenaria

Material	Área (Tabela 4.1)	Rendimento por m <sup>2</sup>	Rendimento total dos blocos de concreto (Total de blocos de concreto)
Bloco de concreto	102,20	14,00	1.430
Perda	3,00 %		42,92
Total de Blocos de concreto			1.387,88

**Observação: \*A perda foi estimada pela TCPO, 2010**

Considerando a emissão do material, obtivemos as emissões geradas pela argamassa de assentamento da alvenaria de bloco de concreto, conforme mostra a Tabela 4.28.

Tabela 4.28 - Emissões de CO<sub>2</sub> geradas pela argamassa de assentamento das alvenarias de vedação

Material	Quantidade de blocos de concreto (Tabela 4.27)	CO <sub>2</sub> por materiais (Tabela 4.10)	CO <sub>2</sub> Total (kg)
Bloco de concreto	1388	145,56	202.037,28
<b>Total das Emissões de CO<sub>2</sub></b>			<b>202.019,23</b>

Considerando as dimensões do bloco de concreto adotado, temos uma área igual a 0,0406 m<sup>2</sup> por bloco, obtendo-se um rendimento de 14 blocos/m<sup>2</sup>. Sendo assim, para executar 1 m<sup>2</sup> de parede de alvenaria é necessário uma área de junta de 0,145 m<sup>2</sup> totalizando em 0,855 m<sup>2</sup> de bloco de solo cimeto.

Como a espessura da parede é de 0,19 m obtém-se o volume de 0,02755 m<sup>3</sup> de argamassa por metro quadrado de alvenaria executada.

Aplicando esse coeficiente sobre os valores da Tabela 4.3 quantificam-se os materiais necessário para assentar 1 m<sup>2</sup> de alvenaria, conforme a Tabela 4.29.

Tabela 4.29 - Quantitativo de materiais para argamassa de assentamento por metro quadrado de alvenaria

<b>Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Consumo</b>
Areia lavada Tipo Média	m <sup>3</sup>	0,034
Cal Hidratada CH III	kg	4,4631
Cimento Portland CP IV	kg	4,4631

A alvenaria será assentada com argamassa, que utiliza materiais que emitem CO<sub>2</sub>, conforme mostra a Tabela 4.30.

Tabela 4.30 - Emissões de CO<sub>2</sub> geradas pela argamassa de assentamento das alvenarias de vedação

<b>Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Área (Tabela 4.1)</b>	<b>Consumo (Tabela 4.29)</b>	<b>Consumo total</b>	<b>CO<sub>2</sub> por materiais (Tabela 4.10)</b>	<b>CO<sub>2</sub> Total (kg)</b>
Cimento	Kg	102,20	4,4631	456,13	41,96	19.139,17
Cal	Kg	102,20	4,4631	456,13	343,37	156.620,95
Areia	m <sup>3</sup>	102,20	0,034	3,48	6,45	22,41
<b>Total das Emissões de CO<sub>2</sub></b>						<b>175.782,53</b>

Sendo assim fica determinado que o assentamento da alvenaria emitirá, cerca de 175.782,53 kg de CO<sub>2</sub>.

Enquanto, as execuções das paredes de vedações irão emitir 377.801,76 kg de CO<sub>2</sub> por residência, esse valor representa o somatório da alvenaria e assentamento (Tabelas 4.28 e 4.30).

A alvenaria depois de assentada será revestida em três camadas: chapisco, emboço e reboco.

Para o cálculo das emissões referentes ao chapisco das alvenarias de vedação, adotou-se como referência o quantitativo fornecido na Tabela 4.4, que define a quantidade de materiais utilizados para a argamassa de revestimento, composta por cimento e areia média ou grossa sem peneirar, traço de 1:3, com espessura de 0,5 cm. Segundo Deeke (2009), o consumo total de materiais utilizados é estabelecido em função da área da alvenaria executada, conforme mostra a Tabela 4.31.

Tabela 4.31 - Quantitativo de materiais utilizados para o chapisco de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria

Material	Área (Tabela 4.1)	Consumo unitário (Tabela 4.4)	Consumo total (kg)
Areia	203m <sup>3</sup>	2,43 kg/m <sup>3</sup>	493,29
Cimento Portland CP II E – 32	203 m <sup>3</sup>	0,0061 kg/m <sup>3</sup>	1,2383

Através desses dados e das emissões dos materiais estabelecidas na Tabela 4.10, foi possível quantificar o valor de CO<sub>2</sub> gerados pelo chapisco, conforme mostra a Tabela 4.32.

Tabela 4.32 - Emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo chapisco

Material	Consumo total (Tabela 4.31)	CO <sub>2</sub> por materiais (Tabela 4.10)	CO <sub>2</sub> Total (kg)
Areia	493,29	41,96	20.698,45
Cimento Portland CP II E – 32	1,2383	6,45	7,99
<b>Total das Emissões de CO<sub>2</sub></b>			<b>20.706,44</b>

Para o cálculo das emissões referentes ao emboço das alvenarias de vedação, adotou-se como referência o quantitativo fornecido na Tabela 4.4, que define a quantidade de materiais utilizados para a argamassa de revestimento, composta por cimento, cal hidratada e areia sem peneirar, traço de 1:2:8 com espessura de 2 cm.

Segundo Deeke (2009), o consumo total de materiais utilizados é estabelecido em função da área da alvenaria executada, conforme mostrado na Tabela 4.33.

Tabela 4.33 - Quantitativo de materiais utilizados para o emboço de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria

Material	Unidade	Área (Tabela 4.1)	Consumo (Tabela 4.5)	Consumo total (kg)
Cimento	Kg	203,00	3,644	739,732
Cal	Kg	203,00	3,644	739,732
Areia	m <sup>3</sup>	203,00	0,0244	4,9532

Através desses dados e as emissões dos materiais estabelecidas na Tabela 4.10, foi possível quantificar o valor de CO<sub>2</sub> gerados pela execução do emboço, conforme apresentado na Tabela 4.34.

Tabela 4.34 - Emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo emboço

<b>Material</b>	<b>Consumo total (Tabela 4.33)</b>	<b>CO<sub>2</sub> por materiais (Tabela 4.10)</b>	<b>CO<sub>2</sub> Total (kg)</b>
Cimento	739,732	41,96	31.039,15
Cal	739,732	343,37	254.001,78
Areia	4,9532	6,45	31,95
<b>Total das Emissões de CO<sub>2</sub></b>			<b>285.072,88</b>

Para o cálculo das emissões referentes ao reboco das alvenarias de vedação, adotou-se como referência o quantitativo fornecido na Tabela 4.6, que define a quantidade de materiais utilizados para a argamassa de revestimento, composta por cal hidratada e areia sem peneirar, com traço igual a 1:2.

O consumo total de materiais utilizados é estabelecido em função da área da alvenaria executada, conforme mostra a Tabela 4.35.

Tabela 4.35 - Quantitativo de materiais utilizados para o reboco de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria, traço 1:2

<b>Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Área (Tabela 4.1)</b>	<b>Consumo (Tabela 4.6)</b>	<b>Consumo total (kg)</b>
Cimento	Kg	184,00	1,825	335,80
Areia	m <sup>3</sup>	184,00	0,005	0,92

Através desses dados e as emissões dos materiais estabelecidas na Tabela 4.10, foi possível quantificar o valor de CO<sub>2</sub> gerados pelo reboco, conforme mostra a Tabela 4.36.

Tabela 4.36 - Emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo reboco

<b>Material</b>	<b>Consumo total (Tabela 4.35)</b>	<b>CO<sub>2</sub> por materiais (Tabela 3.4)</b>	<b>CO<sub>2</sub> Total (kg)</b>
Cimento	335,80	41,96	14.090,17
Areia	0,92	6,45	5,93
<b>Total das Emissões de CO<sub>2</sub></b>			<b>14.096,10</b>

Sendo assim fica determinado que na etapa do revestimento, serão emitidos na atmosfera cerca de 319.875,42 kg de CO<sub>2</sub> por residência, esse valor representa o somatório do chapisco, emboço e reboco (Tabelas 4.32, 4.34 e 4.36).

Sendo o emboço o responsável por aproximadamente 89,12 % da emissão total quantificada, devido aos materiais empregados em sua composição: cal, cimento e areia.

As emissões totais geradas, pelos materiais analisados nos diferentes cenários estão apresentadas na Tabela 4.37.

Tabela 4.37 - Emissões de dióxido de carbono por unidade habitacional (em tCO<sub>2</sub>)

Etapas	Blocos cerâmicos	Blocos de solo-cimento	Blocos de concreto
Fundações	1.707,58	1.707,58	1.707,58
Alvenarias	234,64	153,62	377,80
Estrutura	1.386,81	1.386,81	1.386,81
Revestimentos	319,88	-	319,88
Esquadrias e ferragens	- 641,06	- 641,06	- 641,06
<b>Emissão total</b>	<b>3.007,85</b>	<b>2.606,95</b>	<b>3.151,01</b>

Através dos dados contidos na Tabela 4.37, foi realizado um comparativo de emissões em cada etapa quantificada, conforme mostra a Figura 4.2.

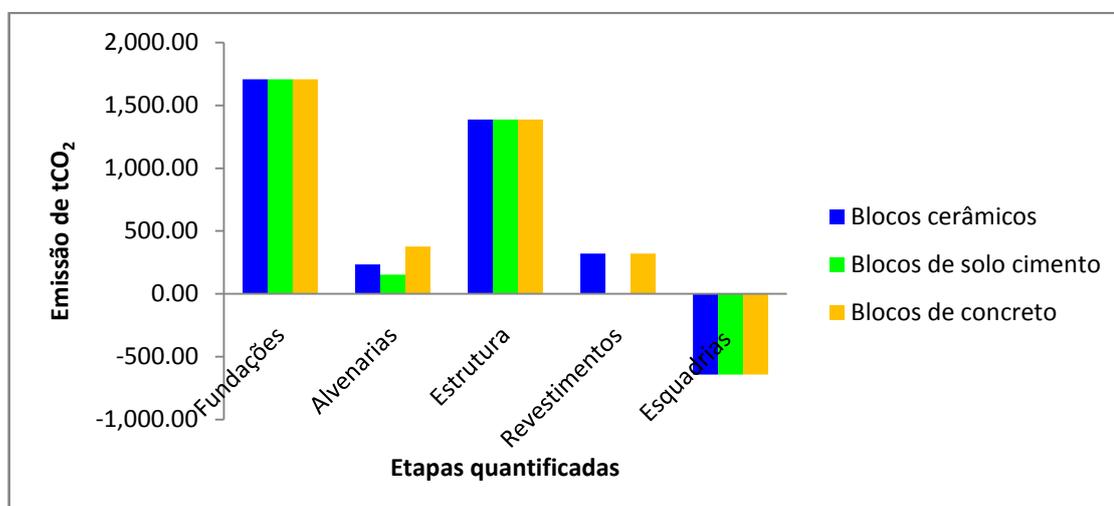


Figura 4.2 - Gráfico da emissão de tonelada de dióxido de carbono por etapa quantificada

Como se pode observar na Figura 4.2, a etapa responsável pela maior emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera é a fundação, e isso ocorre devido aos materiais empregados: concreto e aço.

Como foi visto anteriormente na Tabela 4.10, o aço é o material com a maior emissão de dióxido, devido à utilização de carbono para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro. Posteriormente, uma fração desse carbono será incorporada aos produtos e a outra parte será emitida na atmosfera. Por isso, com o objetivo de reduzir a emissão, deve-se utilizar na construção das unidades residenciais aço reciclável, obtidos através da reciclagem de sucatas ferrosas. No Brasil o principal mercado associado à reciclagem de aço é formado pelas aciarias, que derretem a sucata nos altos fornos e transformam-na em produtos ou novas chapas de aço (JUNIOR, 2013).

Já o concreto tem o alto índice de emissão, pois é um material composto, produzido com água, agregados e cimento. Segundo Lima (2010), o cimento, apesar de ter uma pequena participação na massa do concreto, é o emissor majoritário do material. O autor ainda informa que a emissão do cimento, representa 85 % das emissões no ciclo de vida do concreto, cuja porcentagem varia de acordo com teor e tipo de cimento, variabilidade do processo de produção e perdas de concreto.

Sendo assim, verifica-se a importância de realizar a substituição do cimento que será empregado na construção das unidades por um que possua uma quantidade inferior de clínquer na sua composição.

Nesse caso, os cimentos com os teores inferiores de clínquer são o CP III (NBR 5.735, ABNT, 1991), ele substitui uma porcentagem desse componente por escórias de siderúrgicas, que são a sobra da fusão do minério de ferro, coque e calcário. Além desse, tem-se o cimento CP IV, cujo mesmo apresenta uma substituição de aproximadamente 15 % de clínquer por material pozolânico (normalmente cinza de casca de arroz), cujo mesmo é regido pela NBR 12.653 (ABNT, 2012).

Na alvenaria houve uma variação na emissão, devido à diferença dos materiais estudados (blocos cerâmicos, blocos de solo-cimento e blocos de concreto). Como se pode observar na Figura 4.3, o bloco de solo-cimento é o material de vedação com a menor taxa de emissão.

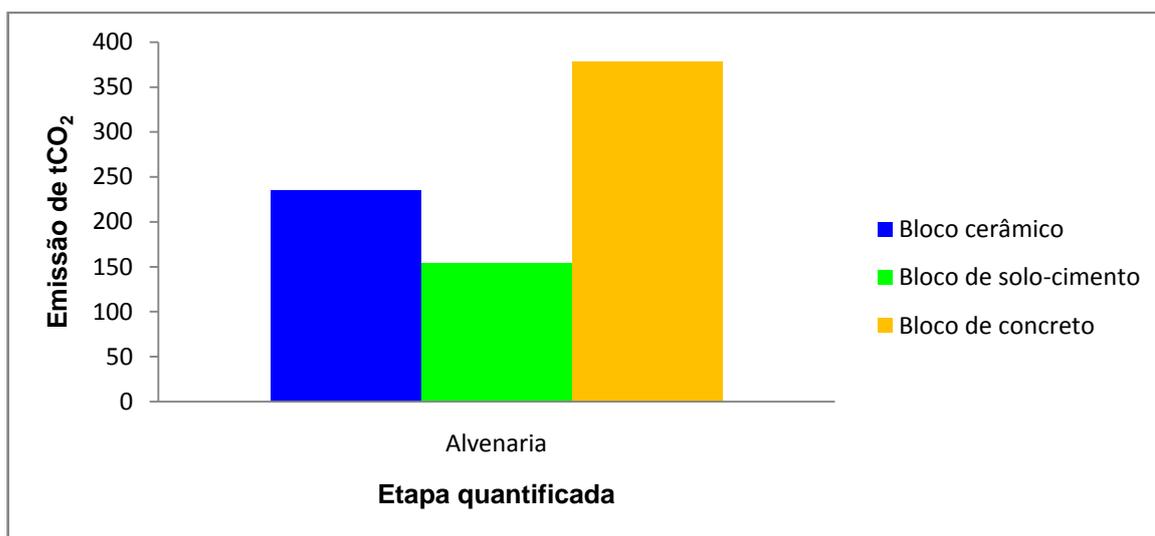


Figura 4.3 - Valor da emissão de dióxido de carbono referente à etapa de alvenaria (blocos cerâmicos, blocos de solo-cimento e concreto)

A utilização do bloco de solo-cimento iria minimizar a agressão ao meio ambiente, pois, além de utilizar solo natural e uma quantidade inferior de cimento, não necessita de queima, uma vez que os blocos são apenas prensados.

Na etapa de execução da estrutura os quantitativos de materiais empregados nos três modelos habitacionais serão os mesmos, pois a alteração simulada estava associada apenas aos revestimentos.

Nas esquadrias a taxa de emissão simulada apresentou-se como negativa, devido ao material empregado. De acordo com o memorial descritivo (Apêndice), as esquadrias das unidades serão fabricadas com madeiras certificadas, o que representa ser oriunda de um processo produtivo manejado de forma correta.

Sendo assim, ela será extraída sem gerar impactos negativos nas economias locais e nos sistemas ecológicos do aproveitamento florestal, conservando a

capacidade de regeneração das florestas nativas, preservando recursos hídricos e habitat de vida (BARROS; VERÍSSIMO, 1996).

#### 4.4. Emissões de CO<sub>2</sub> totais

Cybis e Santos (2000), Institut Wallon Vito (2001), Cruz *et al.* (2003), Isaia e Gastaldini (2004), Júnior (2006), Deeke (2009), Lobo (2010), Silva (2012), Campos (2012) e Sousa (2013) realizaram a quantificação das emissões de dióxido de carbono dos principais materiais empregados na construção civil: aço, agregados graúdos e miúdos, cal, cimento, cerâmica vermelha e policloreto de vanila.

Através dessa quantificação eles classificaram o aço, cerâmica vermelha e o cimento como os principais inimigos do meio ambiente. A pesquisa realizada também quantificou as emissões dos principais materiais empregados pela indústria da construção civil, através da ACVE, que utiliza a energia como indicador de impacto ambiental, pois a sua produção é responsável por gerar a maioria das emissões de poluentes. Além disso, a energia é responsável pelo consumo de grande parte dos recursos não renováveis.

Após a quantificação das emissões por materiais, foi possível calcular o total de emissão por unidade residencial, conforme mostrado na Tabela 4.37. Com a emissão por unidade residencial, foi possível quantificar as emissões referentes às vinte unidades residenciais a serem construídas, conforme mostra a Tabela 4.38.

Tabela 4.38 - Emissões totais de dióxido de carbono em tCO

<b>Etapas</b>	<b>Blocos cerâmicos</b>	<b>Blocos de solo-cimento</b>	<b>Blocos de concretos</b>
Fundações	34.151,60	34.151,60	34.151,60
Alvenarias	4.692,80	3.072,40	7556
Estruturas	27.736,20	27.736,20	27.736,20
Revestimentos	6.397,60	-	6.397,60
Esquadrias	- 12.821,20	- 12.821,20	- 12.821,20
<b>Emissão total</b>	<b>60.157,00</b>	<b>52.139,00</b>	<b>63.030,29</b>

Como se pode observar na Tabela 4.38, as emissões de dióxido de carbono para a construção das unidades residenciais será de 60.157,00 tCO<sub>2</sub>, e a mesma

poderia ser reduzida em 13,34 % caso fosse empregados blocos de solo-cimento no lugar de blocos cerâmicos, conforme mostra a Figura 4.4.

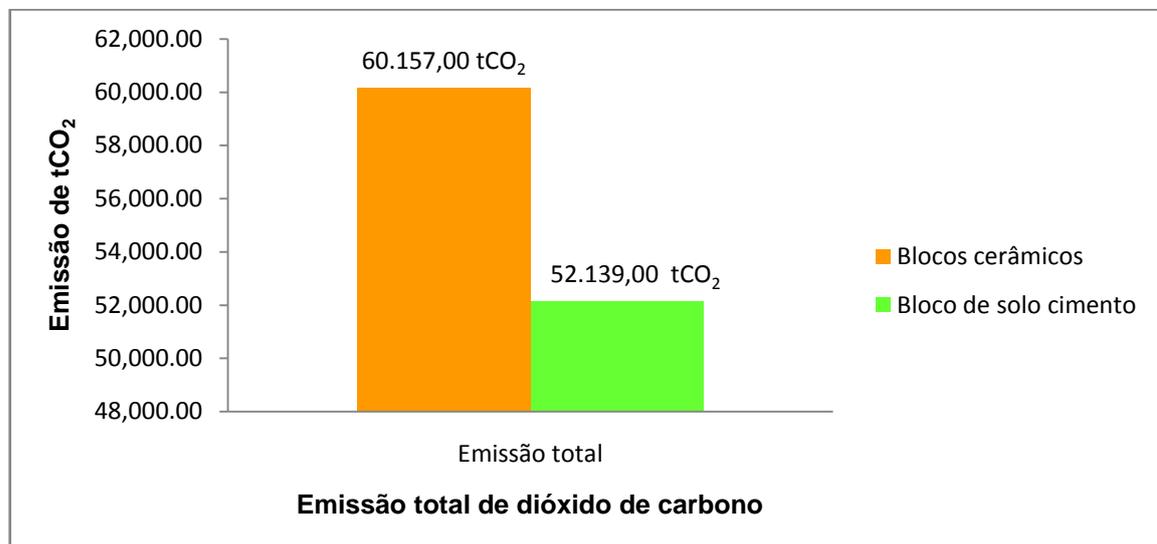


Figura 4.4 - Comparativo entre a emissão de dióxido de carbono dos blocos cerâmicos e blocos de solo-cimento

Essa diferença ocorreu, pois além do bloco de solo-cimento ser menos poluente, ele não necessita de revestimento, o que acarreta na diminuição de 6.397,60 tCO<sub>2</sub>, referentes a etapa de chapisco, emboço e reboco. Além disso, pode ocorrer a minoração de outros impactos decorrentes dos serviços subsequentes que não precisarão ser realizados, tais como pintura e outros materiais de acabamento.

Em 2008, pesquisadores do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), estimaram que uma obra construída com blocos de solo-cimento, pode reduzir em 60 % a taxa de emissões de gases do efeito estufa se comparadas à alvenaria convencional (FITTIPALDI, 2008).

Esse valor ficou foi semelhante ao encontrado por Deeke (2009), ao realizar um estudo comparativo entre blocos de vedações e esquadrias a serem empregados na construção de um edifício educacional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

No primeiro cenário proposto pela autora, a obra seria executada em blocos cerâmicos, revestidos com argamassa e pintura e as esquadrias seriam em alumínio. Logo, após ela sugeriu materiais alternativos: bloco de solo-cimento e esquadrias em madeira certificada. Através dessa proposta de substituição de materiais, a autora reduziu a emissão de dióxido de carbono em 64,15 %.

A diferença entre os valores encontrado nas referências bibliográficas e no calculado ocorreu devido ao grau de eficiência estabelecido. O COPE, no desenvolvimento de sua pesquisa estabeleceu o grau máximo de eficiência, onde além de empregar o bloco de solo-cimento, utilizou resíduos da construção como substituto de agregado e no assentamento da alvenaria empregou o cimento Portland CP III. Além disso, o COPE para quantificar os seus dados, desenvolveu uma ACV completa.

Enquanto, Deeke em sua pesquisa realizou a quantificação a partir do emprego dos blocos de solo-cimento e o assentamento da alvenaria com argamassa industrializada, utilizando dados de energia embutida, através de uma análise de processo.

Na pesquisa desenvolvida a redução de 13,34 % ocorreu, somente com a substituição dos blocos cerâmicos por blocos de solo-cimento. O bloco de solo-cimento é considerado, um produto ecologicamente correto, que ao contrário dos blocos cerâmicos, dispensa o corte de árvores, promovendo uma melhor ocupação do solo, o que acaba evitando a degradação em consequência do manejo florestal inadequado.

Além disso, o bloco de solo-cimento em sua composição pode empregar rejeitos da construção civil, das siderúrgicas e materiais orgânicos. O que acaba contribuindo com a redução do consumo de energia, durante o processo de fabricação e construtivo das alvenarias

Sousa (2013) realizou, um comparativo entre a vedação de blocos cerâmicos e de concreto na construção de unidades habitacionais e foi estabelecido que os

blocos cerâmicos emitiriam uma quantidade menor  $\text{CO}_2$  na atmosfera, aproximadamente 12,6 %. O mesmo ocorreu no caso estudado, conforme podemos observar na Figura 4.5.

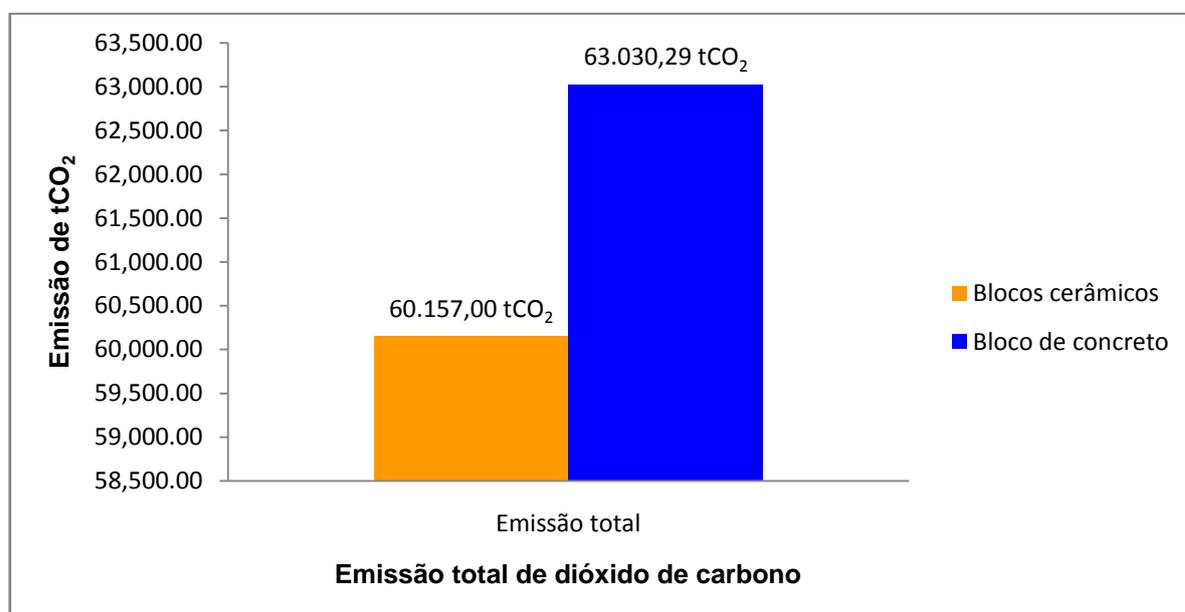


Figura 4.5 - Comparativo entre a emissão de dióxido de carbono dos blocos cerâmicos e blocos de concreto

Comparando-se os blocos cerâmicos e os blocos de concreto, foi possível verificar que os cerâmicos irão emitir aproximadamente 4,78 % a menos de  $\text{CO}_2$ .

Mas apesar disso, Dionisio (2012) afirmou que a utilização de bloco de concreto seria mais sustentável que o bloco cerâmico, pois ele diminui o desperdício de material, além do seu custo de execução ser inferior. Além disso, o bloco de concreto possui um conforto térmico e acústico, devido aos alvéolos no interior das peças o que acaba dissipando o som e calor.

Mas apesar dessa alternativa, de substituir os blocos de vedação na busca de uma construção mais sustentável, podemos observar na Figura 4.6, que a etapa com a maior emissão é a fundação. Isso ocorre, devido aos materiais empregados (aço e concreto), que estão entre os três materiais mais poluentes de acordo com Tabela 4.10.

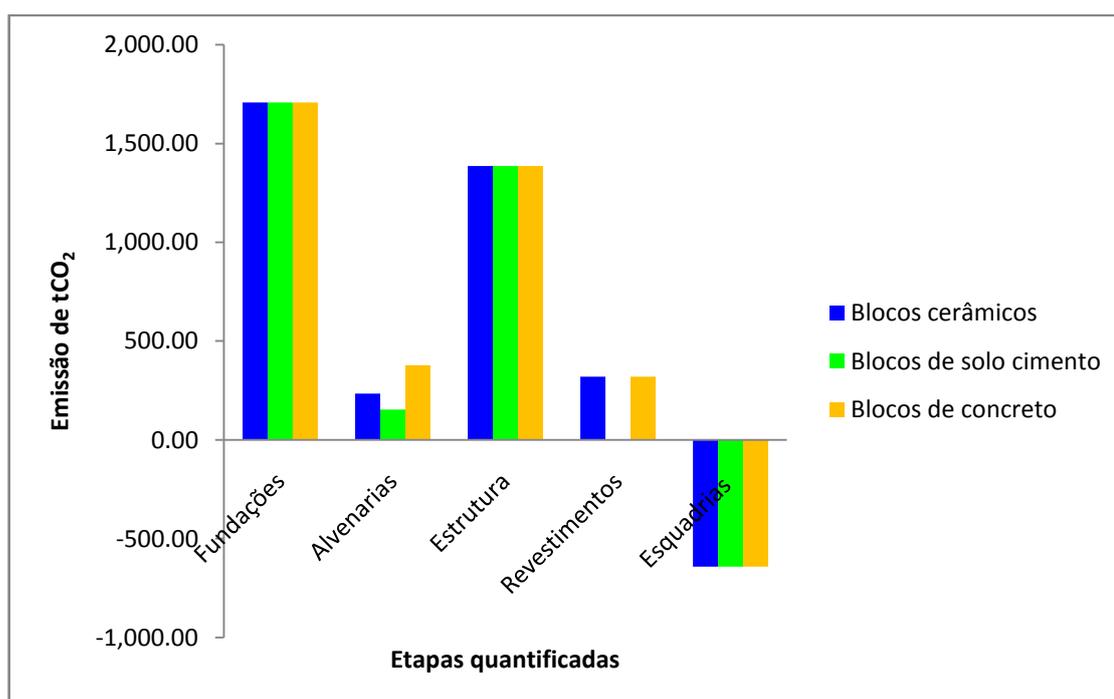


Figura 4.6 - Gráfico da emissão de tonelada de dióxido de carbono por etapa quantificada

A indústria siderúrgica é uma grande consumidora de energia, além de ser o maior emissor industrial de gases do efeito estufa. De acordo com dados do balanço energético nacional de 2014, a produção do ferro primário e aço responderam por 18,4 % do consumo industrial de energia. Além de ser responsável por 3,7 % das emissões brasileiras totais (ARAÚJO; CARVALHO; MESQUITA, 2015). Apesar desses altos índices, a indústria do aço busca continuamente alternativas tecnológicas para aumentar a sua eficiência energética.

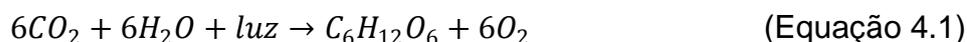
Enquanto isso, o concreto é considerado um grande emissor, pois na sua composição têm o cimento que é responsável por 5 a 8 % das emissões atmosféricas globais (ALI *et al.*, 2011). Metade destas emissões é oriunda, da queima de combustíveis fósseis para a fabricação do clínquer. O restante advém do processo produtivo do clínquer, devido à descarbonatação do calcário, principal matéria prima na produção do cimento (FOGAÇA *et al.*, 2012).

De acordo com o relatório anual de 2010 do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2011), 90 % das emissões de dióxido de carbono da indústria cimenteira são derivadas do processo de produção do clínquer, tanto pela

descarbonatação, quanto pela queima de combustíveis fósseis para a geração de energia. Os outros 10 %, resultam do transporte da matéria prima e das emissões pelo consumo de energia elétrica na fábrica (FOGAÇA *et al.*, 2012).

Segundo Fogaça *et al.* (2012), apesar desses altos índices o Brasil é um dos países com a menor emissão de CO<sub>2</sub> por tonelada de cimento produzido, pois as plantas industriais utilizam processo de produção a seco, o qual reduz significativamente a demanda de combustível para a produção do clínquer, sendo assim, o Brasil é referência mundial na produção de cimento com baixa emissão de dióxido de carbono.

Enquanto isso, a madeira certificada não emite e ainda sequestra CO<sub>2</sub> na atmosfera. Isso ocorre devido ao processo de fotossíntese, conforme mostra a Equação 4.1.



Além disso, de acordo com Vogtlander (2001), as árvores nas florestas representam um importante reservatório de carbono. Segundo Garcia (2014), a floresta plantada pode ser considerada neutra em carbono, pois absorve previamente o carbono que será emitido ao longo do seu ciclo de vida.

Garcia (2014), afirma que se a atual produção de casas em madeira dobrasse em relação ao que se estima que é produzido atualmente, e se todas fossem construídas exclusivamente com madeira plantada, seria possível diminuir entre 13 e 22 % as emissões de setor. Nessa pesquisa, o seqüestro de CO<sub>2</sub>, foi de 12.821,20 tCO<sub>2</sub>, o que contribuiu significativamente para o decréscimo das emissões geradas pelo cenário 2.

Sendo assim, foi possível perceber que a simples substituição de blocos cerâmicos por blocos de solo-cimento e a utilização de esquadrias de madeira certificada, estariam contribuindo para a redução de dióxido de carbono, que é um

dos gases que contribui para o agravamento do efeito estufa, e que acaba auxiliando na elevação da temperatura média da Terra.

Segundo Denardin (2014), as principais causas do aquecimento global estão relacionadas às atividades antropogênicas, realizadas de maneira não sustentável, ou seja, sem garantir a existência dos recursos e do meio ambiente para as gerações futuras.

De acordo com Lefale (2002), o aquecimento global pode contribuir com a elevação dos níveis das águas do mar, o que acabará trazendo impactos ambientais e socioeconômicos significativos, tais como: risco de submersão de ilhas planas (como o arquipélago da Indonésia, que poderá perder até duas mil de suas dezessete mil e quinhentas ilhas), portos e terrenos agrícolas; salinização das águas potáveis superficiais e subterrâneas.

Além disso, Neto (2010) afirma que o aumento nas temperaturas pode alterar as precipitações, resultando em enchentes e secas, podendo acelerar o fenômeno de desertificação; podendo ocorrer um aumento de amplitude do fenômeno El Niño, o qual acarretaria na estiagem da Amazônia.

Devido essas consequências, a construção civil deve começar adotar, mudanças no processo de concepção e implementação das edificações, como no de operação (JÚNIOR, 2006). Já que o setor é responsável, por aproximadamente 30 % de toda emissão de gases de efeito estufa do planeta, sendo a maior parte relacionada ao processo de fabricação dos materiais de construção e execução de obras (DEGANI, 2009).

Sendo assim, surgiu à necessidade de criar inovações tecnológicas para tornar a construção, uma atividade menos impactante ao meio ambiente, pois a construção sustentável tem por obrigação monitorar as emissões de gases de efeito estufa, durante todo o processo de projeto e obra, reunindo estratégias para minimizar os impactos sobre o aquecimento global (LIMA; MARCELO, 2014).

## 5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados observados no capítulo anterior, pode-se afirmar que o cenário dois, que emprega o bloco de solo-cimento é o mais favorável para a construção das unidades residenciais, tendo em vista que apresentou os melhores resultados quando comparado ao sistema de alvenaria de blocos cerâmicos e blocos de concreto.

Das etapas construtivas estudadas: fundação, alvenaria, estrutura, revestimento e esquadrias, a maior taxa de variação de resultado é a etapa de revestimento, pois o bloco de solo-cimento dispensa essa etapa, por se tratar de um sistema modular de construção, o que produz uma alvenaria uniforme. A grande vantagem da utilização desse material, é que ele não necessita da queima no processo de produção, evitando assim o desmatamento e emissão de poluentes.

Já a fundação foi à etapa com a maior emissão de dióxido de carbono, pois ela utiliza cimento e aço em sua composição e de acordo com a pesquisa esses dois materiais estão entre os maiores poluentes. Sendo assim, a supraestrutura foi considerada a segunda emissora de dióxido de carbono, pois em sua composição também estão presente esses dois materiais.

Enquanto isso foi possível perceber que a utilização de esquadrias, proveniente de madeira de reflorestamento é uma excelente alternativa para melhorar o desempenho ambiental das edificações em construção.

Sendo assim, pode-se concluir que a pesquisa atingiu seu objetivo, quantificou as emissões de dióxido de carbono na fase pré-operacional da construção, em três cenários residenciais diferentes. E com isso, foi possível perceber que a busca pela

preservação ambiental deve-se iniciar desde a concepção de projetos até a fase final.

### **5.1. Sugestões para trabalhos futuros**

No sentido de prosseguir com as investigações sobre Ciclo de Vida Energético das edificações colocam-se as seguintes sugestões:

- Formar banco nacional de dados de energia embutida dos materiais de construção, para serem utilizados na ACVE;
- Estabelecer a durabilidade dos materiais de construção civil;
- Pesquisar sobre incorporação de resíduos nos materiais com maiores energias embutida, levando em consideração a redução de consumo de energia e impactos ambientais;
- Calcular o custo e benefício de empregos de materiais alternativos;
- Analisar materiais, que podem substituir o clínquer do cimento e torná-lo material menos impactante;
- Explorar sobre o desenvolvimento de tecnologias e materiais sustentáveis.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP - Associação Brasileira de cimento Portland. Cimento de qualidade e ambientalmente amigável. 2011. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2015.

ABEYSUNDRA, U. G. Y.; BABEL, S.; GHEEWALA, S.; SHARP, A. Environmental, Economic and Social Analysis of Materials for Doors and Windows in Sri Lanka. **Building and Environment**, v. 42, n. 5, p. 2141-2149, 2007.

ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnica. NBR 5.735: Cimento Portland de alto-forno. 5 p. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnica. NBR 6.136: Bloco vazado de concreto simples. 9 p. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnica. NBR 7.211: Agregados para concreto - Especificações. 9 p. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnica. NBR 9.935: Agregados – Terminologia. 12 p. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnica. NBR 12.653: Materiais pozolânicos - Especificação. 3 p. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnica. NBR 14.040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. 21 p. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnica. NBR 14.044: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. 46 p. Rio de Janeiro, 2009

ADALBERTH, K. Energy use during the life cycle of buildings: a method. **Building and Environment**, p. 317-320, 1997.

ALCÂNTARA, P. G. S.; NETO, R. L. Ferramentas de Sustentabilidade em Edificações. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 3, p. 505-528, 2015.

ALCORN, A.; BAIRD, G.; HASLAM, P. **The energy embodied in building materials - updated New Zealand coefficients and their significance**. IPENZ Transactions, v. 24, v. 1, 1997.

ALI, M.B., SAIDUR, R., HOSSAIN, M.S. A review on emission analysis in cement industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15 (4), p. 2252-2261, 2011.

ALMEIDA, C. S; RODRIGUES, J. T. M. C. **Produção Mais Limpa em uma Empresa do Setor de Construção Civil**. Centro Universitário SOCIESC: UNISOCIESC, v. 6, n. 1: p. 183-198, 2016.

ALSHAMRANI, O. S.; ALKASS, S.; GALAL, K. Integrated LCA-LEED Sustainability Assessment Model for Structure and Envelope Systems of School Building. **Journal Building and Environment**, v. 80, p. 61-70, 2014.

ALTOÉ, E. S.; ALVAREZ, C. E. de.; REIS, T. C. dos. Correlação entre compactidade, energia incorporada e emissões de dióxido de carbono, em projetos de habitação de interesse social. Connecting People and Ideas. **Proceedings of EURO ELECS**. Guimarães, 2015, Portugal.

ALVES, J. E. D.; MARTINE, G. Economy, society and environment in the 21<sup>th</sup> century: three pillars or trilemma of sustainability?. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 32, n. 3, 2015.

AMARAL, Eliane Domingos do. **Ganhos ambientais e econômicos na redução de consumo de aço na indústria de autopeças pela aplicação da filosofia KAIZEN**. Florianópolis, 2013. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

AMARAL, Mateus Carvalho. **Avaliação dos efeitos da incorporação de resíduo de lama de cal nas propriedades e microestrutura de uma mistura solo-cimento**. Campos dos Goytacazes, 2014. 100 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Brasil.

AMORIM, Kelly. Construção civil cresceu 74,25 % nos últimos 20 anos, revela estudo do Sinduscon – MG. Agosto, 2014. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/>>. Acesso em: 16 de outubro de 2015.

ANDRADE, T.; HELENE, P. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Fortaleza: IBRACON, 2010.

ARACRUZ. Relatório Anual de Sustentabilidade - 2007. Disponível em: <[www.aracruz.com](http://www.aracruz.com)>. Acesso em: 08 de dezembro de 2015.

ARAÚJO, E. D. G de.; CARVALHO, P. S. L. de.; MESQUITA, P. P. D. Sustentabilidade da siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade. **BNDES Setorial**, 41, p. 181-236, 2015.

AUGUSTIN, S.; CUNHA, B. da P. Sustentabilidade ambiental: estudos jurídicos e sociais. **Revista Brasileira de Estudos de População**, Caxias do Sul, v. 32, n. 3, 2014.

BARROS, A. C.; VERÍSSIMO, A. **A expansão da atividade madeireira na Amazônia: impactos e perspectivas para o desenvolvimento do setor florestal no Pará.** Belém: IMAZON, 1996.

BARROS, M.; DUARTE, W. H. B.; FILHO, F. O. M.; MENOR, E. A. Contaminação geoquímica ambiental da produção de calcários corretivos e cal na região de Santa Maria do Cambucá, Pernambuco: Considerações sobre a produção mineral regional. **Revista de Geografia, UFPE**, v. 29, n. 3, 2012.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. **The Hitchhiker's Guide to LCA: An orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application.** Studentlitteratur Sweden, 2004.

BETSUYAKU, Renato Yochio. **Construção de eco tijolos com adição de areia diatomácea.** Volta Redonda, 2015. 136 p. Dissertação (Mestrado em Materiais). Centro Universitário de Volta Redonda, Brasil.

BILEC, M. M.; RAJAGOPALAN, N.; LANDIS, A. E. Life cycle assessment evaluation of green product labeling systems for residential construction. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 17, p. 753-763, 2012.

BIN, Guoshu. **Exploring the Environmental Impact of a Residential Life Cycle, Including Retrofits: Ecological Footprint Application to a Life Cycle Analysis Framework in Ontario.** Ontario, 2011. 100 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Waterloo, Canadá,

BISWAS, W. K. Carbon Footprint and Embodied Energy Assessment of a Civil Works Program in a Residential Estate of Western Australia. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 4, p. 732-744, 2013.

BOTELHO, Wagner Costa. **Sustentabilidade de empreendimentos habitacionais populares: desenvolvimento de uma ferramenta de análise.** São Paulo, 2013. 228 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Paulista, Brasil.

BOUSTEAD, I.; HANCOCK, G. F. **Handbook of Industrial Energy Analysis**. Ellis Horwood, Chichester, England. 1979.

BRAGADIN, M. A.; GUARDIGLI, L.; MONARI, F. Assessing Environmental Impact of Green Buildings Through LCA Methods: A comparison between reinforced concrete and wood structures in the European context. In: International Conference On Green Buildings And Sustainable Cities, 2011. **Procedia Engineering**, v. 21, p. 1199-1206, 2011.

BRANDÃO, C. E. L. **Energia e reciclagem do lixo urbano em perspectiva**. Rio de Janeiro, 1989. 170 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

BREITENBACH, F. E.; PEREIRA, S. W.; SOARES, S. R. Análise do Ciclo de Vida de produtos cerâmicos da indústria da construção civil. In: **XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Cancun, México, 2002.

BROUNA, R.; MENZIES, G. F. Life Cycle Energy and Environmental Analysis of Partition Wall Systems in the UK. **Procedia Engineering**, v. 21, p. 864 – 873, 2011.

BUILDING - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. Product Category Rules for Type III Environmental Product Declaration of Construction Products to EN 15804:2012. Watford: BRE Response to Public Consultation Comments, 2013.

BURNETT, J.; LEE, W. L. Benchmarking energy use assessment of HK-BEAM, BREEAM and LEED. **Building and Environment**, v. 43, p. 1882–1891, 2008.

CALDERÓN, C. A.; GRANADOS, J. F.; MERCADO, M. T. De la Cumbre de Nairobi (2006) a Copenhague (2009): cobertura del cambio climático en medios digitales en español. **Cuadernos info**, v. 37, p. 107-119.

CAMIOTO, F. C.; RABELATTO, D. A. N. Análise da contribuição ambiental por meio da alteração da matriz energética do setor brasileiro de ferro-gusa e aço. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 21, n. 4, 2014.

CAMPELLO, L. G. B.; MELEU, M.; PADILHA, N. S. Direito ambiental e sócioambientalismo. In: **XXIV Congresso Nacional do CONPEDI**. UFMG/FUMEC/DOM HELDER CÂMARA. Florianópolis, 2015.

CAMPOS, Felipe Henrique Azevedo. **Análise do ciclo de vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto**. Belo Horizonte, 2012. 123 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

CASTRO, Sílvia Machado de. **Conflitos ambientais e participação social em processos de avaliação ambiental estratégica para o setor portuário: Dragagem em foco**. Rio de Janeiro, 2012. 279 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. PIB da construção registrou em 2015, a maior queda dos últimos 12 anos. 2016. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/home>>. Acesso em: 16 de outubro de 2015.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Guia CBIC de boas práticas sustentabilidade na indústria da construção**. Nova Lima: Fundação Dom Cabral, 2012.

CHAGAS, M. A.; GONÇALVES, G. C.; LUCAS, T. de P. B.; MAGESTE, J. L.; MORAIS, P. W. P.; MOTTA, J. C. S. S.; TAVARES, J. da C.; ROCHA, G. N. Tijolo de solo-cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **E-xacta**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 13-26, 2014.

CHAU, C. K.; HUI, W. K.; NG, W. Y.; POWELL, G. Assessment of CO<sub>2</sub> emissions reduction in high-rise concrete office buildings using different material use options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 61, p. 22–34, 2012.

CHAVES, Helena de Oliveira. **Diretrizes Sustentáveis na Construção Civil: Avaliação do Ciclo de Vida**. Rio de Janeiro, 2014. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

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

CHRISTIANSEN, K. Life Cycle Assessment in a Historical Perspective. In: **I Workshop Internacional sobre Análise do Ciclo de Vida: 1996**, Rio de Janeiro.

CIB – International Council for Building Research Studies and Documentation. **Agenda 21 para Construção Sustentável**. Tradução do Relatório CIB. Publicação 237. Tradução de I. Gonçalves; T. Whitaker; Ed. De G. Weinstock; D.M Weinstock. São Paulo: S.D., 2000.

CIB & UNEP - IETC – International Council for Building Research Studies and Documentation and United Environment Programme/International Technology Centre. **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries – a discussion document**. CSIR, Pretoria, 2002

CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M.; PUNHAGUI, K. R. G. Economia de baixo carbono: Avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. Relatório final Produção de Cal. Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 2014.

COELHO, A. L.; SANTOS, V. Política Externa Brasileira e a questão ambiental no contexto das conferências da ONU. **Conexão Política**, Teresina, v. 3, n. 2, p. 85 – 108, 2014.

COLTRO, Leda. **Avaliação do Ciclo de Vida como instrumento de gestão**. Campinas: CETEA, 2007.

CORTINA, J. L.; GASSEL, C. M.; GRANADOS, R.; GUILLEM, M.; JOSA, A.; VALDERRAMA, C. Implementation of Best Available Techniques in Cement Manufacturing: A life-cycle assessment study. **Journal of Cleaner Production**, v. 25, n. 3, p. 60-67, 2011.

COSTA, E. B. da; KIRCHHEIM, A. P.; OLIVEIRA, A. F. de.; PASSUELO, A. C. B. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, 2014.

CREMASCO, M. S.; SANTI, M. M. **A. Combustíveis e Riscos Tecnológicos Ambientais na fabricação de cimento: Avaliação Contextualizada no município de Barroso, Minas Gerais**. In: **III Encontro ANPPAS**. Brasília, 2006.

CRESMIK, G.; MAYDEL, P.; PASSER, A.; SCHULTER, D. Cycle Assessment of Buildings Comparing Structural Steelwork With Other Construction Techniques. In: **III International Conference on Life Cycle Management: 2007**, Zurich. Proceedings. Zurich: University of Zurich, 2007

CRIVELARO, M.; PINHEIRO, A. C. F. B. **Materiais de Construção – Série Eixo**. 2ª ed. São Paulo: Editora Érica, 2016.

CRUZ, A. B. S.; FERREIRA, T. L.; MARTINEZ, A. C. P.; ROSA, L. P. Centro de energia e tecnologias sustentáveis – o uso eficiente de energia no planejamento do ambiente construído. **Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais**. COPPE/UFRJ: Rio de Janeiro, 2003.

CRUZ, Francisco José Ribeiro. **Utilização de cinza de aveloz de fornos cerâmicos para produção de tijolos e telhas**. Caruaru, 2012. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

CUNHA, Iasminy Borba da. **Tecnologias e Inovações para construção sustentável**. Canoas, 2009. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Luterana do Brasil, Brasil.

CUNHA, L. C. C.; SIQUEIRA, R. A. C. Aspectos sustentáveis de uma subestação no interior. In: **IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Salvador, 2013.

CUNHA, Marcelo Vitor Hanisch da. **Novo material a partir da composição dos resíduos da fabricação de revestimento cerâmico e da produção da cal**. Curitiba, 2015. 54 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Universidade Federal do Paraná, Brasil.

CYBIS, L. F.; SANTOS, C. V. J., Análise do ciclo de vida aplicada à indústria da construção civil: Estudo de caso. In: **XXVII Congresso interamericano de Engenharia Sanitária e ambiental**. Porto Alegre, 2000.

DEEKE, Vania. **Materiais convencionais utilizados na construção civil e emissão de CO<sub>2</sub>**: Estudo de caso em um edifício educacional da UTFPR. Curitiba, 2009. 225 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.

DEGANI, C. M. **Modelo de gerenciamento da sustentabilidade de facilidades construídas**. São Paulo, 2009. 227 p. Tese (Doutorado em Curso de Engenharia de Construção Civil e Urbana). Universidade de São, Brasil.

DENARDIN, Matheus D'Ávila. Global warming and environmental comfort research. **Revista de Arquitetura da IMED**, v. 3, n.1, 2014, p. 32-40, 2014.

DERMAGO, M. A.; PORTO, A. L. G. Indicadores de Sustentabilidade (LCA) e Análise do Ciclo de Vida para Madeira de Reflorestamento na Construção Civil. **Revista Madeira, Arquitetura e Engenharia**, n. 21, 2007.

DOBDELSTEEN, A. A. J. F.; JASSEN, J.J. A.; LUGT, P. An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. **Construction and Building Materials**, v. 20, n. 9, p. 648-656, 2006.

DOMPROS, A.; KORONEOS, C. Environmental Assessment of Brick Production in Greece. **Building and Environment**, v. 42, n. 5, p. 2114-2123, 2007.

DORIA, M. R.; MACIEL, M. A. C.; OLIVEIRA, R. B.; PASSOS, A. G.; RUSSO, S. L. Análise estatística da evolução do produto interno bruto da indústria da construção civil brasileira utilizando regressão linear simples. **Revista GEINTEC**. São Cristóvão, v. 2, n. 5, p. 505- 514, 2012.

DUARTE, João Batista. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto de cimento Portland**. Natal, 2013. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.

EATMON, T. D.; HUNTZINGER, D. N. A life-cycle assessment of portland cement manufacturing: Comparing the traditional process with alternative technologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 7, p. 668-675, 2009

ECYCLE. Processo de produção do cimento gera emissões e pode diminuir a biodiversidade. 2016. Disponível em: <[http:// http://www.ecycle.com.br/](http://www.ecycle.com.br/)>. Acesso em: 16 de outubro de 2015.

EGAS, L.; INO, A. Avaliação do ciclo de vida de um sistema de cobertura alternativo em madeira de pinus mais sustentável para habitação social: caso assentamento rural Piratuba II. In: **Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. Campo Grande: ANTAC, 2007.

ELCOCK, D. **Life-Cycle Thinking for the Oil and Gas Exploration and Production Industry**. ANL/EVS/R-07/5, prepared by the Environmental Science Division, Argonn National Laboratory, 2007.

EPA - Environmental Protection Agency; SETAC - Science Applications International Corporation. Risk Management Research Laboratory. Life cycle assessment: Principles and practice. Estados Unidos da América, 2006. 80 p.

ESPOSTO, Ricardo Francisco. **Avaliação das características mecânicas de compósitos de cimento Portland reforçados com fibras de polipropileno aditivadas com modificadores de superfície**. São Carlos, 2014. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal de São Carlos, Brasil.

EVANGELISTA, P.; GONÇALVES, J.; SOUZA, H. H.; TORRES, E. Desempenho ambiental de edificações: Avaliação de ciclo de vida em empreendimento residencial. In: **XV Encontro Nacional de Tecnologia e Ambiente Construído**. Maceió, 2014.

FABRIS, J. D.; OLIVEIRA, L. C. A.; PEREIRA, M. C. Óxido de ferro e suas aplicações em processo catalíticos: uma revisão. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 1, 2013.

FALCÃO, D.; VALENTINI, F. Sustentabilidade na construção civil: Vantagens da ecoeficiência. In: **15ª Conferência Internacional da LARES**. São Paulo, 2015.

FARIA, T. de F. C. de.; JUNIOR, J. C. M.; MARQUES, M. R.; MENDONÇA, R. S.; SANTOS, M. L. V.; SOUZA, G. A. de A. Arquitetura de terra: Alternativa sustentável para os impactos ambientais causados pela construção civil. **E-Xacta**, Belo Horizonte, v. 8, n.1, p. 1 – 13, 2015.

FAY, M. R. **Comparative life cycle energy studies of typical Australian suburb and wellings**. Melbourne, 1999. Tese (Pós Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Melbourne, Austrália.

FCVA - Fundação Carlos Alberto Vanzolini. Certificação AQUA - HQR. 2014. Disponível em: <<http://http://vanzolini.org.br/aqua/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2015.

FELÍCIO, Rafael Souza. **Dimensionamento de trocadores de calor aplicados à refrigeração da água do molde de um processo de lingotamento contínuo**. Guaratinguetá, 2012. 93 p. Trabalho de Conclusão (Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Brasil.

FERREIRA, G. E.; PEREIRA, L. dos. S. A indústria da cal no Brasil. In: **XXIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Gramado, 2009.

FIEMG - Federação das Indústrias do estado de Minas Gerais. **Guia de sustentabilidade da construção**. Siduscon – Mg: Belo Horizonte, 60 p., 2008.

FILHO, Helio Antonio Rossi de Castro. **Percepção de empresas construtoras em relação aos programas de classificação da sustentabilidade de projetos de construção habitacional**: Um estudo de caso do Selo Azul Caixa. Porto Alegre, 2013. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Administração). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

FITTIPALDI, Mônica. **Habitação social e arquitetura sustentável em Ilhéus – BA**. Ilhéus, 2008. 159 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil.

FLORES, G.; VIEIRA, R. S.; XAUBERT, R. Globalização econômica, consumo e gestão integrada de resíduos sólidos: desafios da governança socioambiental no contexto região da foz do rio Itajaí. In: **I Conferência Internacional Direito**

**Ambiental, Transnacionalidade e Sustentabilidade.** Revista Eletrônica Direito e Política, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciência Jurídica da UNIVALI, Itajaí, v.7, n. 2, 2º quadrimestre de 2012.

FOGAÇA, J. C.; PAZUCH, C. M.; POSSAN, E. Sequestro de CO<sub>2</sub> devido à carbonatação do concreto: potencialidades da barragem de Itaipu. **Revista de estudos ambientais**, v. 14, n. 2, p. 28-38, 2012.

FREIRE, Bruno Siqueira. **Sistema Construtivo em alvenaria estrutural de bloco de concreto.** São Paulo, 2007. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Anhembi Morumbi, Brasil.

FREITAS, Isabela Mauricio. **Os resíduos de construção civil no município de Araraquara São Paulo.** Araraquara, 2009. 86 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Centro Universitário de Araraquara, Brasil.

GADEA, Mariana Marshall. **Aplicação da análise do ciclo de vida (ACV) em uma indústria de vidro plano.** Joinville, 2008. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção e Sistema). Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil.

GARCIA, Katia Regina Punhagui. **Potencial de reducción de lãs emisiones de CO<sub>2</sub> de La energia incorporada em laconstrucción de la viviendas em Brasil mediante el incremento del uso de la madeira.** Barcelona, 2014. 422 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Engenharia). Universidad Politécnica de Cataluña e Universidade de São Paulo, Espanha e Brasil.

GASTALDINI, A.; ISAIA, G. Concreto “verde” com teores muito elevados de adições minerais: um estudo de sustentabilidade. In: **I Conferência Latino Americana de Construções Sustentáveis. X Encontro Nacional de Tecnologias do Ambiente Construtivo.** São Paulo SP, 2004.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 1996.

GILIJAMSE, W.; HUIJBREGTS, M. A. J.; RAGAS, A. M. J.; REIJNDERS, L. Evaluating Uncertainty in Environmental Life-Cycle Assessment: a case study comparing two insulation options for a Dutch one-family dwelling. **Environmental Science & Technology**, v. 37, n. 11, p. 2600-2608, 2003.

GLAUMANN, M.; MARIQUE, A. F.; REITER, S.; ROSSI, B. Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool. **Building and Environment**, v. 51, p. 395–401, 2012.

GODOY, S. G. M. de.; SAES, M. S. M. Cap-and-Trade e projetos de redução de emissões: comparativo entre mercados de carbono, evolução e desenvolvimento. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 141-160, 2015.

GOMES, L. P.; KERN, A. P.; MARQUES, V. M. Avaliação ambiental do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com fibras de amianto ou com fibras de polipropileno. **Ambiente construído**, **Porto Alegre**, v.16 n.1, 2016.

GOMES, V; OLIVEIRA, B. M. de.; SAADE, M. R. M.; SILVA, M. G. da. Aplicação da Análise do Ciclo de Vida na construção civil: Discussão sobre alocação de impactos entre o aço e suas escórias. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 1, n. 6, 2011

GONZÁLEZ, M. A. S.; HEHN, A. V.; KERN, A. P.; MANCIO, M.; OSTAY, R.; SCHNECK, E. R. Correlação entre compacidade, energia incorporada e emissões de dióxido de carbono, em projetos de habitação de interesse social. In: **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Alagoas, 2014.

GRAEDEL, T. E. **Streamlined Life Cycle Assessment**. (1998). By Bell Laboratories, Lucent Technologies. Published by Prentice Hall, Inc. New Jersey.

GRINOVER, E.; YOSHISUKE, O.; CARVALHO, C. S.; MOLITERNO, A. A. Proposta de um sistema construtivo sustentável baseado no aproveitamento de resíduos de serraria. In: **2nd International Workshop**. Advances in Cleaner Production, São Paulo: 2009.

GUEDES, Luiz Alves. **Os impactos ambientais causados pela extração de areia no Ribeirão José da Silva e Água Quente, município de Posse e Guarani de Goiás**. Brasília, 2013. 39 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia). Universidade de Brasília, Brasil.

GUERRA, M. E. A.; LOPES, A. F. A. Arquitetura verde: contribuições a partir da exemplificação de tipologias vinculadas à sustentabilidade urbana. **Periódicos Técnicos e Científicos Cidades Verdes**, v. 03, n. 5, 2015.

HENDRICKSON, C.; MATTHEWS, H. S.; OCHOA, L. Economic Input-Output Life-Cycle Assessment of U.S. Residential Buildings. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 8, n. 4, p. 132-138, 2002.

HESTNES, A. G.; SARTORI, I. Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings: A review article. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 249-257, 2007.

HEWAGE, K.; HOSSAINI, N. Sustainable Materials Selection for Canadian Construction Industry: An Emergy-Based Life-Cycle Analysis (Em-LCA) of Conventional and LEED Suggested Construction Materials. **Journal of Sustainable Development**, v. 5, n. 1, 2012.

HINZ, R. T. P.; VALENTINA, L. V. D.; FRANCO, A. C. Sustentabilidade ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela Avaliação do Ciclo de Vida. **Estudos tecnológicos**, v. 2, n. 2, p. 91- 98, 2006.

HUGHES, M.; LINKOSALMI, L.; TAKANO, A.; WINTER, S. Comparison of Life Cycle Assessment Databases: A case study on building assessment. **Journal Building and Environment**, v. 79, p. 20-30, 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio Grande do Sul: Capão da Canoa. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 de novembro de 2015.

IDD – Institut Wallon de Developpement Economique et Social et D’amenagement du Territoire Asbl – Institut Wallon – VITO. Green house gas emissions reduction and material flows. Disponível em: <<http://www.belspo.be/belspo/home/publ/pubostc/CG2131/rappCG31>>. Acesso em: 20 de novembro de 2015.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Guide lines for National Green house gas Inventories. Geneva, Switzerland, 2007.

ISO - Internacional Organization for Standardization. ISO 15.392 - Sustainability in building construction – general principles. Switzerland, 2008.

ISO - Internacional Organization for Standardization. ISO 21.930 - Environmetal declaration of building products. Switzerland, 2007.

JALALI, S.; TORRAL, F. P. **A Sustentabilidade dos Materiais de Construção**. 2ª ed. Universidade do Minho: Tecminho, 2010. 400 p.

JANSEN, Carolina Specht. **Aplicação da produção mais limpa como ferramenta para melhoria contínua do sistema de gestão de saúde, segurança e meio ambiente**. Porto Alegre, 2013. 57 p. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

JENSEN, A. Life-Cycle Assessment (LCA): A guide to approaches, experiences and information sources. Copenhagen: **Report to the European Environmental Agency**, 1997,

JÖNSSON, Å.; SVENSSON, T.; TILLMAN, A. M. Life Cycle assessment of Flooring Materials: case study. **Building and Environment**, v. 32, n. 3, p. 245-255, 1997.

JÚNIOR, José Carlos Nogueira Trindade. **Obtenção, mercado e reciclagem de sucatas ferrosas na indústria siderúrgica brasileira.** Rio de Janeiro, 2013. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Metalúrgica e Materiais). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

JÚNIOR, Riberto Carminatti. **Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse social concebido em *Light Steel Framing*.** São Carlos, 2012. 164 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de São Carlos, Brasil.

JÚNIOR, Theodozio Stachera. **Avaliação de emissões de CO<sub>2</sub> na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná.** Curitiba, 2006. 176 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.

KALBUSCH, A. **Método para avaliação do impacto ambiental da substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água a partir da avaliação do ciclo de vida.** Florianópolis, 2011. 242 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

KILBERT, C. **Establishing principles and a model for sustainable construction.** Florida: Sustainable Construction, 1994.

KULAY, L. **Uso da Análise de Ciclo de Vida para a Comparação do Desempenho Ambiental das Rotas Úmida e Térmica de Produção de Fertilizantes Fosfatados.** São Paulo, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil.

LEFALE, P. F. The vulnerability of Pacific Islands to climate change. **Pacific Ecologist**, v. 1, p. 19-22, 2002.

LEITE, Maria Rachel Menezes. **Caracterização das costaneiras da madeira de Eucalipto para uso na indústria moveleira.** Belo Horizonte, 2005. 82 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil.

LIMA, A. M. F. **Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil, Inserção e Perspectivas**. Salvador, 2007. 116 p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento Tecnologias Ambiental no Processo Produtivo). Universidade Federal da Bahia, Brasil.

LIMA, Daiana Souza de. **Avaliação do ciclo de vida dos tubos de PVC produzidos no Brasil**. Rio Claro, 2010. 63 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade Estadual Paulista, Brasil.

LIMA, José Antonio Ribeiro de. **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas**. São Paulo, 2010. 151 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo, Brasil.

LIMA, S. S.; MARCELO, V. C. C. Casa sustentável para a cidade de São Paulo. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**. São Paulo, v. 4, n. 2, 2014.

LOBO, F. H. R. **Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas: Estudo de caso no Estado do Paraná**. Curitiba, 2010. 100 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná, Brasil.

LOPES, Diego Furtado. **Crédito de carbono na indústria do cimento**. Porto Alegre, 2011. 34 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

LOPES, Guilherme de Andrade. **Uso energético de resíduos madeireiro em um pólo de produção de cerâmicas vermelhas no estado de São Paulo**. São Paulo, 2012. 101 p. Tese (Doutorado em Ciência). Universidade de São Paulo, Brasil.

LOTTI, Marcella Guaraná Mascheroni. **Processo de desenvolvimento e implantação de sistemas, medidas e práticas sustentáveis com vista à certificação ambiental de empreendimentos imobiliários – estudo de caso: Empreendimento bairro Ilha Pura – vila dos atletas 2016.** Rio de Janeiro, 2015. 141 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

MARCOS, Michelini Helen Cot. **Análise da Emissão de CO<sub>2</sub> Em Habitações de Interesse Social Através da Utilização de Uma Ferramenta Cad- Bim.** Curitiba, 2009. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.

MARQUES, Vinícius Martins. **Avaliação de aspectos e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com e sem amianto.** São Leopoldo, 2014. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

MARTINS, Liana Sousa. **Gestão Ambiental: A ecoeficiência aplicada no mundo financeiro - Estudo de caso em uma das diretorias de uma instituição bancária.** Brasília, 2015. 57 p. Monografia (Pós Graduação em Gestão Empresarial). Centro Universitário de Brasília, Brasil.

MATTOS, M. L. Faça a sua parte!. **Revista Casa e Construção.** São Paulo, n. 37, p. 60 – 63, 2008.

MAZUR, Fabiane. **Avaliação do ciclo de vida do produto: uma ferramenta de gestão ambiental.** Ponta Grossa, 2011. 36 p. Monografia (Especialização em Produção e Manutenção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.

MENEZES, E. M.; SILVA, E. L. da. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 4<sup>a</sup> ed. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

MULFARTH, R. C. K. **Arquitetura de baixo impacto humano e ambiental**. São Paulo, 2002. 202 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, Brasil.

NASCIMENTO, Elimar Pinheiro do. The trajectory of sustainability: From environmental to social, from social to economic. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, 2012.

NEBEL, B.; WEGENER, G.; ZIMMER, B. Life Cycle assessment of Wood Floor Coverings: A representative study for the German flooring industry. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 3, p. 172-182, 2006.

NETO, P. D. t. Ecopolítica das mudanças climáticas: o IPCC e o ecologismo dos pobres. **Centro Edelstein de Pesquisas Sociais**, Rio de Janeiro, p. 37-81, 2010.

NEVILLE, A M. **Propriedades do Concreto**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NICOLETTI, G. M.; NOTARNICOLA, B.; TASSIELLI, G. Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, n. 3, p. 283-296, 2002.

OLIVEIRA, André Albuquerque Bittencourt de. **Inventário das emissões atmosféricas na indústria siderúrgica**. Rio de Janeiro, 2014. 85 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Metalúrgica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

OLIVEIRA, Leandro Dias de. A geopolítica do desenvolvimento sustentável: reflexões sobre o encontro entre economia e ecologia. 22 p. **Publicação da Associação Brasileira de Relações Internacionais**, v. 7, n. 1, p. 118-139, 2012.

ONU BRASIL - Nações Unidas no Brasil. Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas: COP 21. Disponível em: <<http://www.nacoesunidas.org/cop21/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2016.

OTERO, Patrícia Bastos Godoy. **Avanços e desafios da Educação Ambiental brasileira entre Rio 92 e a Rio + 20**. Sorocaba, 2013. 70 p. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental). Universidade Federal de São Carlos, Brasil.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. Embodied energy in social housing in the pre use: The case for the program my house my life in Brazil. **Revista Oculum Ensaios**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 39 – 50, 2014.

PEREIRA, A. F.; SANTOS, I. G. dos. Análise de ciclo de vida: Uso do software ECO-IT para comparação entre dois sistemas de fachada (alvenaria e vidro). In: **XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. ENTAC, 2008

PEREIRA, Sibeli Warmling. **Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos: aplicação de avaliação do ciclo de vida**. Florianópolis, 2004. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

PIGA, T. R.; MANSANO, S. R. V. Environmental sustainability and history: A critical analysis. **Revista Perspectivas Contemporâneas**, v. 10, n. 2, p. 174-195, 2015.

PROCEL-EDIFICA. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica: áreas de atuação: edificações. 2010. Disponível em: <[http://C:/Users/ADM/Downloads/PROCEL\\_Programa\\_Nacional\\_de\\_Conserva%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_Energia\\_El%C3%A9trica\\_-\\_pdf.>](http://C:/Users/ADM/Downloads/PROCEL_Programa_Nacional_de_Conserva%C3%A7%C3%A3o_de_Energia_El%C3%A9trica_-_pdf.>). Acesso em: 10 de novembro de 2015.

QUINTÃO, Chiara. Setor de construção encolhe 8 % neste ano e prevê queda de 5% em 2016. Disponível em: <<http://www.valor.com.br>>. Acesso em 18 de outubro de 2015.

REIS, F. F. S.; ZULLI, G. **Risco ocupacional aos trabalhadores da construção civil no contato com o cimento Portland**: Estudo de caso da cidade de Curitiba –

PR. Curitiba, 2012. 85 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo Construção Civil). Universidade Federal do Paraná, Brasil.

REIS, Lucas Guedes dos. **Conforto térmico de edificações**: Análise crítica das tecnologias existentes. Guaratinguetá, 2015. 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Brasil.

RENÓ, Maria Luiza Grillo. **Uso de técnicas de otimização robusta multi-objetivos na produção de cimento**. Itajubá, 2007. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Itajubá, Brasil.

RHADI, H. On the optimal selection of wall cladding system to reduce direct and indirect CO<sub>2</sub> emissions. **Elsiver Energy**, v. 35, p. 1412-1424, 2010.

RIBEIRO, F. M. **Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil - Usina de Itaipu: primeira aproximação**. São Paulo, 2003. 243 p. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, Brasil.

RIOS, Mariana Barreira Campos. **Estudo de aspectos e impactos ambientais nas obras de construção do bairro Ilha Pura - Vila dos Atletas 2016**. Rio de Janeiro, 2014. 102 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

RIOS, Verônica Sánchez da Cruz. **Inovação em políticas públicas**: Um estudo do comitê gestor do plano de desenvolvimento regional sustentável do Xingu. Brasília, 2013. 168 p. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade de Brasília, Brasil.

RISSATO, Leandro Biezus. **Análise de Ciclo de Vida em uma empresa do setor petroquímico**. São Carlos, 2012. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo, Brasil.

SANSÃO, Júlia Hallack. **Análise ambiental de alvenarias em blocos:** Uma discussão baseada na avaliação do ciclo de vida e no desempenho térmico de envoltórias. Belo Horizonte, 2011. 116 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

SCHEUER, C.; KEOLEIAN, G.; REPPE, P. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 1049-1064, 2003.

SEO, E. S. M.; SILVA, L. de A.; SOARES, F. R. Life cycle assessment of the anaerobic digestion process of municipal solid waste for power generation **InterfacEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 10, n. 1, 2015.

SHIMABOKURO, E.; SHIGUEMOTO, W. I. 2011. **Emissões na produção de cal.** São Paulo, CETESB, Rel. Referência, 22 p.

SILVA, D. C. da. **A Conflituosa Gestão dos Resíduos de Serviço de Saúde Pertinentes ao Grupo B Gerados em Drogarias:** O Caso da Cidade de São Carlos - SP. Araraquara, 2012. 80 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Centro Universitário de Araraquara, Brasil.

SILVA, Othon José de Castro. **Critérios para seleção de ecoprodutos:** uma visão crítica acerca do emprego de materiais de construção sustentáveis no Brasil – o caso da madeira plástica. Rio de Janeiro, 2012. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. Relatório Anual, 2010. Rio de Janeiro, SNIC; 2011.

SOARES, Bruno Daniel. **Estudo da produção de óxido de cálcio por calcinação do calcário:** Caracterização dos sólidos, decomposição térmica e otimização

paramétrica. Uberlândia, 2007. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.

SOUSA, Ramile Gomes Uzeda. **Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> dos materiais de construção: aço, areia, brita, cerâmica vermelha e cimento:** Estudo de Caso em empreendimento habitacional de interesse social. Cruz das almas, 2013. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Exatas e Tecnológicas). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil.

STEINER, Luiz Renato. **Efeito do rejeito de polimento do porcelanato na fabricação de blocos de concreto de cimento Portland.** Criciúma, 2011. 43 p. Monografia (Especialização em Engenharia Civil). Universidade do Extremo Sul Catarinense, Brasil.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** Florianópolis, 2006. 225 p. Tese (Doutorado em Tecnologia). Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamentos. São Paulo: Pini, 2010.

TSAI, Angélica Lai Thyen. A inovação e a importância das construções sustentáveis. 420 p. Boletim de Inovação e Sustentabilidade. Núcleo de Estudos de Futuro. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 2013.

VECHI, Marcel. Avaliação de ciclo de vida de sistemas de aquecimento de água para aprimoramento do processo de etiquetagem do RTQ-R. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015. 145 p. (Relatório Interno).

VOGTLANDER, J. Life cycle assessment and carbon sequestration of MOSO bamboo products. **Delft University of Technology**, Netherlands, 2011.

WILTING, H. C. *An energy perspective on economic activities*. Tese (Doutorado em Matemática. Faculdade de Faculdade de Matemática e Ciências Naturais da Universidade Nacional de Groningen. Holanda, 1996.

XAVIER, I. V. R.; CALDERARO L. C. S.; SILVA, M. T. E.; ANDRADE, M. L.; RHODES, H. O. A contribuição da engenharia de produção na gestão sustentável empresarial. In: **XXXV Encontro Nacional de engenharia de Produção**: 2015, Fortaleza.

YOST, P.; NORRIS, G. A. A Transparent, Interactive Software Environment for Communicating Life-Cycle Assessment Results: an application to residential windows. **Journal of Industrial Ecology**, v. 5, n. 4, p. 15-28, 2001.

## **APÊNDICE**

### **1. OBJETIVO**

O presente memorial descritivo tem por objetivo estabelecer as diretrizes básicas para a construção de vinte casas de alvenaria, no bairro Arco Íris em Capão da Canoa.

### **2. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS:**

#### **2.1 Limpeza do Terreno**

Será realizada a limpeza do terreno. Durante a execução da obra, deverá ser realizada periodicamente a remoção de todo o entulho e detritos que venham a se acumular nos terrenos.

#### **2.2 Locação da Obra e Movimento de Terra**

A locação da obra deverá ser realizada de acordo com a planta baixa. O aterro necessário ao nivelamento para a base do contrapiso deverá, ser executado de forma a se obter uma boa compactação do terreno, através do apiloamento com camadas sucessivas de no máximo 20 cm, até que se esgote a capacidade.

#### **2.3 Fundações**

A fundação serão do tipo direto, com bloco de grês constituídos por três camadas com dimensões de 25 x 50 x 15 cm e com viga de concreto armado moldada *in loco* traço 1:2,5:3.

## **2.4 Alvenaria**

As alvenarias externas e internas serão de tijolos 6 furos deitados com dimensões próximas de 9 x 14 x 20 cm. Para o assentamento dos tijolos será utilizada argamassa no traço volumétrico 1:2:9 (cimento, areia e brita).

## **2.5 Estrutura**

Os pilares, vigas e vigas de respaldo serão de concreto armado, conforme cálculo estrutural.

## **2.6. Cobertura**

O telhado será executado, com estrutura em madeira de cedrinho com peças isentas de nós, fungos, rachaduras, brocas, empenamento excessivo ou quaisquer outros defeitos que possam comprometer sua resistência. Todas as peças de madeira receberão prévio tratamento com imunizante cupinicida.

A montagem da estrutura deverá ser cuidadosa, no sentido de serem asseguradas suas condições de rigidez e especialmente as inclinações do telhado previstas no projeto. A cobertura será executada, com telhas cerâmicas e deverão ser obedecidas rigorosamente as orientações do fabricante.

As cumeeiras também serão cerâmicas, a fim de adaptar-se a cada uma das situações que se apresentam, conforme projeto. Todo o conjunto da cobertura deverá ser testado ao final dos serviços. Os forros internos serão em PVC na cor branca, e os beirais serão forrados com madeira de cedrinho imunizados com cupinicida.

## **2.7 Pavimentação**

Após a desforma da cinta de fundação, será nivelado o solo interno a esta, e retirados possíveis elementos orgânicos porventura existentes. Havendo

necessidade de aterro, o mesmo será feito com terra própria para este fim, rigorosamente compactado, com auxílio de água e compactador mecânico.

Sobre este terreno será espalhada uma camada de brita nº 2 e 3. Sobre esta camada, será espalhada argamassa de cimento e areia média, que será nivelada com régua e desempenada, ficando pronto para receber o revestimento. Os revestimentos de pisos internos serão do tipo cerâmico 30 x 30 cm, PI-IV, na cor bege.

O passeio junto ao prédio, numa faixa de 1,00m, perimetral ao mesmo, será executado em piso com cimento e areia, traço 1:5, reguado e desempenado com cimento de 2 % a fim de evitar depósito de água da chuva.

O rodapé será executado com peças também cerâmicas da mesma marca e cor. Serão utilizadas, soleiras apenas nas portas externas. As soleiras, serão de granito cinza corumbá, com projeção de 3 cm para a área externa, a fim de proteger a entrada de águas pluviais.

## **2.8 Revestimentos**

As alvenarias serão devidamente chapiscadas, emboçadas e rebocadas, como manda a boa técnica. Esse revestimento não poderá ultrapassar no conjunto, a espessura de 2,5 cm, em cada face.

O chapisco, será confeccionado no traço 1:2:9, aplicado uniforme sobre a superfície a ser revestida. O emboço, será executado no traço 1:2:8, aplicado uniforme sobre a superfície a ser revestida.

O reboco será executado, no traço 1:2, aplicado uniforme sobre a superfície para obter uma superfície acamurçada sem irregularidades, prumada com perfeição. Todo o reboco deverá ser desempenado e após feltrado, resultando assim em uma superfície lisa.

Os revestimentos serão iniciados, após, a completa cura da argamassa das alvenarias, e o embutimento das canalizações hidrossanitárias e tubulações elétricas. No banheiro e no peitoril da janela da cozinha, serão assentados azulejos de cor branca, com acabamento brilhante, da cerâmica.

## **2.9 Esquadrias**

As portas e janelas externas, serão em madeira certificada, nas dimensões de projeto. A colocação e montagem das esquadrias deverão, ser feitas de modo a apresentarem um perfeito prumo, nível e esquadro.

Rebaixos, encaixes ou outros entalhes necessários para fixação das ferragens, serão nítidos, sem rebarbas e corresponderão exatamente as dimensões das ferragens.

Os marcos serão fixados nas alvenarias, com parafusos, nos tacos previamente embutidos na mesma. As portas internas de madeira receberão fechaduras tipo alavanca. As dobradiças, serão em aço inox, ou latão cromado, 3x2,5". Nas portas de abrir deverão, ser colocadas 3 (três) dobradiças por porta.

## **2.10 Pintura**

As alvenarias internas e externas, que não tiverem indicação de azulejo, receberão uma demão de selador acrílico. Após, a aplicação do fundo preparador, as alvenarias e vigas de fundações receberão acabamento em tinta acrílica semi-brilho, duas demãos.

## **2.11 Instalações elétricas e hidrossanitárias**

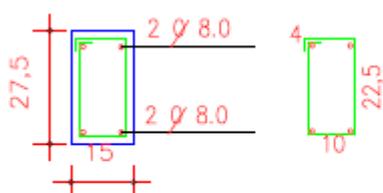
As instalações elétricas e hidrossanitárias serão executadas de acordo, com as recomendações dos fabricantes dos materiais empregados, além das normas da ABNT pertinentes.

## 2.12 Serviços finais

Ao final dos serviços serão removidos totalmente os entulhos.

## 3. PROJETO ESTRUTURAL

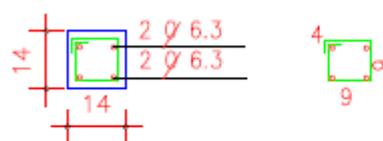
### VIGA ÁREAS



$$56 \bigcirc \varnothing 4.2 \text{ C / 15}$$

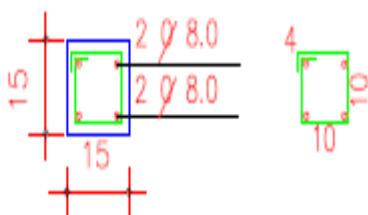
$$L = 73$$

### VIGA RESPALDO



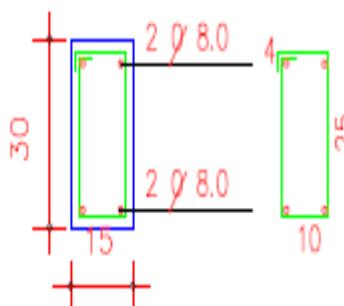
$$129 \bigcirc \varnothing 4.2 \text{ C / 30}$$

$$L = 44$$



$$18 \bigcirc \varnothing 4.2 \text{ C / 15}$$

$$L = 48$$



$$314 \bigcirc \varnothing 4.2 \text{ C / 15}$$

$$L = 78$$