

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ENERGIA INCORPORADA DE VEDAÇÕES PARA HABITAÇÃO DE  
INTERESSE SOCIAL CONSIDERANDO-SE O DESEMPENHO  
TÉRMICO. ESTUDO DE CASO COM UTILIZAÇÃO DO *LIGHT  
STEEL FRAME* NO ENTORNO DO DF**

**CRISTIAN DAVID URIBE PALACIO**

**ORIENTADORA: ROSA MARIA SPOSTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM-005A/13**

**BRASÍLIA/DF: ABRIL - 2013**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ENERGIA INCORPORADA DE VEDAÇÕES PARA HABITAÇÃO DE  
INTERESSE SOCIAL CONSIDERANDO-SE O DESEMPENHO TÉRMICO.  
ESTUDO DE CASO COM UTILIZAÇÃO DO *LIGHT STEEL FRAME* NO  
ENTORNO DO DF**

**ARQ. CRISTIAN DAVID URIBE PALACIO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE  
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO  
DO GRAU DE MESTRE EM CONSTRUÇÃO CIVIL.

**APROVADA POR:**

---

**ROSA MARIA SPOSTO, DSc (ENC-UnB)**  
(Orientadora)

---

**MICHELE TEREZA MARQUES CARVALHO, DSc. (PECC - UnB)**  
(Examinadora Interna)

---

**DIRCEU MEDEIROS DE MORAIS, DSc. (UFRR)**  
(Examinador Externo)  
**BRASÍLIA/DF 26 DE ABRIL DE 2013**

## FICHA CATALOGRÁFICA

URIBE, PALACIO CRISTIAN DAVID

Análise Térmica e Energia Incorporada de Vedações para Habitações de Interesse Social.  
Estudo de Caso com Utilização do Steel Frame no Entorno do DF.

xv, 108p. 210x297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Construção civil, 2013).

Dissertação de mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- |                            |                                    |
|----------------------------|------------------------------------|
| 1. Vedação com steel frame | 2. Avaliação de desempenho térmico |
| 3. Massa do sistema        | 4. Análise energético ambiental    |
| I. ENC/FT/UnB              | II. Título (série)                 |

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

URIBE, P. C. D. (2013) Análise Térmica e Energia Incorporada de Vedações para Habitações de Interesse Social. Estudo de Caso com Utilização do Steel Frame no Entorno do DF. Dissertação de Mestrado em Construção Civil, Publicação E.DM-005A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 108p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Cristian David Uribe Palácio

TÍTULO: Análise Térmica e Energia Incorporada de Vedações para Habitações de Interesse Social. Estudo de Caso com Utilização do Steel Frame no Entorno do DF.

GRAU: Mestre

ANO: 2013

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma cópia para esta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Cristian David Uribe Palacio  
Medellín - Antioquia - Colômbia  
E-mail: [daviduribe77@hotmail.com](mailto:daviduribe77@hotmail.com)

A las personas que son el motor que impulsa mi vida.

A mi hijo Isaac, por ser la alegría de mi vida y fuente  
de inspiración para ser mejor cada día.

A mis Padres por apoyar mis sueños, por ser mi guía y mi  
refugio constante.

A mis cuatro hermanos.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por me permitir obter o título de Mestre em Construção Civil na Universidade de Brasília (UnB).

À minha orientadora Rosa Maria Sposto pela disponibilidade, compreensão, disposição e estímulo na orientação deste trabalho e pelos conhecimentos compartilhados.

À Luz Marina Giraldo pelo amor, incentivo, força, respeito e carinho.

Ao professor Hernán Martínez pelo estímulo desde o meu ingresso no programa de mestrado e pela sua amizade.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil pelos conselhos, ajudas e pelo conhecimento disseminado. À Universidade de Brasília e seu Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa que viabilizou a realização desta pesquisa. Ao BRASIL, sua gente e cultura pela experiência inefável de ter me acolhido no seu território.

Aos colegas do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Construção Civil pelas lições e amizade, em especial à Silvano Pereira que além de um exemplo de vida, se tornou um grande amigo.

Para a “Comarca” Milton, Sergio, Tígia em especial Sabrina Steinke, sempre presentes em qualquer momento. À Ana Carolina Maciel pela disposição e carinho na revisão ortográfica e gramatical deste trabalho. Aos meus amigos Mabel, Cristiane, Gabriel, Barbara, Gustavo, Halley, Ricardo, Henrique, Tatiana, Hannara, Mabel, Rudi, Cleber, Fabio. Peço desculpas se esqueci de mencionar alguém.

A todos os que direta ou indiretamente colaboraram na realização deste trabalho.

## RESUMO

A indústria da construção civil é consumidora de grande quantidade de recursos, incluindo matéria prima, energia, água, alguns não renováveis. Em relação aos elementos da habitação de interesse social, a alvenaria de vedação apresenta-se como um dos itens de maior impacto ambiental, devido à quantidade de materiais e energia consumidos. A fim de suprir o déficit habitacional nacional atual, por meio da construção de Habitações de Interesse Social (HIS), vários sistemas industrializados estão sendo utilizados para substituir o sistema convencional de vedações, entre os quais pode ser citado o *Light Steel Frame* (LSF). Conhecer as características térmicas e os valores de energia incorporada dos materiais que compõem estes sistemas de vedação permite realizar/projetar construções mais sustentáveis do ponto de vista da energia desde a fase de projeto. Neste trabalho foi feito um levantamento e análise da Energia Incorporada (EI) da fase de pré-uso (extração, fabricação dos materiais e transporte ao canteiro) do *Light Steel Frame*, com cinco diferentes composições de revestimento e dois tipos de isolante térmico. Como revestimento externo considerou-se placa cimentícia e *siding* vinílico. Desta forma, o escopo desta pesquisa é a EI na fase de pré-uso considerando a transmitância térmica e a capacidade térmica como função principal da vedação. Visando atender a função da vedação quanto ao desempenho térmico, foi realizado um estudo piloto das composições consideradas no estudo, de acordo com as normas ABNT NBR 15575 (2013) e NBR 15220 (2005). O sistema constituído por Bloco Cerâmico Estrutural foi considerado como referência comparativa. A pesquisa foi feita por meio de um estudo de caso de um projeto de HIS do entorno do DF. Para o levantamento da EI da indústria utilizaram-se dados secundários de extração de matéria prima e fabricação dos materiais; a EI do transporte foi calculada segundo o local de implantação da HIS considerada como estudo de caso. Como resultados foram apresentados valores de Massa por m<sup>2</sup> e pelo total da habitação, valores de Energia Incorporada por m<sup>2</sup> e pelo total da habitação. Das cinco composições estudadas, apenas uma atendeu aos critérios das normas citadas. Em relação à massa, observou-se que o LSF possui valores em torno de 60% menores que a VC e em relação à EI, apresentou valores 30% maiores que o VC. Este trabalho traz subsídios à especificação de elementos de vedação industrializados para a habitação de interesse social.

## ABSTRACT

The construction industry is consumer of a large amounts of resources, including raw materials, energy and water, some non-renewable. Regarding the elements of social housing, the masonry presents itself as one of the items of greatest environmental impact, because the amount of materials and energy consumed. In order to reduce the current national housing deficit, trough the constructions of housing, several industrialized systems are being used to replace the conventional system of masonries, among them may be mentioned the Light Steel Frame (LSF), that is a light masonry. Knowing the thermal characteristics and values of embodied energy of the materials that composes these light masonry systems allows to make more sustainable buildings since the design phase. This research presents collection and analysis of embodied energy (EI) of the Light Steel Frame, with five different covering compositions, and two types of insulation nucleus. As outside covering was considered cement board and vinyl siding. The scope of this research is the embodied energy in the pre-use phase considering the thermal transmittance and the thermal capacity of the masonry as main function. Aiming to fulfill the function of the light masonry on a thermal performance, was conducted a pilot study of the compositions considered in the study, according to ABNT NBR 15575 (2013) and NBR 15220 (2005). The system consists of Structural Ceramic Block was considered as a comparative reference. A case study was considered in this research. To EI collection was used secondary data from raw material extraction and manufacturing. The transportation of materials was calculated according the local of the case study. As results, were presented values of Mass per m<sup>2</sup> and per total housing, values of Embodied Energy per m<sup>2</sup> and per total housing. Of the five compositions studied, only one reach the criteria of the standards indicated. Regarding the Mass, it was observed that the LSF has values around 60% lower than the CV and towards EI values were 30% higher than VC. This work contributes to better specification of masonry elements for social housing.

## SUMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	17
1.2	OBJETIVO .....	18
1.3	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO .....	19
1.4	LIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	20
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>21</b>
2.1	SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL E PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS.....	21
2.2	O CICLO DE VIDA (ACV).....	26
2.2.1	Metodologia de análises da ACV .....	29
2.3	CICLO DE VIDA ENERGÉTICO E ENERGIA INCORPORADA .....	33
2.3.1	Energia Incorporada (EI) .....	34
2.3.2	Consumo de Energia em Transportes .....	38
2.3.3	Energia de Manutenção .....	40
2.3.4	Energia Operacional .....	40
2.3.5	Energia de Desconstrução .....	41
2.4	DESEMPENHO TÉRMICO DAS VEDAÇÕES.....	41
2.4.1	Propriedades Térmicas dos Materiais.....	41
2.4.2	Transmitância Térmica (U) .....	42
2.4.3	Capacidade Térmica (CT) .....	43
2.4.4	Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	44
<b>3</b>	<b>O SISTEMA LIGHT STEEL FRAME (LSF) E SEUS ELEMENTOS DE VEDAÇÃO VERTICAL.....</b>	<b>47</b>
3.1	HISTÓRICO E ELEMENTOS CONSTITUINTES .....	47
3.2	PROCESSO DE PRODUÇÃO DE AÇO.....	49
3.3	ENERGIA UTILIZADA NA FABRICAÇÃO .....	52
3.4	ALTERNATIVAS DE ACABAMENTO PARA LSF .....	55
3.4.1	Placa de OSB .....	56
3.4.1.1	Matéria prima e demais componentes .....	56
3.4.1.2	Processo de Produção .....	57
3.4.1.3	Energia incorporada EI na fabricação e transporte.....	58
3.4.1.4	Vida útil e manutenção .....	59



3.4.1.5	Propriedades térmicas e dimensões .....	59
3.4.2	Placa de Gesso .....	60
3.4.2.1	Matéria-Prima e demais componentes.....	60
3.4.2.2	Processo de produção .....	61
3.4.2.3	Energia incorporada na fabricação e transporte. ....	62
3.4.2.4	Vida útil e manutenção .....	62
3.4.2.5	Propriedades térmicas e dimensões fornecidas. ....	63
3.4.3	Placa Cimentícia.....	63
3.4.3.1	Matéria-Prima e demais componentes.....	64
3.4.3.2	Processo de produção .....	64
3.4.3.3	Energia Incorporada (EI) na fabricação e Transporte .....	65
3.4.3.4	Vida útil e manutenção .....	66
3.4.3.5	Propriedades térmicas e dimensões .....	67
3.4.4	Siding Vinílico.....	68
3.4.4.1	Matéria-Prima e demais componentes.....	68
3.4.4.2	Processo de produção .....	68
3.4.4.3	Energia Incorporada (EI) na fabricação.....	69
3.4.4.4	Vida útil e manutenção .....	69
3.4.4.5	Dimensões .....	69
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>71</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	71
4.2	ETAPAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS NO ESTUDO.....	72
4.3	ESTUDO DE CASO.....	75
4.3.1	Localização, Implantação e Tipologia.....	75
4.4	DESCRIÇÃO DOS MODELOS ANALISADOS DE VLSF .....	77
4.4.1	Descrição e valores adotados para os cálculos da Vedação Convencional VC (Referência) .....	85
<b>5</b>	<b>ANALISES E RESULTADOS .....</b>	<b>87</b>
5.1	ESTUDO PILOTO PARA VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE VLSF COMPARATIVAMENTE A VC .....	87
5.1.1	DISCUSSÃO SOBRE OS MODELOS DE VLSF .....	88
5.2	RESULTADOS .....	89
5.2.1	RESULTADOS DO LIGHT STEEL FRAME.....	90
5.2.1.1	Transmitância e Capacidade Térmica de VLSF.....	90

5.2.1.2	Valores de massa dos sistemas de VLSF e VC .....	92
5.2.1.3	Energia Incorporada em transportes .....	92
5.2.1.4	Energia Incorporada do Sistema.....	93
5.2.2	COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS.....	95
5.2.2.1	Valores de U e CT .....	95
5.2.2.2	Valores de massa .....	96
5.2.2.3	Valores de energia incorporada .....	97
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>98</b>
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	100
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>101</b>
	<b>APENDICES.....</b>	<b>108</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 2.1</b> - DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE. ....	22
<b>FIGURA 2.2</b> - CICLO DE PRODUÇÃO SEMIFECHADO. ....	23
<b>FIGURA 2.3</b> - OFERTA DE ENERGIA NO MUNDO. ....	24
<b>FIGURA 2.4</b> - MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA - CAPACIDADE INSTALADA. ....	25
<b>FIGURA 2.5</b> - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR TIPO DE COMBUSTÍVEL. ....	25
<b>FIGURA 2.6</b> - CONSUMO DE ENERGIA NOS SETORES LIGADOS À CONSTRUÇÃO CIVIL. ....	26
<b>FIGURA 2.7</b> - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ACV DE UMA EDIFICAÇÃO. ....	27
<b>FIGURA 2.8</b> - ESTRUTURA DE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA. ....	29
<b>FIGURA 2.9</b> - CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO. ....	33
<b>FIGURA 2.10</b> - ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DE BRASIL. ....	45
<b>FIGURA 2.11</b> – LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE LUZIÂNIA NO ESTADO DE GOIÁS. ....	46
<b>FIGURA 3.1</b> - SISTEMA CONSTRUTIVO LWF. ....	47
<b>FIGURA 3.2</b> - LINHA DE MONTAGEM DE MÓDULOS RESIDENCIAIS NO JAPÃO. ....	48
<b>FIGURA 3.3 (A)</b> - DESENHO ESQUEMÁTICO DE LSF (CRASTO E FREITAS, 2006); <b>(B)</b> - PROCESSO CONSTRUTIVO ESTRUTURA VERTICAL EM LSF (ARQUIVO DO AUTOR). ....	48
<b>FIGURA 3.4</b> - SEQUÊNCIA DE MONTAGEM LSF. ....	49
<b>FIGURA 3.5</b> - FLUXO SIMPLIFICADO DE PRODUÇÃO DE AÇO. ....	50
<b>FIGURA 3.6</b> - PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PVC. ....	69
<b>FIGURA 4.1</b> - MACRO ETAPAS DO ESTUDO. ....	72
<b>FIGURA 4.2</b> - DETALHAMENTO DAS ETAPAS DO ESTUDO. ....	73
<b>FIGURA 4.3</b> - ORGANIZAÇÃO METODOLÓGICA DA ELABORAÇÃO DO ESTUDO. ....	74
<b>FIGURA 4.4</b> - LOCALIZAÇÃO NA MALHA URBANA DO ESTUDO DE CASO. ....	75
<b>FIGURA 4.5</b> - PLANTA GERAL DA HABITAÇÃO, LOCALIZAÇÃO E DIMENSÕES. ....	76
<b>FIGURA 4.6</b> - PLANTA TÍPICA DA HIS. ....	77
<b>FIGURA 4.7</b> - VARIÁVEIS INDEPENDENTES E DEPENDENTES. ....	77
<b>FIGURA 4.8</b> - MODELO 1 EM VLSF. ....	79
<b>FIGURA 4.9</b> - MODELO 2 DE VLSF. ....	80
<b>FIGURA 4.10</b> - MODELO 3 DE VLSF. ....	80
<b>FIGURA 4.11</b> - MODELO 4 DE VLSF. ....	81
<b>FIGURA 4.12</b> - MODELO BIBLIOGRÁFICO EM VLSF. ....	81
<b>FIGURA 4.13</b> - MODELO PARA GUIA EM STEEL FRAME. ....	83
<b>FIGURA 4.14</b> - MODELO PARA MONTANTE EM STEEL FRAME. ....	83

<b>FIGURA 4.15</b> - DISTRIBUIÇÃO DOS PARAFUSOS NA PAREDE SISTEMA STEEL FRAME. ....	84
<b>FIGURA 4.16</b> - MODELO DE VEDAÇÃO CONVENCIONAL. ....	85
<b>FIGURA 4.17</b> – MODELO DE HABITAÇÃO ADOTADO NO ESTUDO. ....	86
<b>FIGURA 5.1</b> - TRANSMITÂNCIA TÉRMICA U EM [W/(M <sup>2</sup> .K)] DOS MODELOS DE LSF E VC .....	88
<b>FIGURA 5.2</b> – CAPACIDADE TÉRMICA CT, EM [KJ/(M <sup>2</sup> .K)] DOS MODELOS DE LSF E DA VC.	89
<b>FIGURA 5.3</b> - ENERGIA INCORPORADA DOS MATERIAIS. ....	94
<b>FIGURA 5.4</b> - COMPARAÇÃO DE TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DOS SISTEMAS. ....	95
<b>FIGURA 5.5</b> - COMPARAÇÃO DE CAPACIDADE TÉRMICA DOS SISTEMAS. ....	96
<b>FIGURA 5.6</b> - MASSA POR M <sup>2</sup> DOS SISTEMAS DE VEDAÇÃO. ....	97
<b>FIGURA 5.7</b> - ENERGIA INCORPORADA POR M <sup>2</sup> DOS SISTEMAS. ....	97

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 2.1</b> - APLICABILIDADE DA ACV NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	29
<b>TABELA 2.2</b> - CATEGORIAS DE IMPACTO. ....	31
<b>TABELA 2.3</b> - ENERGIA INCORPORADA (EI) EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÕES BRASILEIROS. .....	35
<b>TABELA 2.4</b> - ENERGIA INCORPORADA EM COMPONENTES DE ALVENARIA.....	37
<b>TABELA 2.5</b> - ENERGIA INCORPORADA EM ARGAMASSAS (A). ....	37
<b>TABELA 2.6</b> - CONSUMO ENERGÉTICO ASSOCIADO A OS MÉDIOS DE TRANSPORTE. ....	38
<b>TABELA 2.7</b> - ATIVIDADES DE TRANSPORTE PRESENTES NAS DIFERENTES ETAPAS DO CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO. ....	39
<b>TABELA 2.8</b> - DESEMPENHO MÍNIMO DE TRANSMITÂNCIA TÉRMICA PARA VEDAÇÃO EXTERNA. .....	42
<b>TABELA 2.9</b> - CRITÉRIO E NÍVEL DE DESEMPENHO DE PAREDES EXTERNAS QUANTO À CAPACIDADE TÉRMICA.....	43
<b>TABELA 2.10</b> - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS VC.....	44
<b>TABELA 2.11</b> - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS LSF. ....	44
<b>TABELA 3.1</b> - REVESTIMENTO MÍNIMO DOS PERFIS ESTRUTURAIS E NÃO ESTRUTURAIS.....	52
<b>TABELA 3.2</b> - ENERGIA INCORPORADA DO AÇO. ....	52
<b>TABELA 3.3</b> - DIMENSÕES NOMINAIS DOS PERFIS DE AÇO PARA LSF. ....	53
<b>TABELA 3.4</b> - PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO PARA LSF. ....	55
<b>TABELA 3.5</b> - PROPRIEDADES FÍSICAS PLACAS DE OSB.....	60
<b>TABELA 3.6</b> - PROPRIEDADES FÍSICAS PLACAS DE GESSO. ....	63
<b>TABELA 3.7</b> - PROPRIEDADES FÍSICAS E APLICAÇÕES DE PLACAS CIMENTÍCIAS. ....	67
<b>TABELA 3.8</b> - DIMENSÕES DOS COMPONENTES DE REVESTIMENTO.....	70
<b>TABELA 4.1</b> - SEQUÊNCIA DE CÁLCULOS. ....	75
<b>TABELA 4.2</b> - VARIÁVEIS DOS MODELOS DE VLSF. ....	78
<b>TABELA 4.3</b> - LISTAGEM DE MATERIAIS DO MODELO 1. ....	82
<b>TABELA 4.4</b> - QUANTITATIVO DE MATERIAIS POR MODELO. ....	82
<b>TABELA 4.5</b> - TIPOS DE PARAFUSOS UTILIZADOS NO SISTEMA STEEL FRAME. ....	84
<b>TABELA 4.6</b> - VALORES DE EI ADOTADOS PARA AS (VLSF) NAS PLANILHAS DE CALCULO. .	85
<b>TABELA 4.7</b> - VALORES DE EI ADOTADOS PARA AS (VC) NAS PLANILHAS DE CALCULO.....	86
<b>TABELA 5.1</b> - VALORES OBTIDOS DE U NOS MODELOS DE VLSF E VC.....	87
<b>TABELA 5.2</b> - VALORES OBTIDOS DE CT NOS MODELOS DE VLSF E VC. ....	87

<b>TABELA 5.3</b> - VARIÁVEIS DO MODELO 1 DE VLSF. ....	90
<b>TABELA 5.4</b> - TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DOS SISTEMAS. ....	91
<b>TABELA 5.5</b> - CAPACIDADE TÉRMICA DOS SISTEMAS EM <i>STEEL FRAME</i> . ....	91
<b>TABELA 5.6</b> - VALORES DE MASSA POR M <sup>2</sup> DOS SISTEMAS ANALISADOS. ....	92
<b>TABELA 5.7</b> - VALORES DE MASSA POR HABITAÇÃO DOS SISTEMAS ANALISADOS. ....	92
<b>TABELA 5.8</b> - ENERGIA INCORPORADA NO TRANSPORTE DE MATERIAIS POR M <sup>2</sup> PARA VLSF. .....	93
<b>TABELA 5.9</b> - ENERGIA INCORPORADA NO TRANSPORTE DE MATERIAIS POR M <sup>2</sup> PARA VC.....	93
<b>TABELA 5.10</b> - ENERGIA INCORPORADA POR M <sup>2</sup> DOS SISTEMAS ANALISADOS. ....	94
<b>TABELA 5.11</b> - ENERGIA INCORPORADA POR HABITAÇÃO DOS SISTEMAS ANALISADOS. ....	95

## LISTA DE SIGLAS

ACV	Análises do Ciclo de Vida
ACVE	Análise de Ciclo de Vida Energético
AICV	Avaliação do impacto do ciclo de vida.
APA	The Engineered Wood Association
BMB	Balanço mineral Brasileiro
C	Calor específico
CPIC	Ciclo de produção na Indústria da construção
CRFS	Cimento Reforçado com Fios Sintéticos
$C_{TC}$	Capacidade Térmica por Camadas
CT	Capacidade Térmica Total
e	Condutividade térmica
EI	Energia Incorporada
$EI_F$	Energia Incorporada na Fabricação
$EI_t$	Energia Incorporada em transportes
$EI_{TOT}$	Energia Incorporada Total
HIS	Habitacões de interesse social
ICV	Inventário do ciclo de vida
IEA	International Energy Agency
LSF	Light Steel Frame
M	Massa Kg
$\rho$	Densidade de massa aparente
PCT	Processo construtivo total
PMCMV	Programa Minha casa, Minha Vida
RT	Resistência térmica
TEP	Toneladas equivalentes de petróleo
U	Transmitância térmica
VUP	Vida útil de projeto

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da humanidade tem gerado consideráveis danos ambientais, tais como poluição da água e do ar, aquecimento global, desaparecimento de espécies, desmatamento e desertificação. Este processo tem causado impactos negativos sobre o meio ambiente, além de contribuir para o aumento excessivo no consumo de recursos, tais como, materiais, energia e água.

O setor da construção civil tem desenvolvido um papel significativo para o alcance de sociedades mais sustentáveis, considerando-se as dimensões ambientais, econômicas e sociais. No entanto, o grande volume de recursos consumidos por este setor e, conseqüentemente de resíduos gerados, aponta a necessidade de pesquisas nos aspectos ambientais.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2012) os aspectos ambientais são principalmente afetados pelo aumento do padrão de consumo que necessita de mais recursos e gera um volume cada vez maior de resíduo. Um exemplo importante são os Estados Unidos, que com 4% da população mundial, produz mais de 20% de CO<sub>2</sub>; 20% da população rica consome mais de 80% da energia comercial e matérias primas, 20% da população com menos recursos consome só 1% daqueles recursos.

No Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, os impactos ambientais do setor da construção civil são potencializados devido a sua associação com outros problemas críticos de ordem econômica e social. O déficit habitacional talvez seja um dos maiores problemas, no escopo direto desse setor (KUNH, 2006).

No início do século XXI, com a troca de governo no Brasil, uma das principais metas nas políticas públicas é a erradicação da pobreza extrema, sendo um dos principais objetivos, atingir as necessidades habitacionais da população mais pobre. De acordo com o Ministério das Cidades do Brasil e a fundação João Pinheiro, para o ano 2008, o Brasil apresentava um déficit de 5,5 milhões de habitações. Um dos programas onde se tem investido uma grande quantidade de recursos é o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), iniciado em 2009. Neste programa, os investimentos têm sido altos, e observa-se que há uma tentativa de substituição do Sistema Convencional de Edificar por novos sistemas que permitam maior racionalização dos recursos e aumento da velocidade de construção.



Profissionais da área acreditam que um plano desse porte só funcionará com a adoção da construção industrializada. Entre sistemas construtivos industrializados pode ser citado o *Light Steel Frame*, que segundo a Caixa Econômica Federal apresenta requisitos mínimos de desempenho estrutural, segurança ao fogo, e durabilidade, entre outros. Mas não são apresentados requisitos de sustentabilidade ambiental como a Energia Incorporada dos materiais, análise que pode ser aplicada para os materiais constituintes da vedação de habitações e edificações. CBCA, 2003.

A ABNT NBR 15575 (2013), recomenda um desempenho térmico mínimo nas vedações e cobertura de qualquer tipo de edificação incluindo as HIS. Isto significa que estas devem satisfazer a exigência mínima de habitabilidade. Desta forma, além de avaliar a energia incorporada nas várias fases do ciclo de vida, deve-se considerar que as vedações possuam um desempenho térmico mínimo.

No Brasil tem-se pouca informação nesta área, por isso a importância da realização de um estudo que avalie o Ciclo de Vida Energético (ACVE) das habitações, e o cumprimento mínimo da normativa Brasileira. Para isso foi realizado um estudo de caso e tomou-se como base um projeto de uma habitação tipo, situado em Luziânia-GO, entorno de Brasília – DF. Este local foi escolhido devido ao interesse do empresário na obtenção de dados para seus projetos, e a região onde se encontra localizado o projeto apresenta características ideais para a análise de desempenho térmico, pois ao atender nesta região os parâmetros mínimos recomendados pela ABNT NBR 15575 (2013), cumpre-se com os requisitos necessários para sua execução em qualquer zona bioclimática do território Brasileiro.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

No Brasil há poucos dados sobre o ciclo de vida das edificações em geral e das HIS, considerando-se desde a extração de materiais até a desconstrução. Pelo qual ainda, é praticada a compra de materiais pelo menor preço, deixando de lado a sustentabilidade do mesmo.

Com o Análise de Ciclo de Vida dos valores de energia (altos ou baixos) ACVE, comparados aos de outras tipologias habitacionais de mesmo padrão, podem ser feitas reformulações do protótipo em estudo e/ou para o desenvolvimento de novas propostas para HIS ambientalmente mais sustentáveis e com custos admissíveis para o contexto

nacional. Além disso, a avaliação dos materiais permite identificar as soluções adotadas em diferentes subsistemas com potenciais de impactos ambientais mais significativos e os aspectos determinantes para essa condição. (KUHN, 2006)

Tavares (2006) aponta seis dos setores industriais de maior consumo energético no país: cimento, cerâmica, metais não ferrosos, aço, química e mineração, que estão relacionados à Indústria da Construção Civil. Estes setores em conjunto usam 75% de fontes não renováveis.

Entre os setores diretamente ligados à Construção Civil; residencial, comercial e público, destaca-se a relevância em termos energéticos do setor residencial, por consumir o equivalente à soma dos setores comercial e público em todas as fontes de energia (BRASIL, 2005a).

Diante do exposto, ressalta-se a importância de realizar levantamento e análise da energia incorporada de HIS no Brasil, que trará subsídios à inserção do consumo energético como um dos critérios para a escolha de materiais em projeto.

Nabut Neto (2011) analisou a energia incorporada de  $1\text{m}^2$  de fachada para edificações aplicando o sistema *Steel Frame*, comparativamente a fachada convencional.

A partir desta pesquisa espera-se determinar quais são as vedações em Light Steel Frame (LSF) que cumprem com o desempenho térmico descrito na ABNT NBR 15575 (2013) e qual a quantidade de energia incorporada aplicada nos sistemas analisados.

## **1.2 OBJETIVO**

Este trabalho tem como objetivo geral subsidiar estudos de sustentabilidade energético-ambiental de Habitação de Interesse Social (HIS), especialmente no que se refere a energia e massa consumidos na fase de pre-uso, visando à utilização de elementos industrializados de vedação vertical para o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). O elemento em estudo é o *light steel frame*. Será utilizado como parâmetro de comparação o sistema convencional, constituído por alvenaria de blocos cerâmicos estruturais.

### **Objetivos específicos:**

- a) Desenvolver um estudo piloto para análise do desempenho térmico de vedações de HIS com uso de cinco diferentes composições do LSF (VLSF) comparativamente com a vedação convencional (VC), e tomando-se como base os critérios da ABNT NBR 15575 (2013). Foram analisados cinco modelos, considerando-se o revestimento externo fixo de placa cimentícia e *Siding* vinílico e com as seguintes variações de revestimento interno e miolo isolante:

Placa de gesso acartonado;

Placa cimentícia;

Poliestireno expandido (EPS);

Lã mineral.

Foi também considerado o uso de OSB para estruturação do sistema VLSF.

Para as composições que atenderam os critérios da norma citada, foram considerados:

- b) Levantar e comparar os valores de massa (M) por  $m^2$  ( $kg/m^2$ ) e pelo total da habitação (kg/por habitação);
- c) Levantar e comparar a Energia Incorporada por metro quadrado  $EIm^2$  ( $MJ/kg/m^2$ ) e por habitação  $EIh$  ( $MJ/hab$ ), e Energia incorporada em transportes  $EIt$  ( $MJ/Km/Ton$ )
- d) Discutir as soluções encontradas, considerando-se a vedação convencional (VC) como comparativo para a Massa e a EI.

### **1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO**

O trabalho está dividido nas seguintes etapas:

- Introdução: neste item é apresentado a justificativa, os objetivos e a estruturação do trabalho;
- Revisão bibliográfica: neste item é apresentada uma revisão dos assuntos pertinentes ao estudo, abrangendo os principais conceitos;
- Metodologia: neste item é apresentada a metodologia utilizada para o presente trabalho;

- Análise e resultados: são apresentados os resultados obtidos;
- Referências Bibliográficas.

#### **1.4 LIMITAÇÃO DO TRABALHO**

No desenvolvimento desta pesquisa e considerando-se as restrições de tempo, foi necessário assumir algumas premissas para a conclusão deste estudo. Listam-se a seguir dados relevantes que não constam nesta pesquisa, mas que devem ser foco de futuros trabalhos.

- Este trabalho teve como finalidade o levantamento da Energia Incorporada (EI) na fase pré-operacional entre diferentes elementos de vedação. Logo, a energia de manutenção, energia operacional, e energia de desconstrução não foram consideradas.
- Neste estudo só foram considerados os valores de EI na fase pré-operacional da Análise de Ciclo de Vida (ACV), abrangendo a fase de extração, transporte, fabricação dos materiais e transporte até o canteiro de obra. A fase de execução não foi considerada.
- A ABNT NBR 15220 (2005) considera três tipos de procedimentos para a análise térmica das vedações, no entanto, neste estudo, os procedimentos 02 e 03 que envolvem simulação computacional e medições in loco em edificações ou protótipos, respectivamente, não foram considerados neste estudo.
- Para o cálculo do consumo nos transportes de materiais considerou-se somente as distâncias médias, sendo que foram levantadas as distâncias dos centros de transformação dos materiais até o canteiro de obra, por ser o momento em que o caminhão encontra-se carregado gerando maior consumo de combustível.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA**

Atualmente, na construção civil, pode ser vista de forma lenta a substituição de materiais, componentes e sistemas construtivos que trazem maior racionalização e produtividade, o que permite a diminuição de prazos de entrega das edificações.

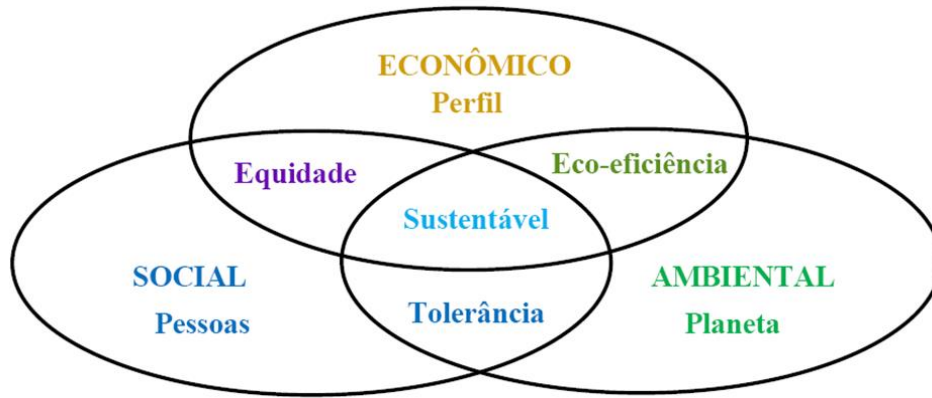
Com relação aos impactos ambientais, tem-se que os serviços de estruturas, alvenaria e revestimentos são os que mais impactam em termos de consumo de materiais e geração de resíduos, o que justifica a busca de novos elementos mais industrializados para vedação vertical e horizontal. (SPOSTO, 2007)

A especificação de materiais na fase de projeto é importante haja visto que é nesta hora que podem ser inseridos critérios de sustentabilidade para a edificação. Segundo Bessa (2010), o melhor momento para desenvolver metas de desempenho é o processo de projeto focado em desempenho eficaz, assim podem ser construídas edificações que utilizam menos energia sem sacrificar os requisitos programados.

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica do estudo e contextualizada a dimensão ambiental da sustentabilidade nas etapas que compõem uma ACVE aplicada a Construção Civil.

### **2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL E PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS**

A definição mundial de sustentabilidade ambiental é o desenvolvimento sustentável, o que significa um crescimento econômico sustentável. Nenhuma forma de crescimento econômico pode ser mantida indefinidamente. Além disso, o crescimento econômico atual acarreta degradação ao ambiente. O Programa das Nações Unidas para o Meio-Ambiente (UNEP 2007) apresenta os três pilares da sustentabilidade como uma ferramenta efetiva para definir o problema completo de sustentabilidade. Este é constituído pelos pilares econômico, social e ambiental (Figura 2.1). Se qualquer um dos pilares não for considerado, em seguida, o sistema como um todo, será insustentável.



**Figura 2.1** - Dimensões da sustentabilidade.

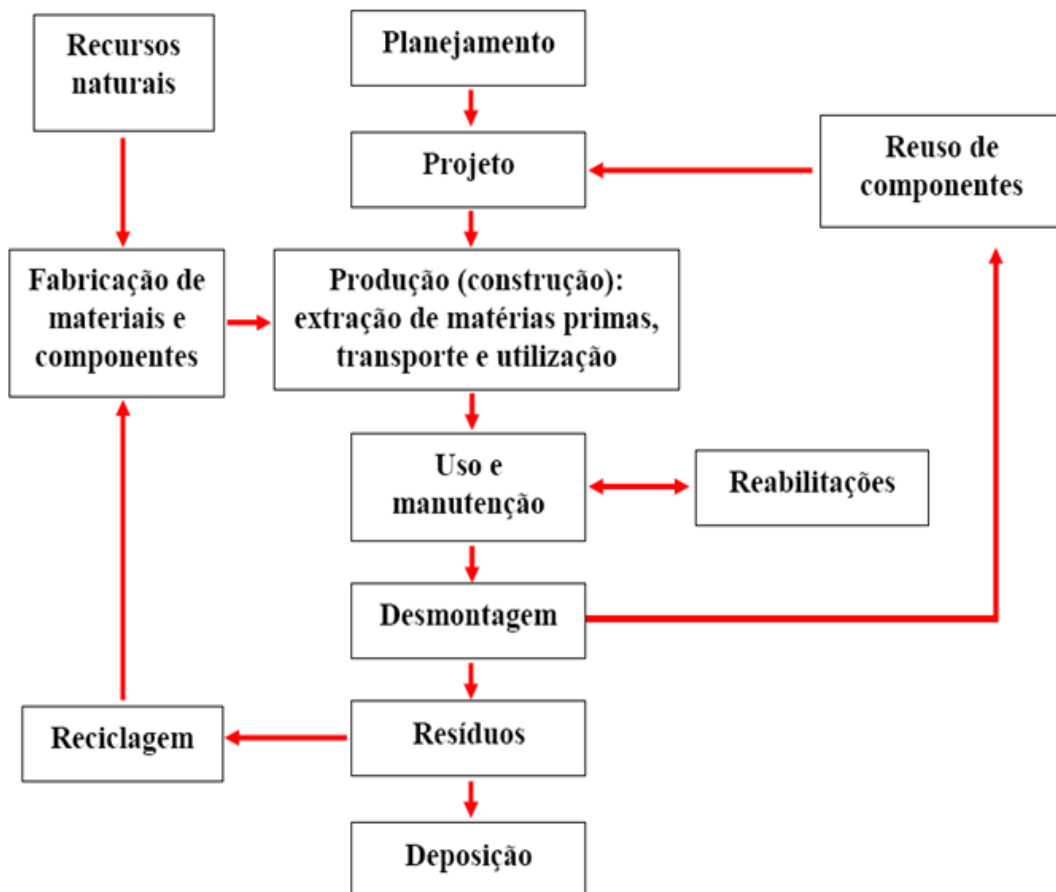
**Fonte:** UNEP, 2007.

Em 1992, o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) introduziu o conceito de eco-eficiência para destacar a ligação entre melhorias ambientais e benefícios econômicos ampliando a visão referente ao aspecto econômico que contem a atenção do pilar ambiental. Infelizmente a dimensão social não tem tido a mesma atenção.

De acordo com o *International Council For Research And Innovation In Building And Construction* (CIB, 1999), a construção civil é um extenso processo ou mecanismo para a elaboração de assentamentos humanos e criação de infraestrutura de suporte ao desenvolvimento. Isso inclui extração e beneficiamento dos recursos como matéria-prima, manufatura de materiais e componentes, projetos para construção e desconstrução, e administração e operação do ambiente construído. Logo, uma construção sustentável é uma contribuição para a diminuição da pobreza e aumento das condições para uma vida digna, suprindo as necessidades da geração presente sem comprometer as gerações futuras.

Feito um ciclo de vida detalhado na construção civil, estariam aplicados os princípios do desenvolvimento sustentável, de acordo com Tavares (2006), onde são considerados critérios ambientais no desenvolvimento do projeto, na extração de matérias primas, na produção de materiais, na técnica construtiva dos edifícios e na sua infraestrutura, até na sua desconstrução e no gerenciamento dos resíduos resultantes.

A construção sustentável pode permitir que o setor da construção civil se transforme num desenvolvimento sustentável. John (2011) descreve que o desenvolvimento do ciclo semifechado de produção (Figura 2.2) é um dos primeiros passos para o entendimento de ciclo fechado de sustentabilidade.



**Figura 2.2** - Ciclo de produção semifechado.  
**Fonte:** JOHN, 2000.

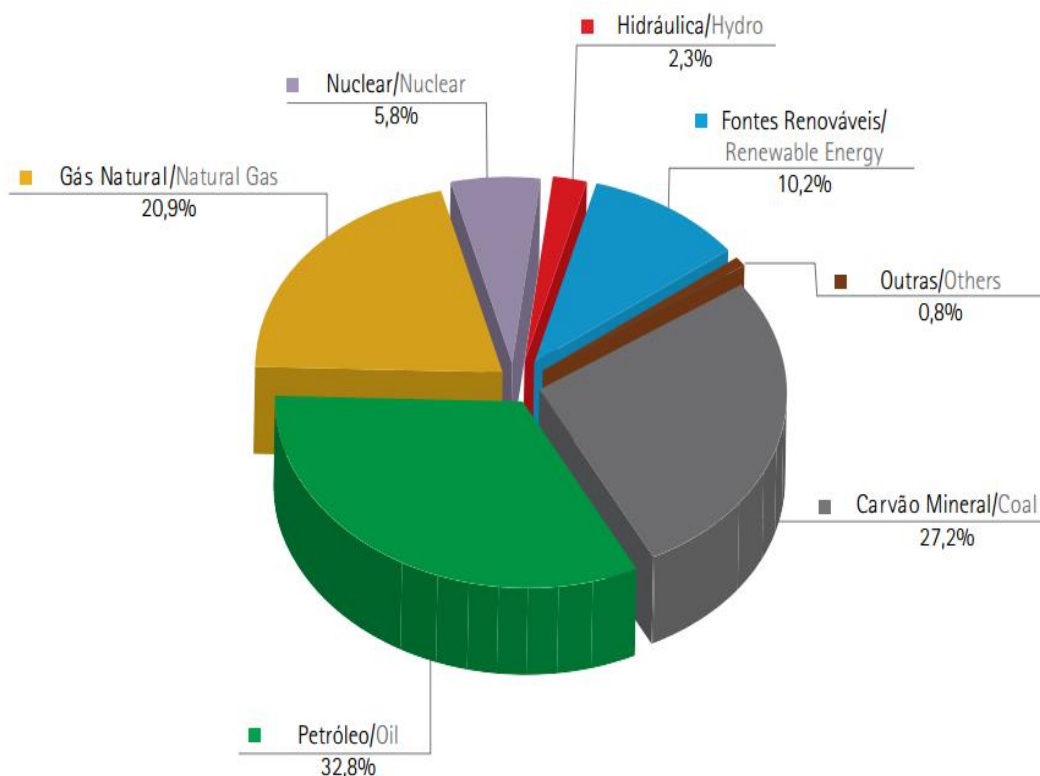
Campari (2006) comenta que a sustentabilidade de uma obra moderna é avaliada pela sua capacidade de responder de forma positiva aos desafios ambientais de sua sociedade, sendo ela mesma um modelo de solução, promovendo saúde e bem-estar aos seus ocupantes e moradores e preservando ou melhorando o meio ambiente. A finalidade de uma construção sustentável não é apenas preservar o meio ambiente, visa também melhorar a condição de vida do morador ou, no mínimo, minimizar os impactos gerados ao meio ambiente em seu processo de obtenção e fabricação, durante a aplicação e em sua vida útil.

Em relação ao uso de matéria prima, Peris (2005) *apud* Metha (2001) afirma que do volume total de matérias primas utilizada pelo homem, que fica perto de 500.000 milhões de toneladas por ano, só 6% desse material é transformado em produtos úteis, o resto volta para a natureza na forma de resíduos perigosos ou prejudiciais para o ambiente. A indústria da construção é responsável por 7% das emissões mundiais de CO<sub>2</sub>, devido principalmente à produção de concreto (aproximadamente 1 kg de CO<sub>2</sub> por Kg de cimento produzido).

O mesmo autor afirma que a forma mais eficiente para uma construção sustentável é a utilização de produtos de reciclagem tanto da construção como de outras atividades industriais, além da necessidade de escolha de materiais com maior durabilidade. Como exemplo, tem-se o uso de cinzas volantes e escória de aço como adição ao cimento na produção de concreto, o qual aumenta a sua durabilidade.

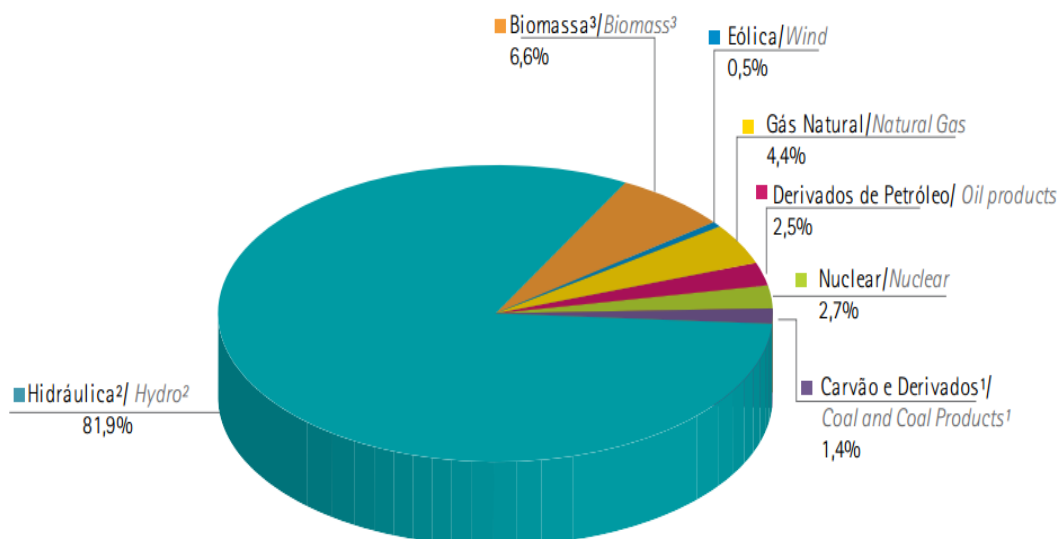
Nabut Neto (2010) comenta que do ponto de vista do impacto ambiental, a avaliação dos materiais de construção, destacando a vedação, deve considerar alguns aspectos principais, como: a) Fontes de energia utilizadas na fabricação; b) Energia incorporada dos materiais; c) Emissões de CO<sub>2</sub> na sua produção; d) Durabilidade; e) Desconstrução; f) Potencial de reciclagem; g) Fatores pós-obra.

Bermann (2003) afirma que há no Brasil diferentes formas de energia abundantes que podem ser utilizadas em grande escala, tais como derivados de: potencial hidroelétrico, potencial dos combustíveis fósseis como petróleo e gás natural, potenciais energéticos como os produtos obtidos na biomassa e o potencial eólico, pouco explorado no Brasil. Na Figura 2.3, apresenta-se a oferta de energia no mundo, em 2011, e na Figura 2.4, apresenta-se a oferta de energia interna no Brasil, em 2011.



**Figura 2.3** - Oferta de energia no mundo.  
**Fonte:** MME, 2011.

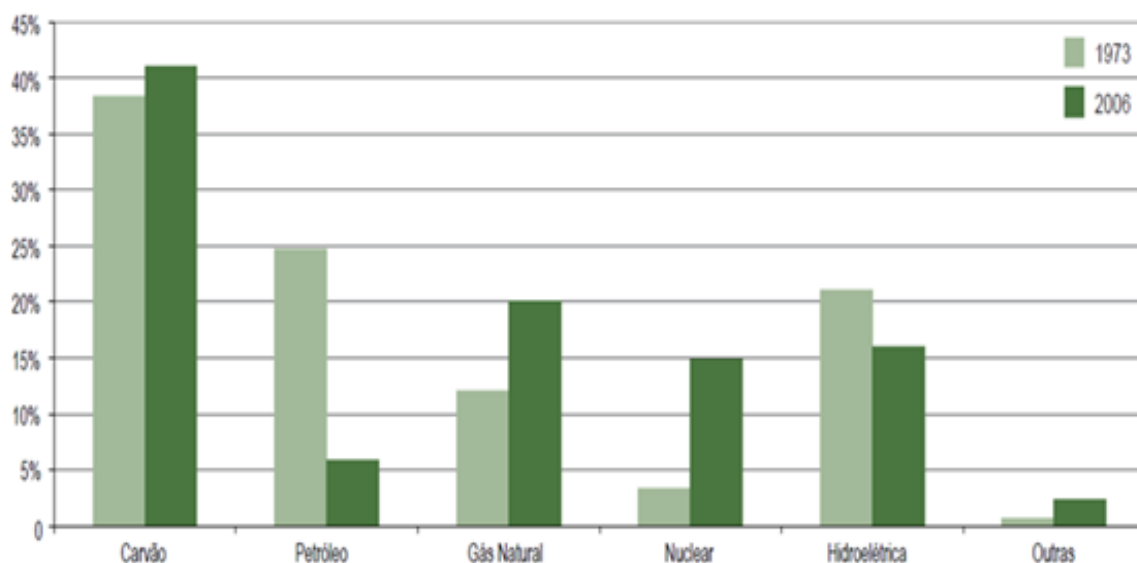




**Figura 2.4** - Matriz de energia elétrica Brasileira - Capacidade instalada.  
**Fonte:** MME, 2011.

- <sup>1</sup> Inclui gás de coqueria.
- <sup>2</sup> Inclui importação de eletricidade.
- <sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações.

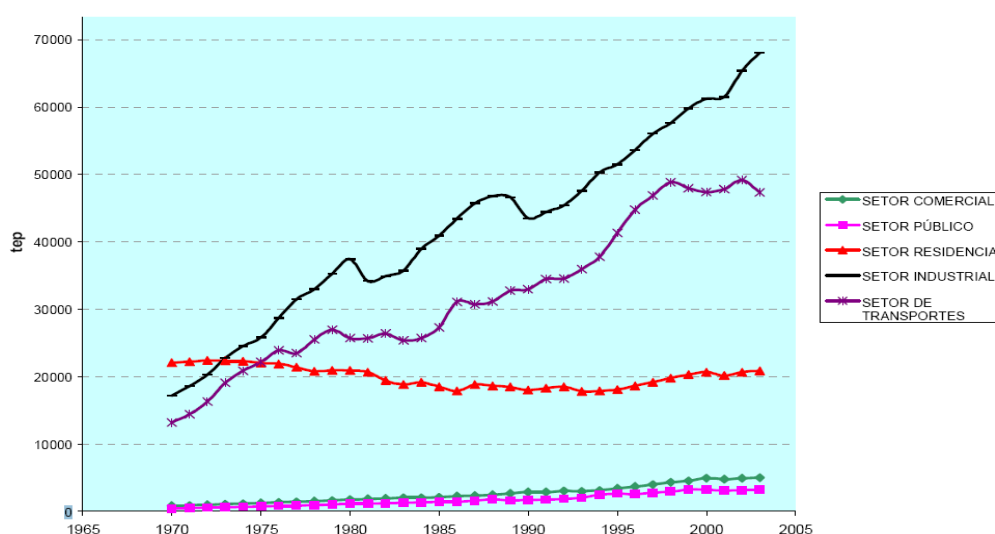
De acordo com dados da International Energy Agency (IEA, 2008), o carvão é a fonte mais utilizada para geração de energia elétrica no mundo, respondendo por 41% da produção total conforme apresenta a Figura 2.5.



**Figura 2.5** - Geração de energia elétrica por tipo de combustível.  
**Fonte:** IEA, 2008.

Na edificação se tem dois tipos de energia: Energia Operacional, que é aquela necessária para os processos que compreendem a etapa de uso da edificação como iluminação, operação de equipamentos, etc. e Energia Incorporada, que é aquela consumida nas etapas vinculadas ao processo de produção da edificação. Além disto, os processos envolvidos na renovação e manutenção dos edifícios também compõem a somatória da energia incorporada.

Embora o setor residencial até 2005 tenha apresentado um consumo estável, atualmente há previsão de uma mudança grande devido à necessidade de atendimento do déficit habitacional no Brasil, Figura 2.6.



**Figura 2.6** - Consumo de energia nos setores ligados à Construção Civil  
**Fonte:** TAVARES, 2006.

De acordo com Kumar et al. (2010) o setor da construção é um dos maiores consumidores de energia comercial em forma de eletricidade e calor, derivados diretamente da queima de combustíveis fósseis. O mesmo autor descreve que o conhecimento dos conteúdos de EI nos materiais de construção pode fomentar tanto a produção e desenvolvimento de materiais de baixa EI como também a sua preferência no projeto e construção já que este setor é responsável pelo consumo de 20% de combustível do mundo.

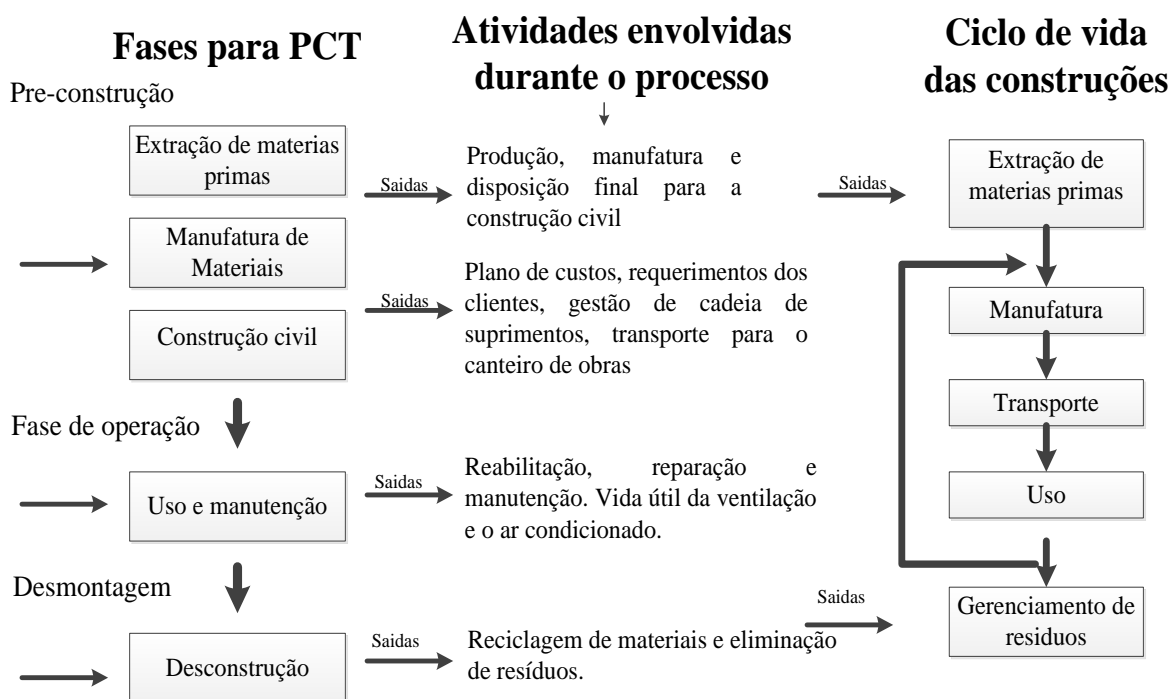
## 2.2 O CICLO DE VIDA (ACV)

ABNT NBR ISO 14040 (2001) define as análises do ciclo de vida (ACV) como as etapas inter-relacionadas de um sistema de produtos desde a aquisição da matéria prima, passando por produção, uso e disposição final, desta maneira o ciclo de vida fica necessariamente

relacionado com o impacto ambiental. A avaliação da ACV é a compilação e avaliação das entradas e saídas dos impactos ambientais potenciais causados pelo sistema de produto durante todo seu ciclo de vida.

Ortiz et al. (2009) comentam que pode se ter uma visão geral dos impactos ambientais causados durante o Processo Construtivo Total (PCT) de um determinado produto, seu tempo de vida e seus possíveis reusos após a desconstrução, se forem consideradas todas as fases dentro da ACV.

O ciclo de vida de HIS, portanto, englobam os processos de extração e transformação de matéria-prima, instalação, uso, demolição-desconstrução, reciclagem-reuso-disposição final desta, podendo ser um ciclo semifechado de produção, conforme apresentado na Figura 2.7.



**Figura 2.7** - Representação esquemática da ACV de uma edificação.

**Fonte:** Adaptado de ORTIZ et al, 2009.

Em países em desenvolvimento, os impactos ambientais do setor da construção civil tendem a ser ainda maiores, pela necessidade de suprir as carências de infraestrutura e habitacionais principalmente, o que demanda grande consumo de recursos naturais. Cada contexto permite que as construções sustentáveis assumam diferentes prioridades de acordo com o enfoque de cada país. Nesse sentido, as características como densidade

demográfica, nível de desenvolvimento econômico, padrão de vida da população, clima e matriz energética influenciam na determinação das metas nacionais (CIB, 1999).

Autores como Kuhn (2006) e Plessis (2002) ressaltam alguns dos obstáculos apresentados em países em desenvolvimento, tais como: Brasil, Colômbia, Equador, entre outros

- a) Carência de dados e de informações precisas, por exemplo, quanto aos impactos e desempenho dos materiais ao longo do seu ciclo de vida;
- b) Falta de interesse por parte dos agentes em questões de sustentabilidade. Essa característica está ligada ao fato da indústria da construção civil ser tradicionalmente conservadora. Além disso, as empresas seguem os padrões de consumo dos clientes, que geralmente cultuam a modernidade e os modelos de desenvolvimento dos países desenvolvidos;
- c) Ausência de confiança em soluções e tradições locais, que gera dependência tecnológica de países desenvolvidos e impede a criação e aprimoramento de suas próprias tecnologias;
- d) A falta de integração das pesquisas feitas nas diferentes instituições, somado com a falta de divulgação de informação entre as esferas práticas do setor.

Com a finalidade de superar a crescente preocupação de esgotamento dos recursos atuais e fazer frente nas considerações habitacionais e ambientais, tanto em países desenvolvidos como em processo de desenvolvimento, estes estão considerando a ACV como uma ferramenta importante na tomada de decisões para melhorar a sustentabilidade da indústria da construção. Segundo Blengini, G. A; Di Carlo, T. (2010) na metodologia geral da ACV está definida, sua aplicabilidade na indústria da construção continua sendo fraca pela falta de uma área específica de normalização. Ortiz et al. (2009) afirmam que a maioria das ACV's existentes não são comparáveis, porque são baseadas em diferentes enfoques e suposições. Por isto as opções metodológicas e os resultados devem ser apresentados de forma transparente.

Zabalsa et al. (2009) apresentam os principais destinatários da aplicação de uma ACV nas primeiras fases da edificação, onde pode-se notar que os principais usuários dos resultados são promotores imobiliários, arquitetos, engenheiros e planejadores urbanos. (Tabela 2.1).

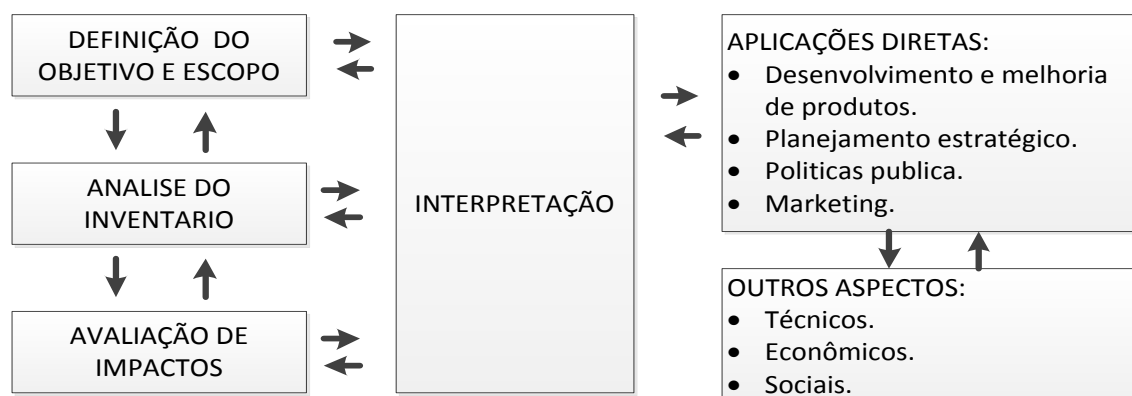
**Tabela 2.1** - Aplicabilidade da ACV no Setor da Construção Civil.

<b>TIPO DE USUÁRIO</b>	<b>ETAPA DO PROCESSO</b>	<b>FINALIDADE DA UTILIZAÇÃO DA ACV</b>
<b>Consultores assessoram as cidades e os planejadores urbanos</b>	As fases preliminares	Estabelecer os objetivos a nível municipal. Definir as zonas onde se utilizam e programam este tipo de estudo. Estabelecer os objetivos para as áreas de desenvolvimento.
<b>Promotores imobiliários e clientes</b>	As fases preliminares	Localizar o canteiro de obra. Dimensionamento do projeto. Estabelecer os objetivos ambientais do empreendimento.
<b>Arquitetos, Engenheiros e consultores.</b>	Início do desenho detalhado, projetado por toda a equipe (engenheiros arquitetos projetistas, urbanistas, etc.). Desenvolvimento de um projeto inovador e sustentável, dentro do possível.	Comparar as diferentes opções de desenho, geometria, orientação, opções técnicas, qualidade, durabilidade.

**Fonte:** Adaptado de ZABALSA, 2009.

### 2.2.1 Metodologia de análises da ACV

Conforme Lobo (2010), ao fragmentar em fases, a ACV possibilita uma retroalimentação, além de facilitar a compreensão de todo o ciclo de vida do objeto de estudo, desta forma, as fases se relacionam umas com as outras e favorecem o controle do processo. (Figura 2.8).



**Figura 2.8** - Estrutura de Análise do Ciclo de Vida.

**Fonte:** ABNT NBR ISO 14042 (2000).

A norma ABNT NBR ISO 14040 (2001) relata que a estrutura de uma ACV esta composta de quatro passos. Estes passos devem interagir, ou serem compatibilizados, nas aplicações do estudo, que por sua vez, podem abranger, também, a avaliação de outros aspectos relacionados ao produto.

**Definição dos Objetivos e Escopo**, também o público a quem está dirigida, e as limitações ou fronteiras do sistema. As fronteiras do sistema determinam a escala na qual o objeto é analisado, de acordo com a abrangência da ACV, e requer mais ou menos tempo e recursos. Indica que um balanço entre praticidade e validade dos resultados deve ser buscado ao se delinear esses limites.

Kuhn (2006) descreve que definir os objetivos e seu escopo simplifica o processo de tratamento dos dados e as funções desempenhadas pelo objeto a ser avaliado, sendo particularmente complexo para as edificações, devido à variedade de funções desempenhadas pelas mesmas. Carvalho, (2000) refere-se também à determinação das fronteiras do estudo, tipos de impactos que serão analisados e unidade funcional.

Em segundo lugar, a **Construção e Análises do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)**, consistem na coleta de dados, quantificações e qualificações dos inputs (uso de recursos) e dos outputs (emissão de resíduos) para cada processo e cálculo tanto do material como da energia de entrada e saída de cada um dos subsistemas que compõem a edificação, tendo em conta as emissões feitas no ar, na água e na terra.

Nesta fase se faz um balanço de dados de entrada e saída do sistema medindo a quantidade de recursos utilizados e os resíduos gerados pela atividade pesquisada (Lobo, 2010). Contudo, a definição das fronteiras é uma operação subjetiva e as regras e considerações utilizadas para a escolha das entradas e saídas deverão ser claramente entendidas e descritas (Carvalho, 2000).

Em terceiro lugar esta a **Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)**, onde são avaliados os possíveis impactos ambientais e as quantificações dos recursos utilizados no sistema. Ortiz et al. (2009) descrevem que esta fase tem três elementos obrigatórios: Eleição dos níveis de impacto, alocação dos resultados da ICV, que consiste na classificação das emissões, resíduos e recursos utilizados para os níveis de impacto, por exemplo, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, e estes resultados são somados ao indicador de resultado que é o

resultado final da AICV. Na Tabela 2.2 são especificadas algumas categorias de impacto resultantes do AICV.

**Tabela 2.2** - Categorias de impacto.

CATEGORIA DE IMPACTO	CARACTERÍSTICA
Consumo de recursos naturais	Esta categoria aborda o uso de água e a extração de recursos naturais para consumo como fonte energética e como matéria-prima de processos industriais
Consumo de energia	É um dos indicadores mais observados na avaliação da alteração do meio ambiente em decorrência da realização de determinada atividade, pois está associado ao requerimento de recursos naturais e também a muitas das emissões para o ar e para a água.
Efeito estufa	Este efeito ocorre com o aumento de gases na atmosfera, aprisionando maior quantidade de calor. O aumento destes gases está relacionado principalmente ao consumo de combustíveis, à degradação de materiais orgânicos em lixões, às emissões de processos industriais, entre outros.
Acidificação	Ocorre quando substâncias emitidas para o ar são dissolvidas na água da chuva formando ácidos.
Redução da camada de ozônio.	Nos últimos anos a camada de ozônio vem diminuindo, principalmente nos polos, permitindo que a radiação ultravioleta chegue a Terra com maior intensidade.

**Fonte:** CARMINATTI JÚNIOR, 2012.

Ortiz et al. (2009) descreve que em uma AICV existem essencialmente dois métodos de avaliação:

- a) Os métodos orientados aos problemas (pontos médios) que estão focados nos impactos ambientais associados à mudança climática, e a toxicidade humana e os impactos que podem ser avaliados utilizando os métodos de linha base com ferramentas como o LMC 2001, EDIP 1997, EDIP 2002 e 2003.
- b) Os métodos orientados aos danos (pontos finais), classificando os fluxos em diferentes temas ambientais e modelagem do dano que cada um causa para os humanos, o meio ambiente e os recursos. ECO-INDICATOR 1999 e IMPACTO 2002 são os mecanismos mais utilizados neste método.

Após a classificação é feita a caracterização dos indicadores de acordo com o seu nível. Segundo Kuhn (2006) isto requer ferramentas analíticas adicionais, como normas

ambientais e fatores que convertam uma carga ambiental em impacto equivalente. A normalização, agrupação, e análises adicionais da qualidade dos dados da AICV são passos opcionais.

Segundo a ABNT NBR 14042:2000 a Avaliação do Impacto pode ser subdividida em elementos obrigatórios e opcionais:

#### **Elementos obrigatórios:**

- **Classificação:** consiste no relacionamento qualitativo entre os aspectos identificados no ICV e as categorias de impacto às quais estes contribuem.
- **Caracterização:** consiste na quantificação da classificação, ou seja, na determinação numérica de qual é a contribuição de cada aspecto a cada categoria de impacto. Ao final obtém-se um valor total de contribuição daquele ciclo de vida para cada categoria de impacto.

#### **Elementos opcionais:**

- **Normalização:** calcula a representatividade dos valores encontrados em relação a um valor de referencia estabelecido para cada categoria de impacto, provendo uma melhor avaliação da magnitude dos resultados da caracterização.
- **Agrupamento:** reorganiza a apresentação das categorias de impacto.
- **Valoração:** ponderar as categorias de impacto, escolhendo “peso” relativo entre estas.

As categorias de impacto são apresentadas na Tabela 2.2, juntamente com as suas características.

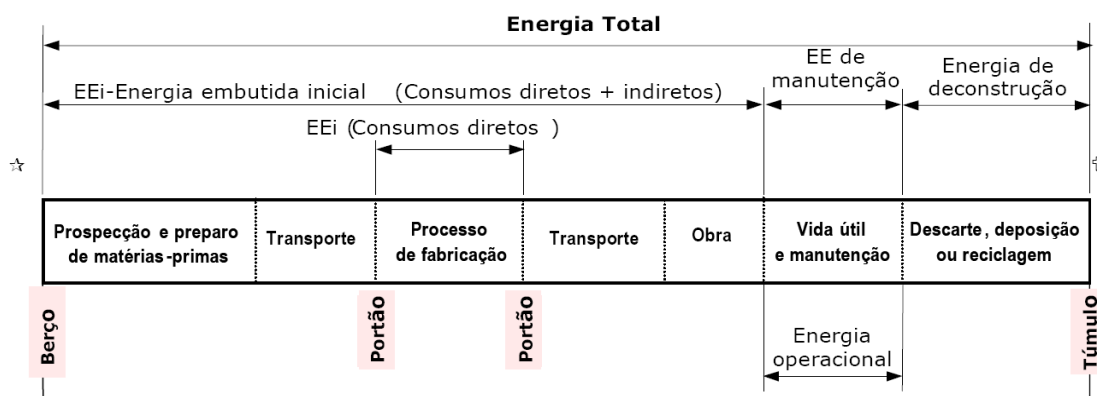
E o quarto e último passo que é a **Interpretação Dos Resultados** a qual é definida pela ABNT NBR ISO 14040 (2001) como aquela em que os resultados do inventário e os da avaliação dos impactos são confrontados com os objetivos e escopo definido. Se apresentarem relações consistentes, passa-se à elaboração de conclusões e recomendações, e conseqüentemente, a elaboração do relatório final. De acordo com a ABNT NBR ISO 14042 (2000) existem três elementos básicos na interpretação de resultados:



- a) Identificação dos temas de relevância. Aspectos do inventário ou suas categorias, categorias de impacto e operações unitárias.
- b) Avaliações. Tem como função determinar a confiabilidade nos resultados, sendo suas fases conforme as análises de: abrangência, sensibilidade e de consistência.
- c) Conclusões, recomendações e relatório. Estabelece conclusões e recomendações para os usuários do estudo e através do relatório, fornece uma visão transparente e completa do estudo.

### 2.3 CICLO DE VIDA ENERGÉTICO E ENERGIA INCORPORADA

A Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) tem atributos especiais pela quantidade de processos energeticamente altos que estão vinculados no desenvolvimento do estudo, transformando cada um deles, seja na construção, manutenção ou descarte, em um processo complexo. Tavares (2006) comenta que é necessária uma natureza de análise que destaque os principais eventos de consumo energético. É recomendado fazer uma divisão básica de cada uma das etapas, situando as terminologias usuais dos consumos energéticos em cada uma das etapas ao longo do ciclo de vida. Na Figura 2.9 são apresentadas as etapas básicas do ciclo de vida energético de uma edificação.



**Figura 2.9** - Ciclo de vida energético de uma edificação.

**Fonte:** TAVARES, 2006.

Uma ACVE é baseada na ACV sem substituí-la, mas priorizando nos dados de consumo energéticos diretos e indiretos a produção de determinado produto, que tenha como função a satisfação das necessidades humanas, sendo avaliado cada um dos processos.

De acordo com Lobo (2010) a ACVE é um dos métodos mais utilizados nas pesquisas aplicados aos componentes da edificação para avaliações de impactos ambientais consequentes de atividades humanas. E tem os parâmetros estabelecidos na ABNT NBR ISO 14040 (2001).

O mesmo autor comenta que a estrutura da ACV e sua característica de analisar entradas e saídas durante os processos possibilitam a identificação de diversos itens de análises energéticas, tais como: consumo de energia e emissões resultantes da combustão de combustíveis.

Uma das principais metas do pensamento da ACV e da ACVE é a redução no uso dos recursos e emissões de CO<sub>2</sub> geradas durante o processo de fabricação, facilitando a vinculação dos aspectos econômico, social e ambiental e ampliando o conceito de sustentabilidade através do ciclo de vida fechado (UNEP, 2007).

O processo de desenvolvimento do ciclo de vida envolve consumo e troca de energia. As fontes de obtenção desta energia são variadas, dependendo principalmente da região e dos recursos básicos para a sua obtenção. Daí a importância de avaliar o consumo de energia pelo fato de ela estar ligada a uma série de impactos ao meio ambiente, derivados de acordo ao seu modo de obtenção, devido a sua relativa facilidade de ser quantificado, o consumo de energia é um critério que recebe ênfase em grande parte das ferramentas de avaliação ambiental. (HARRIS, 1999)

### **2.3.1 Energia Incorporada (EI)**

Cole (1999) afirma que a energia incorporada inicial é a Energia Direta e Energia Indireta utilizada para fabricar, transportar e instalar os produtos de construção.

O mesmo autor descreve que a Energia Direta é a energia efetivamente consumida na construção de edifícios, que representa o final de transporte e instalação de um componente ou montagem. E a Energia Indireta representa a energia consumida na produção de materiais de construção e de seu transporte associado, e é a maior porção na análise de energia incorporada. Esta representa a produção de um componente e o transporte até a instalação no local.

Popovic; Kasanovic (2009) definem EI como a energia necessária para a obtenção, produção, transporte, instalação, manutenção, e disposição final ou reuso de matérias-primas, podendo ser incluídos os valores de operação e manutenção. O valor calculado de EI é expresso em MJ ou GJ através da unidade de massa (kg), ou através de superfície (m<sup>2</sup>) ou unidade de volume (m<sup>3</sup>) do material instalado.

Guimarães (1985) destaca que a energia é um fator marcante em todo processo de fabricação industrial ou artesanal. Nos processos industriais, onde a presença da máquina predomina, é fundamental o papel da energia, seja oriunda dos combustíveis fósseis (derivados de petróleo, carvão, gás natural), de fontes renováveis (lenha, carvão vegetal, álcool, etc.) ou da energia elétrica (gerada dos combustíveis ou da energia hidráulica). Nos processos artesanais o grande dispêndio de energia é, basicamente, de origem humana e animal. Portanto, determinar a energia consumida na fabricação dos materiais de construção, implica em conhecer os processos nela utilizados.

A EI é uma forma de mensurar o impacto ambiental das construções. É um fator importante para a tomada de decisões quanto à escolha de materiais sendo um aspecto de grande relevância para atingir eficiência energética. Autores como Tavares (2006); Lobo (2010); Graf (2011) e Nabut Neto (2011) descrevem que essa energia é considerada como toda aquela usada para a fabricação dos materiais usados na construção de uma edificação, desde a extração até o destino final no canteiro. Inclui a energia usada para extrair a matéria-prima, para o processo de fabricação, para o transporte da matéria-prima para a fábrica e o produto final para o consumidor. Na tabela 2.3 são apresentados valores de EI compilados por Tavares (2006).

**Tabela 2.3** - Energia Incorporada (EI) em materiais de construções Brasileiros.

<b>MATERIAIS</b>	<b>EI (MJ/Kg)</b>	<b>EI (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>DENSIDADE (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
Aço - chapa galvanizada	33,80	265330,00	7850,00
Aço - chapa dobrada	30,00	235500,00	7850,00
Aço - laminado CA 50A	30,00	235500,00	7850,00
Aço - reciclado	12,50		
Acrílico	80,00		
Água	0,02	20,00	1000,00
Alumínio lingote	98,20	265140,00	7850
Alumínio anodizado	210,00	567000,00	7850
Alumínio reciclado - extrudado	17,30	46710,00	
Alumínio reciclado - anodizado	42,90		

<b>MATERIAIS</b>	<b>EI (MJ/Kg)</b>	<b>EI (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>DENSIDADE (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
Areia	0,05	75,75	1515
Argamassa - mistura	2,00	3906,00	1860
Borracha natural - látex	69,00	63480,00	920
Brita	0,15	247,50	1650
Cal virgem	3,00	4500,00	1500
Cerâmica - azulejo	6,20	12400,00	2000
Cerâmica - vermelha blocos	2,90	4060,00	1400
Cerâmica - branca	25,00	52075,00	2000
Cerâmica porcelanato	13,00	27300,00	2100
Cerâmica - telha	5,40	10260,00	1900
Chapa de compensado	8,00	4400,00	550
Chumbo lingote	21,00	238140,00	238140
Cimento Portland	4,20	8190,00	1950
Concreto armado	3,10		
Concreto bloco	1,00	2000,00	2000
Concreto simples	1,20	2760,00	2300
Ferro fundido	32,80	246000,00	7500
Fibrocimento - telha e placa	6,00	11520,00	1920
Gesso	4,00	3200,00	800
Gesso acartonado	6,10		
Lã mineral	19,00	2090,00	110
Lã de vidro	24,00	768,00	32
Latão	80,00	682400,00	8530
Madeira - aparelhada seca forno	3,50	2100,00	600
Madeira - laminada colada	7,50	4875,00	650
Madeira - MDF	9,00	9000,00	1000
Madeira - placas de OSB	8,50	7500,00	1000
Mármore	1,00	2680,00	2680
Palha	0,24	31,20	130
Papel Kraft	37,70		
Papel de parede	36,40		
Placa de gesso	4,50	4500,00	1000
Poliestireno expandido	112,00	6160,00	35
Polietileno de alta densidade	95,00	90250,00	950
Poliuretano - espuma	74,00	2590,00	35
Solo-cimento - bloco	0,60	1020,00	1700
Telha de vidro	23,13	55512,00	2400
Tinta acrílica	61,00	79300,00	1.3 kg/l
Tinta óleo	98,10	127530,00	1.3 kg/l
Tube - PVC	80,00	104000,00	1300
Tube de ferro galvanizado	33,80		
Vidro plano	18,50	46250,00	2500
Vidro - blindex	26,20		
Zinco	51,00	364140,00	7140

Fonte: TAVARES, 2006.

A conservação da energia é importante, ainda mais quando provem de fontes não recuperáveis (REDDY e JAGADISH, 2001). Desta forma, para a fabricação e transporte dos materiais de construção é gasto uma grande quantidade de energia, que pode ser diminuída com um uso mais eficiente ou aplicando materiais alternativos locais. O autor analisou a EI em diferentes componentes de alvenaria e argamassas conforme apresentado nas Tabelas 2.4 e 2.5.

**Tabela 2.4** - Energia Incorporada em componentes de alvenaria.

MATERIAL	DIMENSÕES (mm)	ENERGIA EM UM BLOCO (MJ)	ENERGIA POR BLOCO CERÂMICO EQUIVALENTE (MJ)	ENERGIA DO BLOCO (%)
Bloco cerâmico	230 x 105 x 70	4,25	4,25	100,00
Bloco de solo-cimento	230 x 190 x 100	2,60 (8% cimento)	1,00	23,50
	230 x 190 x 100	3,50 (8% cimento)	23,50	31,70
Bloco de concreto vazado	400 x 200 x 200	12,30 (7% cimento)	1,32	31,20
	400 x 200 x 200	15,30 (7% cimento)	1,62	38,10
Bloco curado à vapor	230 x 190 x 100	6,70 (10% cal)	2,58	60,60

**Fonte:** REDDY e JAGADISH, 2001.

**Tabela 2.5** - Energia Incorporada em argamassas (a).

TIPO DE ARGAMASSA	PROPORÇÃO DOS MATERIAIS			ENERGIA/M <sup>3</sup> (MJ)
	CIMENTO	SOLO	AREIA	
Argamassa de cimento	1	0	6	1268
	1	0	8	1006
Argamassa de cimento-pozolana	0,8:0,2 (b)	0	6	918
	0,8:0,2 (b)	0	8	736
Argamassa de solo-cimento	1	2	6	849
	1	2	8	773
Argamassa de solo-cimento	1 (1:2) (c)	0	3	732

**Fonte:** REDDY e JAGADISH, 2001.

(a) Conteúdo energético: cimento Portland = 5,85 MJ/kg; areia = 175 MJ/m<sup>3</sup>; pozolana = 1,5 MJ/m<sup>3</sup>.

(b) Cimento: pozolana (0,8: 0,2).

(c) Cal: pozolana (1:2).

Neste trabalho consideraram-se os consumos de EI de materiais de construção disponíveis em bancos de dados e pesquisas nacionais e internacionais, sendo que os dados compreendem a EI dos materiais desde extração, transporte de insumos e fabricação dos materiais e componentes.

### 2.3.2 Consumo de Energia em Transportes

Kunh (2006) comenta que o setor de transportes na Europa é o setor da economia com o crescimento mais rápido no consumo de energia e na produção de gases do efeito estufa. O mesmo autor descreve que além do esgotamento de fontes e dos impactos da produção e armazenamento da energia, o transporte está relacionado a problemas de saúde nos humanos, provenientes da geração de ruídos e emissão de poluentes, provocando alterações em paisagens e redução da biodiversidade em áreas naturais.

Sendo assim, é necessária a consideração da EI com transporte dos produtos, e a coleta de informação dos principais veículos utilizados no transporte de materiais (MJ/t/km). Na Tabela 2.6 são apresentados valores em MJ/t/km para diferentes meio de transporte.

**Tabela 2.6** - Consumo energético associado a os médios de transporte.

<b>MEIO DE TRANSPORTE</b>	<b>MJ/t/Km</b>
Navio de carga em hidrovias	0,93
Navio de carga oceânico	0,13
Van de entrega (< 3.5 t)	11,10
Caminhão, 16 t	5,17
Caminhão, 28 t	3,56
Caminhão, 40 t	2,54
Carro de passeio	515
Trem de carga	1,54

**Fonte:** TAVARES, 2006.

Cole (1999) descreve que os transportes de materiais e componente do centro de distribuição para os canteiros de obras tem característica diferente, devido aos veículos muitas vezes estarem parcialmente carregados ou pela variabilidade nos níveis de congestionamento de trafego em distâncias curtas, quando comparados com o transporte rodoviário a granel.

Durante o ciclo de vida de uma edificação, atividades de transporte estão presentes em quase todas as etapas, conforme apresentado na Tabela 2.7.

**Tabela 2.7** - Atividades de transporte presentes nas diferentes etapas do ciclo de vida de uma edificação.

ETAPA	TRANSPORTE
Extração de Matéria-Prima	De matéria-prima de jazidas às fábricas.
Manufatura de Materiais e Componentes	De materiais e componentes ao local da obra.
Construção	De trabalhadores e de materiais dentro do canteiro.
Uso e Reposição	De usuários, de materiais para reposição e de resíduos para a disposição final, reciclagem ou reutilização.
Disposição Final	De resíduos para disposição final, reciclagem ou reutilização.

**Fonte:** adaptado de KUHN, 2006.

Segundo Cole (1999), na etapa de construção, considerada pouco consumidora de energia, o transporte de trabalhadores representa a maior demanda, e o consumo dentro do canteiro de obras é variável em função do sistema e técnica construtiva adotada. A quantificação do consumo de energia no transporte de trabalhadores como para operação de canteiro, é relevante nesta pesquisa, mas inviável pela falta de registros e subsídios que permitam quantificar tais consumos.

No Brasil, grande parte da carga dos materiais de construção em centros urbanos e semiurbanos são transportadas utilizando caminhões, de forma que a distância de transporte varia dependendo da localização da atividade de construção. (NABUT NETO, 2011)

Neste trabalho considerou-se, para a Energia Incorporada em transportes (EIt) de materiais (do local de disponibilidade do insumo à obra) as distâncias médias, sendo que foram levantadas as distâncias dos centros de transformação até o canteiro. Os materiais mais significativos são: cimento, bloco cerâmico e aço, os quais representam 80% do conteúdo energético da edificação. Da mesma forma, consideraram-se os dados das distâncias do aço e das placas (Gesso, cimentícia e OSB) que constituem o sistema *Steel Frame* analisado neste estudo.

### **2.3.3 Energia de Manutenção**

Ao longo da vida útil de uma edificação é necessário um plano de manutenção e eventual reposição de seus componentes. A vida útil, desta forma, depende da qualidade e continuidade em que são feitas as respectivas manutenções.

A ABNT NBR 15575-1 (2013) descreve que a edificação e seus elementos devem manter a capacidade de permitir ou favorecer as inspeções prediais, bem como as intervenções de manutenção previstas no manual de operação, uso e manutenção, com os menores custos.

Carminatti Júnior (2012) cita que a energia de manutenção representa o consumo de energia com transporte, materiais e aplicação destes durante a reforma e reparos necessários nas edificações durante sua vida útil. Assim, a durabilidade dos materiais, componentes e equipamentos utilizados na edificação se torna um fator importante, pois, ao considerar o uso de materiais com baixa durabilidade, haverá necessidade de reparos com maior frequência e, conseqüentemente consumo de energia para execução deste.

### **2.3.4 Energia Operacional**

A energia operacional é a energia necessária para o uso de eletrodomésticos e equipamentos durante a vida útil da edificação, tais como, climatização, cocção, iluminação e outros.

Os valores do consumo de energia nesta fase recebem interferência devido a vários fatores como área construída, número de moradores e respectiva renda, além da localização da edificação e diferenças devido aos modelos de equipamentos disponíveis no mercado. Assim, para poder realizar esta análise deve-se prever e estimar estas variáveis (CARMINATTI JÚNIOR, 2012).

No Brasil, o baixo uso de climatização artificial reduz bastante o consumo de energia para uso da edificação, especialmente em HIS. Mas, em muitos casos a energia operacional, possui valores superiores comparado com a energia incorporada nos materiais da habitação e desta forma, em uma ACVE completa, deve-se realizar a verificação deste item.



### **2.3.5 Energia de Desconstrução**

A energia de desconstrução representa a energia necessária na etapa final do ciclo por descarte, deposição ou reciclagem, considerando o total de energia para demolição, desmontagem, transporte dos resíduos e na reciclagem. Deve-se levar em conta que no caso da reciclagem, a mesma pode gerar débito de energia ou contabilizar a mesma nas novas edificações.

O termo desconstrução abrange tanto a demolição como o destino do material demolido que pode ser reusado, reciclado ou deposto como entulho ou aterro. Qualquer das possibilidades envolve consumo de energia as quais são analisadas de duas formas: considerando-se as atividades de demolição com respectivo transporte dos resíduos e, ou, seu reaproveitamento através de um potencial de reciclagem (TAVARES, 2006).

## **2.4 DESEMPENHO TÉRMICO DAS VEDAÇÕES**

Neste item são apresentados conceitos, requisitos e critérios de desempenho térmico, focado na vedação, a fim de subsidiar a base teórica para a realização do estudo piloto conforme estabelecido nos objetivos específicos.

O desempenho térmico das vedações da habitação estudada dependerá dos resultados obtidos através da realização das análises realizadas de acordo com o procedimento 01 (um) normativo, descrito na ABNT NBR 15220 (2005).

Para a análise de desempenho térmico das paredes é necessário considerar a região onde será implantada, e as respectivas características bioclimáticas do local, visando o uso de materiais ou sistemas construtivos que possibilitem o atendimento das exigências de desempenho térmico, estabelecidas na ABNT NBR 15575 (2013).

### **2.4.1 Propriedades Térmicas dos Materiais**

Na hora da escolha de um material ou outro, a decisão pode ter um impacto significativo no desempenho térmico da habitação, tendo em vista que os materiais não são iguais, com comportamentos diferentes frente às diferentes condições climáticas. Da mesma forma, ao se conhecer e aproveitar as qualidades que cada material oferece, podem ser resolvidas as exigências climáticas nas quais são submetidas às edificações.

Conhecer as propriedades térmicas dos materiais utilizados na edificação é indispensável para que a mesma atenda de forma eficiente as variações do clima gerando decisões de projeto adequadas. Este estudo adota como base a Transmitância (U) e Capacidade Térmica (CT) dos sistemas de *Steel Frame*, utilizando diferentes tipos de materiais para a vedação.

As características de desempenho térmico serão determinadas pela composição e espessura da parede. A condutividade térmica ( $\lambda$ ) e o calor específico(c), junto com as características da superfície dos fechamentos, determinam o ganho de calor dentro do recinto (KAPPAUN, 2012). Considerando que o calor específico varia muito pouco entre os materiais de construção, a capacidade de armazenamento dependerá da densidade dos materiais.

#### 2.4.2 Transmitância Térmica (U)

Transmitância térmica ou Coeficiente global de transferência de calor, cuja unidade é  $W/(m^2.K)$ , é definida como o inverso da resistência térmica Total. É o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais internas e externas. Esta relacionada à espessura e condutividade térmica dos materiais constituintes, e representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de energia por unidade de área e de diferença de temperatura (LAMBERTS et al., 2010).

Na ABNT NBR 15575-4 (2013) determina-se os critérios mínimos (M) de desempenho térmico das vedações e seus componentes, aplicados para cada zona bioclimática no Brasil, e faz referencia a norma ABNT NBR 15220-2 (2005) para descrever os mecanismos a serem utilizados para sua avaliação (Tabela 2.8).

**Tabela 2.8** - Desempenho mínimo de transmitância térmica para vedação externa.

NÍVEL DE DESEMPENHO	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA <sup>(1)</sup> (U, EM W/(M <sup>2</sup> .K))		
	Zona 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
		$\alpha^{(2)} < 0,6$	$\alpha^{(2)} \geq 0,6$
M	$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

<sup>(1)</sup> valores de Transmitância Térmica (U) considerando-se a resistência superficial interna com valor de 0,13  $m^2.K/W$  e a resistência superficial externa com valor de 0,04  $m^2.K/W$ ;

<sup>(2)</sup>  $\alpha$  é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

**Fonte:** ABNT NBR 15575 (2013).

Graf (2011) recomenda serem utilizados sempre que possível os valores obtidos por medições feitas através de ensaios normalizados para os valores de resistência térmica. No entanto, os valores também podem ser calculados por fórmula para cada fração homogênea de material.

Outros métodos de cálculos para a obtenção dos valores de transmitância térmica são apresentados pelas normas ASHRAE SPC 142P (ASHRAE, 1998), usada na América do Norte; ISO 10077-2 (ISO, 2003), usada na Europa; e ABNT NBR 15220 (2005), utilizada no Brasil.

### 2.4.3 Capacidade Térmica (CT)

A CT é uma das características mais importantes na avaliação do desempenho térmico de edificações. É conhecida como a capacidade de perder ou absorver calor que determinado corpo tem, em razão da variação de temperatura. O calor necessário para elevar a temperatura de um corpo depende da massa e das características do corpo e de que modo este é aquecido. Essa quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema é medida em  $Kj/(m^2.K)$  e é o resultado do somatório do conjunto de capacidades térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente. Na Tabela 2.9, são apresentados os valores mínimos admissíveis de CT em paredes externas. (LAMBERTS et al., 2010).

**Tabela 2.9** - Critério e nível de desempenho de paredes externas quanto à Capacidade Térmica.

NÍVEL DE DESEMPENHO	CAPACIDADE TÉRMICA (CT, EM $KJ/(M^2.K)$ )	
	Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
M	$\geq 45$	$\geq 130$

**Fonte:** ABNT NBR 15575 (2013).

A norma ABNT NBR 15220-2 (2005), além do método de cálculo, fornece as propriedades térmicas de diferentes materiais, os coeficientes de troca superficial interna e externa, e os valores de resistências térmicas de câmaras-de- ar.

Para o cálculo da CT são necessários os valores de espessura (e), em metros, o calor específico (c), em  $Kj/ (Kg. K)$ , a densidade de massa aparente ( $\rho$ ), em  $(Kg/m^3)$ . Nas tabelas

2.10 e 2.11 são apresentados os valores correspondentes para os materiais envolvidos nesta pesquisa.

**Tabela 2.10** - Propriedades térmicas dos materiais construtivos VC.

<b>MATERIAL</b>	<b>DENSIDADE DE MASSA APARENTE <math>\rho</math> (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>CONDUTIVIDADE TÉRMICA <math>\lambda</math> (W/(m<sup>2</sup>.K))</b>	<b>CALOR ESPECIFICO C (Kj/(Kg.K))</b>
Argamassa de assentamento	1860	1,15	1,00
Tijolo cerâmico	1600	0,9	0,92
Reboco	1860	1,15	1,00

**Fonte:** ABNT NBR 15220 (2005).

**Tabela 2.11** - Propriedades térmicas dos materiais construtivos LSF.

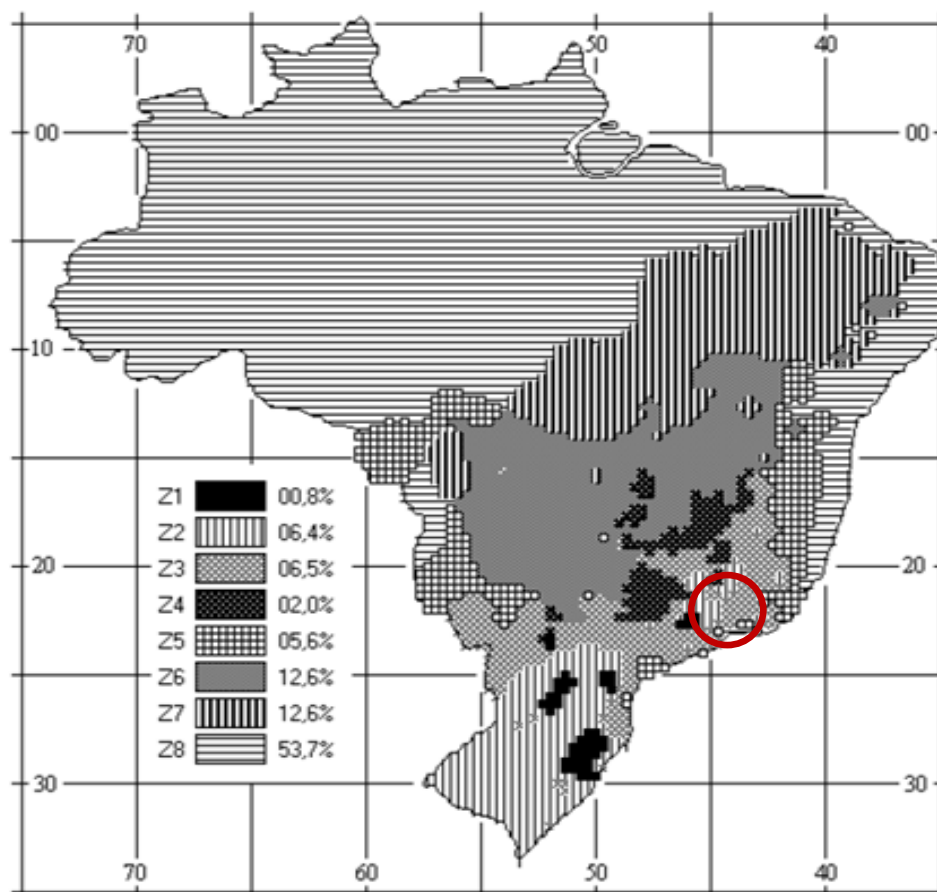
<b>MATERIAL</b>	<b>DENSIDADE DE MASSA APARENTE <math>\rho</math> (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>CONDUTIVIDADE TÉRMICA <math>\lambda</math> (W/(m<sup>2</sup>.K))</b>	<b>CALOR ESPECIFICO C (Kj/(Kg.K))</b>
Aço	7850	55	0,46
Placas de Fibrocimento	2200	0,95	0,84
<i>Siding</i> vinílico	1300	0,2	--
Placa de gesso acartonado	1000	0,35	0,84
Placas de OSB	1000	0,2	2,30
Lã de rocha	200	0,045	0,75
Lã de vidro	100	0,045	0,70
Poliestireno expandido moldado	35	0,04	1,42

**Fonte:** GARCIA, 2006 e ABNT NBR 15220 (2005).

#### **2.4.4 Zoneamento Bioclimático Brasileiro**

Devido ao grande território, o Brasil possui variedade de climas, acarretando características diferenciadas para os projetos nas diferentes regiões do país, por isto na ABNT NBR 15220-3 (2005) aborda-se o “Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social”.

O mapa do zoneamento bioclimático brasileiro, feito pela referida norma, compreende oito diferentes zonas bioclimáticas, conforme apresentado na Figura 2.10, podendo cada zona abranger mais de um estado em termo de divisão política, e podendo ter dentro de um estado mais de uma zona bioclimática.

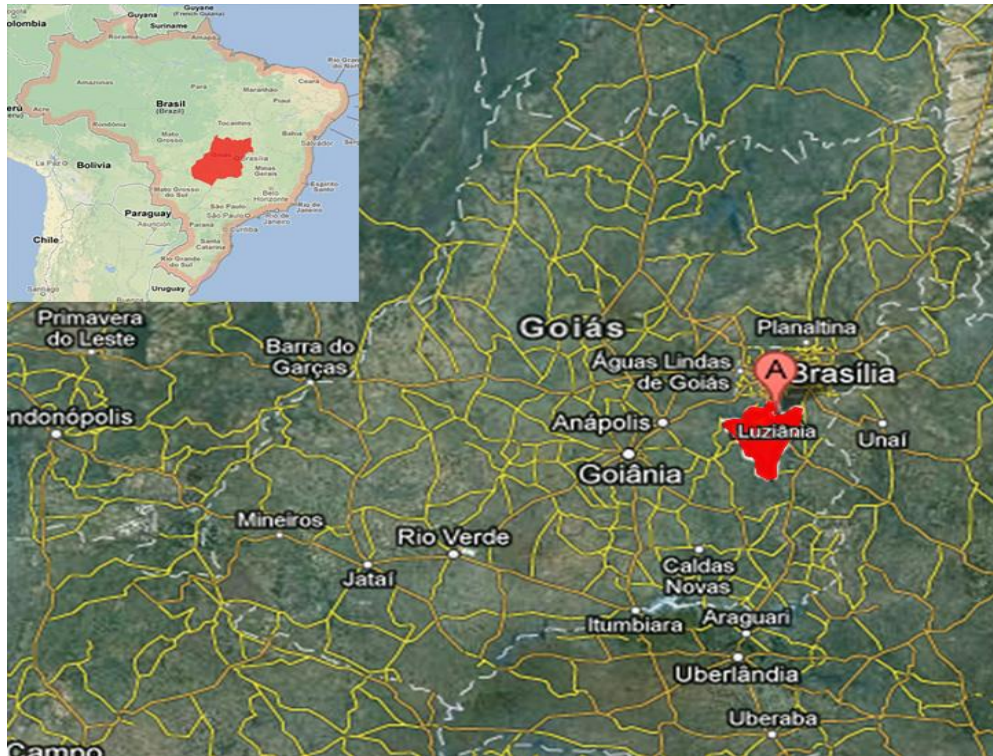


**Figura 2.10** - Zoneamento bioclimático de Brasil.

**Fonte:** ABNT NBR 15220-3 (2005).

A cidade Luziânia, se encontra dentro da Zona Bioclimática 4. Para cada Zona Bioclimática existem diferentes diretrizes construtivas que são recomendadas e abrangem basicamente as dimensões e proteções das aberturas, as vedações externas (tipos de cobertura, tipos de parede e piso) e estratégias de condicionamento térmico passivo. Para a zona bioclimática 4 recomendam-se como vedação externa, paredes pesadas ou de massa significativa, tanto externa como internamente, aberturas para ventilação médias e sombreamento das mesmas.

Na Figura 2.11 apresenta-se a localização da cidade de Luziânia dentro do estado de Goiás, na qual se encontra implantado o projeto que serve como base de análise para este estudo.



**Figura 2.11** – Localização da cidade de Luziânia no Estado de Goiás.

**Fonte:** a partir de imagens de Google Maps (2013).

Na zona bioclimática 4 os critérios de desempenho térmico, conforme estabelecido na ABNT NBR 15575-4 (2013), são em relação às propriedades de Transmitância Térmica  $U \leq 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  e Capacidade térmica  $CT \geq 130 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$ . Observa-se para o critério de  $U$  adota-se o valor de alfa ( $\alpha$ )<sup>1</sup> menor que 0,6 (Tabela 2.8). No entanto, sempre que possível, é melhor o uso de cores claras ou brancas nas vedações, que deverão sofrer manutenções periódicas de pintura.

Inúmeras pesquisas já demonstraram que a absorvância de superfícies expostas à radiação solar é fator determinante nas temperaturas que podem ser atingidas pelas mesmas. O fluxo de calor através do envelope das edificações depende fundamentalmente dessas temperaturas superficiais e das propriedades termo físicas dos elementos construtivos que o compõem. O conhecimento, portanto, dessas propriedades, é indispensável para a avaliação do comportamento térmico e do consumo energético dos edifícios. (DORNELLES E RORIZ, 2007). Com a ABNT NBR 15220-3 (2005) consagrou-se o conceito de que a absorvância seria crescente na medida em que as cores fossem mais escuras.

---

<sup>1</sup> ( $\alpha$ ) é a absorvância à radiação solar da superfície em função da cor.

### 3 O SISTEMA *LIGHT STEEL FRAME* (LSF) E SEUS ELEMENTOS DE VEDAÇÃO VERTICAL

#### 3.1 HISTÓRICO E ELEMENTOS CONSTITUINTES

Apesar de ser considerada uma tecnologia nova, a origem do LSF data no início do século XIX, a partir de outro sistema construtivo denominado *Light Wood Framing* (LWF), desenvolvido na América do Norte, pelos colonizadores, com o fim de atender ao crescimento da população, o qual, no período da conquista, multiplicou-se em dez vezes, tornando necessário o uso dos materiais disponíveis no lugar, no caso a madeira (CASTRO e FREITAS, 2006).

O mesmo ator descreve que nessa época a madeira nos Estados Unidos era abundante e o sistema possuía características importantes como velocidade e produtividade para suprir o déficit habitacional do país. Desta forma, passou a ser a tipologia residencial mais utilizada nos Estados Unidos naquela época conforme apresentado na Figura 3.1.



**Figura 3.1** - Sistema construtivo LWF.  
**Fonte:** STRAND SYSTEM ENGINEER, 2012.

Crasto e Freitas (2006) descrevem que no Japão, as primeiras construções em LSF começaram a aparecer após a Segunda Guerra Mundial, quando foi necessária a reconstrução de quatro milhões de casas destruídas pelos bombardeios. A madeira, material usado na estrutura das casas, havia sido um fator agravante nos incêndios que se alastravam durante os ataques. Assim, o governo japonês restringiu o uso da madeira em construções autoportantes a fim de proteger os recursos florestais que poderiam ser

esgotados e também para promover construções não inflamáveis. Na Figura 3.2 apresenta-se uma das linhas de montagem utilizadas para a reconstrução das casas.



**Figura 3.2** - Linha de montagem de módulos residenciais no Japão.  
**Fonte:** CRASTO e FREITAS, 2006.

Na atualidade, no que corresponde a construção de habitações, o aço está sendo utilizado de forma mais frequente que a madeira devido aos movimentos ecológicos e o elevado custo da madeira (CONSULSTEEL, 2001). As paredes que constituem a estrutura de vedação vertical do LSF são chamadas normalmente de painéis estruturais e são compostas por uma quantidade de perfis leves galvanizados conhecidos como guias e montantes, sendo que estes últimos possuem um espaçamento entre 400mm e 600mm Figura 3.3 (A) e (B), a qual é definida no cálculo estrutural e determina a modulação do projeto.

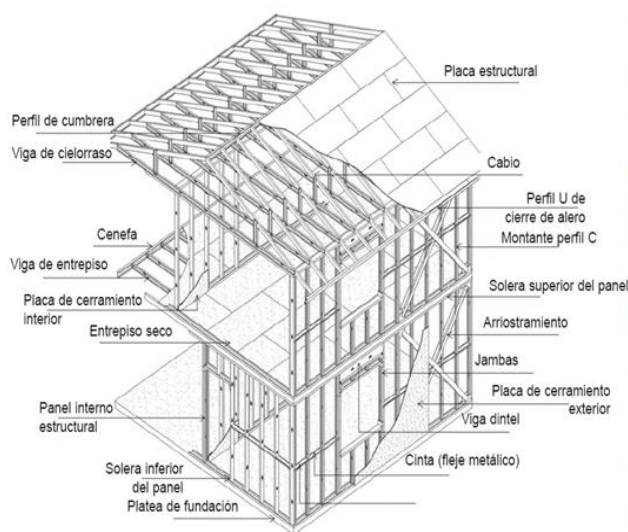


Fig. (a)

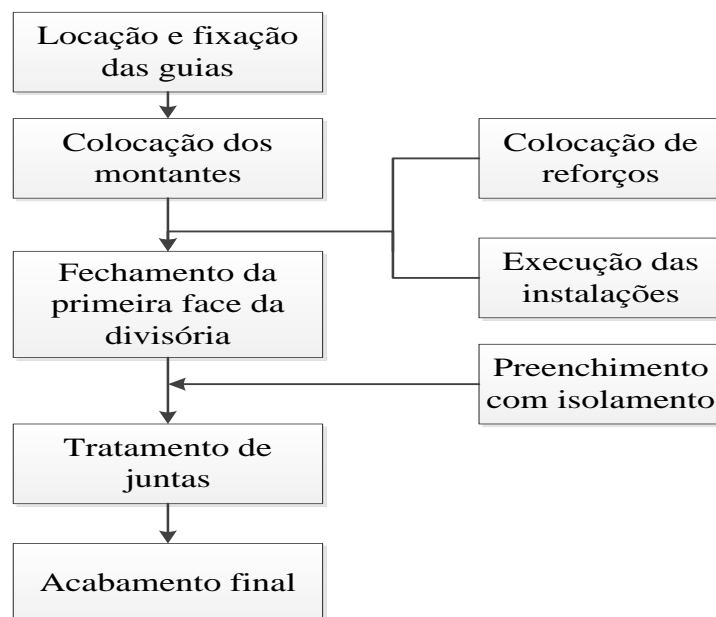


Fig. (b)

**Figura 3.3 (a)** - Desenho esquemático de LSF (CRASTO E FREITAS, 2006); **(b)** - Processo construtivo estrutura vertical em LSF (Arquivo do autor)



Crasto e Freitas (2006) sugerem uma sequência de montagem típica do sistema, conforme a Figura 3.4.



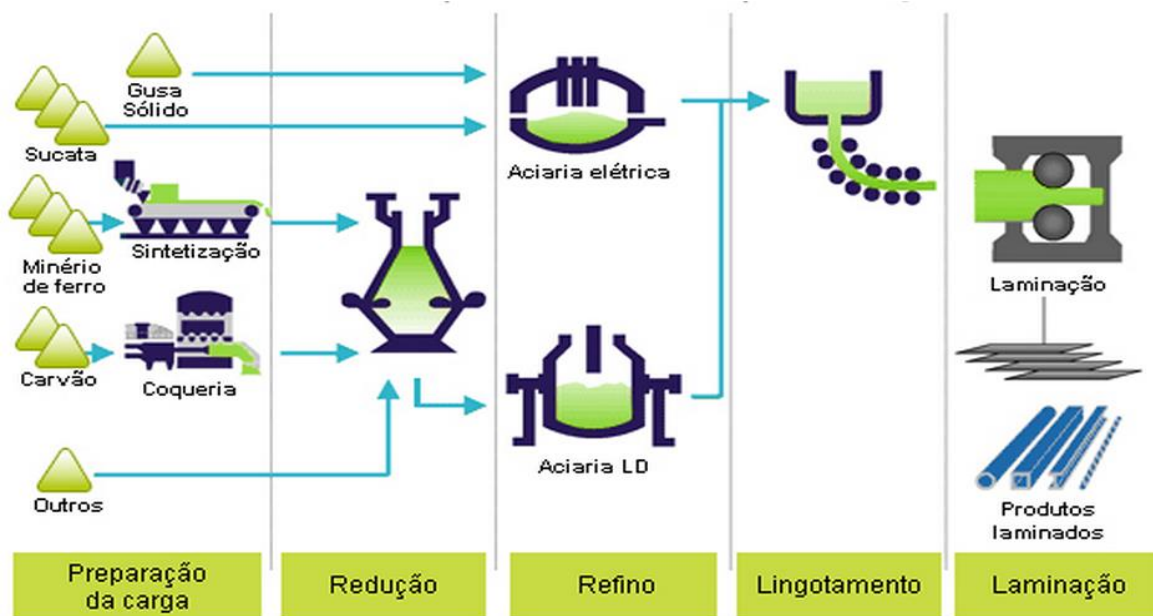
**Figura 3.4** - Sequência de montagem LSF.  
**Fonte:** adaptado de CRASTO e FREITAS, 2006.

Rodrigues (2006) destaca que os acabamentos do LSF podem ser: placas de gesso acartonado ou placas de OSB para revestimentos internos e tela de poliéster aplicada sobre chapa cimentícia para revestimentos externos. Para o revestimento externo também pode aplicada a argamassa projetada ou o *siding* vinílico. O mesmo autor afirma ainda que os Estados Unidos, Inglaterra, Austrália, Japão e Canadá utilizam intensamente o LSF há mais de trinta anos.

No Brasil já existem diversos trabalhos nacionais que foram publicados, alguns que descrevem a tecnologia LSF e define parâmetros para sua análise como Crasto (2005); Crasto e Freitas (2006), e outros dedicados ao levantamento e análise de energia incorporada EI e emissões de CO<sub>2</sub>, tais como Nabut (2011), Lobo 2010, Tavares (2006), Bessa (2010), Machado (2010) e Carminatti Júnior (2012).

## 3.2 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE AÇO

Segundo o Instituto do Aço do Brasil (IAB), o aço é produzido, basicamente, a partir de minério de ferro, carvão e cal. A fabricação do aço pode ser dividida em quatro etapas, a saber: preparação da carga, redução, refino e laminação como é apresentado na Figura 3.5.



**Figura 3.5** - Fluxo simplificado de produção de aço.

**Fonte:** IAB, 2012.

- Preparação da carga:** Grande parte do minério de ferro (finos) é aglomerada utilizando-se cal e finos de coque. O produto resultante é chamado de sinter. O carvão é processado na coqueria e transforma-se em coque.
- Redução:** Essas matérias-primas, agora preparadas, são carregadas no alto forno. Oxigênio aquecido a uma temperatura de 1000°C é soprado pela parte de baixo do alto forno. O carvão, em contato com o oxigênio, produz calor que funde a carga metálica e dá início ao processo de redução do minério de ferro em um metal líquido: o ferro-gusa. O gusa é uma liga de ferro e carbono com um teor de carbono muito elevado.
- Refino:** Usinas a oxigênio ou elétricas são utilizado para transformar o gusa líquido ou sólido e a sucata de ferro e aço em aço líquido. Nessa etapa parte do carbono contido no gusa é removido juntamente com impurezas. A maior parte do aço líquido é solidificada em equipamentos de lingotamento contínuo para produzir semiacabados, lingotes e blocos.
- Laminação:** Os semiacabados, lingotes e blocos são processados por equipamentos chamados laminadores e transformados em uma grande variedade de produtos siderúrgicos, cuja nomenclatura depende de sua forma e/ou composição química.

De acordo com Crasto e Freitas (2006), no sistema LSF são tomadas bobinas de aço revestidas com zinco, ou uma alheação de zinco-alumínio, por processo contínuo de imersão em quente ou por eletrodeposição, onde o resultado do processo é conhecido como aço galvanizado, o qual proporciona ao material maior resistência à corrosão. Disto são obtidos os perfis, por meio de perfilagem em frio em prensas dobradoras de matrizes rotatórias, como mostra a Figura 3.6, a partir de bobinas de aço.



**Figura 3.6** - Fabricação por perfilagem de perfis em “U”.  
**Fonte:** CRASTO e FREITAS, 2006.

ConsulSteel (2001) descreve os processos feitos no aço da seguinte forma:

**Galvanizado:** recobrimento standard feito numa liga de zinco e alumínio entre 0,18 e 0,22% e antimônio de 0,03 até 0,05%. A chapa apresenta uma cristalização muito visível em forma de estrela chamado de flor, dando um aspecto mais uniforme na totalidade da chapa.

**Cincalum:** é uma chapa de aço coberta com uma liga de alumínio-zinco com composição química de recobrimento de 55% de alumínio, 1,6% de silício e o restante de zinco. Este revestimento tem uma excelente resistência à corrosão devido a sua maior quantidade de alumínio. É usado principalmente em coberturas e como vedação.

A ABNT NBR 15253 (2005) descreve que a massa mínima de revestimento das chapas de aço encontra-se entre os 100 e 180 gramas por  $m^2$  nas duas faces como é apresentado na Tabela 3.1. A espessura da chapa varia de 0,8 e 3,2 mm para perfis de LSF e até de 0,4 para perfis utilizados em vedações não portantes (CRASTO e FREITAS, 2006).

**Tabela 3.1** - Revestimento mínimo dos perfis estruturais e não estruturais.

TIPO DE REVESTIMENTO	PEFIS ESTRUTURAIS		PERFIS NÃO ESTRUTURAIS	
	Massa mínima do revestimento g/m <sup>2</sup> (1)	Designação do revestimento conforme normas	Massa mínima do revestimento g/m <sup>2</sup> (1)	Designação do revestimento conforme normas
Zincado por imersão a quente	180	Z 180 (NBR 7008)	100	Z 100 (NBR 7008)
Zincado por eletrodeposição	180	90/90 (NBR 14964)	100	50/50 (NBR 14964)
Alumino-zinco por imersão a quente	150	AZ 150 (NM 86)	100	AZ 100 (NM 86)

(1) A massa mínima refere-se ao total nas duas faces (média do ensaio triplo) e sua determinação deve ser conforme a NM 278

**Fonte:** ABNT NBR 15253 (2005).

### 3.3 ENERGIA UTILIZADA NA FABRICAÇÃO

Na Tabela 3.2, apresenta-se as principais etapas na fabricação do aço com uma estimativa de sua Energia Incorporada Total ( $E_{I_{TOT}}$ ).

**Tabela 3.2** - Energia Incorporada do Aço.

AÇO	FONTE	CONVERSÃO	MJ/Kg
Aço bruto-media	BEM, 2005; IBS (2004)	0,62 Tep/t	25,95
Laminação	IBS (2004)	829 Mcal/t	3,5
Mineração	Ribeiro (2003)	0,1 MJ/t	0,12
Transportes	1900 Kg minério, dist 600 Km	0,73 MJ/t/Km	0,92
<b>TOTAL</b>			<b>30,49</b>

**Fonte:** TAVARES, 2006.

A ABNT NBR 15253 (2005) designa os tipos de perfis de aço formados a frio e suas respectivas aplicações no sistema LSF, além de fornecer uma tabela com as dimensões nominais usuais dos perfis de aço.

Os perfis mais utilizados no Brasil são simples (U), U enrijecidos (Ue) , Cartola ou ripa, cantoneiras e tiras planas. Crasto e Freitas (2006) comentam que as dimensões da alma dos perfis “Ue” variam geralmente de 90 a 300 mm, além de ser possível sua utilização em

outras dimensões como ilustrado na Tabela 3.3. Os perfis “U” apresentam uma largura de alma maior que a do perfil “Ue”, permitindo encaixe do perfil Ue no perfil guia U. No Brasil as dimensões comercializadas são 90, 140 e 200 mm. As medidas podem variar de 25 a 50 mm dependendo do fabricante e do tipo de perfil.

**Tabela 3.3** - Dimensões nominais dos perfis de aço para LSF.

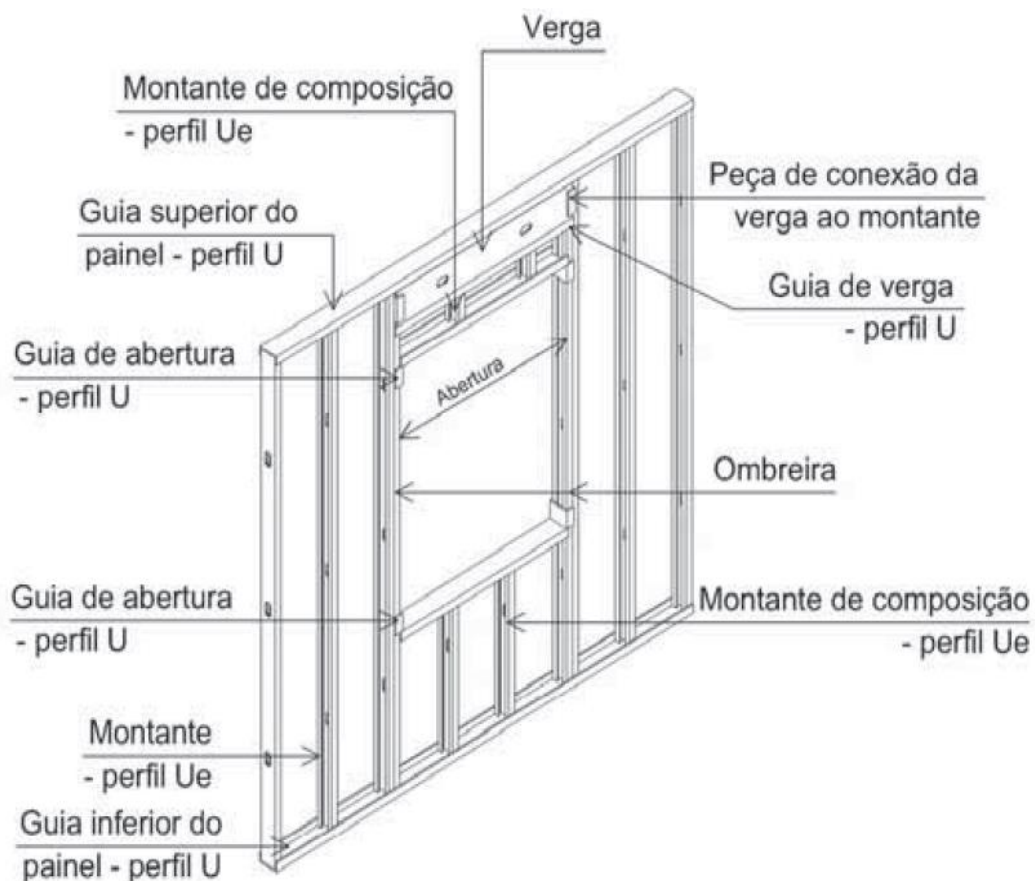
DIMENSÕES (mm)	DESIGNAÇÃO (mm)	LARGURA DA ALMA bw (mm)	LARGURA DA MESA bf (mm)	LARGURA DO ENRIJECEDORA DE BORDA - D (mm)
Ue 90X40	Montante	90	40	12
Ue 140x40	Montante	140	40	12
Ue 200x40	Montante	200	40	12
Ue 250x40	Montante	250	40	12
Ue 300x40	Montante	300	40	12
U 90X40	Guia	92	38	-
U140X40	Guia	142	38	-
U 200X40	Guia	202	38	-
U 250X40	Guia	252	38	-
U 300X40	Guia	302	38	-
L 150X40	Cantoneiras de abas desiguais	150	40	-
L200X40	Cantoneiras de abas desiguais	200	40	-
L250X40	Cantoneiras de abas desiguais	250	40	-
Cr 20X30	Cartola	30	20	12

As siglas de Largura da alma bw, Largura da mesa bf, e Enrijecedor de alma D correspondem às figuras apresentadas na tabela 3.4.

**Fonte:** ABNT NBR 15253 (2005).

Os painéis são formados por guias e montantes estruturais com largura variável e os espaçamentos dos montantes entre 40 a 60 cm dependendo do tipo de edificação a ser desenvolvida e da espessura da chapa. A estrutura é parafusada com parafusos auto-brocantes galvanizados, com cabeça chata tipo *Philips*.

Nos vãos projetados para portas e janelas deverão ser previstos reforços como é apresentado na Figura 3.7.



**Figura 3.7** - Desenho esquemático de painel estrutural com abertura para janela.

**Fonte:** CRASTO e FREITAS, 2006.

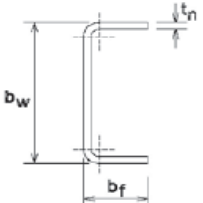
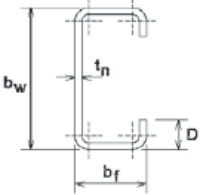
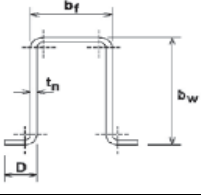
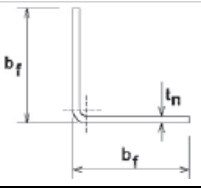
Os perfis tipo “Ue” são utilizados principalmente como montantes ou vigas, e encarregados de absorver e transmitir os esforços da estrutura, trabalhando em conjunto com as guias e tiras, formando uma parede e transmitindo as cargas para a fundação e posteriormente ao solo (RODRIGUES, 2006).

O mesmo autor comenta que no Brasil o aço especificado para as estruturas de LSF são os Zincados de Alta Resistência (ZAT) com resistência ao escoamento ( $f_y$ ) não inferior a 230 MPa.

Crasto e Freitas (2006) *apud* Garner (1996) descreve que tiras ou fitas vêm em uma variedade de larguras e são normalmente utilizados para a estabilização dos painéis e formação de ligações. As cantoneiras são usadas em conexões de elementos onde o perfil “Ue” não é adequado. A Cartola é empregada comumente como ripas de telhado.

Na Tabela 3.4 são apresentados os perfis de aço para uso em *Light Steel Framing*

**Tabela 3.4** - Perfis de aço formados a frio para LSF.

SEÇÃO TRANSVERSAL	SÉRIE DESIGNAÇÃO NBR 6355:2003	UTILIZAÇÃO
	<p>U simples U <math>b_w \times b_t \times t_n</math></p>	<p>Guia Ripa Bloqueador Sanefa</p>
	<p>U enrijecido Ue <math>b_w \times b_t \times D \times t_n</math></p>	<p>Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga</p>
	<p>Cartola Cr <math>b_w \times b_t \times D \times t_n</math></p>	<p>Ripa</p>
	<p>Cantoneira de abas desiguais L <math>b_{f1} \times b_{f2} \times t_n</math></p>	<p>Cantoneira</p>

**Fonte:** adaptado de NBR 15253 (2005).

### 3.4 ALTERNATIVAS DE ACABAMENTO PARA LSF

As alternativas de fechamento do LSF abrangem painéis constituídos por placas, que são compostos por elementos de pequena espessura que necessitam de uma estrutura própria para a sua fixação, no caso o LSF. Como exemplo tem-se as placas de gesso acartonado, as placas cimentícias e as placas de OSB (*Oriented Strand Board* - Painéis de fibras orientadas) (MACHADO, 2010).

Para a análise das alternativas de vedação aplicadas ao LSF conforme previsto nos objetivos, foi feito um levantamento dos tipos existentes no comércio brasileiro: placa de gesso acartonado, placa cimentícia e placa de OSB. A seguir são descritos sucintamente os materiais constituintes e os processos destas placas, bem como, as características principais que serão utilizadas na análise, entre outras: condutividade térmica, massa específica, energia incorporada e vida útil.

### **3.4.1 Placa de OSB**

A placa OSB é composta de madeira essencialmente constituída por dois componentes: madeira e colas sintéticas (resinas fenólicas ou isocianatos). As colas sintéticas utilizadas na fabricação do OSB são concebidas para aplicações exteriores, com boa resistência à água e alto grau de durabilidade. É conhecido que a madeira tem uma vida útil longa, quando for devidamente projetada, instalada e mantida. Portanto, se a coesão interna do OSB for mantida, sua vida útil deve ser comparável à da madeira maciça (APA, 2000).

Em relação ao ataque de fungos os resultados dos estudos feitos por Shi e Wang (1997), indicaram que o desempenho dos compósitos de madeira, no que diz respeito à perda de massa, foi melhor que o da madeira maciça. Isto devido à maior densidade da madeira nas placas e da incorporação de adesivos sintéticos. Quando a densidade é mais alta, a penetração do oxigênio e da umidade para o interior do substrato torna-se mais difícil, inibindo o crescimento de fungos. As colas sintéticas também têm efeito repelente sobre o ataque de fungos.

No Brasil, o painel OSB fabricado para a utilização em fechamentos verticais é: OSB Home Plus Estrutural - painel estrutural indicado para fechamento e contraventamento de vedações (sistema construtivo LSF), pisos e telhados.

Na obra, os processos de corte e fixação das placas se mostram fáceis de executar, sendo estas presas por parafusos de aço galvanizado autoperfurantes e autobrocantes.

A única empresa fabricante de OSB no Brasil era a empresa MASISA em Ponta Grossa - PR. Em novembro de 2008 a empresa LP Brasil, comprou parte da fábrica MASISA, mas não parou com o processo de produção do painel de OSB. A MASISA ainda existe, porém tem o foco em produtos para o mercado moveleiro (LP BRASIL, 2012).

Para a utilização da placa OSB é necessário integrar outros componentes como placas cimentícias e de gesso formando sistema tipo sanduiche, que pode ser aplicado em qualquer tipo de habitação, sendo esta de alto padrão, comercial ou casas populares.

#### **3.4.1.1 Matéria prima e demais componentes**

Geralmente para a fabricação do OSB, são utilizadas madeiras de espécies de crescimento rápido como Pinus ou Eucalipto, provenientes de florestas plantadas, junto com resina MDI e resina fenólica.



O OSB produzido no Brasil possui as bordas seladas nas cores laranja e amarela como é observado na Figura 3.9 garantindo resistência à umidade e recebe aditivos a base de ciflutrina, inofensivo para o ser humano, e que protege contra o ataque de cupins.



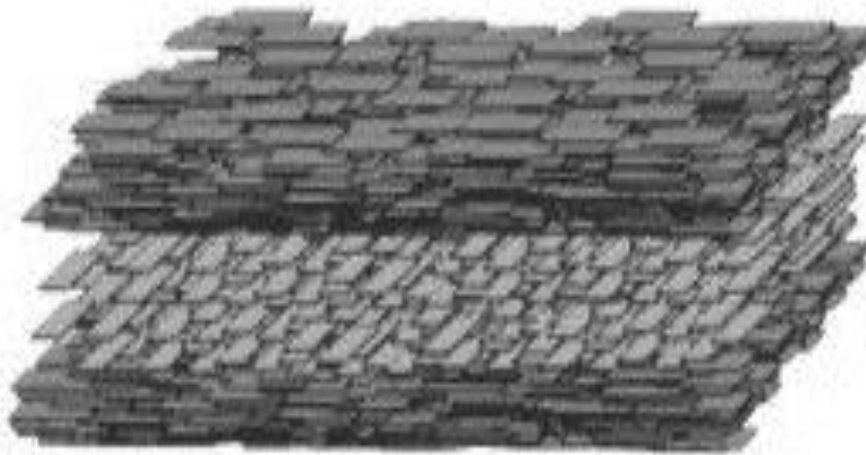
**Figura 3.8** - Fixação painéis de OSB.

**Fonte:** arquivo do autor.

Pelo fato dos painéis serem tratados contra insetos como cupins e ter as bordas das chapas seladas, aumenta a sua resistência à umidade, podendo ser utilizados tanto como fechamento interno como fechamento externo, mas não devem ser expostos a intempéries, necessitando de acabamento impermeável quando são utilizados em áreas externas (SOUZA, 2007). Comercialmente as dimensões das placas dos painéis de OSB são de 1,22 m x 2,44 m e espessuras de 9, 12, 15 e 18 mm.

#### **3.4.1.2 Processo de Produção**

Daltro *et al.* (2009) descrevem que as placas de OSB são constituídas de lâminas que vão de 5x10cm até 5x25cm de comprimento, as quais são coladas com resina e dispostas em camadas, onde cada camada é orientada em uma direção como apresentado na Figura 3.9, maximizando a resistência mecânica e a rigidez.



**Figura 3.9** - Placas de OSB, partículas orientadas.

**Fonte:** FUTURENG, 2012.

De acordo com Machado (2010), com um pulverizador de alto desempenho a resina é agregada uniformemente a cada uma das lâminas garantindo uma colagem perfeita. As lâminas seguem para a formadora, onde são distribuídas em camadas nos sentidos longitudinais e transversais, formando um colchão que é prensado, e por bandas de aço e rolos compressores a uma alta pressão e temperatura (até 250 °C). Dependendo do produto final as placas passam por acabamentos diferenciados como lixamento, selagem de borda, corte em tábuas, usinagem macho e fêmea ou aplicação de filme fenólico (MASISA, 2009).

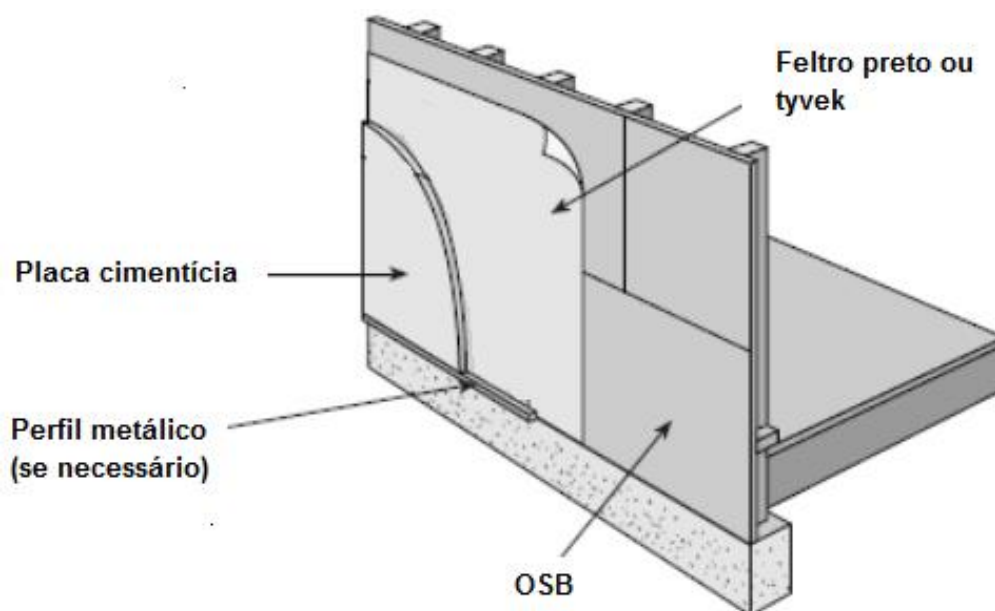
As propriedades de resistência mecânica e rigidez das placas OSB possibilitam seu uso, principalmente, para revestimento estrutural do esqueleto das estruturas em LSF. Assim, estas placas não são meramente decorativas, possuindo funções estruturais passíveis de cálculos de engenharia.

#### **3.4.1.3 Energia incorporada EI na fabricação e transporte.**

Feita a análise do processo de produção das placas de OSB, observa-se que esta obedece a um mesmo padrão de produção de placas de MDF ou de madeira laminada colada, somente diferenciado pelo tamanho das lâminas que o compõem, lembrando que estas possuem um processo adicional de selagem da borda. De acordo com Graf (2011), a energia incorporada das placas de OSB é de 7,5 MJ/Kg, 4875 MJ/m<sup>3</sup> e segundo a ABNT NBR 15220 (2005) densidade de 1000 Kg/m<sup>3</sup>. Estes valores consideram a energia utilizada na extração, transporte, e fabricação.

#### 3.4.1.4 Vida útil e manutenção

A placa OSB, possui 10 anos de garantia anti-cupim e 20 anos de garantia estrutural. Estas garantias estão diretamente relacionadas com os cuidados de manuseio, uso e manutenção dos painéis. Machado (2010) menciona que deve ser dada atenção às alterações no teor de umidade, que podem afetar a estrutura interna das placas, devido ao inchamento e retração dos elementos de madeira. As recomendações são que estas placas sejam usadas em um ambiente de serviço sem contato direto com a água. A placa OSB estrutural não é um produto de acabamento, portanto o processo de manutenção será realizado no produto utilizado como acabamento final, como é apresentado na Figura 3.10, neste caso placa cimentícia.



**Figura 3.10** - Utilização placas de OSB.

**Fonte:** MACHADO, 2010.

#### 3.4.1.5 Propriedades térmicas e dimensões

Na Tabela 3.5 são apresentadas algumas propriedades das placas, tais como, massa, densidade, condutividade térmica e resistência térmica para espessuras padrão.

**Tabela 3.5** - Propriedades físicas placas de OSB.

MATERIAL	MASSA Kg/m <sup>2</sup>	DENSIDAD Kg/m <sup>3</sup>	PESO DA PLACA Kg	RESISTENCIA TÉRMICA	
				CONDUTIVIDADE $\lambda$ W/m.K	R = (e/ $\lambda$ ) = m <sup>2</sup> .K/W
OSB 9,5mm	7,22	650 a 750	20,8	0,13	0,073
OSB 11,1mm	8,26	700 a 800	23,8	0,12	0,093
OSB 15,1mm	11,04	800 a 900	31,8	0,20	0,075
OSB 18,3mm	13,58	900 a 1000	39,1	--	--

**Fonte:** LP BRASIL, 2012.

### 3.4.2 Placa de Gesso

As placas de gesso acartonado são fabricadas através de um processo industrial conhecido como laminação contínua de uma mistura de sulfato de cálcio (gipsita), água e aditivos (liquidificante, amido, espumante etc.). Essa mistura é revestida em ambos os lados com lâminas de papel cartão conferindo para o gesso resistência à tração e à flexão (MACHADO, 2010)

O gesso é parte de uma família de aglomerantes simples, constituído principalmente de sulfatos, mais ou menos hidratados, e anidros de cálcio, obtidos pela calcinação da gipsita natural, constituída de sulfato di-hidratado de cálcio geralmente acompanhado de certa proporção de impurezas, como sílica, alumina, carbonatos de cálcio e magnésio (LOPEZ, 2008).

#### 3.4.2.1 Matéria-Prima e demais componentes

A matéria prima do gesso é a gipsita, comercialmente chamada de gesso natural. Outro componente importante da chapa de gesso é o papel cartão, que faz a laminação do gesso nas duas faces.

Do ponto de vista econômico, os principais depósitos de gipsita no Brasil estão localizados na Bacia sedimentar do Araripe, em Pernambuco. Este conjunto de municípios (Trindade, Ipubi, Bodocó) produz mais de 90 % do gesso da produção nacional. O mineiro gipsífero do polo gessífero de Araripe é classificado como de excelente qualidade industrial, em face de uma consistente concentração de sulfatos, da ordem de 90 % a 95 %, enquanto as

impurezas de origem terrígena se apresentam em quantidades desprezíveis, raras vezes ultrapassando a 0,5 % de rocha total. (MARCONDES, 2007).

Existem varias fabricas encarregadas de produzir placas de gesso acartonado, algumas delas localizadas nos municípios de exploração do material.

### 3.4.2.2 Processo de produção

O processo de produção das chapas de gesso acartonado divide-se em duas grandes etapas. A primeira, denominada calcinação, consiste na transformação do minério de gipsita em gesso, ou seja, do sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ) em hemi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ), por meio das etapas de moagem, calcinação e resfriamento controlado.

A segunda etapa, de fabricação da chapa, consiste nas fases de dosagem, endurecimento e secagem. No processo de dosagem, o gesso recebe aditivo e água até atingir consistência ideal para ser lançado sob a lâmina inferior de papel cartão. Em seguida é aplicada a lâmina superior de papel cartão e a chapa passa por um sistema de calandras para garantir a espessura uniforme da chapa. Num processo contínuo, segue na mesa formadora onde acontece o processo de endurecimento (Figura 3.12), passa então pela guilhotina, para o corte nos comprimentos desejados e segue para o secador. Ocorre então a identificação e paletização das chapas (MARCONDES, 2007).



**Figura 3.11** - Processo de produção de das chapas de gesso acartonado.

**Fonte:** MARCONDES, 2007.

No mercado nacional, de acordo com a Knauf (2012a) estão disponíveis três tipos de chapas para fechamentos verticais: Standard (ST), Resistentes à Umidade (RU) e Resistentes ao Fogo (RF).

- As chapas Standard (ST) são indicadas para uso geral, sendo normalmente utilizadas em paredes, tetos e revestimentos de áreas secas.
- As chapas Resistentes à Umidade (RU) são indicadas para uso em áreas úmidas ou sujeitas à ação da umidade como banheiros, cozinhas e áreas de serviço. Essas são diferenciadas das chapas de uso comum pela cor verde da superfície do papel cartão e pela composição, pois contêm elementos hidrofugantes. Mesmo sendo indicadas para áreas molháveis os painéis RU não devem ser empregados em áreas sujeitas a uma taxa de umidade relativa superior a 95%. Temperaturas superiores a 50°C podem modificar as características desse tipo de chapa, comprometendo o seu desempenho.
- Além da alta resistência ao fogo, que naturalmente o gesso possui, as chapas Resistentes ao Fogo (RF) contêm retardantes de chama em sua fórmula, sendo indicadas para uso em áreas especiais como saídas de emergência e escadas enclausuradas. Estas chapas também são conhecidas como “chapas rosa”.

Neste estudo limitou-se somente a análise das chapas *standard* pelo fato de ser a mais comumente usada nos fechamentos internos do LSF.

#### **3.4.2.3 Energia incorporada na fabricação e transporte.**

De acordo com Tavares (2006); Graf (2011) a energia incorporada EI em placas de gesso é de 4,50 MJ/kg, 4500 MJ/m<sup>3</sup> e a densidade de 1000 Kg/m<sup>3</sup>. Estes valores consideram a energia utilizada na extração, transporte, e fabricação.

#### **3.4.2.4 Vida útil e manutenção**

Segundo informações dos fabricantes podem-se considerar no mínimo 30 anos com as manutenções e utilizações adequadas.

A manutenção das placas é simples e consiste basicamente em limpeza e pequenos reparos. A limpeza pode ser feita com uma esponja e os detergentes ou demais produtos existentes

no mercado, com um cuidado básico: evitar o uso de grande quantidade de água. Pequenos reparos na superfície podem ser feitos com massa para tratamento de juntas ou com massa corrida (da mesma forma que nas paredes de alvenaria).

### 3.4.2.5 Propriedades térmicas e dimensões fornecidas.

As chapas de gesso devem ser produzidas de acordo com as ABNT: NBR 14715 (2001); NBR 14716 (2001) e NBR 14717 (2001). De forma geral, as chapas são comercializadas com largura de 1,20 m e comprimentos que variam de 1,80 m a 3,6 m, de acordo com o fabricante. As espessuras normalmente fornecidas são de 9,5 mm, 12,5 mm, e 15 mm, como apresenta-se na Tabela 3.6.

**Tabela 3.6** - Propriedades físicas placas de Gesso.

Espessura do material	Comprimento (m)	Largura (m)	Massa da placa (Kg/m <sup>2</sup> )	Densidade Kg/m <sup>3</sup>	Condutividade Térmica $\lambda$ W/m.K
Placa de gesso 12,5mm	1,80	1,20	8,0	de 640 até 950	0,16
	2,00	1,20	9,0		
	2,40	1,20	10,0		
	2,70	1,20	11,0		
	2,80	1,20	12,0		
Placa de gesso 15,0mm	1,80	1,20	10,0	de 670 a 1000	
	2,00	1,20	11,0		
	2,40	1,20	12,0		
	2,70	1,20	13,0		
	2,80	1,20	14,0		

**Fonte:** ABNT NBR 14716 (2001).

### 3.4.3 Placa Cimentícia

As placas cimentícias são compostas basicamente por uma mistura de cimento *Portland*, fibras de celulose ou sintéticas e agregados. No mercado existem fabricantes que utilizam a tecnologia CRFS (cimento reforçado com fibras sintéticas) sem a utilização de amianto na sua composição. (BRASILIT, 2012)

Toda chapa delgada que contém cimento na composição é chamada de cimentícia. No mercado brasileiro atual encontram-se as seguintes placas cimentícias:

- Chapas delgadas de concreto leve, reforçada por uma camada de telas de fibra de vidro em cada face (GRC- *Glassfibre Reinforced Cement*);
- Chapas de Fibrocimento, que foram desenvolvidas a partir de matrizes de cimento que contêm amianto, mas com as restrições legais a respeito do uso do mesmo, teve esse componente substituído por celulose e fibras sintéticas (álcool polivinílico, polipropileno, etc...), fabricados em processo contínuo;
- Outras, fabricadas em fôrma com espessura um pouco maior e também com fibras na composição.

#### **3.4.3.1 Matéria-Prima e demais componentes**

As chapas cimentícias da Brasilit são produzidas na fábrica situada no município de Capivari-SP, próxima à Rodovia Campinas – Tietê.

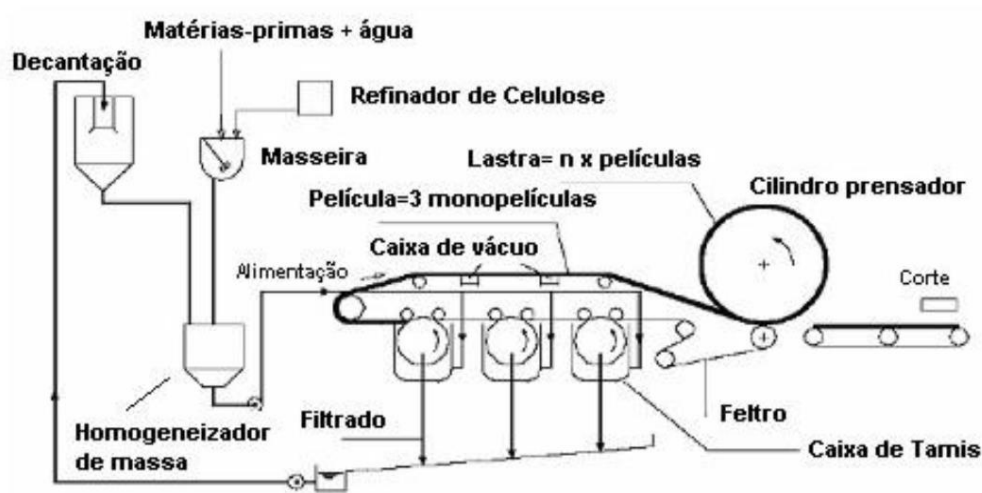
A principal matéria-prima para a fabricação desses painéis é o cimento Portland CP-V. São adicionados no processo de fabricação fios de polipropileno, e celulose provenientes do Paraná, aproximadamente 750 km da Brasilit. (MACHADO, 2010).

Os materiais usados na produção de cimento são: calcário, argila (matérias-primas); areia e outros aditivos combustíveis e insumos como o minério de ferro, escória, gesso, escoria e outros. Na produção de cimento pela Holcim os combustíveis tradicionais (coque de petróleo e carvão mineral) são parcialmente substituídos por fontes alternativas de energia, entre elas resíduos industriais (co-processamento) e biomassa, de carvão vegetal (HOLCIM, 2007).

#### **3.4.3.2 Processo de produção**

Os painéis cimentícios produzidos no Brasil devem ser feitos sem amianto em conformidade com a ABNT NBR 15498 (2007). Cerca de 85% dos produtos em fibrocimento comercializados no mundo são produzidos via processo Hatschek (Figura 3.13). Este processo de produção é o mesmo utilizado para a produção das telhas onduladas e caixas de água em fibrocimento.





**Figura 3.12** - Desenho esquemático da máquina Hatschek.  
**Fonte:** MACHADO, 2010.

Na primeira etapa do processo Hatschek, uma suspensão diluída de cimento, composta de mineral e fibras é preparado num misturador (masseira) e alimentado ao processo via um tanque homogeneizador. Nas caixas de tamis, ocorre a filtragem da suspensão e formação de uma película de massa que é transferida para um feltro.

Este feltro leva a película para o cilindro prensador, onde ocorre o acúmulo de películas até a obtenção da espessura desejada. Ao se atingir a espessura desejada, o cilindro prensador libera uma lastra de fibrocimento que segue para uma mesa de corte e em seguida, para uma mesa de placas planas onde a lastra é conformada e encaminhada para a etapa de cura.

Após a cura inicial, de aproximadamente 8 horas, o produto é retirado das formas e encaminhado para complementação da etapa de cura por 14 a 28 dias (MACHADO, 2010).

Na fabricação, esses painéis recebem tratamento adicional que confere maior resistência superficial à abrasão, transformando-se numa solução ideal como elemento de fechamento de paredes estruturais, paredes de vedação e fachadas, podendo ser utilizada em ambientes externos e internos, com acabamento em pintura (BRASILIT, 2012).

### 3.4.3.3 Energia Incorporada (EI) na fabricação e Transporte

Após a análise da produção de placas cimentícias e entendendo que a matéria prima principal na elaboração é o cimento Portland, autores como Tavares (2006) e Graf (2011), atribuem um valor de EI em placas de fibrocimento de 6,00 MJ/kg, 9600 MJ/m<sup>3</sup> e

densidade de 1920 Kg/m<sup>3</sup>. Estes valores consideram a energia utilizada na extração, transporte, e fabricação.

#### **3.4.3.4 Vida útil e manutenção**

As placas cimentícias recebem tratamento impermeabilizante que lhes confere menor absorção de umidade e maior estabilidade dimensional, dispensando impermeabilização adicional na obra e podendo ser usada em qualquer espaço interno ou externo da edificação.

A vida útil das placas de fibrocimento é muito elevada por ter natureza similar a um micro-concreto armado. Segundo Machado (2010) *apud* Salum (2009), como o produto em forma de painel é novo, pode-se avaliar sua durabilidade pela vida útil das telhas em fibrocimento (mesmo material) que podem durar mais de 70 anos.

Cada tipo de placa cimentícia apresenta características diferentes. Para otimizar seu uso, deve ser feita uma pesquisa junto ao fabricante a fim de evitar riscos de patologias. As patologias podem ser ocasionadas pela baixa qualidade de alguns produtos e pela má instalação das chapas.

A manutenção ocorre principalmente no tipo de revestimento que foi dado ao painel como *siding* vinílico, pintura, texturas, etc. Uma melhor utilização das placas requer uma aplicação correta das recomendações dadas pelo fabricante do produto evitando patologias a futuro.

Segundo Crasto e Freitas (2006), alguns cuidados especiais devem ser tomados na especificação do tipo de junta levando em consideração a variação dimensional das placas devido à temperatura e umidade do ambiente e a natureza do acabamento adotado. As juntas podem ser aparentes ou invisíveis. No primeiro caso a aplicação de perfis ou selantes elastoméricos destacam visualmente a junta e são mais indicados para os casos de placas que possuem coeficiente de variação dimensional alto. As bordas devem ser planas para aplicação de juntas aparentes. No caso das juntas invisíveis a especificação varia de acordo com o fabricante, porém é sempre indicado reforço sobre a junta de tela de fibra de vidro resistente à alcalinidade. Na aplicação de juntas invisíveis, as bordas das placas devem ser rebaixadas para garantir o nivelamento do tratamento da junta.

### 3.4.3.5 Propriedades térmicas e dimensões

As propriedades termo físicas e as dimensões fornecidas variam de acordo com o fabricante. As chapas de fibrocimento sem amianto apresentam baixa condutividade térmica frente a outros materiais e bom isolamento térmico. Na placa de fibrocimento analisada a condutividade térmica é de 0,65 W/m.K. e a massa específica 1,70 g/cm<sup>3</sup> (BRASILIT, 2009).

Geralmente as placas cimentícias com tecnologia CRFS são comercializadas nas dimensões de largura fixa de 1,20 m e comprimentos que variam de 2,00 m, 2,40 m e 3,00 m. As espessuras também variam de 6, 8, 10 e 12 mm de acordo com sua a função. Na Tabela 3.7 apresentam-se as dimensões padrões fornecidas e suas aplicações.

**Tabela 3.7** - Propriedades físicas e aplicações de placas cimentícias.

Espessura (mm)	Comprimento (m)	Largura (m)	Massa da placa (Kg)	Massa/m <sup>2</sup> (Kg/m <sup>2</sup> )	Aplicações
6	2.0	1,20	24.4	10.2	Dutos de ar condicionado, divisórias leves, pequenos arremates.
	2.4	1,20	29.4	10.3	
	3.0	1,20	36.7	10.4	
8*	2.0	1,20	32.6	13.6	Paredes internas em áreas secas e úmidas, revestimento de paredes comum.
	2.4	1,20	39.2	13.7	
	3.0	1,20	49.0	13.8	
10*	2.0	1,20	40.8	17.0	Áreas secas e úmidas internas e externas em sistemas <i>steel frame</i> , isolamentos acústicos.
	2.4	1,20	49.0	17.1	
	3.0	1,20	61.2	17.2	
12*	2.0	1,20	48.9	20.4	Uso interno com <i>drywall</i> , fechamentos e externos que necessitem de maior espessura por questões estéticas ou físicas específicas.
	2.4	1,20	58.8	20.5	
	3.0	1,20	73.5	20.6	

\* Placas disponíveis com bordas longitudinais rebaixadas para junta invisível. Obs.: placas com outras dimensões, cortes especiais, rebaixo nas quatro bordas e sem impermeabilização são produzidas sob encomenda.

**Fonte:** PINI, 2008.

### **3.4.4 Siding Vinílico**

O *Siding* ou revestimento vinílico (PVC) é um revestimento externo utilizado como barreira resistente à intempérie. Está desenhado para permitir que o material utilizado como base do sistema respire, sendo utilizado comumente para este fim, placas de OSB, portanto, não é uma capa impermeável. Devido à sua concepção e aplicação, o revestimento proporciona proteção suplementar contra chuva que aumenta a resistência do sistema a intempérie, reduzindo a quantidade de água que chega a barreira interior (que já é resistente a água), sendo utilizado no LSF uma barreira de polietileno de alta densidade. (SOUZA, 2005)

#### **3.4.4.1 Matéria-Prima e demais componentes**

O PVC, ou policloreto de vinila, é uma resina sintética oriunda da petroquímica, sendo o primeiro plástico a ser desenvolvido comercialmente no mundo, originado a partir da junção de duas matérias-primas naturais, o sal marinho ou cloreto de sódio (NaCl) e o petróleo. A principal matéria-prima do PVC é o sal marinho, recurso natural renovável e disponível em abundância na natureza. (SOUZA, 2005)

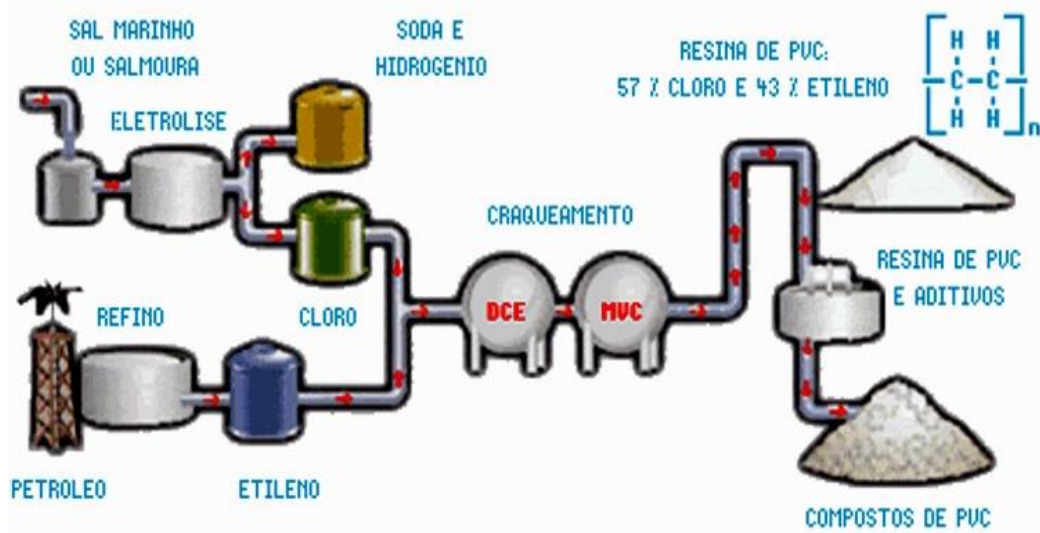
#### **3.4.4.2 Processo de produção**

O revestimento de PVC é produzido em conformidade com as ABNT NBR 14285 (1999), ASTM D 3679, ASTM D 4756. A partir do sal marinho, pelo processo de eletrólise, obtém-se o cloro, soda cáustica e hidrogênio. A eletrólise é a reação química resultante da passagem de uma corrente elétrica por água salgada (salmoura). Assim se dá a obtenção do cloro, que representa 57% da resina de PVC produzida.

No petróleo, que representa apenas 43% desta resina, o primeiro passo é uma destilação do óleo cru, obtendo-se a nafta leve. Esta passa, então, pelo processo de craqueamento catalítico (quebra de moléculas grandes em moléculas menores com a ação de catalisadores para aceleração do processo), gerando-se o eteno. Tanto o cloro como o eteno estão na fase gasosa e reagem produzindo o DCE (dicloro etano). (SOUZA, 2005)

A partir do DCE, obtém-se o MVC (mono cloreto de vinila, unidade básica do polímero, formado pela repetição da estrutura monomérica). As moléculas de MVC são submetidas

ao processo de polimerização, ou seja, elas vão se ligando, formando uma molécula muito maior, conhecida como PVC (policloreto de vinila), que é um pó muito fino, de cor branca, e totalmente inerte. (SOUZA, 2005)



**Figura 3.6** - Processo de produção de PVC.

Fonte: SOUZA, 2005.

### 3.4.4.3 Energia Incorporada (EI) na fabricação

De acordo com Tavares (2006); Graf (2011) a energia incorporada  $EI_F$  do PVC é de 80 MJ/kg, 104000MJ/m<sup>3</sup> e a densidade de 1300 Kg/m<sup>3</sup>. Estes valores consideram a energia utilizada na extração, transporte, e fabricação.


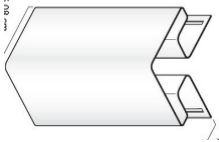
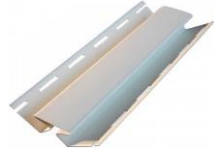

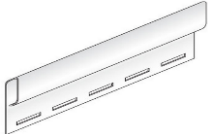
### 3.4.4.4 Vida útil e manutenção

Uma das principais características do **PVC** é o longo ciclo de vida de suas aplicações, que varia de 15 a 100 anos, sendo a média superior a 60 anos. Por ser reciclável, contribui diretamente para o melhor desempenho das edificações, ao reduzir custos e economizar insumos, além de contribuir nos resultados ambientais decorrentes da diminuição de resíduos.

### 3.4.4.5 Dimensões

As dimensões fornecidas variam de acordo com o fabricante e o estilo do sistema. De acordo com a LP Brasil, na Figura 3.7, são descritas as dimensões e tipos de formas (modelo americano).

**Tabela 3.8** - Dimensões dos componentes de revestimento.

PEÇA		DIMENSÃO	PESO (kg)
	Siding vinílico	0,20 x 3,80	1,54
	Cantoneira externa	3,00	1,40
	Cantoneira interna	3,00	0,96
	Perfil de início	3,80	0,96
	Perfil de término	3,80	0,62

**Fonte:** adaptado de LP BRASIL, 2013.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se a metodologia utilizada para cumprir os objetivos específicos do trabalho: (a) desenvolver um estudo piloto para análise do desempenho térmico das vedações do LSF (VLSF) comparativamente com a vedação convencional (VC); (b) levantar e comparar os valores de massa (M) por metro quadrado ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), e pelo total da habitação  $M_h$  ( $\text{kg}/\text{hab}$ ); (c) levantar e comparar a Energia Incorporada por metro quadrado  $E_{Im}^2$  ( $\text{MJ}/\text{kg}/\text{m}^2$ ) e por habitação  $E_{Ih}$  ( $\text{MJ}/\text{hab}$ ) das vedações verticais da HIS, utilizando a vedação com LSF (VLSF) e vedação convencional (VC) como comparativo.

O método utilizado no trabalho foi o estudo de caso, tomando-se como base um projeto de uma habitação tipo, situado em Luziânia-GO, entorno de Brasília - DF. Este caso foi escolhido devido ao interesse do empresário na obtenção de dados para seus projetos, portanto, houve uma pró-atividade de sua parte.

Foi considerado a zona bioclimática 4 pertencente ao entorno de Brasília onde está situado o estudo de caso, e os critérios de desempenho térmico em relação às propriedades de Transmitância Térmica  $U \leq 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  e Capacidade térmica  $CT \geq 130 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$ , conforme estabelecido na ABNT NBR 15575-4 (2013).

O estudo piloto referente ao item (a) foi desenvolvido para tornar possível a comparação dos sistemas de vedação na mesma base, considerando-se a sua função de isolamento térmico adequado em uma habitação. Para a vida útil foi considerado o mesmo valor para todas as vedações analisadas, igual a 40 anos. Como a análise não abrangeu a etapa de execução e manutenção, porém, este valor não foi utilizado nos cálculos.

O estudo piloto consistiu na análise de vários modelos de VLSF para verificar se estes atendem aos critérios de desempenho térmico em relação a U e CT. Como resultados foram apresentados somente os modelos que atendem a estes critérios. O critério utilizado para o cálculo foi o cálculo simplificado de elementos da edificação, no caso a vedação, baseado na ABNT NBR 15220 (2005). Para a VC foi considerado o cálculo de paredes heterogêneas.

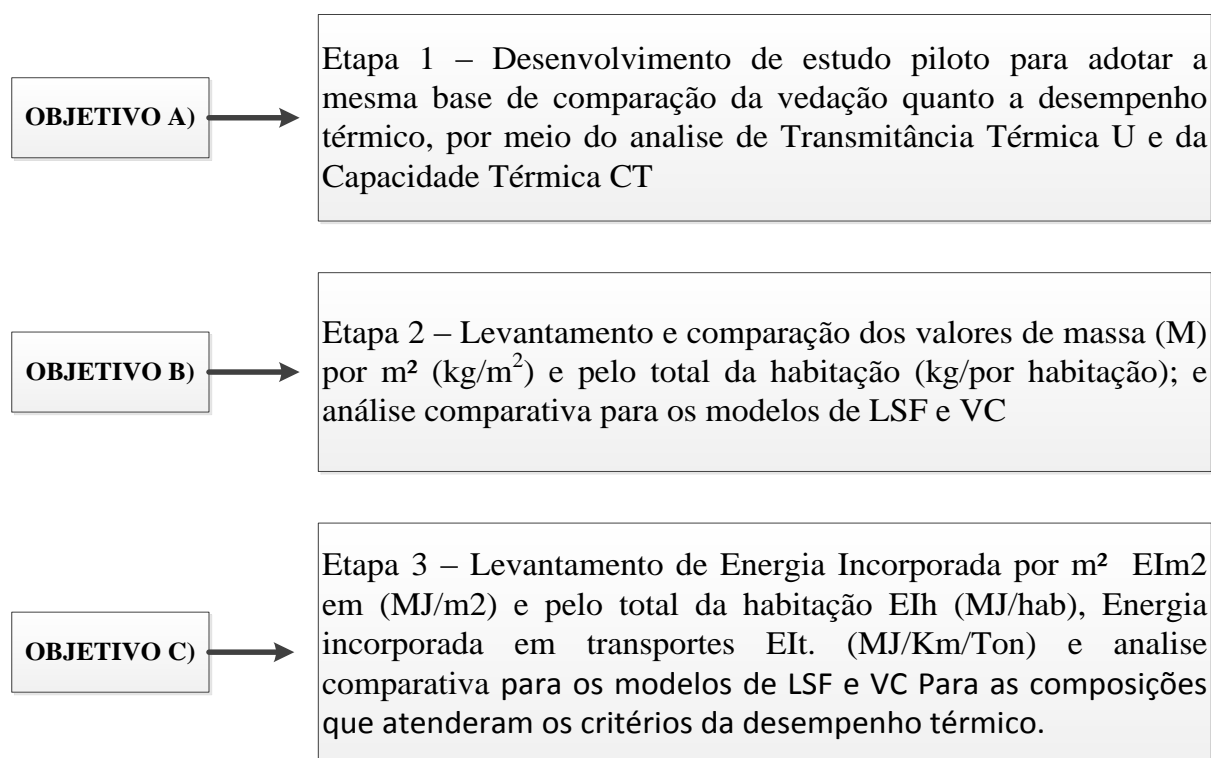
Para o cálculo da Energia Incorporada Total ( $E_{I_{TOT}}$ ) adotaram-se dados secundários obtidos da literatura nacional e de fabricantes. Foi considerada a fase pré-operacional da

ACV que inclui a EI na fabricação ( $EI_F$ ) e a Energia Incorporada no transporte ( $EI_t$ ) do material até o canteiro de obras. Ressalta-se que para a EI dos materiais foram considerados os valores que se apresentam mais próximos (entre si), indicando assim a probabilidade de serem provenientes de processos de fabricação semelhantes.

Os dados  $EI_F$  consideram a energia utilizada na extração da matéria prima, e produção do material. Para o cálculo da  $EI_t$  adota-se a distância que considera o início na fábrica e vai diretamente ao canteiro de obra, localizado na cidade de Luziânia – GO. No cálculo considera-se apenas o caminho de ida, por ser o momento em que o caminhão encontra-se carregado gerando maior consumo de combustível. Este critério foi considerado em trabalhos anteriores como Nabut Neto (2011) e Lobo (2010). Para os dados de  $EI_{TOT}$  adotou-se o valor de 1,62 MJ/ton/km, já adotado por outros trabalhos tais como Tavares (2006), Lobo (2010), Graf (2011) e Carminatti Júnior (2012).

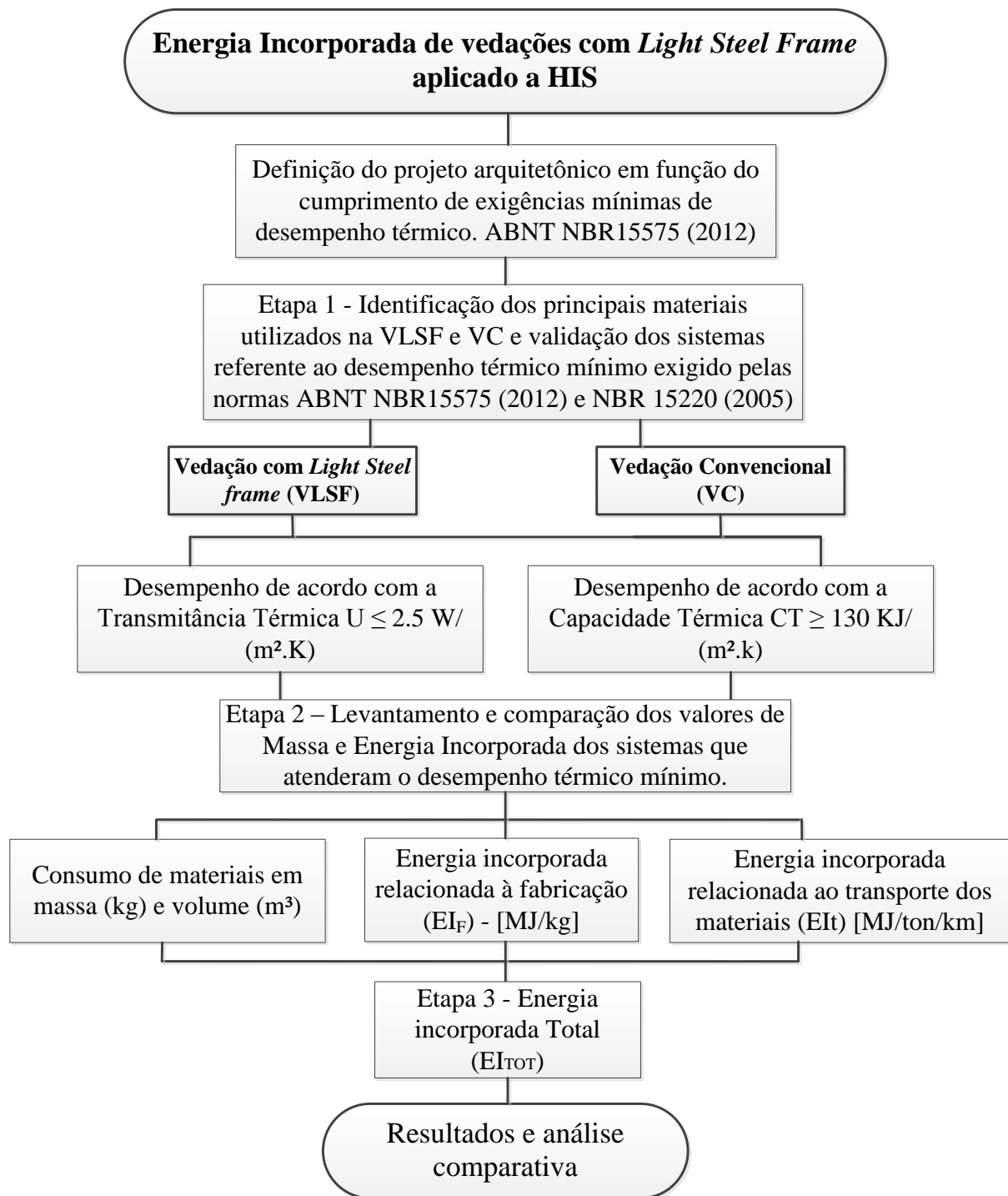
#### 4.2 ETAPAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS NO ESTUDO

As macro etapas e o detalhamento das etapas do estudo apresentam-se na Figura 4.1 e 4.2, respectivamente.



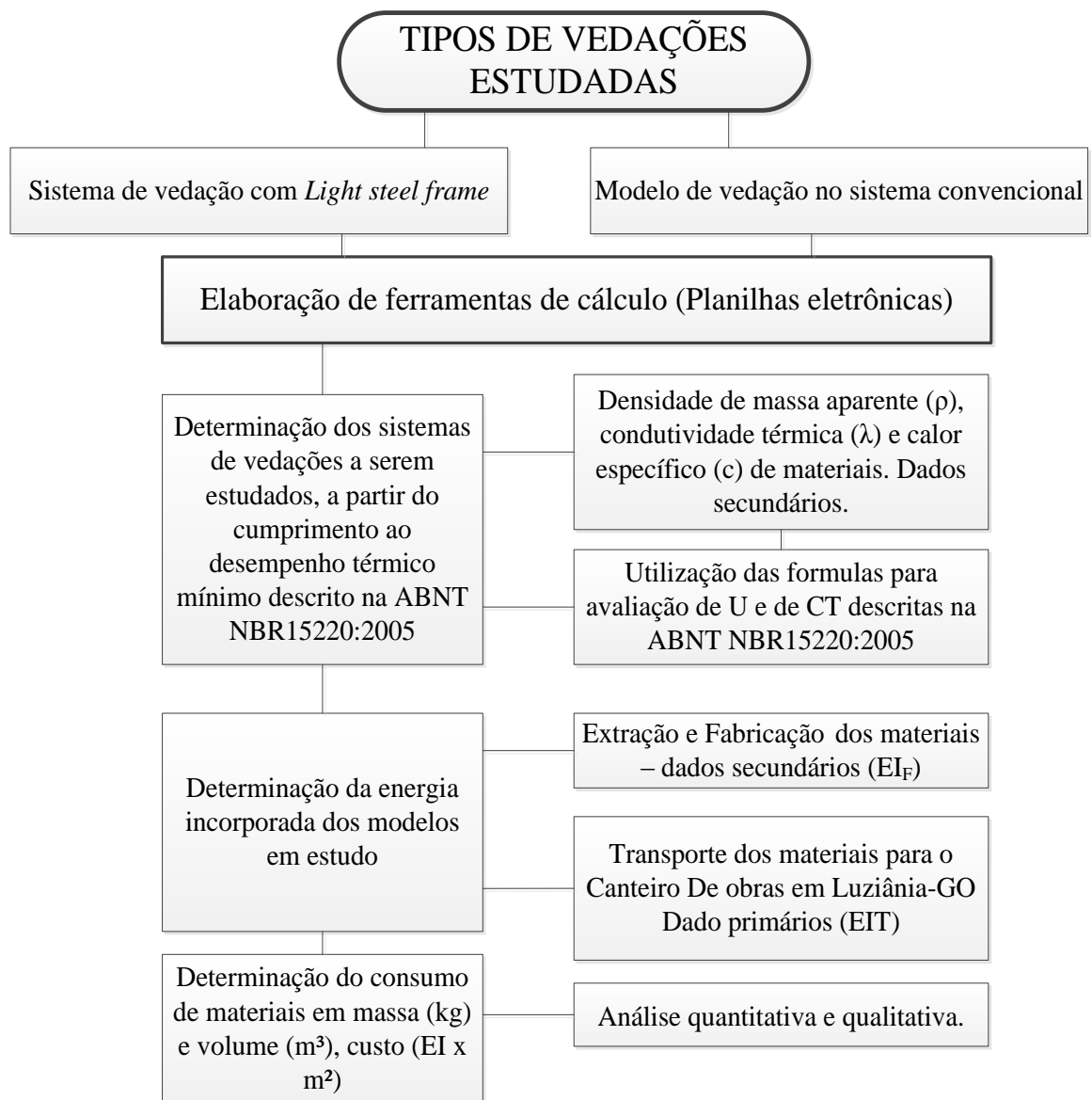
**Figura 4.1** - Macro etapas do estudo.





**Figura 4.2** - Detalhamento das etapas do estudo.

A organização deste trabalho utilizando como ferramenta de calculo planilhas eletrônicas seguiu as etapas conforme apresentado na Figura 4.3.



**Figura 4.3** - Organização metodológica da elaboração do estudo.

Foram elaboradas planilhas eletrônicas para o cálculo de U e CT utilizando a metodologia descrita pela ABNT NBR 15220 (2005) com base no cálculo simplificado, e apresentada nos Apêndices A e C para os modelos analisados de VLSF e VC.

Ainda, foram elaboradas planilhas eletrônicas de cálculo de EI/m<sup>2</sup> em cada uma das vedações analisadas e depois aplicadas na habitação. As equações utilizadas para a elaboração dos cálculos estão descritas na Tabela 4.1

**Tabela 4.1** - Sequência de cálculos.

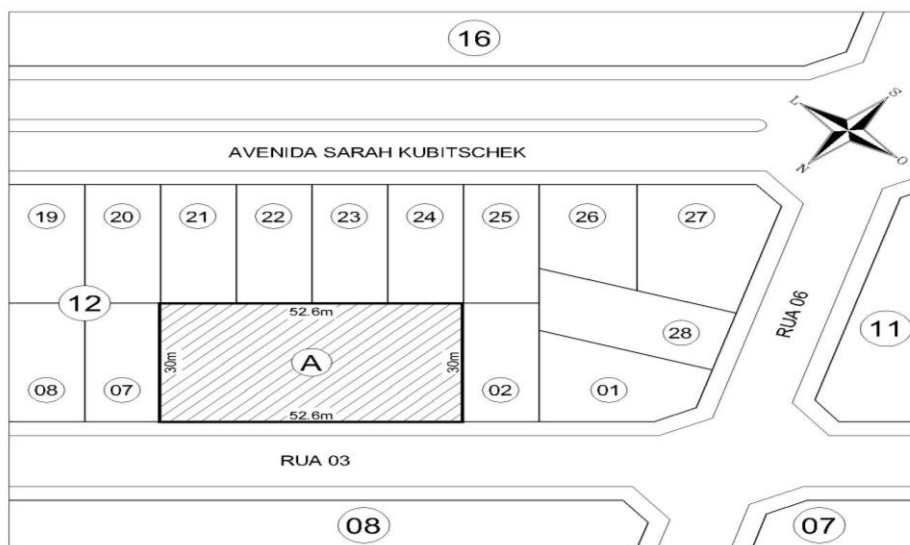
ETAPA	DESCRIÇÃO
1	Levantamento da quantidade de materiais necessários para execução de 1 m <sup>2</sup> de fachada de cada modelo (SF e FC).
2	calculo de transmitância térmica no sistema convencional. $Rt = \Sigma Rt_{das\ camadas} \text{ m}^2.K/W \longrightarrow \text{Transmitância } U = \frac{1}{Rt} \text{ W/m}^2.K$
3	calculo de capacidade térmica utilizada nos sistemas estudados. $C_{TC} = \sum_{i=1}^3 e_i . c_i . \rho_i = KJ/m^2.K \longrightarrow C_T = \frac{A_{CTC1}}{C_{TC1}} + \frac{A_{CTC2...N}}{C_{TC2...N}} = KJ/m^2.K$
4	Cálculo da massa (kg) e volume (m <sup>3</sup> ) de cada material ou camada constituinte para um m <sup>2</sup> , dos sistemas analisados.
5	Cálculo da energia incorporada utilizada nos sistema estudado. $\frac{Massa_{camada\ ou\ peça}}{m^2\ de\ fachada\ estudada} \cdot \frac{Energia\ Incorporada}{kg\ de\ material_{camada\ ou\ peça}} = \frac{EI}{m^2} \text{ para camada ou peça}$
6	Somatório da energia incorporada total por m <sup>2</sup> de todas as camadas e/ou materiais constituintes = energia incorporada por m <sup>2</sup> total da parede estudada.

Fonte: ABNT 15220 (2005); NABUT NETO (2011).

### 4.3 ESTUDO DE CASO

#### 4.3.1 Localização, Implantação e Tipologia

O projeto escolhido está localizado na cidade de Luziânia – Goiás, no setor Parque JK - setor Mandú. O terreno é delimitado pela Avenida Sara Kubistchek e pelas ruas 03 e 06. O acesso principal é pela Rua 03 e os acessos de serviços são pela Avenida Sara Kubistchek e Rua 06, Figura 4.4.



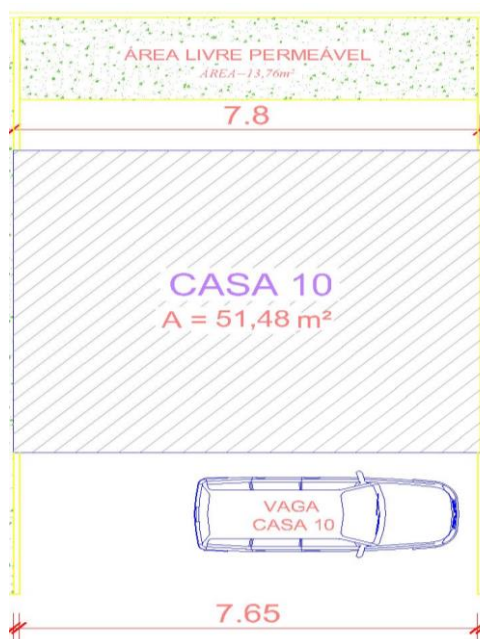
**Figura 4.4** - Localização na malha urbana do estudo de caso.

O terreno possui uma área de 1.576,80 m<sup>2</sup>. O seu entorno é naturalmente plano, sem barreiras naturais, está rodeado em alguns setores por construções residenciais e áreas destinadas para o mesmo propósito.

O conjunto habitacional possui aproximadamente 618 m<sup>2</sup> de área construída. O desenho inclui 12 habitações de 51,48 m<sup>2</sup> cada, quintal e garagem aberta, apresentando assim uma taxa de ocupação de 39,12%. Fornece uma via de acesso dentro do terreno que permite a chegada de carro até cada edificação. As habitações estão posicionadas perpendicularmente à Avenida Sara Kubistchek e a Rua 03. Estas habitações estão dirigidas para pessoas de renda tipo dois, de acordo com o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), o qual corresponde a pessoas com faixa salarial de 2 a 3 salários mínimos. Cada terreno da habitação possui 7,80m x 12,80m.

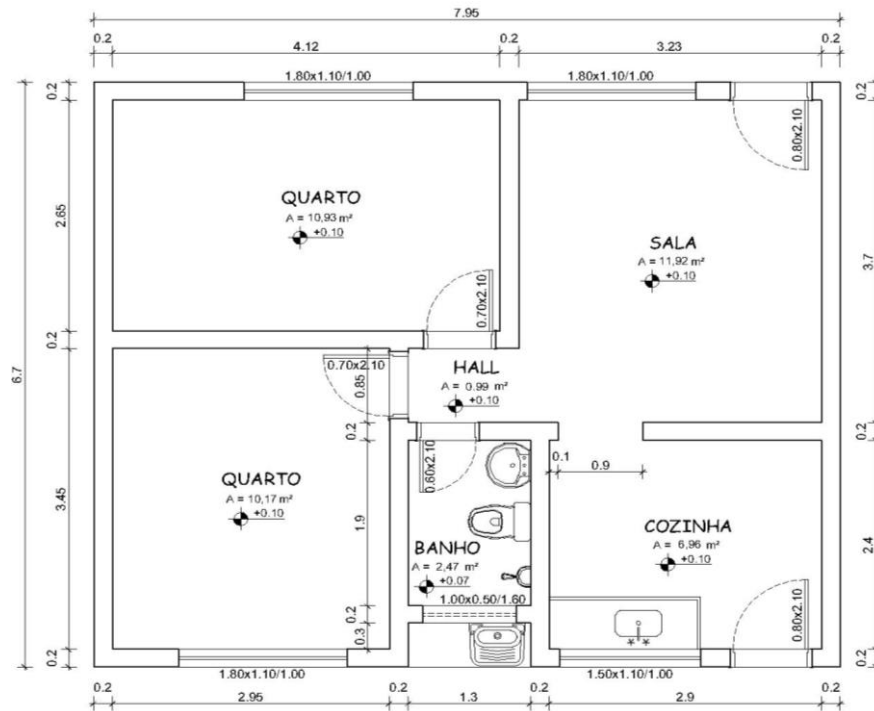
Cada habitação possui as mesmas dimensões de projeto e tem as seguintes características: Pé-direito de 2,70m; 7,80 de fachada frontal e posterior; 6,60m de comprimento nas laterais, como é apresentados na Figura 4.5. E está dividida da seguinte forma:

- a) Área de 24,48 m<sup>2</sup> para jardim e garagem na parte frontal do lote;
- b) Área de 23,40 m<sup>2</sup> para jardim na parte posterior do lote;
- c) Área construída de 51,48m<sup>2</sup> composta por dois quartos, um banheiro, cozinha, sala e área de serviço na parte externa.



**Figura 4.5** - Planta geral da habitação, localização e dimensões.

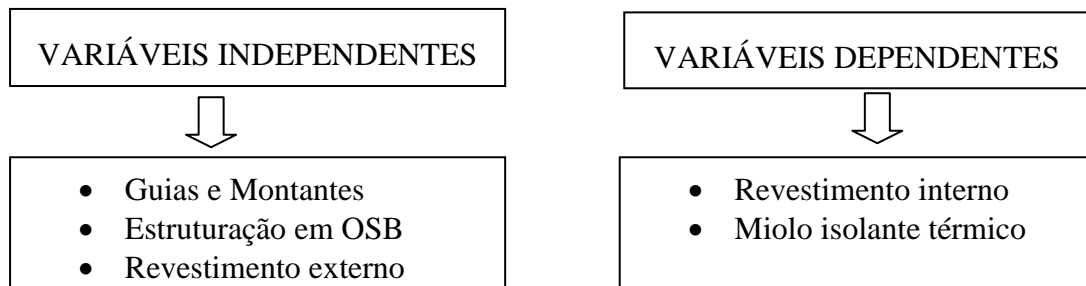
A planta típica esta constituída por cozinha, sala, dois quartos, um banheiro e zona de roupas na área livre posterior como é apresentado na Figura 4.6.



**Figura 4.6** - Planta típica da HIS.

#### 4.4 DESCRIÇÃO DOS MODELOS ANALISADOS DE VLSF

Foram escolhidos cinco modelos diferentes de VLSF, por terem uma composição mais representativa e viável para construção de HIS. Nos modelos adotou-se a placa de OSB como estruturação do sistema, considerando-se duas alternativas de acabamento interno: chapa cimentícia e gesso acartonado, e da mesma forma foram analisados dois tipos de miolo isolante térmico: EPS e lã mineral. Como variáveis independentes tem-se o revestimento externo, constituído por Placa Cimentícia e *Siding* Vinílico, os montantes, as guias e a estrutura de OSB. E como variáveis dependentes têm-se o revestimento interno, e o miolo isolante térmico como é apresentado na Figura 4.7.



**Figura 4.7** - Variáveis independentes e dependentes.

Para a verificação do desempenho térmico da vedação com LSF, comparada a VC, foi considerado cada Modelo sem miolo, além de quatro variáveis V1, V2, V3 e V4 devido a interação dos diferentes tipos de acabamento interno e tipos de miolo avaliados neste estudo, sendo:

- V1 – Placa de gesso e EPS;
- V2 - Placa de gesso e lã mineral;
- V3 - Placa de cimentícia e EPS;
- V4 - Placa de cimentícia lã mineral.

Vale ressaltar que as dimensões dos perfis, guias 92 x 40 mm e montantes 90 x 38 mm ambos com espessura de 0,95 mm permaneceram constantes nas análises realizadas. Os resultados para VC também permaneceram constantes. As variáveis analisadas são apresentadas na Tabela 4.2

**Tabela 4.2** - Variáveis dos modelos de VLSF.

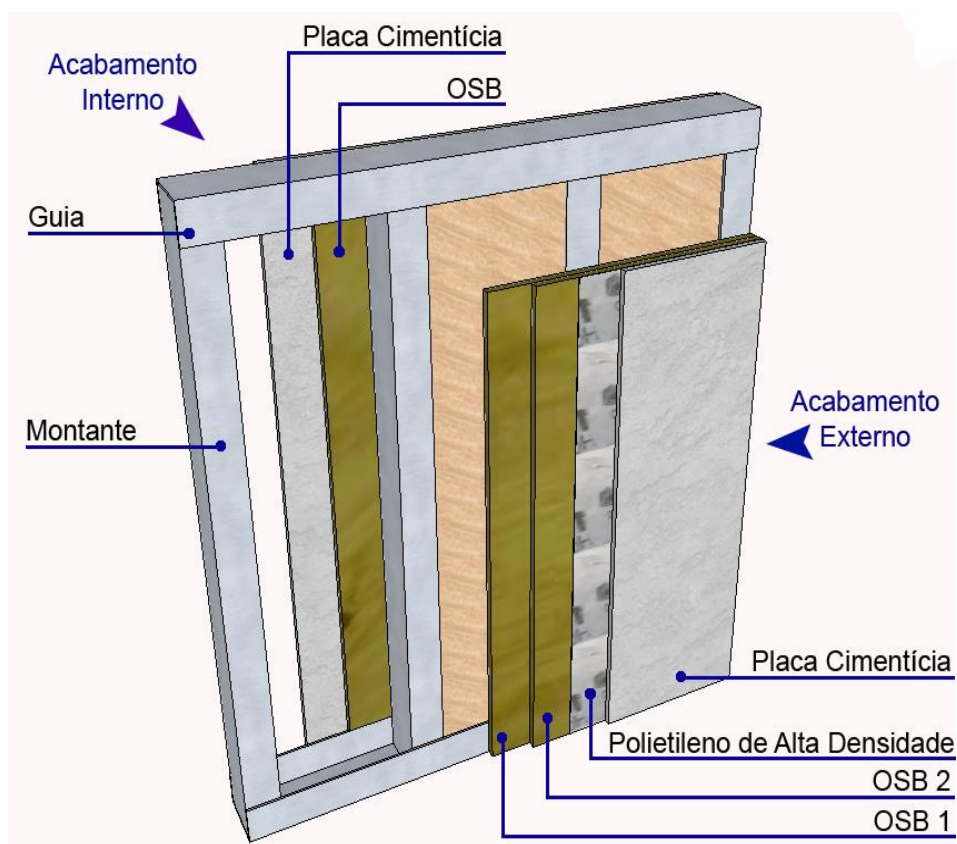
MODELO	ACABAMENTO EXTERNO	ESTRUTURAÇÃO	VARIÁVEL	ACABAMENTO INTERNO	MIOLO
M1	PC	OSB	V1	PG	EPS
			V2	PG	LM
			V3	PC	EPS
			V4	PC	LM
M1 sem Miolo			--	PC	--
M2	SV	OSB	V1	PG	EPS
			V2	PG	LM
			V3	PC	EPS
			V4	PC	LM
M1 sem Miolo			--	PC	--
M3	PC	OSB	V1	PG	EPS
			V2	PG	LM
			V3	PC	EPS
			V4	PC	LM
M1 sem Miolo			--	PC	--
M4	PC	OSB (só externa)	V1	PG	EPS
		OSB (só externa)	V2	PG	LM
		OSB (só externa)	V3	PC	EPS
		OSB (só externa)	V4	PC	LM
M1 sem Miolo		OSB (só externa)	--	PC	--
M5	PC	-----	V1	PG	EPS
		-----	V2	PG	LM
		-----	V3	PC	EPS
		-----	V4	PC	LM
M1 sem Miolo		-----	--	PC	--

Sendo: PC – placa cimentícia; PG – placa de gesso; OSB – painel de fibras orientadas; SV – *Siding* vinílico; EPS - Poliestireno Expandido; LM – lã mineral.

Para o cálculo da M e EI, que é um dos objetivos deste trabalho, consideraram-se somente os modelos que cumprem com os critérios de desempenho térmico U e CT descritos na ABNT NBR 15575 (2013).

Os modelos analisados são apresentados pelas figuras, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12.

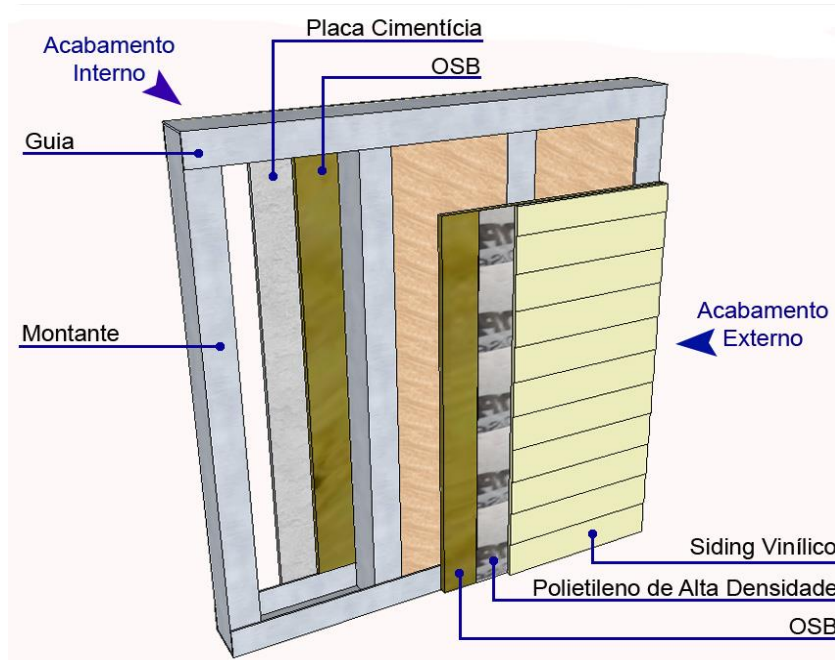
O Modelo 1, já apresentado anteriormente, é composto por duas placas de OSB (15mm), polietileno de alta densidade e uma placa cimentícia (12mm) na parte externa, e uma placa de OSB (15mm) e uma placa de gesso 15mm ou cimentícia 12mm no interior, Figura 4.8.



**Figura 4.8** - Modelo 1 em VLSF.

**Fonte:** elaborada pelo autor.

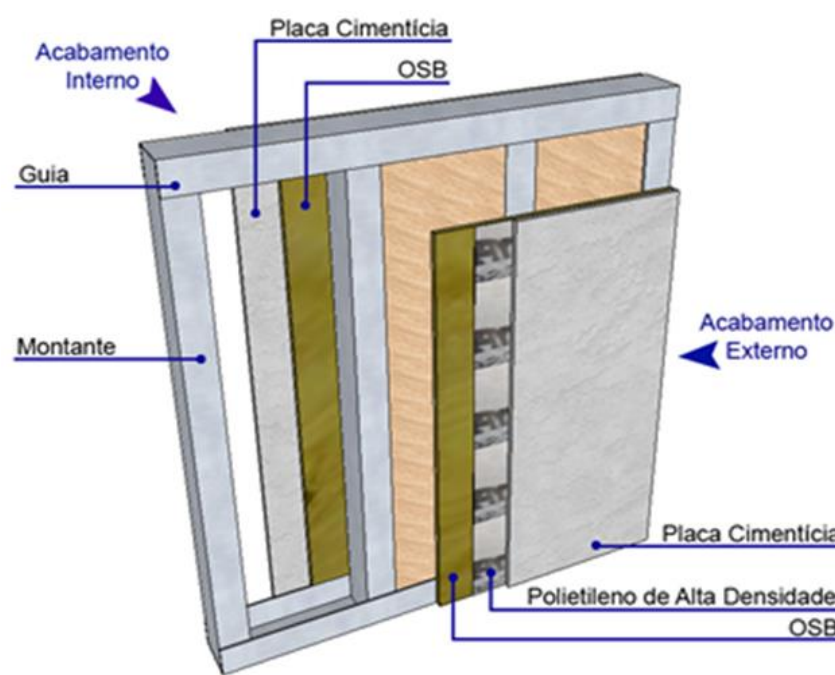
O Modelo 2 é constituído por uma placa de OSB de 15mm, polietileno de alta densidade e *siding* vinílico na parte externa, e uma placa de OSB de 15mm e placa de gesso 15mm ou cimentícia 12mm no interior, Figura 4.9.



**Figura 4.9** - Modelo 2 de VLSF.

**Fonte:** elaborada pelo autor.

O Modelo 3 é constituído por uma placa de OSB 11mm, polietileno de alta densidade e placa cimentícia na parte externa 12mm, uma placa de OSB 11mm e placa de gesso 15mm ou cimentícia 12mm no interior. Este modelo foi analisado, por ser um dos modelos mais utilizados no meio de construção civil brasileira, que utiliza este sistema na construção de habitações, Figura 4.10.

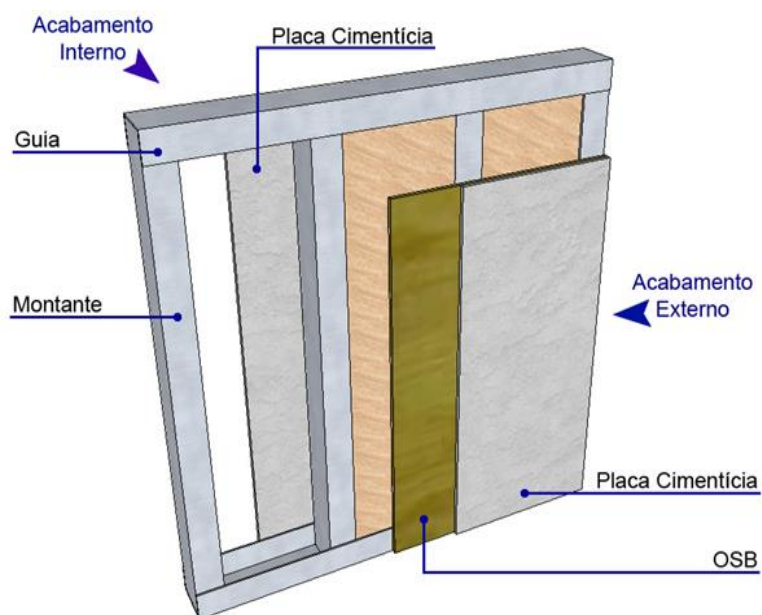


**Figura 4.10** - Modelo 3 de VLSF.

**Fonte:** elaborada pelo autor.

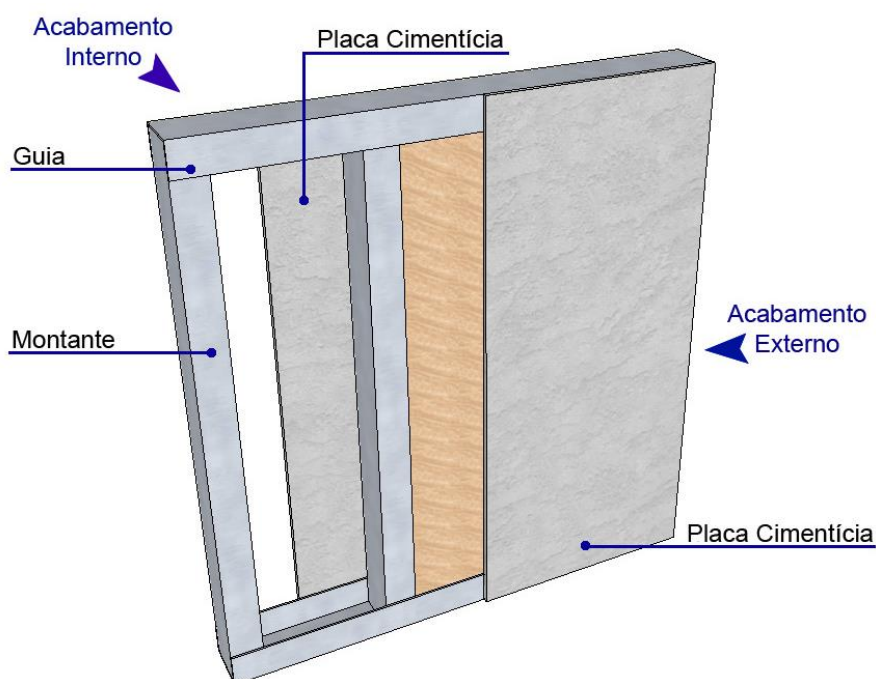


O Modelo 4 é constituído por uma placa de OSB de 11mm e uma placa cimentícia de 10mm na parte externa, placa de gesso de 15mm ou cimentícia de 12mm no interior, Figura 4.11.



**Figura 4.11** - Modelo 4 de VLSF.  
**Fonte:** elaborada pelo autor.

Modelo 5: é o modelo encontrado na maior parte da bibliografia nacional, e se constitui por uma placa cimentícia externa e uma placa de gesso 15mm ou placa cimentícia 12mm no interior, Figura 4.12.



**Figura 4.12** - Modelo bibliográfico em VLSF.  
**Fonte:** elaborada pelo autor.

Os materiais que compõem 1m<sup>2</sup> de vedação em Light Steel Frame para o modelo 1 são apresentados na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3** - Listagem de materiais do Modelo 1.

<b>MATERIAIS MODELO 1</b>	<b>DETALHAMENTO POR M<sup>2</sup></b>
Guias	2 unidades com dimensões: 100 x 38 mm, espessura = 0,80mm
Montantes	4 unidades com dimensões: 99 x 38 mm, espessura = 0,80mm (conforme Figura 4.8)
Placa de OSB	3 unidades com dimensões: 1,00 x 1,00 m, espessura =15 mm
Placas de gesso	1 unidade com dimensões: 1,00 x 1,00 m, espessura =15 mm. (conforme Figura 4.8)
Placa cimentícia	1 unidade com dimensões: 1,00 x 1,00 m, espessura =12 mm. (conforme Figura 4.8)
Parafusos	120 unidades com ponta broca e aletas de expansão de fixação da placa cimentícia conforme recomendação do fabricante.

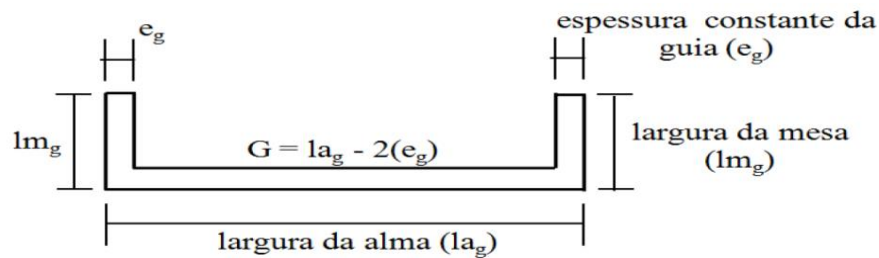
Da mesma forma são descritas as quantidades de material que compõem os outros modelos a serem analisados (Tabela 4.4).

**Tabela 4.4** - Quantitativo de materiais por modelo.

<b>COMPONENTES STEEL FRAME</b>	<b>MODELO 1 (Unid/m<sup>2</sup>)</b>	<b>MODELO 2 (Unid/m<sup>2</sup>)</b>	<b>MODELO 3 (Unid/m<sup>2</sup>)</b>	<b>MODELO 4 (Unid/m<sup>2</sup>)</b>	<b>MODELO 5 (Unid/m<sup>2</sup>)</b>
Guias	2	2	2	2	2
Montantes	4	4	4	4	4
Placa de OSB	3 (e = 15mm)	2 (e = 11mm)	2 (e = 11mm)	1 (e = 11mm)	0
Siding vinílico	---	5	---	---	---
Placa cimentícia	1 (e = 12mm)	0 (e = 12mm)	1 (e = 12mm)	1 (e = 12mm)	1 (e = 12mm)
Placa de gesso	1 (e = 15mm)	1 (e = 15mm)	1 (e = 15mm)	1 (e = 15mm)	1 (e = 15mm)
Parafusos	120	120	72	48	48

Para o cálculo de M e EI da estrutura metálica por m<sup>2</sup> foram consideradas as dimensões comerciais disponibilizadas no mercado e aplicáveis para HIS sendo guias de 92 x 40 mm e montantes 90 x 38 mm, ambos com espessura de 0,95 mm. Calculou-se a área da seção transversal conforme a Equação 1, para o modelo da Figura 4.13, baseados nos critérios de pesquisa adotados por Nabut Neto (2011). A planilha de cálculo encontra-se no Apêndice H.

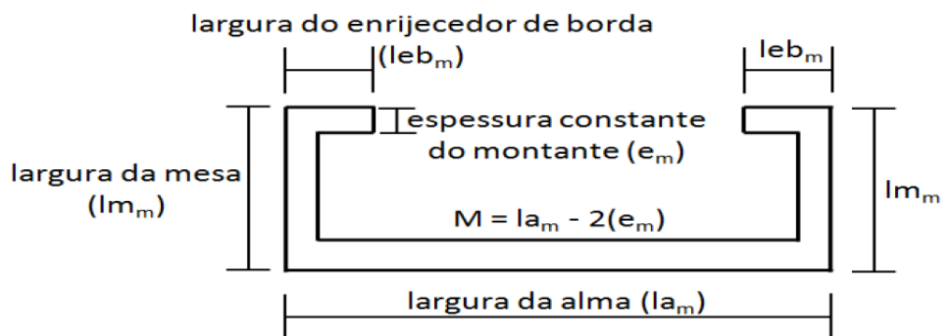
$$A_{PG} = 2 \cdot (e_g \cdot l_{mg}) + (l_{ag} - 2 \cdot e_g) \cdot e_g \quad \text{Equação 1}$$



**Figura 4.13** - Modelo para guia em Steel Frame.

Consideraram-se também para os montantes as dimensões comerciais disponibilizadas no mercado calculando-se assim a área da seção transversal conforme a Equação 2 para o modelo da Figura 4.14.

$$A_M = (l_{am} - 2 \cdot e_m) \cdot e_m + 2 (e_m \cdot l_{mm}) + 2 [e_m \cdot (leb_m - e_m)] \quad \text{Equação 2}$$





**Figura 4.14**- Modelo para montante em Steel Frame.

Após o cálculo da área da seção transversal dos guias e montantes, calculou-se o volume das peças (considerando 1m<sup>2</sup> de guias e montantes). Determinou-se a massa das peças multiplicando o volume encontrado pela massa específica do aço.

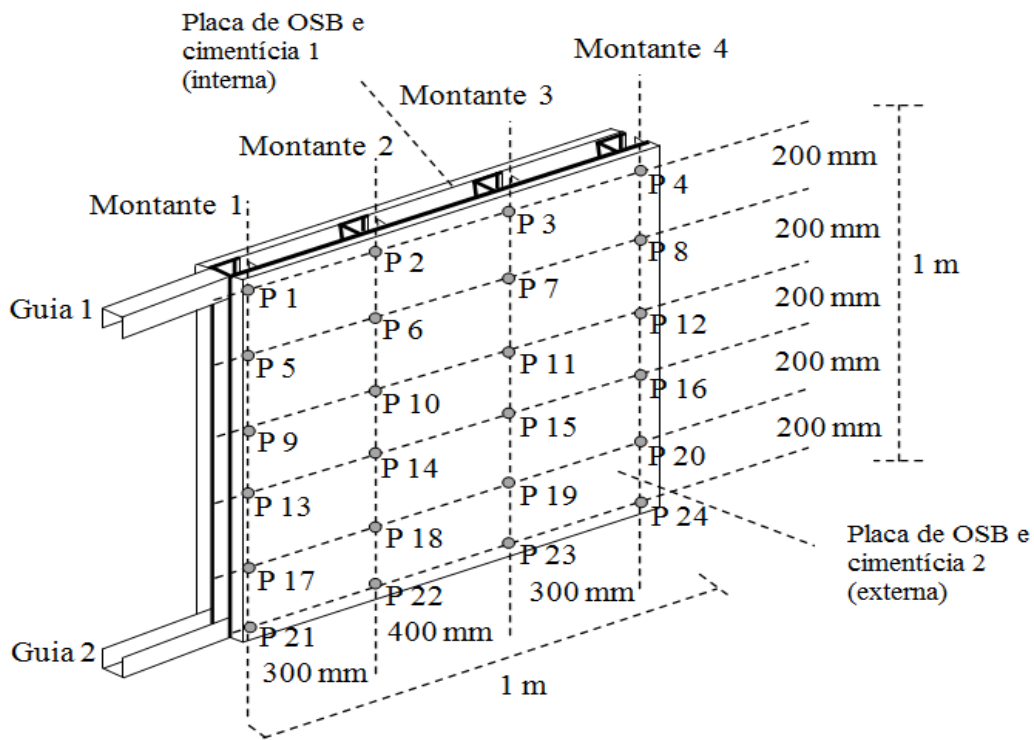
Os parafusos considerados para a fixação das placas aos perfis metálicos foram os parafusos com ponta broca, cabeça autoescariante e aletas de expansão com dimensões de 4,2 x 50,8 mm. Tabela 4.5.

**Tabela 4.5** - Tipos de parafusos utilizados no sistema Steel Frame.

PARAFUSO	CARACTERISTICAS
	Parafuso galvanizado autoperfurante; cabeça extraplana e ponta broca para perfis. Dimensões 8 x 1 1/2" (4,2 x 13 mm)
	Parafuso organo-metalico para fixação em perfis metálicos, com ponte de broca, cabeça autoescariante e aletas de expansão. Dimensões: 8 x 2" (4,2 x 50,8 mm)

**Fonte:** ETERNIT, 2012.

A quantidade de parafusos utilizados para a fixação foram 24 unidades por cada m<sup>2</sup> de placa para um total 96 parafusos por m<sup>2</sup> (Figura 4.15).



**Figura 4.15** - Distribuição dos parafusos na parede sistema steel frame.

**Fonte:** PINI, 2008.

Para o cálculo de  $EI_F$  utilizaram-se dados secundários disponíveis na literatura nacional para cada material constituinte dos modelos e apresentados na Tabela 4.6. Adotou-se MJ/kg de material como unidade padrão na EI dos materiais.

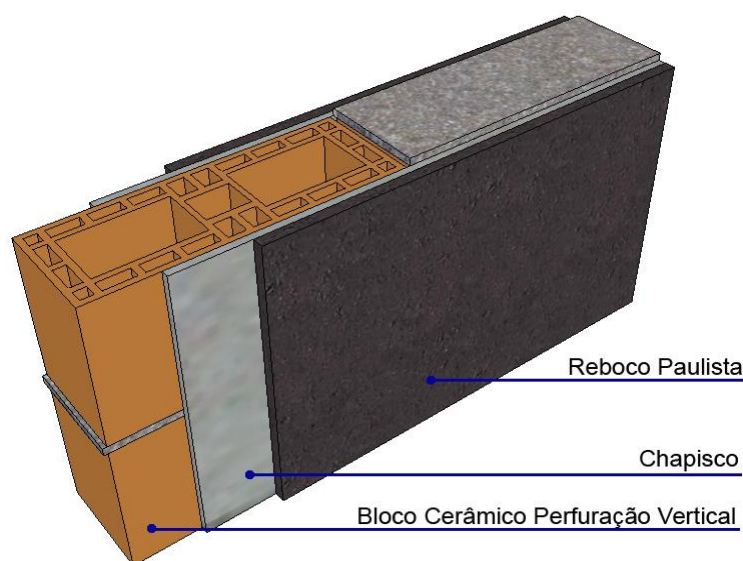
**Tabela 4.6** - Valores de EI adotados para as (VLSF) nas planilhas de calculo.

MATERIAL	EIF DO MATERIAL MJ/Kg	FONTE
Guias e montantes (Aço)	30,00	Tavares (2006)
Parafusos (Aço)	30,00	Tavares (2006)
Placas de OSB	7,50	Tavares (2006)
Polietileno de alta densidade	95,00	Graf (2011)
Placas Cimenticia	6,00	Graf (2011)
Placas de Gesso	4,50	Graf (2011)
Siding Vinilico	80,00	Tavares (2006); Graf (2011)
Miolo de Eps	112,00	Tavares (2006)
Miolo de lã mineral	19,00	Graf (2011)

#### 4.4.1 Descrição e valores adotados para os cálculos da Vedação Convencional VC (Referência)

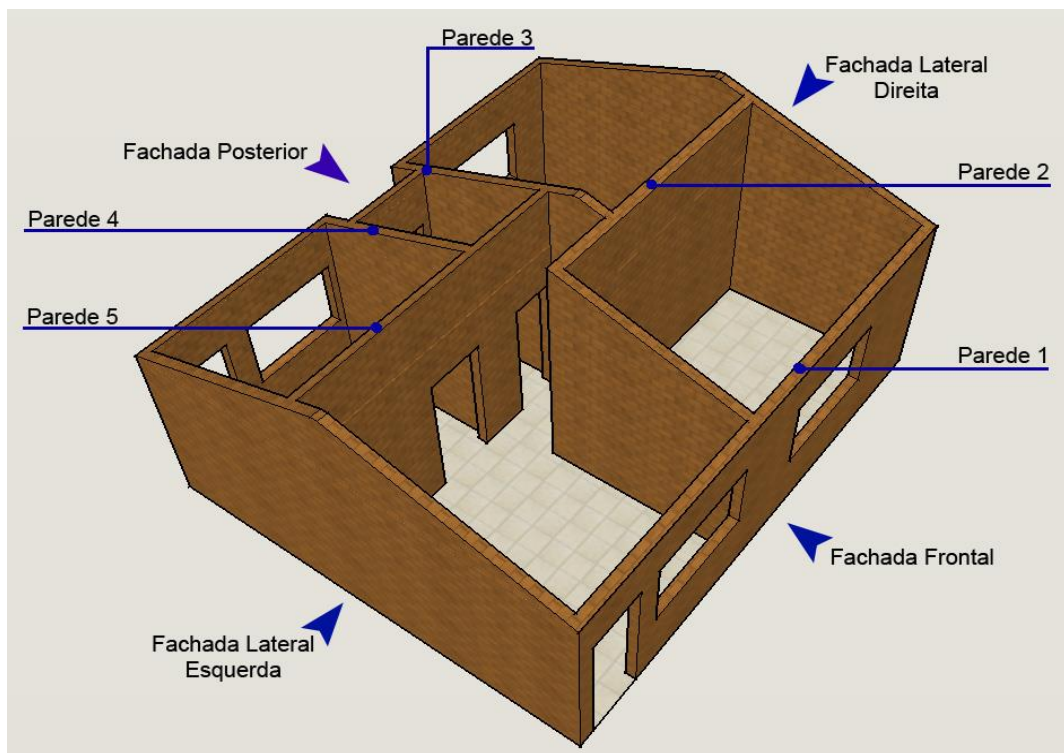
O sistema de VC analisada no estudo, constitui-se por blocos cerâmicos estruturais de 14x19x39cm, com juntas de argamassa de assentamento de 10 mm, chapisco e reboco paulista de 20mm nas faces externas e internas (Figura 4.16). Serve de comparativo para a VLSF. No estudo piloto são apresentados os resultados encontrados para de U e CT.

Para a parede feita no sistema convencional, utilizada como referência neste trabalho, apresentam-se os detalhes e resultados dos cálculos de Transmitância e Capacidade Térmica no Apêndice F.



**Figura 4.16** - Modelo de Vedação Convencional.  
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Para o cálculo de massa ( $M$ ) foi realizada a análise por  $m^2$  do sistema, posteriormente calculada pelo total da habitação, a qual possui  $133 m^2$  de vedação (Figura 4.17). Os valores de densidade de massa foram obtidos da literatura nacional. A planilha de cálculo utilizada encontram-se no Apêndice E.



**Figura 4.17** – Modelo de habitação adotado no estudo.

**Fonte:** elaborada pelo autor.

Para o cálculo de  $EI_F$  utilizaram-se dados secundários disponíveis na literatura nacional para cada material constituinte do modelo e apresentados na Tabela 4.7. Adotou-se MJ/kg de material como unidade padrão na EI dos materiais. No capítulo 5 são apresentados os resultados de  $EI_{TOT}$  encontrados para VC. As planilhas de cálculo encontram-se no Apêndice G.

**Tabela 4.7** - Valores de EI adotados para as (VC) nas planilhas de cálculo.

Material	EI (MJ/kg)	Fonte
Bloco cerâmico estrutural	3,9	Sposto (2007)
Argamassa mistura pronta	2,1	Nabut Neto (2011)

## 5 ANÁLISES E RESULTADOS

Primeiramente foram verificadas as propriedades de U e CT para os modelos M1, M2, M3, M4 e M5, e para a VC, já apresentados no capítulo anterior. O critério de aceitação adotado foi  $U \leq 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  e  $CT \geq 130 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$ . Os resultados são apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2, contidas no estudo piloto.

### 5.1 ESTUDO PILOTO PARA VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE VLSF COMPARATIVAMENTE A VC

Tomaram-se as propriedades térmicas dos materiais, e calculou-se a resistência térmica para cada camada ou seção do modelo de vedação conforme procedimento apresentado no Apêndice A. A resistência térmica é determinada a fim de obter-se o valor de U, conforme metodologia adotada. Posteriormente foi calculada a CT, o procedimento utilizado encontra-se no Apêndice C.

**Tabela 5.1** - Valores obtidos de U nos modelos de VLSF e VC.

<b>TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DOS MODELOS DE VEDAÇÃO <math>\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})</math></b>					
VARIÁVEIS	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5
Mods. sem miolo	1,72	2,01	2,15	2,46	2,81
V1	0,74	0,78	0,80	0,74	0,88
V2	0,58	0,61	0,62	0,59	0,67
V3	0,75	0,80	0,82	0,87	0,90
V4	0,59	0,62	0,63	0,66	0,68
VC	2,25				

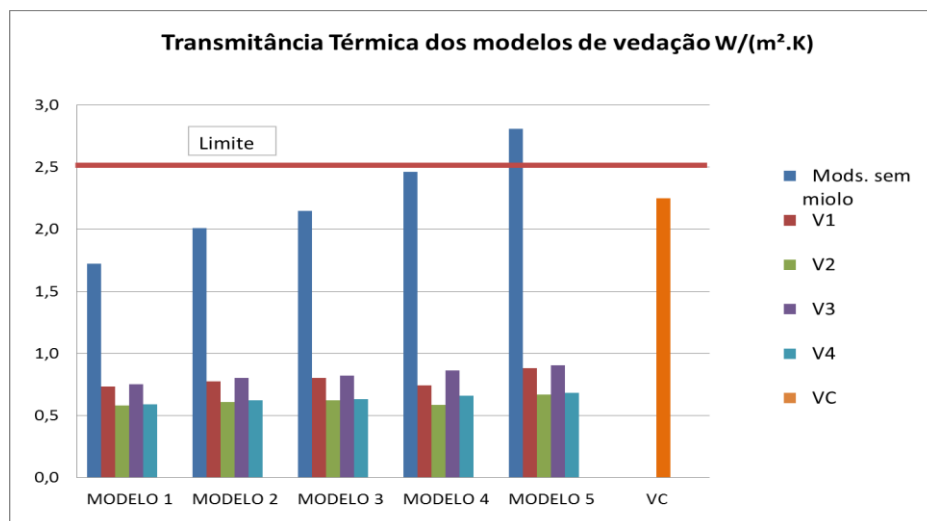
**Tabela 5.2** - Valores obtidos de CT nos modelos de VLSF e VC.

<b>CAPACIDADE TÉRMICA DOS MODELOS DE VEDAÇÃO <math>\text{KJ}/(\text{m}^2.\text{K})</math></b>					
VARIÁVEIS	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5
V1	135,23	91,49	82,33	54,09	31,73
V2	137,49	85,83	84,59	56,35	33,99
V3	140,27	96,53	87,37	56,19	35,28
V4	142,53	90,87	89,63	58,45	35,28
VC	140,1				

Das Tabelas 5.1 e 5.2, observa-se que todos os modelos de VLSF e a VC atendem aos critérios de U, porém somente o Modelo 1 atende ao critério de CT. As planilhas de calculo utilizadas encontrassem disponibilizadas nos Apêndices B e D.

### 5.1.1 DISCUSSÃO SOBRE OS MODELOS DE VLSF

Os resultados de U dos modelos analisados neste estudo são apresentados na Figura 5.1.



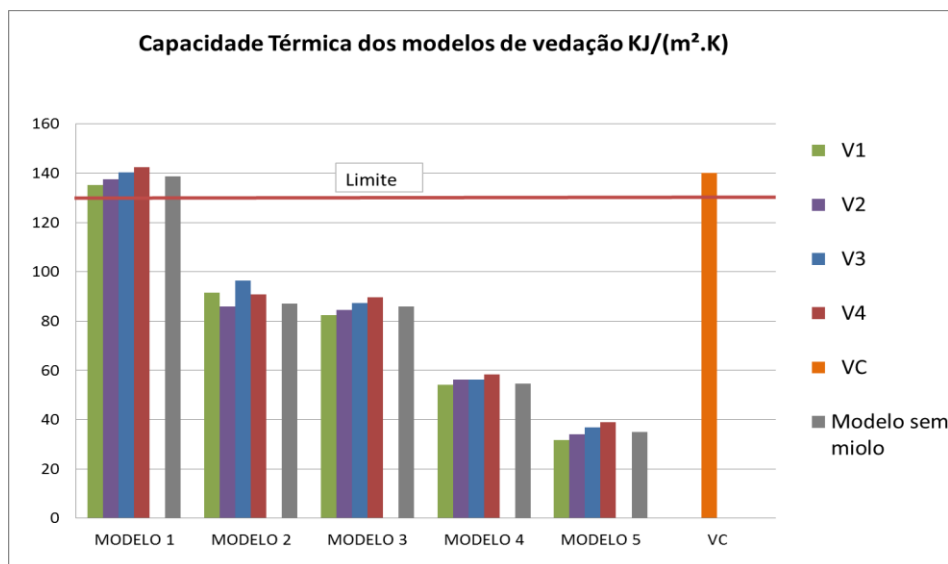
**Figura 5.1** - Transmitância térmica U em [w/(m².K)] dos modelos de LSF e VC

Da Figura 5.1 observa-se que todos os modelos exceto o Modelo 5, cumprem com o mínimo normativo de U e é possível observar como o Modelo 1, mesmo utilizando maior quantidade de placas, mantém valores similares de U comparado com os outros modelos quando utiliza miolo isolante.

A diferença é notável em todos os modelos com a utilização de lã mineral ou EPS no miolo, o qual diminui notadamente os valores de U das paredes, devido principalmente a condutividade térmica baixa destes materiais, já que quanto maior for a condutividade térmica de um material, melhor condutor ele é, e menor será a resistência térmica do elemento ou componente construtivo.

Observa-se que o valor de U da VC cumpre com o requisito mínimo da norma. Na Figura 5.2, são apresentados os resultados de CT dos modelos analisados neste estudo.





**Figura 5.2** – Capacidade Térmica CT, em [KJ/(m².K)] dos modelos de LSF e da VC.

Na Figura 5.2 observa-se que apenas o Modelo 1 cumpre com os critérios da ABNT NBR 15575-4 (2013) de  $CT \geq 130$  KJ/(m².K). Quanto a VC, esta satisfaz este critério.

Apenas o Modelo 1 satisfaz os critérios de desempenho térmico da norma ABNT NBR 15575 (2013) para vedação, portanto, os demais ficam fora da análise de massa e  $EI_{TOT}$ .

Na verificação de CT, no caso das variáveis analisadas em cada modelo as quais incluem miolo isolante, observou-se a necessidade de inserção da camada referente à OSB, que passará a ser colocada na face interna, devido à recomendação da ABNT NBR 15575 (2013). Observa-se que o resultado da CT neste caso fica próximo a 130 KJ/(m².K).

No Capítulo 5.2 serão apresentados os resultados obtidos para o Modelo 1, que satisfaz os critérios da ABNT NBR 15575 (2013) em relação ao desempenho térmico, comparativamente ao VC.

## 5.2 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos de U, CT, M e  $EI_{TOT}$  por m² e pelo total da edificação para os modelos de VLSF que atenderam o desempenho térmico mínimo quanto a U e CT, base de análise deste trabalho comparativamente com o sistema de VC.

Ressalta-se que para a EI dos materiais utilizados, na ferramenta de cálculo foram considerados os dados nacionais disponíveis; além disto, foram considerados os valores que se apresentaram mais próximos (entre si), indicando assim a probabilidade de serem provenientes de processos de fabricação semelhantes.

De igual forma as variáveis consideradas no estudo piloto, são consideradas neste capítulo, incluindo o Modelo sem miolo como apresenta-se na Tabela 5.3, tendo então:

**Tabela 5.3** - Variáveis do Modelo 1 de VLSF.

MODELO	ACABAMENTO EXTERNO	ESTRUTURAÇÃO	VARIÁVEL	ACABAMENTO INTERNO	MIOLO
M1	PC	OSB	V1	PG	EPS
			V2	PG	LM
			V3	PC	EPS
			V4	PC	LM
M1 sem Miolo			--	PC	--

Sendo: PC – placa cimentícia; PG – placa de gesso; OSB – painel de fibras orientadas; SV – *Siding* vinílico; EPS - poliestireno expandido; LM – lã mineral.

Ressalta-se que no Modelo 1 sem miolo só foi considerado Placa Cimentícia no interior, pelo fato desta atender todas as zonas da habitação tanto umidas quanto secas.

## 5.2.1 RESULTADOS DO *LIGHT STEEL FRAME*

Determinados os parâmetros de desempenho térmico a partir da ABNT NBR 15575 (2013), e escolhidos os mecanismos de cálculos de acordo com a ABNT NBR 15220 (2005), utilizaram-se para a análise dos valores de U e CT vários modelos de VLSF, tendo como resultado um único modelo (Modelo 1) que cumpre com os requisitos.

### 5.2.1.1 Transmitância e Capacidade Térmica de VLSF

Para os cálculos de U e CT utilizou-se o procedimento descrito na ABNT NBR 15220 (2005). Esta mesma norma apresenta exemplos de elementos usualmente empregados nas construções e suas transmitâncias térmicas, porém estas não foram consideradas. Visando maior precisão, para todos os elementos, após definida sua composição, foram calculados seus valores de U e CT, de acordo com os parâmetros descritos na norma e em conformidade com as formas de execução de habitações brasileiras.

Na tabela 5.4 são apresentados os resultados de transmitância térmica dos modelos competentes.

**Tabela 5.4** - Transmitância Térmica dos sistemas.

<b>TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DOS MODELOS DE VEDAÇÃO W/(m<sup>2</sup>.K)</b>				
VARIÁVEIS	V1	V2	V3	V4
Modelo 1	0,74	0,58	0,75	0,59
Modelo 1 sem miolo	1,72			
Vedação convencional	2,25			

Destaca-se como a utilização de miolo de poliestireno expandido (EPS de 3cm) ou lã mineral (5cm) nas variáveis do Modelo 1 contribui notoriamente na diminuição dos valores de transmitância térmica em vedações aumentando o conforto térmico da edificação, variáveis V1, V2, V3 e V4.

Observa-se que o valor de transmitância da VC só cumpre com o requisito mínimo da norma, se o sistema possuir camada de reboco de 2 cm de cada lado. O mesmo não ocorre quando só existe uma camada de reboco ou nenhuma camada.

Na tabela 5.5 são apresentados os resultados de capacidade térmica dos modelos que cumpriram os requisitos de análises descritos neste estudo.

**Tabela 5.5** - Capacidade térmica dos sistemas em *Steel Frame*.

<b>CAPACIDADE TÉRMICA DOS MODELOS DE VEDAÇÃO KJ/(m<sup>2</sup>.K)</b>				
VARIÁVEIS	V1	V2	V3	V4
Modelo 1	135,23	137,49	140,27	142,53
Modelo 1 sem miolo	138,78			
Vedação convencional	140,10			

Os diferentes miolos utilizados não influíram significativamente nos resultados de CT, isto porque a massa dos materiais utilizados no miolo não superaram 1,0 Kg/m<sup>2</sup>.

Observa-se que, de acordo a norma ABNT NBR 15220 (2005), o valor de CT encontra-se associado principalmente aos valores de massa e calor específico do material, por isso, o Modelo 1, que possui maior quantidade de placas, atinge o requisito mínimo de CT estabelecido na norma, mas sai dos parâmetros normais de construção em *steel frame*

utilizados no Brasil, de acordo com a análise realizada nas empresas do setor que desenvolvem empreendimentos utilizando este tipo de sistema construtivo.

### 5.2.1.2 Valores de massa dos sistemas de VLSF e VC

Nas Tabelas 5.6 e 5.7 são apresentados os resultados de massa Kg/m<sup>2</sup> e Kg/habitação dos sistemas analisados neste estudo. Os cálculos de M e EI, foram programados em planilhas eletrônicas conforme apresentados no Apêndice I.

**Tabela 5.6** - Valores de massa por m<sup>2</sup> dos sistemas analisados.

<b>MASSA Kg/m<sup>2</sup> DOS MODELOS DE VEDAÇÃO</b>				
VARIÁVEIS	V1	V2	V3	V4
Modelo 1	74,46	74,89	82,96	83,39
Modelo 1 sem miolo	82,89			
Vedação convencional	182,19			

**Tabela 5.7** - Valores de massa por habitação dos sistemas analisados.

<b>MASSA Kg/hab. DOS MODELOS DE VEDAÇÃO</b>				
VARIÁVEIS	V1	V2	V3	V4
Modelo 1	9903,18	9960,37	11033,68	11090,87
Modelo 1 sem miolo	11024,37			
Vedação convencional	24231,27			

Nesta análise destaca-se como a quantidade total de massa por m<sup>2</sup> ou por habitação das variáveis do Modelo 1 de VLSF comparativamente com a VC diminui em mais de 60%, sendo que na massa por habitação a redução é de mais de 13 toneladas em massa, o que reduzirá consecutivamente, os resíduos provenientes da construção dessas habitações, diminuindo o impacto ambiental.

### 5.2.1.3 Energia Incorporada em transportes

Neste item considerou-se somente o cálculo de ida dos materiais, de acordo com informação de fornecedores locais de cada. As distâncias foram traçadas utilizando o software *Google Earth* (2012) com precisão de GPS (*Global Positioning System*) (Tabelas 5.8 e 5.9).

**Tabela 5.8** - Energia incorporada no transporte de materiais por m<sup>2</sup> para VLSF.

MATERIAL	LOCAL FÁBRICA	MASSA	DESTINO FINAL	DISTANCIA PERCORRIDA	EI MJ/t/km	EI TOTAL
Guias e montantes	São Paulo - SP	8,51	Luziânia – Goiás Parque JK	956	1,62	13,18
Parafusos	Curitiba - PR	0,50		1337		1,08
Placas de OSB	Ponta Grossa - PA	33,12		1228		65,89
Polietileno	Goiânia - GO	95,00		210		32,32
Placas cimentícias	Goiânia - GO	41,00		210		13,95
Placas de Gesso	Trindade - PE	0,07		1763		0,20
TOTAL						126,62

**Tabela 5.9** - Energia incorporada no transporte de materiais por m<sup>2</sup> para VC.

MATERIAL	LOCAL FÁBRICA	MASSA	DESTINO FINAL	DIST. PERCORRIDA	EI MJ/t/km	EI TOTAL
Bloco cerâmico	Anápolis (Campo Limpo de Goiás) GO	91,87	Luziânia – Goiás Parque JK	162	1,62	24,11
Argamassa	Sobradinho - DF	90,32		100		14,63
TOTAL						77,48

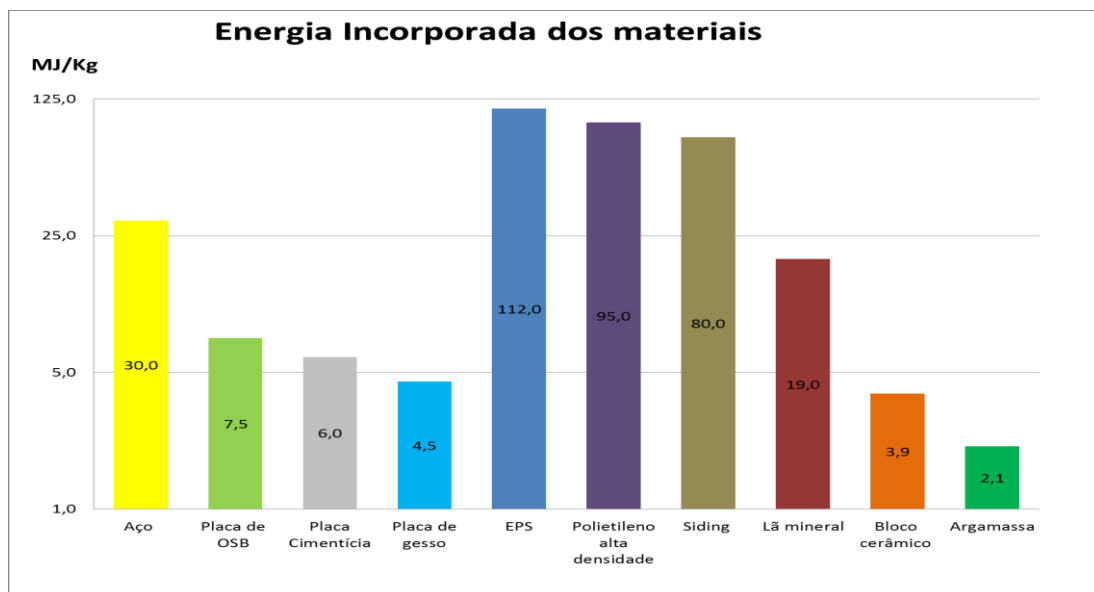
Para o sistema de VC, apesar de haver maior disponibilidade local dos materiais deste sistema, este possui um valor de massa aproximadamente 13 toneladas maior, o que faz com que a EI<sub>t</sub> seja quase duplicada em relação ao sistema VLSF, uma vez que para se transportar uma quantidade de massa maior de material, são necessárias mais viagens.

Nota-se que o valor de EI<sub>t</sub> é pouco representativo comparado com o valor de EI associado à etapa de fabricação EI<sub>F</sub>. Mesmo assim estes valores de EI<sub>t</sub> são considerados nos cálculos de EI<sub>TOT</sub> apresentada no item 5.1.4 deste estudo.

Observa-se uma carência de disponibilidade local dos materiais constituintes de VLSF, pois os mesmos são trazidos de outros estados no Brasil, segundo informações de empresas especializadas neste sistema em Brasília. De maneira geral, quanto maior for a distância percorrida e a massa transportada, maior será o consumo de combustível, refletindo-se na EI<sub>t</sub> do sistema. Nos Anexos B-G são apresentadas as regiões onde são fabricados os componentes do sistema e as distâncias.

### 5.2.1.4 Energia Incorporada do Sistema

Na Figura 5.3 são apresentados os valores de EI dos materiais envolvidos no estudo.



**Figura 5.3** - Energia incorporada dos materiais.

Observa-se que a maioria dos componentes de vedação do sistema LSF mesmo sendo mais leves, apresentam valores de EI na fabricação maiores quanto aos materiais utilizados na VC, dentro deles destacasse o aço principal componente do sistema, a EPS, o polietileno e o *siding* vinílico. Na Tabela 5.10 apresenta-se o resultado de EI/m<sup>2</sup> do Modelo 1 e suas variações.

**Tabela 5.10** - Energia incorporada por m<sup>2</sup> dos sistemas analisados.

ENERGIA INCORPORADA MJ/M <sup>2</sup> DOS MODELOS DE VEDAÇÃO				
VARIÁVEIS	V1	V2	V3	V4
Modelo 1	824,28	821,19	865,98	862,90
Modelo 1 sem miolo	855,05			
Vedação convencional	577,48			

Destaca-se que o Modelo 1 apresenta valores de EI<sub>TOT</sub> maiores que a VC, isto porque, para atender o requisito de CT determinado na norma, houve a necessidade de aumentar a massa do sistema adicionando maior quantidade de placas o que refletiu na EI<sub>TOT</sub>.

Na Tabela 5.11 apresenta-se o resultado de EI/habitação do Modelo 1 e suas variações de VLSF.

**Tabela 5.11** - Energia incorporada por habitação dos sistemas analisados.

<b>ENERGIA INCORPORADA MJ/hab. DOS MODELOS DE VEDAÇÃO</b>				
VARIÁVEIS	V1	V2	V3	V4
Modelo 1	111421,29	111831,70	116967,58	116658,21
Modelo 1 sem miolo	115925,00			
Vedação convencional	76804,81			

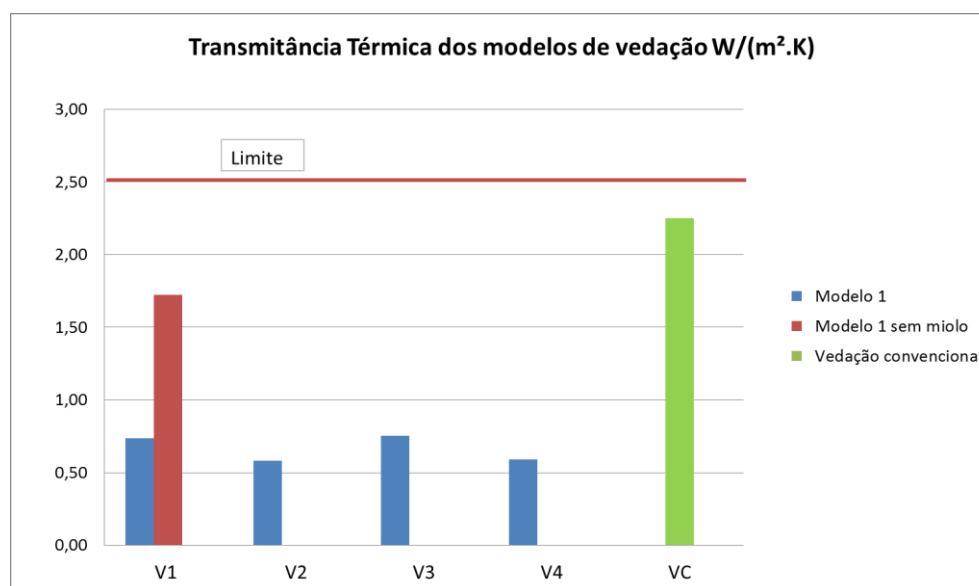
De acordo com a Tabela 5.11, nota-se que a  $E_{Itot}$  em todas as variações, ficou acima da  $E_{Itot}$  da vedação convencional, por quase 30%, diferença compensada pela maior quantidade de placas que contem o Modelo 1 para atender o valor de CT mínimo.

Após a determinação dos valores de U, CT, M e EI, para 1 m<sup>2</sup> do sistema de vedação adotados, partiu-se para a comparação gráfica dos mesmos.

## 5.2.2 COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS

### 5.2.2.1 Valores de U e CT

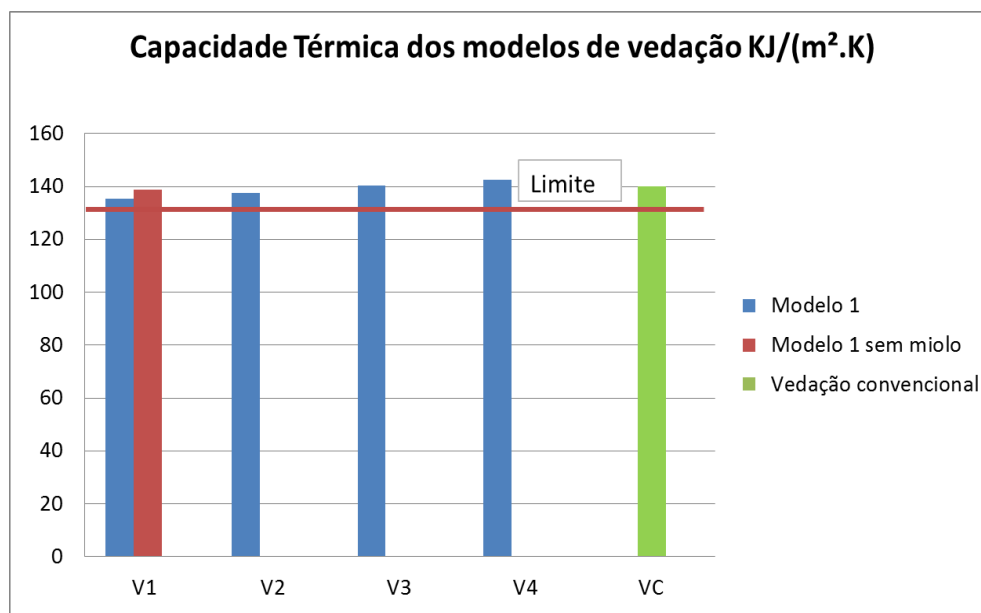
Nas Figuras 5.4 e 5.5 são apresentados os valores de Transmitância e Capacidade térmica respectivamente, para as variáveis do sistema de vedação analisados neste estudo.



**Figura 5.4** - Comparação de transmitância térmica dos sistemas.

De acordo com os dados apresentados na Figura 5.4, a VC, mesmo estando dentro do requisito mínimo exigido pela norma, mostrou-se como a de maior U.

Destaca-se a redução significativa dos valores de U nos modelos em VLSF com miolo de EPS ou Lã mineral. Isto se torna importante, no sentido que considerando as propriedades isotérmicas do material pode ser reduzida a quantidade de placas utilizadas no interior da habitação, diminuindo o consumo de material e tornando o sistema mais sustentável.



**Figura 5.5** - Comparação de capacidade térmica dos sistemas.

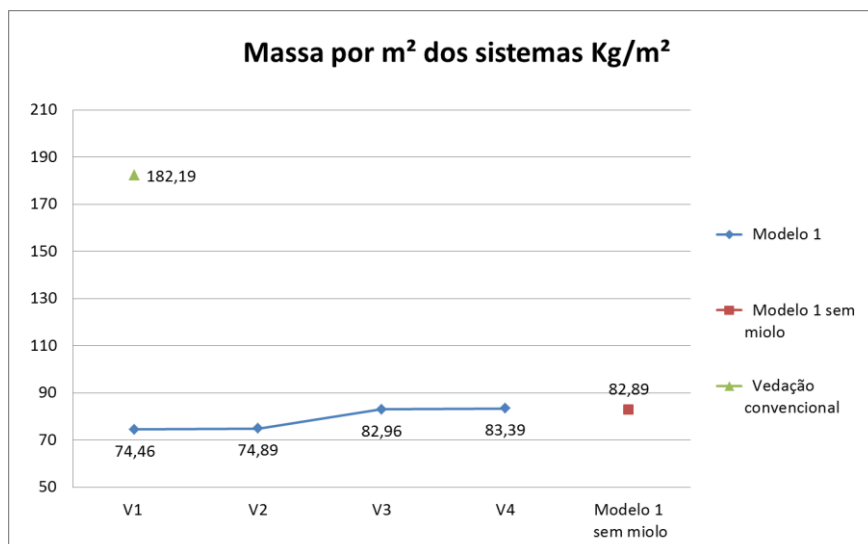
Na Figura 5.5 observa-se que a influência do miolo na CT é mínima, pois não possui massa significativa, tendo maior incidência na transmitância, principalmente pela composição do material. Destaca-se que ao se utilizar placas cimentícias como acabamento interior, os valores de CT do modelo1, tornassem maiores que a VC.

Existe uma proximidade relevante da CT entre as variáveis V3 e V4 com o VC, isto porque estas variáveis são as que contêm placas cimentícias no acabamento interno e as mesmas possuem maior massa do que as placas de gesso, presentes nas variáveis V1 e V2. De acordo com a ABNT NBR 15220 (2005) a CT é determinada principalmente pela massa do material e não por suas características isolantes.

### 5.2.2.2 Valores de massa

Na Figura 5.6 são apresentados os valores de massa (Kg/m²) dos sistemas de vedação analisados neste estudo.



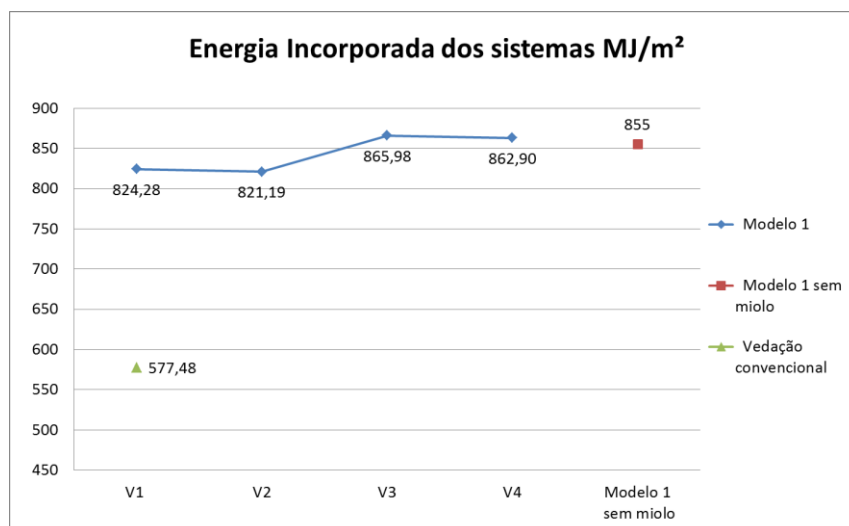


**Figura 5.6** - Massa por m<sup>2</sup> dos Sistemas de vedação.

De acordo com os dados apresentados na Figura 5.6 o Modelo 1 do sistema de VLSF, mesmo atendendo os níveis de CT, mostrou quantidade de massa por m<sup>2</sup> menor, com mais de 100 Kg/m<sup>2</sup> a menos comparado com o sistema de VC.

### 5.2.2.3 Valores de energia incorporada

Na Figura 5.7 são apresentados os valores de energia incorporada MJ/m<sup>2</sup> dos sistemas.



**Figura 5.7** - Energia Incorporada por m<sup>2</sup> dos Sistemas.

Observa-se nesta Figura que o Modelo 1 apresenta valores de EItot elevados comparado com a VC (577 MJ/m<sup>2</sup>), tornando-o menos sustentável. Isto devido ao volume de placas que necessita para atender os parâmetros de CT.

## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O objetivo principal desta pesquisa foi levantar e analisar os valores de Energia Incorporada e Massa de diferentes modelos de vedação aplicados ao LSF e compará-los com o sistema de VC.

Para alcançar os objetivos, procurou-se um embasamento teórico para o trabalho, por meio de revisão bibliográfica sobre desempenho térmico, energia incorporada, ACV e ACVE, além de informações dos materiais constituintes da VLSF.

Foi construído um estúdio piloto, baseado nos parâmetros de desempenho térmico da ABNT NBR 15575 (2013) para a U e a CT, para testar os modelos de VLSF utilizaram-se os critérios de cálculo descritos na ABNT NBR 15220 (2005) onde foi observado que apenas o Modelo 1 cumpriu com as exigências requeridas pela referida norma

Em relação ao cumprimento do desempenho térmico, referentes a U e CT de vedações leves, tais como a VLSF, evidencia-se a necessidade de atualização da norma ABNT NBR 15220 (2005) quanto à Capacidade Térmica CT, já que esta considera a massa da vedação como um fator térmico, baseando-se em materiais e componentes oriundos de vedações convencionais. Há uma lacuna em relação a novos elemento e componentes.

Observa-se que os critérios cálculo utilizados foram os da ABNT NBR 15220 (2005), referentes a vedação, pois não há uma norma específica para sistemas leves como é o caso do steel frame.

Ao considerar a massa do sistema como fator térmico exclui-se deste parâmetro sistemas de vedação leves como o *Steel Frame*, foco deste estudo, o qual ao combinar placas leves, de diferentes materiais, e a inserção de materiais com elevadas capacidades isolantes (EPS, Lã de vidro ou mineral) no miolo, apresentam valores isolantes e térmicos melhores que os sistemas convencionais.

Em relação à EI, U e CT, foram encontrados valores menores para transmitância térmica e maiores para Energia Incorporada nas VLSF. Conclui-se que para se construir de modo mais sustentável com a tecnologia nacional, considerando as condições necessárias de conforto térmico para a vivência na zona bioclimática de Brasília e seu entorno, as edificações deveriam ter todos os seus elementos de fechamento duplicados em espessura. Porém, essa pode não ser a única alternativa, abrindo campo para complementações desse estudo. Os valores ideais

encontrados de transmitância térmica ( $U$ ) no estudo piloto, não excluem a possibilidade de que outras variações, onde as espessuras não sejam multiplicadas de forma proporcional para atender o valor de  $CT$  nas superfícies da habitação como feito neste estudo, podendo-se encontrar sistemas com melhores características térmicas e menores consumos de energia incorporada ( $EI$ ).

O Modelo 01 analisado, que cumpre com os requisitos de desempenho térmico, não apresentou resultados satisfatórios de  $EI_{TOT}$ . Como foi analisado no estudo piloto com os outros modelos, o sistema de VLSF é capaz de mostrar que com pequenas modificações no detalhamento técnico, pode se atingir níveis satisfatórios de desempenho térmico em quanto a  $U$ , e redução significativa da  $EI_{TOT}$ .

Em relação a  $EI_t$ , a ausência de fábricas locais especializadas em *steel frame* e suas partes constituintes aumenta a energia incorporada do sistema devido as grandes distâncias de transporte das mesmas. O sistema convencional de fachadas apresenta maior facilidade na disponibilidade de materiais por possuir fábricas dos materiais constituintes (cimento, blocos cerâmicos, areia, argamassas industrializadas) mais próximas de Brasília reduzindo a energia de transporte. (NABUT NETO, 2011)

Entre os setores diretamente ligados à Construção Civil; o setor residencial consome o equivalente à soma dos setores comercial e público em todas as fontes de energia (BRASIL, 2005a). Pelo qual, a consideração das fontes energéticas (renováveis ou não renováveis) a partir das quais são fabricados os materiais, permite identificar os potenciais impactos ambientais mais significativos podendo-se adotar materiais que contem uma  $EI_{TOT}$  maior, mas que provem de fontes renováveis.

Torna-se importante realizarem-se análises de componentes e materiais na indústria da construção civil por meio da ferramenta ACVE a fim de gerar subsídios que posteriormente possam ser considerados na escolha dos materiais ou sistemas construtivos que desempenhem a mesma função e visem a otimização dos recursos naturais e reaproveitamento dos mesmos.

A construção civil é responsável por significativos impactos ambientais e busca um melhor desempenho, e redução dos desperdícios e resíduos, e procura-se por uma menor  $EI$  dos materiais. Por isso, a procura de uma solução no processo de industrialização da construção civil não pode envolver um maior consumo de materiais e recursos que o

sistema atual. Há de se salientar a importância da aplicação da ACVE com o levantamento de EI dos materiais e componentes, fazendo enfoque nas fontes energéticas de produção dos materiais e visando a redução no impacto dos recursos naturais, porém com sistemas que cumpram a mesma função.

A utilização de sistemas industrializados na construção civil diminui consideravelmente o tempo de execução no canteiro de obra e os desperdícios de materiais tanto no processo construtivo como na desconstrução do mesmo, tornando-se um dos fatores mais visíveis e de maior relevância ambiental nos sistemas de construção convencional.

No sistema *Steel Frame* provê-se um espaço ao interior do sistema, que além de permitir a distribuição das redes de serviço (elétricas e hidráulicas), permite a inserção de materiais leves que melhoraram o parâmetro normativo de Transmitância e outorgam características térmicas e acústicas não alcançadas com um sistema convencional.

A união do aço galvanizado que compõe a estrutura do sistema com elementos inertes aumenta o nível de proteção e resistência ao fogo comparável com os sistemas de construção convencional ou sistemas úmidos.

## **6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Visando a continuidade de pesquisas de ACVE sobre os diversos materiais e sistemas construtivos apontando a redução dos impactos ambientais produzidos e nas melhorias de habitabilidade das edificações, indicam-se algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Desempenho acústico de sistemas de vedação realizados em *Steel Frame*;
- ACVE na fase operacional, manutenção e desconstrução de sistemas industrializados;
- Análise de custos na implantação de sistemas industrializados para HIS;
- Realização de avaliação de custos, incluindo também custos indiretos de produção do sistema e custos ao longo do ciclo de vida;
- Desenvolver ACV que envolva todas as energias utilizadas em todas as fases da residência a partir do mesmo projeto padrão, utilizando sistemas construtivos existentes no mercado que não foram abordados nesse trabalho;
- Realizar ACV completa do sistema de vedação em *Light Steel Frame*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APA- *The Engineered Wood Association*. Disponível em: <<http://www.apawood.org>>  
Acessado: 18 oct. 2012.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Disponível em:  
<<http://www.abcp.org.br>>. Acessado em: 07 Sep. 2012.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14042. Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Definição do Escopo, Objetivos e Análise do Inventário**. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14285. Perfil de PVC Rígido para Forros - Requisitos**. Rio de Janeiro, 1999.

\_\_\_\_\_. **NBR 14715 - Chapas de Gesso Acartonado - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 14716 - Chapas de Gesso Acartonado - Verificação das Características Geométricas**. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 14724 – Informação e Documentação – Trabalhos Acadêmicos - Apresentação**. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.220-1 - Desempenho Térmico de Edificações – Definições Símbolos e Unidades**. Rio de Janeiro, 2005. |

\_\_\_\_\_. **NBR 15.220-2 - Desempenho Térmico de edificações – Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.220-3 - Desempenho Térmico de edificações – Zoneamento bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações familiares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15253. Perfis de Aço Formados a Frio, com Revestimento Metálico, Para Painéis Reticulados em Edificações - Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15498. Placa Plana Cimentícia sem Amianto, Requisitos e Métodos de Ensaio.** Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.575-1. Edifícios Habitacionais – Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais.** Projeto de revisão – julho 2012. ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.575-4. Edifícios habitacionais – Desempenho - Parte 4: Sistemas de Vedações Verticais Externas e Internas.** Projeto de revisão – julho 2012. ABNT, 2012.

BERMANN, C. **Energia no Brasil: para quê e para quem. Crise e Alternativas para um País Sustentável.** Editora Livraria da Física. São Paulo, 2a ed., 2003.

BESSA, V. **Contribuição à Metodologia de Avaliação das Emissões de Dióxido de Carbono no Ciclo de Vida das Fachadas de Edifícios.** 2010. 263 p. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BLENGINI, G. A, DI CARLO, T. **The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings.** Building and Environment. Volume 42. N. 6. P. 869-880. 2010.

BRASILIT. **Placa Cimentícia.** Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br>> Acesso em: 15 nov. 2012.

BRASIL a. **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Resolução N° 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> >.

CAMPARI, G. Di Prete. **Nosso Brasil. A Utopia dos Arranha-céus Sustentáveis.**

Arquitextos, São Paulo, n.72, 2006. Disponível em:

<<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp367.asp>> Acessado: 01 dez. 2012.

CARMINATTI JÚNIOR, R. **Análise do Ciclo de Vida Energético de Projeto de Habitação de Interesse Social Concebido em *Light Steel Framing*.** Dissertação de Mestrado em Engenharia. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2012.

CARVALHO, C. E. **A Análise do Ciclo de Vida e os Custos Completos no Planejamento Energético.** 2000. Dissertação de Mestrado em Engenharia – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CBCA. **Guia do Construtor em Steel Frame**. Centro Brasileiro de Construção em Aço. 1996.

CBCA. **Sistema Construtivo Utilizando Perfis Estruturais Formados a Frio de Aços Revestidos (*steel framing*)**. Centro Brasileiro de Construção em Aço. 2003.

CIB - INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCHES AND INOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION. **Agenda 21 on Sustainable Construction**. CIB Report Publication 237, 1999.

COLE, R. J. **Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems**. Building and Environment. Volume 34. N.3. P. 335-348. 1999.

CONSULSTEEL. **Construcción con Steel Frame: Manual de Procedimiento**. 2001. Disponível em: <[www.consulsteel.com](http://www.consulsteel.com)>. Acesso em 17 out. 2012.

CRASTO, R.C.M. **Arquitetura e Tecnologia em Sistemas Construtivos Industrializados – Light Steel Framing**. Dissertação de Mestrado em Engenharia – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. 2005.

CRASTO, R.C.M.; FREITAS, A.M.S **Steel Framing: Arquitetura (Série Manual de Construção em Aço)**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006.

DALTRO, A. T; MATIELLO, G; SENRA, R. F. **Revestimento para painéis de OSB utilizados como fechamento vertical em habitações de interesse social estruturadas em Light Steel framing**. 3º Seminário mato-grossense de Habitação de Interesse Social. 2009.

DORNELLES, K. A; RORIZ, M. **A Ilusão das Cores na Identificação da Absortância Solar de Superfícies Opacas**. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto. Ago 2007.

ETERNIT. **Catálogo Técnico Eterplac: Placa Cimentícia**. 2009. 9p. Disponível em: <[www.etermit.com.br](http://www.etermit.com.br)> Acesso em: 25 oct. 2012.

FUTURENG. Página Empresarial. Disponível em: <<http://www.futureng.com/osb.htm>>. Acesso em: 08 Out. 2012.

GARCÍA, A. F. **Medida da condutividade térmica de uma barra metálica.**

Departamento de Engenharia Física. Universidade Federal de Santa Catarina. 2006

GRAF, H. F. **Transmitância Térmica & Energia Incorporada na Arquitetura: Sua Relação nas Superfícies do Invólucro de uma Edificação Residencial Unifamiliar conforme a Norma NBR 12721.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCC. Curitiba 2011.

GONZÁLEZ CRUZ, E. M. **Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática. Estudios de Arquitectura Bioclimática.** México: Anuário 2002.

GUIMARÃES, G. D. **Análise energética na construção de habitações.** 1985. 228 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1985.

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

HOLCIM. **Relatório de sustentabilidade 2007.** Disponível em:

<<http://www.holcim.com.br/imprensa/relatorios-holcim-brasil.html>>. Acesso em: 18 Set. 2012.

IAB - Instituto Aço Brasil. Disponível em:

<<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/processo--etapas.asp>> Acesso em: 30 Ago. 2012.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** 2000. 102 f. Tese de livre docência. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KAPPAUN, K. **Avaliação do Desempenho Térmico em Edificações de Blocos Estruturais Cerâmicos e de Blocos Estruturais de Concreto Para a Zona Bioclimática 2 Brasileira.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Rio Grande do Sul. 2012

KNAUFa, Drywall. **Site Oficial - Produtos.** Disponível em: < <http://www.knauf.com.br>>.

Acesso em: 04 dez. 2012.

KNAUFb, Drywall. **Catálogo de Produtos.** 2012.

KUHN, E.A. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social alvorada.** 2006. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio



Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2006.

KUMAR, D. M, et al. **Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review.** Energy and Buildings. N.8. P. 1238-1247. Volume 42. 2010.

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.** Dissertação de Mestrado e Construção Civil – Universidade federal do Paraná. Curitiba. 2010.

LOPES, V. A. **Propriedades dos Microconcretos Fabricados com Agregados Contaminados por Resíduos de Gesso.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. 2008.

LP – Brasil. Bulding Products. Disponível em:

<http://www.lpbrasil.com.br/sistemas/sistema-ces.html> Acesso em: 05 Fev. 2012.

MACHADO, R. C. **Aspectos da Sustentabilidade Ambiental nos Edifícios Estruturados em Aço.** 2010. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Programa de Pós- Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. 2010.

MARCONDES, F. C. S. **Sistemas Logísticos Reversos – Estudo de Cadeia Produtiva de Chapas de Gesso Acartonado.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo 2007.

MASISA – Pagina Empresarial. Disponível em:

<http://www.masisa.com/arg/distribucion/centros/brasil/> Acesso em: 20 Fev. 2012.

METALICA. **Tudo sobre steel Frame.** Disponível em: <http://www.metlica.com.br/> Acesso 11 Out. 2012.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético 2012 – Resultados Preliminares de 2011.** Brasília-DF. 2012.

NABUT NETO, A. C. **Energia incorporada e emissões de CO<sub>2</sub> de fachadas. Estudo de caso do steel frame para utilização em Brasília.** Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Construção Civil. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília-DF. 2011.

ORTIZ, O.; CASTELL, F.; SONNEMANN, G.; **Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA.** Construction and Building Materials. N.1. P. 28-39. Volume 23. 2009.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M.; **A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “MY HOUSE MY LIFE”** Energy and Building. 2012.

PBQP-H. **Programa brasileiro da qualidade e produtividade no habitat: implantação no Distrito Federal.** GDF, SINDUSCON-DF, SEDUH, CBIC, ASBRACO. Brasília. 2001. 102p.

PERIS, M. E. **Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials.** Building and Environment. N.3. P. 1329-1334. Volume 42, 2007.

PINI. **Alternativas Tecnológicas para Edificações.** São Paulo, Editora Pini, Vol 01. 2008.

POPOVIC, M. J.; KASANOVIC, S. **Selection of building materials based upon ecological characteristics: priorities in function of environmental protection.** Spatium International Review. N.20. P.23-27, 2009.

REDDY, V. JAGADISH, K.S. **Embodied energy of common and alternative building materials and technologies,** Energy and Buildings, N.35. P.129-137. 2001.

RODRIGUES, F.C. **Steel framing: engenharia.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2006.

SHI, J Li. WANG S. Y. Z. **Flexural properties, internal bond strength, and dimensional stability of medium density fiberboardpanels made from hybrid poplar clones.** College of Wood Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China.

SOUZA, S. R. **Elementos de Análise para Gestão de Processos e Desempenho de Produtos em Sistemas Construtivos: Estudo de Caso com Sistemas que Adotam Perfis Auto-Encaixáveis de PVC e Concreto.** Dissertação de Mestrado - Programa de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2005.

SPOSTO, R. M. **Relatório final: gestão e tecnologia para a qualidade e sustentabilidade na produção de blocos cerâmicos e alvenaria no Distrito Federal.** Brasília: FINEP/HABITAT/FVA, 2007.

STRAND SYSTEMS ENGINEER INC, 2010. **Wood framing.** Disponível em: <<http://www.strandsystems.com/portals/0/Frame.JPG>>. Acesso em: 08 out. 2012.

TAVARES, S.F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** 2006. 225f. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TREVO BRASIL. Disponível em: <<http://www.trevobrasil.com/informacoes.php>>. Acesso em: 6 Sep. 2012.

UNEP 2007, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Relatório de Brutland.** <<http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/node/91>> Acesso em: 13 Jun. 2012.

WBCSD, *World Business Council for Sustainable Development.* <<http://www.wbcsd.org/home.aspx>>. Acesso em: 20 Jun. 2012.

ZABALSA, B.I., *et al.* **Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification.** Building and Environment. N.12. P.2510-2520, Volume 44. 2009.

## **APENDICES**

APÊNDICE A - ROTEIRO DE CALCULO PARA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO SISTEMA CONVENCIONAL E O SISTEMA STEEL FRAME.

Tendo em conta um fluxo de calor, neste caso horizontal, a Transmitância térmica da parede é determinada a partir da resistência térmica em cada seção. Partindo por o calculo da área em cada seção.

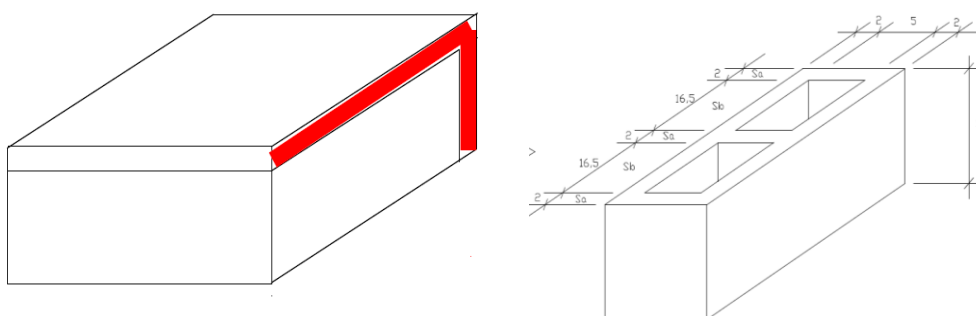


Figura A1 – Seção A (reboco + argamassa + reboco)

Após e aplicada a seguinte expressão para o calculo da resistência térmica de cada seção, tendo em conta que a expressão varia dependendo se encontrasse numa seção com septos do bloco cerâmico ou numa seção maciça.

$$R_s = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} = (m^2 \cdot K)/W$$

Onde R é resistência térmica em (m<sup>2</sup>. k)/w para cada seção, e é espessura da camada e λ é condutividade térmica. A resistência térmica do “ar” e determinada a partia da tabela A1.

Tabela A1 – Resistencia térmica do ar.

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar em cm	Resistência térmica R <sub>ar</sub> m <sup>2</sup> .K/W		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal   ⇨	Ascendente ⇩	Descendente ⇩
Superfície de alta emissividade ε > 0,8	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,14	0,13	0,15
	2,0 < e ≤ 5,0	0,16	0,14	0,18
	e > 5,0	0,17	0,14	0,21
Notas: 1 ε é a emissividade hemisférica total. 2 Caso no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido nesta tabela.				

Para obter a Resistencia térmica da parede é necessário aplicar a seguinte expressão:

$$R_t = \frac{Q_a \cdot A_a + Q_b \cdot Q_b \dots}{\frac{Q_a \cdot A_a}{R_a} + \frac{Q_b \cdot A_b}{R_b} \dots} = (m^2 \cdot K)/W$$

Onde “Q” é quantidade de vezes que se apresenta a seção na unidade de estudo, e “A” é a área da mesma.

Após obtida a Resistencia térmica da parede devem de ser somados a resistência térmica superficial (interna e externa) para obter a (RT) resistência térmica total. Onde  $RT = R_{si} + R_t + R_{se} = RT (m^2.K)/W$

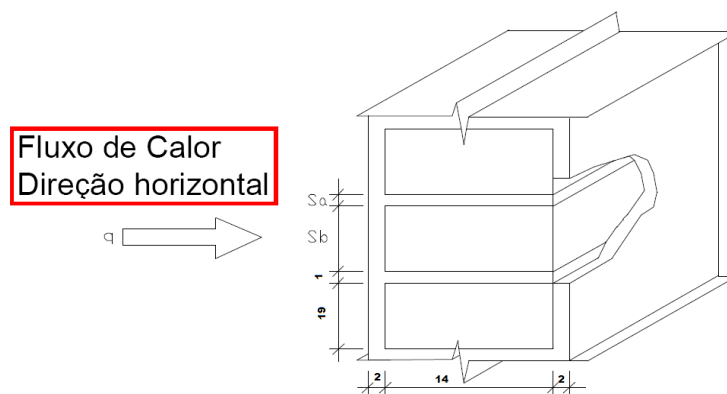
Tabela A.2 - Resistência térmica superficial interna e externa

$R_{si} (m^2.K)/W$			$R_{se} (m^2.K)/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	— ↓	⇒	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Por ultimo a transmitância seria obtida a partir da expressão:

$$U = \frac{1}{R_t} = W/m^2.K$$

Nesta ordem foram inseridas as expressões nas planilhas de calculo para facilitar o processo, foi considerando um fluxo de calor de direção horizontal como e apresentado na figura A1.



APÊNDICE B – FERRAMENTA DE CALCULO DE TRANSMITÂNCIA PAREDES EM LIGHT STEEL FRAME COM DIFERENTES TIPOS DE ACABAMENTO.

ACABAENTO	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO SISTEMA STEEL FRAME W/(M2.K) MIOLO DE EPS																				
	seção	RESISTENCIA TÉRMICA PAINEL EXTERNO				RESISTENCIA TÉRMICA DO AR			RESISTENCIA TÉRMICA MIOLO				RESISTENCIA TÉRMICA PAINEL INTERNO				RT da seção	SOMA RTs		Resistência térmica total (m <sup>2</sup> .K)/W	U TRANSMITÂNCIA TÉRMICA ≤ 2,5 W/(m <sup>2</sup> .K)
		Espessura e	Cond. λ	# camada	total (m <sup>2</sup> .K)/W	resistência térmica do ar	# camada	Total Ar	Espessura e	Cond. λ	# camada	total miolo (m <sup>2</sup> .K)/W	Espessura e	Cond. λ	# camada	total (m <sup>2</sup> .K)/W		Rsi	Rse		
Modelo 1 sem miolo	Seção 1	0,015	0,2	2	0,163	0,16	1	0,16	0,03	0,04	0	0,000	0,015	0,2	1	0,09	0,41	0,13	0,04	0,58	1,72
		0,012	0,95	1		0,16	1	0,16	0,03	0,04	0	0,000	0,012	0,95	1						
Modelo 1 cimentícia e miolo de EPS	Seção 2	0,015	0,2	2	0,163	0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,015	0,2	1	0,09	1,16	0,13	0,04	1,33	0,75
		0,012	0,95	1		0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,012	0,95	1						
Modelo 1 gesso e miolo de EPS	Seção 3	0,015	0,2	2	0,163	0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,015	0,2	1	0,12	1,19	0,13	0,04	1,36	0,74
		0,012	0,95	1		0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,015	0,35	1						
Modelo 2 sem miolo	Seção 1	0,015	0,2	1	0,080	0,16	1	0,16	0,03	0,04	0	0,000	0,015	0,2	1	0,09	0,33	0,13	0,04	0,50	2,01
		0,001	0,2	1		0,16	1	0,16	0,03	0,04	0	0,000	0,012	0,95	1						
Modelo 2 cimentícia e miolo de EPS	Seção 2	0,015	0,2	1	0,080	0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,015	0,2	1	0,09	1,08	0,13	0,04	1,25	0,80
		0,001	0,2	1		0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,012	0,95	1						
Modelo 2 gesso e miolo de EPS	Seção 3	0,015	0,2	1	0,088	0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,015	0,2	1	0,12	1,12	0,13	0,04	1,29	0,78
		0,012	0,95	1		0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,015	0,35	1						
Modelo 3 sem miolo	Seção 1	0,011	0,2	1	0,068	0,16	1	0,16	0,03	0,04	0	0,000	0,011	0,2	1	0,07	0,30	0,13	0,04	0,47	2,15
		0,012	0,95	1		0,16	1	0,16	0,03	0,04	0	0,000	0,012	0,95	1						
Modelo 3 cimentícia e miolo de EPS	Seção 2	0,011	0,2	1	0,068	0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,011	0,2	1	0,07	1,05	0,13	0,04	1,22	0,82
		0,012	0,95	1		0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,012	0,95	1						
Modelo 3 gesso e miolo de EPS	Seção 3	0,011	0,2	1	0,068	0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,011	0,2	1	0,10	1,08	0,13	0,04	1,25	0,80
		0,012	0,95	1		0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,015	0,35	1						
Modelo 4 sem miolo	Seção 1	0,011	0,2	1	0,066	0,16	1	0,16	0,03	0,04	0	0,000	0,011	0,2	0	0,01	0,24	0,13	0,04	0,41	2,46
		0,010	0,95	1		0,16	1	0,16	0,03	0,04	0	0,000	0,01	0,95	1						
Modelo 4 cimentícia e miolo de EPS	Seção 2	0,011	0,2	1	0,066	0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,011	0,2	0	0,01	0,99	0,13	0,04	1,16	0,87
		0,01	0,95	1		0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,01	0,95	1						
Modelo 4 gesso e miolo de EPS	Seção 3	0,011	0,2	1	0,061	0,16	2	0,32	0,03	0,04	1	0,750	0,011	0,2	0	0,04	1,17	0,13	0,04	1,34	0,74
		0,01	1,75	1		0,16	2	0,32	0,03	0,04	1	0,750	0,015	0,35	1						
Modelo 5 SEM MIOLO	Seção 1	0,012	0,95	1	0,013	0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,012	0,95	1	0,013	0,94	0,13	0,04	1,11	0,90
Modelo 5 miolo de EPS	Seção 2	0,012	0,95	1	0,013	0,16	1	0,16	0,03	0,04	1	0,750	0,015	0,35	1	0,043	0,97	0,13	0,04	1,14	0,88

MATERIAL	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DO SISTEMA STEEL FRAME W/(M2.K) MIOLO DE LÃ MINERAL																				
	seção	RESISTENCIA TÉRMICA PAINEL EXTERNO				RESISTENCIA TÉRMICA DO AR			RESISTENCIA TÉRMICA MIOLO				RESISTENCIA TÉRMICA PAINEL INTERNO				RT da seção	SOMA RTs		Resistência térmica total (m <sup>2</sup> .K)/W	U TRANSMITÂNCIA TÉRMICA ≤ 2,5 W/(m <sup>2</sup> .K)
		Espessura e	Cond.λ	# camada	total (m <sup>2</sup> .K)/W	resistência térmica do ar	# camada	TotalAr	Espessura e	Cond.λ	# camada	total miolo (m <sup>2</sup> .K)/W	Espessura e	Cond.λ	# camada	total (m <sup>2</sup> .K)/W		Rsi	Rse		
Modelo 1 sem miolo	Seção 1	0,015	0,2	2	0,163	0,16	1	0,16	0,03	0,045	0	0,000	0,015	0,2	1	0,09	0,41	0,13	0,04	0,58	1,72
		0,012	0,95	1									0,012	0,95	1						
Modelo 1 cimentícia e miolo de lâ mineral	Seção 2	0,015	0,2	2	0,163	0,16	1	0,16	0,05	0,045	1	1,111	0,015	0,2	1	0,09	1,52	0,13	0,04	1,69	0,59
		0,012	0,95	1									0,012	0,95	1						
Modelo 1 gesso e miolo de lâ mineral	Seção 3	0,015	0,2	2	0,163	0,16	1	0,16	0,05	0,045	1	1,111	0,015	0,2	1	0,12	1,55	0,13	0,04	1,72	0,58
		0,012	0,95	1									0,015	0,35	1						
Modelo 2 sem miolo	Seção 1	0,015	0,2	1	0,080	0,16	1	0,16	0,05	0,045	0	0,000	0,015	0,2	1	0,09	0,33	0,13	0,04	0,50	2,01
		0,001	0,2	1									0,012	0,95	1						
Modelo 2 cimentícia e miolo de lâ mineral	Seção 2	0,015	0,2	1	0,080	0,16	1	0,16	0,05	0,045	1	1,111	0,015	0,2	1	0,09	1,44	0,13	0,04	1,61	0,62
		0,001	0,2	1									0,012	0,95	1						
Modelo 2 gesso e miolo de lâ mineral	Seção 3	0,015	0,2	1	0,080	0,16	1	0,16	0,05	0,045	1	1,111	0,015	0,2	1	0,12	1,47	0,13	0,04	1,64	0,61
		0,001	0,2	1									0,015	0,35	1						
Modelo 3 sem miolo	Seção 1	0,011	0,2	1	0,068	0,16	1	0,16	0,05	0,045	0	0,000	0,011	0,2	1	0,07	0,30	0,13	0,04	0,47	2,15
		0,012	0,95	1									0,012	0,95	1						
Modelo 3 cimentícia e miolo de lâ mineral	Seção 2	0,011	0,2	1	0,068	0,16	1	0,16	0,05	0,045	1	1,111	0,011	0,2	1	0,07	1,41	0,13	0,04	1,58	0,63
		0,012	0,95	1									0,012	0,95	1						
Modelo 3 gesso e miolo de lâ mineral	Seção 3	0,011	0,2	1	0,068	0,16	1	0,16	0,05	0,045	1	1,111	0,011	0,2	1	0,10	1,44	0,13	0,04	1,61	0,62
		0,012	0,95	1									0,015	0,35	1						
Modelo 4 sem miolo	Seção 1	0,011	0,2	1	0,066	0,16	1	0,16	0,05	0,045	0	0,000	0,011	0,2	0	0,01	0,24	0,13	0,04	0,41	2,46
		0,010	0,95	1									0,01	0,95	1						
Modelo 4 cimentícia e miolo de lâ mineral	Seção 2	0,011	0,2	1	0,066	0,16	1	0,16	0,05	0,045	1	1,111	0,011	0,2	0	0,01	1,35	0,13	0,04	1,52	0,66
		0,01	0,95	1									0,01	0,95	1						
Modelo 4 gesso e miolo de lâ mineral	Seção 3	0,011	0,2	1	0,061	0,16	2	0,32	0,05	0,045	1	1,111	0,011	0,2	0	0,04	1,53	0,13	0,04	1,70	0,59
		0,01	1,75	1									0,015	0,35	1						
Modelo 5 sem miolo	Seção 1	0,012	0,95	1	0,013	0,16	1	0,16	0,05	0,045	1	1,111	0,012	0,95	1	0,013	1,30	0,13	0,04	1,47	0,68
Modelo 5 miolo de lâ mineral	Seção 2	0,012	0,95	1	0,013	0,16	1	0,16	0,05	0,045	1	1,111	0,015	0,35	1	0,043	1,33	0,13	0,04	1,50	0,67



APÊNDICE C - ROTEIRO DE CALCULO PARA CAPACIDADE TÉRMICA DO SISTEMA CONVENCIONAL E SISTEMA STEEL FRAME.

Da mesma forma que no calculo de transmitância, no calculo da Capacidade Térmica da parede e necessário conhecer a área das seções, e posteriormente e aplicada a seguinte expressão.

$$C_{tc} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = Kj/m^2 \cdot K$$

Onde  $C_{TC}$  é capacidade térmica da camada, “e” é espessura da camada, “c” é calor específico, e “ $\rho$ ” é densidade de massa aparente. Por ultimo é aplicada a seguinte expressão.

$$C_T = \frac{Q_a \cdot A_a + Q_b \cdot A_b \dots}{\frac{Q_a \cdot A_a}{C_{ta}} + \frac{Q_b \cdot A_b}{C_{tb}} \dots} = Kj/(m^2 \cdot K)$$

Onde “Q” é quantidade de vezes que se apresenta a seção na unidade de estudo, e “A” é a área da mesma. Nesta ordem foram inseridas as expressões em planilhas de calculo para facilitar o processo de calculo.

APÊNDICE D – FERRAMENTA DE CALCULO DE CAPACIDADE TERMICA DE PAREDES EM LIGHT STEEL FRAME COM DIFERENTES TIPOS DE ACABAMENTO.

MATERIAL	CAPACIDADE TÉRMICA SISTEMA STEEL FRAME Kj/(m².K) MIOLO DE EPS															CAPACIDADE TÉRMICA TOTAL Kj/(m². K)	
	CT PAINEL EXTERIOR					CT AR	CT MIOLO					CT PAINEL INTERIOR					
	Espessura e	Calor específico c Kj/(Kg.K)	massa ρ kg/m³	# camada	total	total	Espessura e	Calor específico c Kj/(Kg.K)	massa ρ kg/m³	# camada	total	Espessura e	Calor específico c Kj/(Kg.K)	massa ρ kg/m³	# camada		total
Modelo 1 cimentícia e miolo de EPS	0,015	2,3	1000	2	86,64	0,0	0,03	1,42	35	1	1,49	0,015	2,3	1000	1	52,14	140,27
	0,012	0,84	1750	1								0,012	0,84	1750	1		
Modelo 1 gesso e miolo de EPS	0,015	2,3	1000	2	86,64	0,0	0,03	1,42	35	1	1,49	0,015	2,3	1000	1	47,10	135,23
	0,012	0,84	1750	1								0,015	0,84	1000	1		
Modelo 2 cimentícia e miolo de EPS	0,015	2,3	1000	1	34,98	0,0	0,03	1,42	35	1	1,49	0,015	2,3	1000	1	52,14	88,61
	0,001	0,4	1200	1								0,012	0,84	1750	1		
Modelo 2 gesso e miolo de EPS	0,015	2,3	1000	1	34,98	0,0	0,03	1,42	35	1	1,49	0,015	2,3	1000	1	47,10	83,57
	0,001	0,4	1200	1								0,015	0,84	1000	1		
Modelo 3 cimentícia e miolo de EPS	0,011	2,3	1000	1	42,94	0,0	0,03	1,42	35	1	1,49	0,011	2,3	1000	1	42,94	87,37
	0,012	0,84	1750	1								0,012	0,84	1750	1		
Modelo 3 gesso e miolo de EPS	0,011	2,3	1000	1	42,94	0,0	0,03	1,42	35	1	1,49	0,011	2,3	1000	1	37,90	82,33
	0,012	0,84	1750	1								0,015	0,84	1000	1		
Modelo 4 cimentícia e miolo de EPS	0,011	2,3	1000	1	40,00	0,0	0,03	1,42	35	1	1,49	0,011	2,3	1000	0	14,70	56,19
	0,010	0,84	1750	1								0,010	0,84	1750	1		
Modelo 4 gesso e miolo de EPS	0,011	2,3	1000	1	40,00	0,0	0,03	1,42	35	1	1,49	0,011	2,3	1000	0	12,60	54,09
	0,010	0,84	1750	1								0,015	0,84	1000	1		
Modelo 5 miolo de EPS	0,012	0,84	1750	1	17,64	0,0	0	1,42	0	0	0,00	0,012	0,84	1750	1	17,64	35,28
Modelo 5 com miolo de lâ mineral	0,012	0,84	1750	1	17,64	0,0	0,03	1,42	35	1	1,49	0,015	0,84	1000	1	12,60	31,73

MATERIAL	CAPACIDADE TÉRMICA SISTEMA STEEL FRAME K <sub>j</sub> /(m <sup>2</sup> *K) MIOLO DE LÃ MINERAL																
	CT PAINEL EXTERIOR					CT AR	CT MIOLO					CT PAINEL INTERIOR					CAPACIDADE TÉRMICA TOTAL Kj/(m <sup>2</sup> . K)
	Espessura e	Calor específico c Kj/(Kg.K)	massa ρ kg/m <sup>3</sup>	# camada	total	total	Espessura e	Calor específico c Kj/(Kg.K)	massa ρ kg/m <sup>3</sup>	# camada	total	Espessura e	Calor específico c Kj/(Kg.K)	massa ρ kg/m <sup>3</sup>	# camada	total	
Modelo 1 cimentícia e miolo de EPS	0,015	2,3	1000	2	86,64	0,0	0,05	0,75	100	1	3,75	0,015	2,3	1000	1	52,14	
	0,012	0,84	1750	1								0,012	0,84	1750	1		
Modelo 1 gesso e miolo de EPS	0,015	2,3	1000	2	86,64	0,0	0,05	0,75	100	1	3,75	0,015	2,3	1000	1	47,10	137,49
	0,012	0,84	1750	1								0,015	0,84	1000	1		
Modelo 2 cimentícia e miolo de EPS	0,015	2,3	1000	1	34,98	0,0	0,05	0,75	100	1	3,75	0,015	2,3	1000	1	52,14	90,87
	0,001	0,4	1200	1								0,012	0,84	1750	1		
Modelo 2 gesso e miolo de EPS	0,015	2,3	1000	1	34,98	0,0	0,05	0,75	100	1	3,75	0,015	2,3	1000	1	47,10	85,83
	0,001	0,4	1200	1								0,015	0,84	1000	1		
Modelo 3 cimentícia e miolo de EPS	0,011	2,3	1000	1	42,94	0,0	0,05	0,75	100	1	3,75	0,011	2,3	1000	1	42,94	89,63
	0,012	0,84	1750	1								0,012	0,84	1750	1		
Modelo 3 gesso e miolo de EPS	0,011	2,3	1000	1	42,94	0,0	0,05	0,75	100	1	3,75	0,011	2,3	1000	1	37,90	84,59
	0,012	0,84	1750	1								0,015	0,84	1000	1		
Modelo 4 cimentícia e miolo de EPS	0,011	2,3	1000	1	40,00	0,0	0,05	0,75	100	1	3,75	0,011	2,3	1000	0	14,70	58,45
	0,010	0,84	1750	1								0,010	0,84	1750	1		
Modelo 4 gesso e miolo de EPS	0,011	2,3	1000	1	40,00	0,0	0,05	0,75	100	1	3,75	0,011	2,3	1000	0	12,60	56,35
	0,010	0,84	1750	1								0,015	0,84	1000	1		
Modelo 5 miolo de EPS	0,012	0,84	1750	1	17,64	0,0	0,05	0,75	100	0	0,00	0,012	0,84	1750	1	17,64	35,28
Modelo 5 com miolo de lã mineral	0,012	0,84	1750	1	17,64	0,0	0,05	0,75	100	1	3,75	0,015	0,84	1000	1	12,60	33,99

APÊNDICE E – FERRAMENTA DE CALCULO DA ÁREA TOTAL M<sup>2</sup> DAS PAREDES DA HABITAÇÃO E CONSUMO PADRÃO DE MATERIAIS PARA O SISTEMA CONVENCIONAL.

Tabela E1 – Planilha de cálculos total m<sup>2</sup> e consumo total do sistema convencional.

LEVANTAMENTO QUANTITATIVO DE PAREDES TIJOLO CERÂMICO ESTRUTURAL 14X19X39		AREA M <sup>2</sup>					TOTAL M <sup>2</sup> DA HABITAÇÃO	Consumo padrão 12,5 u/m <sup>2</sup>	Massa por unidade Kg/u	Consumo padrão argamassa de assentamento M <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Consumo padrão reboco M <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
		Area M <sup>2</sup>		SubTotal	Vãos Janelas M <sup>2</sup>							SubTotal
		Comprimento	Altura		Comprimento	Altura						
PAREDES EXTERNAS	Parede lateral esquerda	6,6	2,8	21,98	0	0	0	21,98	275			
		3,43	1,06									
		3,17	1,06									
	Parede lateral direita	6,6	2,8	21,98	0	0	0	21,98	275			
		3,43	1,06									
		3,17	1,06									
	Fachada Posterior	7,85	2,8	21,98	0,87	2,1	5,787	16,19	202			
					1,8	1,1						
					1,8	1,1						
	Fachada Frontal	3,3	2,8	23,66	1,8	1,1	5,957	17,70	221	7,35	0,01	0,04
0,6		2,8	0		0							
1,3		2,8	1		0,5							
			1,5		1,1							
			0,87		2,1							
PAREDES INTERNAS	Parede 1	2,85	2,8	9,25	0	0	0	9,25	116			
		2,85	0,89									
	parede 2	4,15	2,8	15,31	0,77	2,1	1,617	13,70	171			
		4,15	0,89									
	Parede 3	4,4	2,8	16,24	0,9	2,1	1,89	14,35	179			
		4,4	0,89		0,67	2,1						
	Parede 4	3,45	2,8	11,57	0,77	2,1	1,617	9,95	124			
		3,17	1,06									
		0,43	1,06									
	Parede 5	2,44	2,8	7,98	0	0	0	7,98	100			
2,59		0,89										
<b>TOTAL</b>							<b>133</b>	<b>1663</b>	<b>12227</b>	<b>1,33</b>	<b>5,3</b>	

APÊNDICE F. TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA DO SISTEMA CONVENCIONAL.

Tabela F1 - Área das seções do bloco cerâmico

<b>ÁREA PAREDE BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL 14X19X39</b>						
<b>ÁREA</b>		Altura	Comprimento	<b>m<sup>2</sup></b>	# de Repetições	<b>Total m<sup>2</sup> seção</b>
	Seção 1	0,015	0,39	<b>0,00885</b>	1	<b>0,00885</b>
		0,015	0,2			
	Seção 2	0,01	0,19	<b>0,0019</b>	6	<b>0,0114</b>
	Seção 3	0,015	0,19	<b>0,00285</b>	2	<b>0,0057</b>
	Seção 4	0,13	0,19	<b>0,0247</b>	2	<b>0,0494</b>
	Seção 5	0,05	0,19	<b>0,0095</b>	1	<b>0,0095</b>

Tabela F2 - Transmitância térmica SC

<b>MATERIAL</b>	<b>TRANSMITÂNCIA TÉRMICA PAREDE BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL 14X19X39 (m2.K)/W</b>						
	<b>Propiedades</b>	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 5	
RT REVOCO	Espessura, e	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
	Condutividade termica $\lambda$	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	
	Numero de camadas	2	2	2	2	2	
	<b>total seção</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	
RT ARGAMASSA	Espessura, e	0,015	0	0	0	0	
	Condutividade termica $\lambda$	1,15	0	0	0	0	
	Numero de camadas	1	0	0	0	0	
	<b>total seção</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
RT CAMADAS EXTERNAS	Espessura, e	0	0,14	0,01	0,01	0,01	
	Condutividade termica $\lambda$	0	0,9	0,9	0,9	0,9	
	Numero de camadas	0	6	2	2	2	
	<b>total seção</b>	<b>0</b>	<b>0,93</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	
RT CAMADAS INTERNAS	Espessura, e	0	0	0,01	0,01	0,01	
	Condutividade termica $\lambda$	0	0	0,9	0,9	0,9	
	Numero de camadas	0	0	3	2	2	
	<b>total seção</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,033</b>	<b>0,022</b>	<b>0,022</b>	
RT DO AR	Espessura, e	0	0	0,16	0,16	0,16	
	Numero de camadas	0	0	4	3	3	
	<b>total seção</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,64</b>	<b>0,48</b>	<b>0,48</b>	
<b>RT DA SEÇÃO</b>		<b>0,05</b>	<b>0,97</b>	<b>0,73</b>	<b>0,56</b>	<b>0,56</b>	
<b>RESISTENCIA TÉRMICA PAREDE (m2.K)/W</b>		<b>0,274</b>					
<b>Resistencia Térmica total (m2.K)/W</b>		0,444	<b>Rsi</b>			<b>Rse</b>	<b>Rt</b>
			0,13	0,04	0,274		
<b>TRANSMITÂNCIA TÉRMICA U W/(m<sup>2</sup>.K)</b>		<b>2,25</b>					

Tabela F3 - Capacidade térmica SC

MATERIAL	CAPACIDADE TÉRMICA PAREDE BLOCO CERÂMICO ESTRUTURAL14X19X39 KJ/(m <sup>2</sup> . K)					
	Propiedades	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 5
CT REVOCO	Espessura, e	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Calor específico C	1	1	1	1	1
	Densidade de massa aparente ρ	1860	1860	1860	1860	1860
	Numero de camadas	2	2	2	2	2
	<b>total seção</b>	<b>74</b>	<b>74</b>	<b>74</b>	<b>74</b>	<b>74</b>
CT ARGAMASSA	Espessura, e	0,015	0	0	0	0
	Calor específico C	1	0	0	0	0
	Densidade de massa aparente ρ	2000	0	0	0	0
	<b>total seção</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
CT TIJOLO	espessura exterior	0	0,14	0,01	0,01	0,01
	espessura interior	0	0	0,01	0,01	0,01
	Calor específico C	0	0,92	0,92	0,92	0,92
	Densidade de massa aparente ρ	0	1600	1600	1600	1600
	Numero de camadas externas	0	1	2	2	2
	Numero de camadas internas	0	0	3	2	2
	<b>total seção</b>	<b>0,0</b>	<b>206,1</b>	<b>73,6</b>	<b>58,9</b>	<b>58,9</b>
<b>CT DO AR</b>		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<b>SOMATORIA CT</b>		<b>104,4</b>	<b>280,5</b>	<b>148,0</b>	<b>133,3</b>	<b>133,3</b>
<b>CAPACIDADE TÉRMICA TOTAL PAREDE KJ/(m<sup>2</sup>. K)</b>		<b>140,1</b>				

APÊNDICE G. PLANILHA DE CALCULO DE MASSA E ENERGIA INCORPORADA DO SISTEMA CONVENCIONAL

Material	Massa do material Kg/m <sup>2</sup>	EI MJ/Kg	Distância em Km	EI transporte MJ/Kg	EI Material Mj	EI Total do sistema MJ/m <sup>2</sup>
Bloco cerâmico	91,87	3,90	100,0		373,18	<b>577</b>
Argamassa de assentamento	15,92	2,10	100,0		36,01	
Chapisco interno	9,30	2,10	100,0	0,00162	21,04	
Chapisco externo	9,30	2,10	100,0		21,04	
Reboco interno	27,90	2,10	100,0		63,11	
Reboco externo	27,90	2,10	100,0		63,11	
<b>Total de massa por m<sup>2</sup></b>	<b>182,19</b>					

APÊNDICE H. PLANILHA DE CALCULO MASSA AÇO STEEL FRAME

Dados		Unidade (1)		Unidade (2)	
GUIA	Largura da alma (Lag)	92,00	mm		
	Largura da mesa (Lmg)	38,00	mm		
	Espessura constante da guia	0,80	mm		
	G= Lag - 2(eg)	90,40	mm		
	<b>Área da seção transversal da guia</b>	<b>133,12</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>	1,3312	cm <sup>2</sup>
	Comprimento da guia	100,00	cm		
	Volume da guia	133,12	cm <sup>3</sup>		
	Quantidade de guias	2,00	unidades		
	<b>Volume de aço (guias)</b>	<b>266,24</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	<b>0,000266</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
MONTANTE	Largura da alma (Lam)	90,00	mm		
	Largura da mesa (Lmm)	40,00	mm		
	Largura do enrijecedor de borda (leb <sub>m</sub> )	12,00	mm		
	Espessura constante do montante (em)	0,80	mm		
	M= lam - 2(em)	88,40	mm		
	<b>Área da seção transversal do montante</b>	<b>152,64</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>	1,5264	cm <sup>2</sup>
	Comprimento do montante	100,00	cm		
	Volume do montante	152,64	cm <sup>3</sup>		
	Quantidade de montantes	3,00	unidades		
<b>Volume de aço (montantes)</b>	<b>457,92</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	<b>0,000458</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	
PARAFUSO	Diametro do parafuso	4,20	mm		
	Comprimento do parafuso	50,80	mm		
	<b>Volume aproximado de parafuso</b>	<b>670,29</b>	<b>mm<sup>3</sup></b>		
	Quantidade de parafusos	96,00	unidades		
	<b>Volume total de aço (parafusos)</b>	<b>64348,01</b>	<b>mm<sup>3</sup></b>	<b>0,000064</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

APÊNDICE I. PLANILHA DE CALCULO DE ENERGIA INCORPORADA MODELO 1  
EM STEEL FRAME

Modelo	Modelo 1 placa cimenticia	Masa do material Kg/m <sup>2</sup>	Energia Incorporada do material MJ/Kg	distancia em Km	EI transporte Mj/Kg/km	EI em transportes	Energia Incorporada total do sistema MJ/m <sup>2</sup>
1 com miolo de EPS	Guias e montantes (Aço)	8,21	30,00	956,0	0,00162	<b>259,01</b>	<b>862,90</b>
	Parafusos (Aço)	0,50	30,00	1337,0		<b>16,08</b>	
	Placas de OSB	33,12	7,50	1228,0		<b>314,29</b>	
	Polietileno de alta densidade	0,06	95,00	200,0		<b>5,72</b>	
	Placas cimenticia	41,00	6,00	210,0		<b>259,95</b>	
	Miolo de Eps	0,07	112,00	20,0		<b>7,84</b>	
Total de massa por m <sup>2</sup>		82,96					

1 com miolo de lâ mineral	Guias e montantes (Aço)	8,21	30,00	956,0	0,00162	<b>259,01</b>	<b>866</b>
	Parafusos (Aço)	0,50	30,00	1337,0		<b>16,08</b>	
	Placas de OSB	33,12	7,50	1228,0		<b>314,29</b>	
	Polietileno de alta densidade	0,06	95,00	200,0		<b>5,72</b>	
	Placas cimenticia	41,00	6,00	210,0		<b>259,95</b>	
	Miolo de lâ mineral	0,50	19,00	1763,0		<b>10,93</b>	
Total de massa por m <sup>2</sup>		83,39					

Modelo	Modelo 1 placa de gesso	Masa do material Kg/m <sup>2</sup>	Energia Incorporada do material MJ/Kg	distancia em Km	EI transporte Mj/Kg/km	EI em transportes	Energia Incorporada total do sistema MJ/m <sup>2</sup>
1 com miolo de EPS	Guias e montantes (Aço)	8,21	30,00	956,0	0,00162	<b>259,01</b>	<b>821</b>
	Parafusos (Aço)	0,50	30,00	1337,0		<b>16,08</b>	
	Placas de OSB	33,12	7,50	1228		<b>314,29</b>	
	Polietileno de alta densidade	0,06	95,00	200,0		<b>5,72</b>	
	Placas Cimenticia	20,50	6,00	210,0		<b>129,97</b>	
	Placas de Gesso	12,00	4,50	1763		<b>88,27</b>	
Miolo de Eps	0,07	112,00	20,0	<b>7,84</b>			
Total de massa por m <sup>2</sup>		74,46					

1 com miolo de lâ mineral	Guias e montantes (Aço)	8,21	30,00	956,0	0,00162	<b>259,01</b>	<b>824</b>
	Parafusos (Aço)	0,50	30,00	1337,0		<b>16,08</b>	
	Placas de OSB	33,12	7,50	1228		<b>314,29</b>	
	Polietileno de alta densidade	0,06	95,00	200,0		<b>5,72</b>	
	Placas Cimenticia	20,50	6,00	210,0		<b>129,97</b>	
	Placas de Gesso	12,00	4,50	1763		<b>88,27</b>	
Miolo de lâ mineral	0,50	19,00	1763	<b>10,93</b>			
Total de massa por m <sup>2</sup>		74,89					



APÊNDICE J. PLANILHA DE CALCULO DE ENERGIA INCORPORADA MODELO 1 EM STEEL FRAME PELO TOTAL DA HABITAÇÃO.

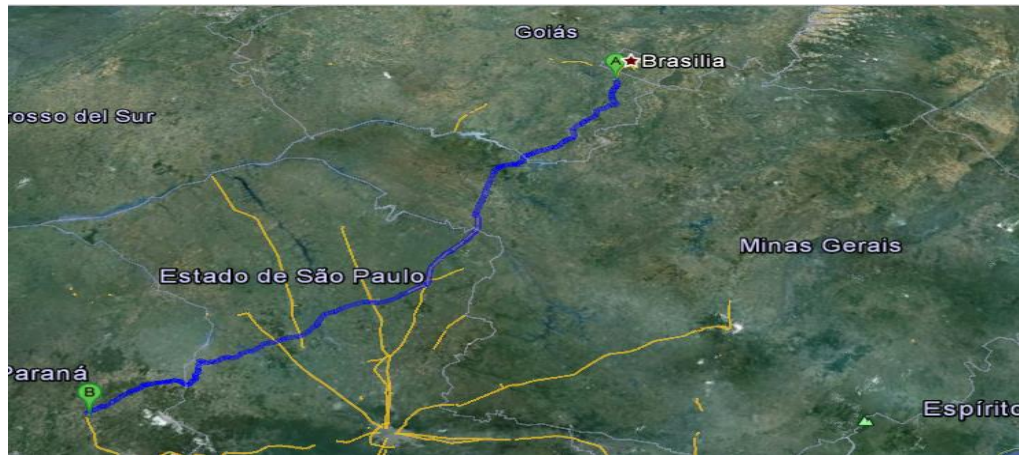
Sistema	Material	Massa por unidade Kg/m <sup>2</sup>	Total M <sup>2</sup> de parede	Consumo total em Kg por habitação	Energia Incorporada do material MJ/Kg	Energia Incorporada por material em MJ	Distancia percorrida Km	Energia Incorporada ao transporte MJ/Kg/Km	Energia Incorporada em transporte MJ	Energia Incorporada Total MJ
V1	Guias e montantes aço	8,21	133	1.091,93	30,00	32757,90	956	0,00162	1691,09	111.421
	Parafusos	0,50		66,50	30,00	1995,00	1337		144,04	
	Placas de OSB	33,12		4.404,96	8,00	35239,68	1228		8763,05	
	Polietileno de alta densidade	0,06		7,98	95,00	758,10	200		2,59	
	Placas Cimenticia	20,50		2.726,50	6,00	16359,00	210		927,56	
	Placas de Gesso	12,00		1.596,00	4,50	7182,00	1763		4558,27	
	Miolo de EPS	0,07		9,31	112,00	1042,72	20		0,30	

ANEXO A. Roteiro de cálculo para camadas da FC.

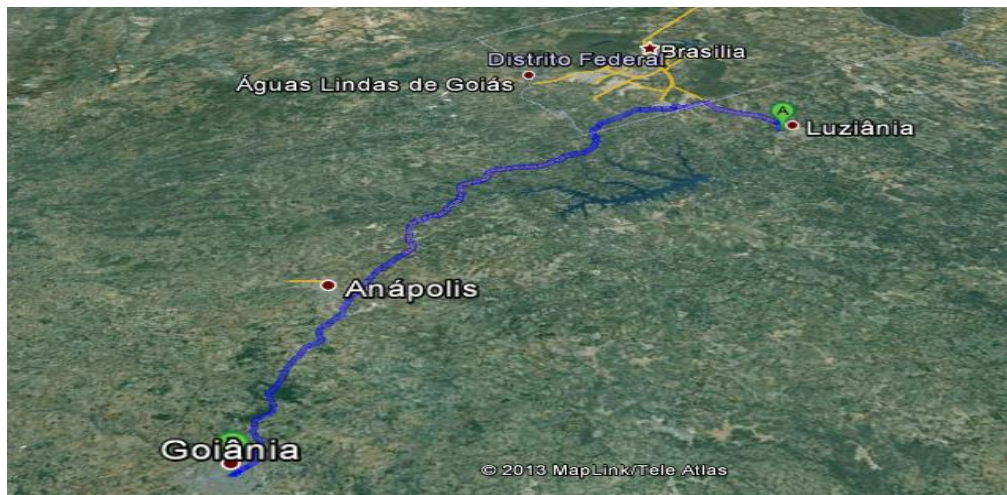
Tabela A1 - Quantidades de material para cada camada de argamassa da FC.

MATERIAL		QUANTIDADES
Argamassa de assentamento: 1:1:4 (volume), e = 10 mm. a/c = 1.3	Cimento	2,79 kg de cimento CII F-32
	Cal	1,0 Kg de cal
	Areia	12,13 kg de areia
Chapisco (externo e interno) 1:3 (volume), a/c = 1.0. e = 5mm	Cimento	1,96 kg de cimento CII F-32
	Areia	6,35 kg de areia
Argamassa de reboco paulista (interna e externa) 1:2:9 (volume), a/c = 2,2. e = 40 mm	Cimento	5,82 kg de cimento CII F-32
	Cal	4,20 kg de cal
	Areia	57,0 kg de areia

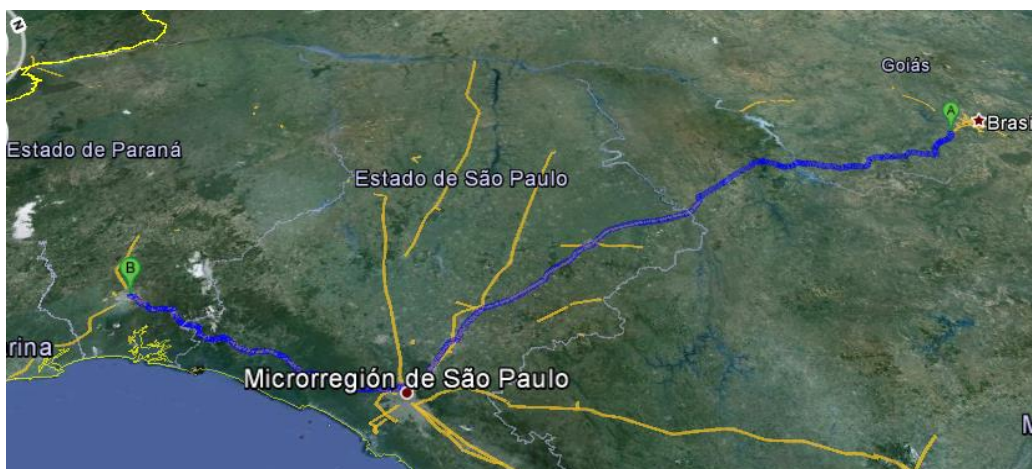
Com base nos consumos calculados de cimento, cal e areia bem como nos dados levantados, foi possível estimar posteriormente a energia incorporada da argamassa.



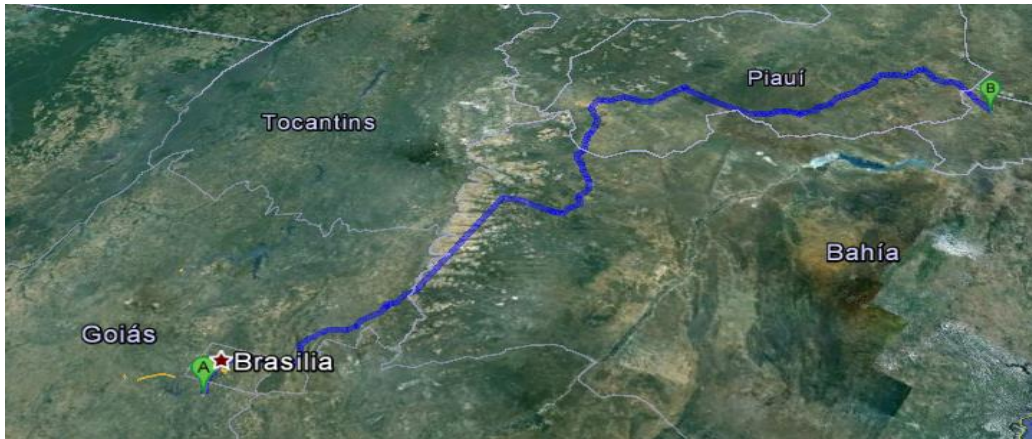
Anexo B - Transporte de placas de OSB de Ponta Grossa até Luziânia = 1128 km (Google 2012)



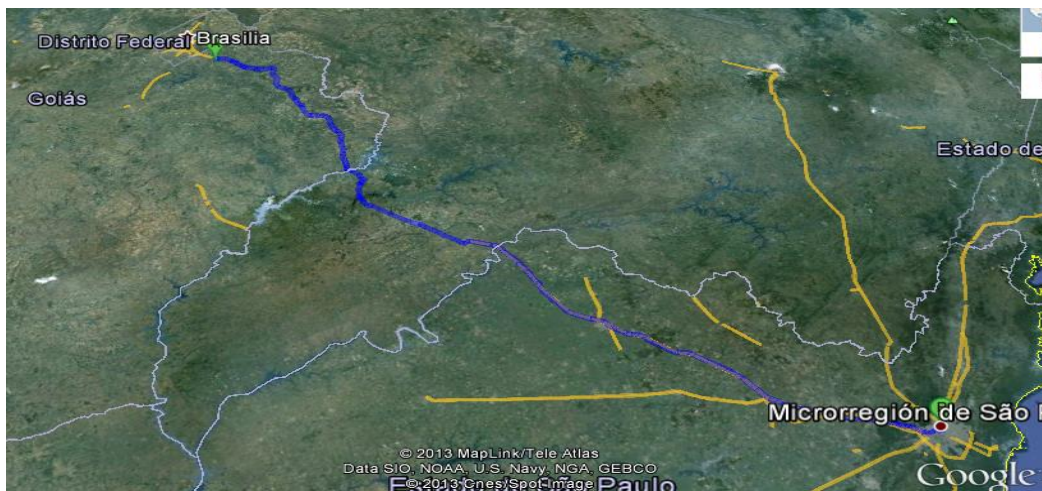
Anexo C - Transporte de placas cimentícias de Goiânia até Luziânia = 210 km (Google 2012)



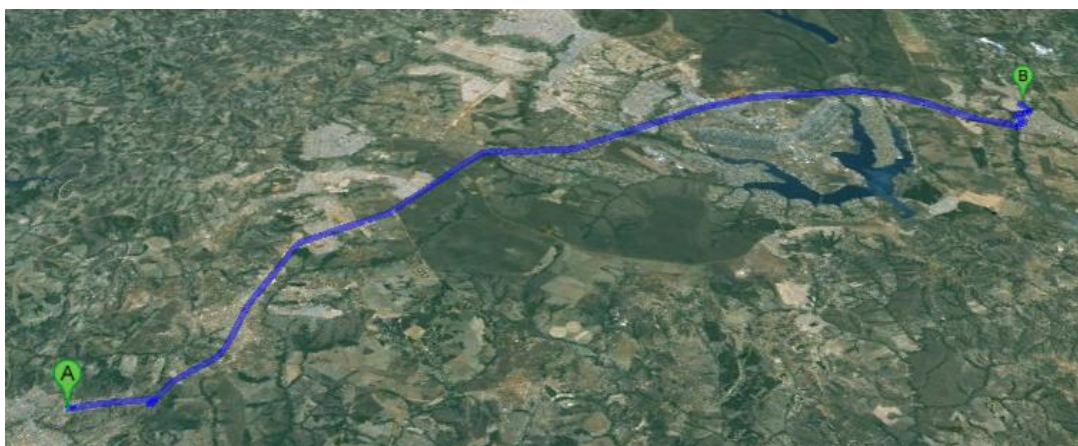
Anexo D – Transporte de parafusos de Curitiba até Luziânia = 1337 km (Google 2012)



Anexo E – Transporte de Placas de Gesso de Trindade até Luziânia = 1763 km (Google 2012)



Anexo F – Transporte de guias e montantes de São Paulo até Luziânia = 956 Km (Google 2012)



Anexo G – Transporte de Argamassa de Sobradinho até Luziânia = 80 km (Google 2012)