

**AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA ENERGÉTICO (ACVE) DE
SISTEMAS DE VEDAÇÃO DE HABITAÇÕES**

GILSON MARAFIGA PEDROSO

TESE DE DOUTORADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

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

**AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA ENERGÉTICO (ACVE) DE
SISTEMAS DE VEDAÇÃO DE HABITAÇÕES**

GILSON MARAFIGA PEDROSO

ORIENTADORA: PROF^ª DR^ª ROSA MARIA SPOSTO

TESE DE DOUTORADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

PUBLICAÇÃO:

E.TD-003A/15

BRASÍLIA-DF: AGOSTO/2015

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

**AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA ENERGÉTICO (ACVE) DE SISTEMAS DE
VEDAÇÃO DE HABITAÇÕES**

GILSON MARAFIGA PEDROSO

TESE 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 DOUTOR EM CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADA POR:

Prof^a Rosa Maria Sposto, DSc. (ENC-UnB)
(Orientadora)

Prof^a Michele Tereza Marques Carvalho, DSc. (ENC-UnB)
(Examinadora Interna)

Prof. João Henrique da Silva Rego, DSc. (ENC-UnB)
(Examinador Interno)

Prof. Flávio Roldão de Carvalho Lelis, DSc. (IFTO)
(Examinador Externo)

Prof^a Andrea Parisi Kern, DSc. (UNISINOS)
(Examinadora Externa)

BRASÍLIA/DF, 26 de AGOSTO DE 2015.

FICHA CATALOGRÁFICA

PEDROSO, GILSON MARAFIGA

Avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações.

Realizado em Brasília [Distrito Federal, 2015].

xvii, 226 p. 210x297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Construção Civil, 2015).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

1. Energia Incorporada

3. Sustentabilidade

2. ACVE

4. Vedações

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PEDROSO, G. M. (2015). **Avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-003A/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 226 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gilson Marafiga Pedroso

TÍTULO: Avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações.

GRAU: Doutor

ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado 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 tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Gilson Marafiga Pedroso
Palmas, TO – Brasil
gilsonmpedroso@gmail.com

“Combati o bom combate, segurei na corrida, guardando a fé.”
(Adaptado de 2 Tm. 4-7 – Bíblia Sagrada)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e pela direção na caminhada junto ao Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil da UnB;

À Profª Rosa Maria Sposto, pela oportunidade proporcionada no desenvolvimento deste trabalho, pelos ensinamentos, pela firme orientação, pela humanidade e grandeza de trato como orientadora e pessoa;

À minha esposa Daniela, pelo seu amor incondicional, sua fé e compreensão grandiosas nesta importante etapa da vida;

À minha família, incentivadores constantes, em especial meu pai José e mãe Terezinha, inspiradores de minhas conquistas;

Aos professores e funcionários do PECC/UnB, que souberam compartilhar conhecimentos, experiências que enriqueceram o tempo de convivência e direcionaram de forma positiva as atividades propostas;

Às empresas que apoiaram a realização dos ensaios de desconstrução;

Ao Eng. Alcimar A. Milhomem no apoio às atividades do doutorado, sempre que solicitado;

Ao IFTO, Campus Palmas, pela oportunidade de qualificação de doutorado;

Aos colegas e amigos do PECC, que durante o período do doutorado proporcionaram uma convivência agradável e incentivadora, Uchôa, Marcos, Carlos, Silvano, Maria Cláudia, Marília. Em especial à Ana Carolina Maciel pela presença constante nesta caminhada, pela amizade e profissionalismo;

À CAPES/MEC pelo recurso referente à bolsa de estudos ao longo do curso, a qual possibilitou a constante ponte Palmas-Brasília-Palmas.

RESUMO

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA ENERGÉTICO (ACVE) DE SISTEMAS DE VEDAÇÃO DE HABITAÇÕES

Autor: Gilson Marafiga Pedroso

Orientadora: Prof^a Dr^a Rosa Maria Sposto

Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, agosto de 2015

O estudo da Energia Incorporada (EI) no contexto das pesquisas sobre sustentabilidade na cadeia produtiva da construção tem contribuído ainda de forma incipiente no meio científico e tecnológico do país. A partir de estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), tem-se desenvolvido estratégias de otimização das etapas complexas que essa requer, através da Avaliação de Ciclo de Vida Energético (ACVE). Este trabalho buscou discutir a ACVE nas etapas de pré-uso, uso e manutenção e desconstrução de um projeto típico de habitação térrea para o Distrito Federal no Brasil, de 45,64 m², abordando os sistemas de vedação vertical internos e externos. As vedações abordadas foram parede de concreto moldadas no local, alvenaria estrutural de blocos de concreto, *steel frame* e convencional. Buscou-se também realizar ensaios com a finalidade de obter a EI para a fase de desconstrução, abordando também a EI dos resíduos. Como resultados, verificou-se que as vedações em alvenaria estrutural apresentaram menor EI total. Em todas as situações, a etapa de desconstrução comportou-se como sendo a de menor EI, representando em média 1% da EI total. A etapa de uso e manutenção teve a maior EI para os sistemas abordados. Já a etapa de pré-uso teve maior EI para dois sistemas, sendo as vedações de painéis de concreto com apenas uma utilização das fôrmas e as vedações em *steel frame*, o qual apresentou no conjunto das três etapas a maior EI total. A partir da análise dos resíduos das vedações na etapa de desconstrução, encontraram-se resultados de que os resíduos podem representar de 6 (seis)% até 11 (onze)% da EI total. Os estudos mostraram que nas condições específicas da pesquisa, os valores para EI total para as vedações foram de 13,17 GJ/m² até 31,99 GJ/m².

Palavras-chave: Energia Incorporada, Vedações, ACVE, Sustentabilidade.

ABSTRACT

ENERGY LIFE CYCLE ASSESSMENT (ELCA) OF WALLS SYSTEMS HOUSING

Author: Gilson Marafiga Pedroso

Supervisor: Prof^ª Dr^ª Rosa Maria Sposto

Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, august of 2015

The study of embodied energy (EE) in the research context of sustainability on the construction supply chain has contributed for science and technology in Brazil, but the researches are still incipient. Based on studies on Energy Life Cycle Assessment (Energy LCA), some strategies to optimize the complex phases of Life Cycle Assessment (LCA) have been developed. This work discuss Energy LCA in the pre-use, use as well as demolition phases of a typical project of a social housing of one story of 45,64 m² in Distrito Federal, situated in Brazil. The thesis addresses internal and external walls. They addressed walls were concrete wall molded-in-place, structural masonry of concrete block, steel frame and traditional masonry. Tests were made to obtain the EE in the demolition phase, addressing EE of remnants. As a result, it was possible to verify that the structural masonry wasted less total EE than the others. In every analyzed situation, the demolition phase was the one that wasted less EE, representing 1% of the total EE. The use phase consumed the most part of the EE. The pre-use phase consumed the most part of the EE for concrete wall when it uses just one form and for steel frame which presents the higher spending of total EE throughout the three phases. Based on the analyze of the remnants of the internal and external walls in the demolition stage, the remnants can represent from 6% to 11% of total EE. The studies indicated that the amount of total EE for internal and external walls were from 13,17 GJ/m² to 31,99 GJ/m², at the specific conditions of this research.

Keywords: Embodied Energy, Internal and External Walls, ELCA, Sustainability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA	20
1.2 PROBLEMA	22
1.3 HIPÓTESE	23
1.4 OBJETIVOS	24
1.4.1 Objetivo Geral	24
1.4.2 Objetivos Específicos.....	24
1.5 DELIMITAÇÃO E ORIGINALIDADE	24
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 O EDIFÍCIO E A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	27
2.2 OFERTA DE ENERGIA NO BRASIL E A CRISE AMBIENTAL	30
2.3 HABITAÇÕES	34
2.4 SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA HABITAÇÕES	35
2.5 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA – ACV	36
2.6 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA ENERGÉTICO – ACVE	42
2.6.1 ACVE no contexto internacional	45
2.6.2 ACVE no contexto nacional	54
2.6.3 Definições para a ACVE	60
2.7 resíduos de construção	64
2.8 Vedações verticais pesquisadas	65
2.8.1 Vedações de concreto moldadas no local	66
2.8.2 Vedações em Steel Frame.....	67
2.8.3 Vedações em Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto.....	69
2.8.4 Vedações constituídas por estruturas de concreto armado e blocos cerâmicos vazados	71
2.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	71
3. MÉTODO DE PESQUISA	73
3.1 INTRODUÇÃO	73
3.2 METODOLOGIA para OBTER OS QUANTITATIVOS DE EI	74
3.3 ESTUDO PARA AS FASES DE PRÉ-USO E USO E MANUTENÇÃO	79
3.3.1 Definição do projeto de arquitetura	79

3.3.2	Sistema de Produto e Unidade Funcional dos SVVIEs	83
3.3.3	Elaboração das planilhas de serviços e materiais.....	84
3.3.4	Apropriação da EI aos materiais componentes dos SVVIEs	87
3.4	PROTÓTIPOS DE DESCONSTRUÇÃO.....	88
3.4.1	Descrição dos procedimentos de execução das vedações.....	88
3.4.1.1	Descrição da execução das vedações convencionais	91
3.4.1.2	Descrição da execução das vedações de parede de concreto moldado no local	91
3.4.1.3	Descrição da execução das vedações de alvenaria estrutural	92
3.4.1.4	Descrição da execução das vedações de steel frame.....	93
3.4.2	Descrição dos procedimentos para a desconstrução das vedações	94
3.4.2.1	Descrição da desconstrução das vedações de blocos cerâmicos.....	95
3.4.2.2	Descrição da desconstrução das vedações de concreto moldadas no local	95
3.4.2.3	Descrição da desconstrução das vedações de alvenaria estrutural.....	95
3.4.2.4	Descrição da desconstrução das vedações de Steel frame.....	96
3.4.3	Conceitos de estatística em relação à metodologia da desconstrução.....	96
3.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	97
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	99
4.1	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS ESTUDOS DE CASO DAS VEDAÇÕES PARA O CÁLCULO DE EI.....	99
4.2	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO EXPERIMENTAL DE DESCONSTRUÇÃO	110
4.2.1	Resultados e análise estatística dos dados relativos ao experimento de desconstrução	111
4.2.1.1	Massa total de resíduos do desmonte de cada vedação	114
4.2.1.2	EI oriunda da desconstrução das vedações.....	116
4.2.1.3	Volume gerado pelos resíduos oriundos da desconstrução das paredes	118
4.2.2	Análise do volume e massa de desconstrução	120
4.2.3	Classificação da EI dos resíduos resultantes da desconstrução das vedações	121
4.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	123
5.	CONCLUSÕES	128
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	132
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	142
	Apêndice A - Planta baixa de arquitetura – Sem escala – medidas em cm	144
	Apêndice B - Projeto de arquitetura – Sem escala – medidas em cm.....	146

Apêndice C - Projeto de alvenaria estrutural de blocos de concreto	151
Apêndice D - Projeto de concreto armado com vedação de blocos cerâmicos	155
Apêndice E - Projeto de painéis de concreto moldado no local	166
Apêndice F - Projeto de steel frame	172
Apêndice G - Exemplo de levantamento dos percursos dos insumos até o destino	176
Apêndice H - Tabela insumos consumidos para os ensaios de desconstrução.....	178
Apêndice I - Dados secundários de EI	181
Apêndice J - Fichas de ensaios de desconstrução de paredes de vedações	183
Apêndice K - Planilhas de cálculo de EI	208
Apêndice L - Dados de consumo energético dos equipamentos na fase de uso.	217
Apêndice M - Requisitos de desempenho para os SVVIE, segundo ABNT NBR 15575-4:2013.....	219
Apêndice N - Ferramentas utilizadas para as operações de desconstrução.	221
Anexo A - Especificações mínimas para HIS.....	224

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Dimensões da sustentabilidade	27
Figura 2.2 - Oferta interna de energia (Mtep) em 2013 no Brasil.....	31
Figura 2.3 - Comparação da oferta interna de energia (Mtep) em 2012/2013 no Brasil	32
Figura 2.4 - Consumo energético de fontes renováveis x fontes não renováveis.....	33
Figura 2.5 - Fluxograma da ACV	37
Figura 2.6 - Avaliação do ciclo de vida.....	38
Figura 2.7 - Níveis conforme proposto pelo IFIAS.....	61
Figura 2.8 - Esquema da metodologia utilizada pelo autor para FC (ano 2014/2013)...	63
Figura 2.9 - Ciclo de vida energético de uma edificação	63
Figura 2.10 - Vista da estrutura de uma habitação em <i>Steel Frame</i>	68
Figura 3.1 - Macro-atividades da metodologia.....	75
Figura 3.2 - Localização da cidade de São Sebastião, no DF.....	76
Figura 3.3 - Etapas realizadas no estudo de caso nas etapas de pré-uso e uso/manutenção e ensaios na fase de desconstrução	78
Figura 3.4 - Perspectiva do projeto padrão adotado	80
Figura 3.5 - Planta baixa do projeto padrão de 45,64 m ²	81
Figura 3.6 - Fachadas. a) principal; b) posterior; c) lateral direita; d) lateral esquerda..	82
Figura 3.7.- Cortes. a) Sem cobertura; b) Horizontal; c) Longitudinal; d) Transversal .	82
Figura 3.8 -Vedação convencional	89
Figura 3.9 -Vedação de parede de concreto	89
Figura 3.10 -Vedação de alvenaria estrutural.....	89
Figura 3.11 -Vedação de <i>steel frame</i>	90
Figura 3.12 - Base para ensaios	90
Figura 3.13 - Amostras construídas e preparadas para a etapa de desconstrução	91
Figura 3.14.- Sequência executiva das vedações de concreto armado	91
Figura 3.15 - Sequência executiva das vedações de parede de concreto moldado no local	92
Figura 3.16 - Sequência executiva das vedações de alvenaria estrutural de blocos de concreto	93
Figura 3.17 - Sequência executiva das vedações de <i>Steel Frame</i>	94
Figura 3.18. - Sequência de desconstrução das vedações de concreto armado.....	95
Figura 3.19 - Sequência de desconstrução das vedações de parede de concreto.....	95

Figura 3.20 - Sequência de desconstrução das vedações de alvenaria estrutural	96
Figura 3.21 - Sequência de desconstrução das vedações de <i>steel frame</i>	96
Figura 4.1 - EI na fase de pré-uso para os SVVIEs pesquisados.....	100
Figura 4.2 - EI na fase de uso e manutenção para os SVVIEs pesquisados.....	100
Figura 4.3 - EI na fase de desconstrução para os SVVIEs pesquisados.....	101
Figura 4.4 - EI Total nas três fases, para os SVVIEs pesquisados.	102
Figura 4.5 - EI por fases, nas vedações de parede de concreto sem repetição de fôrmas.	103
Figura 4.6 - EI nas fases para as vedações em parede de concreto com 100 repetições.	104
Figura 4.7 - EI e % nas fases para as vedações de parede de concreto com 500 repetições de fôrmas.	104
Figura 4.8 - EI e % nas fases para as vedações de parede de concreto com mil repetições.....	105
Figura 4.9 - EI e % nas fases para as vedações de <i>steel frame</i>	105
Figura 4.10 - EI e % nas fases para as vedações em alvenaria estrutural.....	106
Figura 4.11 - EI e % nas fases para as vedações em estrutura convencional.	106
Figura 4.12 - EI em todas as vedações pesquisadas, por fase e total em GJ/m ²	107
Figura 4.13 - Comparativo entre vedações de parede concreto e <i>steel frame</i>	108
Figura 4.14 - Comparativo entre vedações de parede de concreto convencionais.	109
Figura 4.15 - Média aritmética das massas (Kg) dos resíduos de desconstrução das paredes de cada SVVIE.	111
Figura 4.16 - Média aritmética da EI (MJ/m ² de parede) consumida nos resíduos de desconstrução das paredes de cada SVVIE.	112
Figura 4.17 - Média aritmética do volume (m ³ /m ² de parede) gerado pelos resíduos de desconstrução das paredes de cada SVVIE.	112
Figura 4.18 - Massa total média de resíduo/m ² para cada tipologia de vedação	115
Figura 4.19 - EI média para cada SVVIE de resíduo/m ² de parede (MJ/m ²).	117
Figura 4.20 - Volume gerado de resíduos por m ² de parede (m ³ /m ²).	119
Figura 4.21 - Relação massa/volume dos resíduos.....	121
Figura N.1 - Mini Esmerilhadeira <i>Bosch GWS 7-115 ET</i>	222
Figura N.2 - Parafusadeira Drywall VVR 720 DW253.....	222
Figura N.3 - Martelo Rompedor <i>Bosch GSH 11 E Professional</i>	223
Figura N.4 - Balança mecânica. (a) Vista; (b) Detalhe.	223

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Consumos de EI, encontrados por pesquisadores nacionais e internacionais	54
Tabela 3.1 - Valores de U e CT para as vedações pesquisadas (SVVIE).....	84
Tabela 3.2 - Larguras das vedações pesquisadas.....	84
Tabela 3.3 - Modelo de planilha de cálculo da EI total para cada SVVIE	86
Tabela 4.1 - EI nas vedações pesquisadas	99
Tabela 4.2 - Resultados de experimento de desconstrução de paredes.	110
Tabela 4.3 - Média aritmética dos resultados de experimento de desconstrução de vedações.....	111
Tabela 4.4 - Desvio padrão dos resultados de experimento de desconstrução de paredes.	113
Tabela 4.5 - Coeficiente de variação (%) dos resultados de experimento de desconstrução de paredes.....	113
Tabela 4.6 - Massa total de resíduos em cada vedação pesquisada.....	114
Tabela 4.7 - Análise de variância do experimento casual com os SVVIEs na geração de resíduo em massa, (kg/m ²), após o seu desmonte.....	114
Tabela 4.8 - Estimativa da média da massa total dos resíduos por unidade de superfície lateral, em kg/m ² , das vedações após o seu desmonte.	115
Tabela 4.9 - EI em cada SVVIE pesquisado.	116
Tabela 4.10 - Análise de variância do experimento casual com os SVVIEs no consumo de EI (MJ/m ²), após o seu desmonte.	116
Tabela 4.11- Estimativa da média da EI/m ² de superfície lateral, em MJ/m ² , das paredes após o seu desmonte.	117
Tabela 4.12 - Volume em cada amostra dos SVVIEs pesquisados.	118
Tabela 4.13- Análise de variância do experimento casual com os SVVIEs no volume de resíduos (m ³ /m ²), após o seu desmonte.	118
Tabela 4.14 - Estimativa da média do volume de resíduos, em m ³ /m ² , das paredes após o seu desmonte.....	119
Tabela 4.15 - Relação de massa/volume (kg/m ³) média na operação de desconstrução das vedações	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Etapas do estudo de caso e estudo experimental.....	76
Quadro 3.2 - Etapas dos ensaios de desconstrução	77
Quadro 4.1 - Divisão dos resíduos, de acordo com NBR 15113 (ABNT, 2004)	122
Quadro 4.2 - Comparação entre a EI nas três fases e EI residual (GJ/m ²)	123
Quadro 4.3 - Ocorrência de <i>maior</i> EI nas fases do ciclo de vida das vedações pesquisadas	125
Quadro 4.4 - Ocorrência de <i>menor</i> EI nas fases do ciclo de vida das vedações.....	125

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Planta baixa de arquitetura – Sem escala – medidas em cm.....	144
Apêndice B - Projeto de arquitetura – Sem escala – medidas em cm	146
Apêndice C - Projeto de alvenaria estrutural de blocos de concreto	151
Apêndice D - Projeto de concreto armado com vedação de blocos cerâmicos	155
Apêndice E - Projeto de painéis de concreto moldado no local	166
Apêndice F - Projeto de <i>steel frame</i>	172
Apêndice G - Exemplo de levantamento dos percursos dos insumos até o destino.....	176
Apêndice H - Tabela insumos consumidos para os ensaios de desconstrução.....	178
Apêndice I - Dados secundários de EI.....	181
Apêndice J - Fichas de ensaios de desconstrução de paredes de vedações	183
Apêndice K - Planilhas de cálculo de EI	208
Apêndice L - Dados de consumo energético dos equipamentos na fase de uso.....	217
Apêndice M - Requisitos de desempenho para os SVVIE, segundo ABNT NBR 15575-4:2013.	219
Apêndice N - Ferramentas utilizadas para as operações de desconstrução.	221

LISTA DE ANEXOS

Anexo A - Especificações mínimas para HIS.	224
---	-----

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ABNT	- Associação brasileira de normas técnicas
ACV	- Avaliação de ciclo de vida
ACVE	- Avaliação de ciclo de vida energético
AICV	- Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
BEN	Balanco Energético Nacional
CAIXA	- Caixa Econômica Federal
CO ₂	- Dióxido de carbono
CT	- Capacidade térmica
CPIC	- Cadeia produtiva da indústria da construção
c	- Calor específico
EE	- Energia embutida
EI	- Energia Incorporada
Ei	- Energia Incorporada inicial
FC	- Fator de correção
FC	- Fator de correção
GJ/m ²	- Giga joule por metro quadrado
HIS	- Habitação de Interesse Social
IFIAS	- Federação internacional de institutos de estudos avançados
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
K	- Kelvin
Kg	- Quilograma
KJ/(m ² .K)	- Quilo joule por metros quadrado vezes kelvin
KWh/m ²	- Quilowatt hora por metro quadrado
m ²	- Metro quadrado
MME	- Ministério de Minas e Energia
MPa	- Mega Pascal
Mtep	- Mega tonelada equivalente de petróleo
MW	- Megawatt
MME	- Ministério de Minas e Energia
NBR	- Norma brasileira
OCDE	- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PMCMV	- Programa Minha Casa, Minha Vida
PBQP-h	- Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no <i>Habitat</i>
PIB	- Produto interno Bruto
R	- Resistência térmica
RCD	- Resíduos de construção e demolição
REP	- Requisitos de energia do processo
Rse	- Resistência superficial externa
Rsi	- Resistência superficial interna

RTE	- Requisitos totais de energia
S.I.N.A.T.	- Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores
SVVIE	- Sistema de vedação vertical interna e externa
SVVIE ALES	- Sistema de vedação vertical interna e externa de alvenaria estrutural de blocos de concreto
SVVIE CONC	- Sistema de vedação vertical interna e externa de painéis de concreto moldado no local
SVVIE CONC (1 X)	- Sistema de vedação vertical interna e externa de painéis de concreto moldado no local com utilização das fôrmas de alumínio somente uma vez
SVVIE CONC (100 X)	- Sistema de vedação vertical interna e externa de painéis de concreto moldado no local com utilização das fôrmas de alumínio por cem vezes
SVVIE CONC (1000 X)	- Sistema de vedação vertical interna e externa de painéis de concreto moldado no local com utilização das fôrmas de alumínio por mil vezes
SVVIE CONC (500 X)	- Sistema de vedação vertical interna e externa de painéis de concreto moldado no local com utilização das fôrmas de alumínio por quinhentas vezes
SVVIE CONV	- Sistema de vedação vertical interna e externa de concreto armado com fechamento de blocos cerâmicos
SVVIE STFR	- Sistema de vedação vertical interna e externa <i>steel frame</i>
tep	- Tonelada equivalente de petróleo
U	- Transmitância térmica
VUP	- Vida útil de projeto
W/(m ² .K)	- Watts por metro quadrado vezes kelvin
α	- Absortância à radiação solar
λ	- Condutividade térmica de um material

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional e das conseqüentes necessidades de moradia, serviços e equipamentos para se viver de forma urbanizada¹, a demanda de produtos da indústria da construção (edifícios, obras de arte, estradas e obras especiais) vem aumentando, o que ocasiona pressão pela produção de bens consumidores de insumos naturais ou industrializados, sobretudo as habitações.

Em meio à pressão de expansão das cidades, os aspectos ambientais, sociais e econômicos devem ser considerados, focando-se na sustentabilidade das cadeias de produção. Considerando tais aspectos, pesquisas em busca de projetos, especificações e normalização para edifícios mais sustentáveis têm sido realizadas.

Nesse sentido, Aashish *et al.* (2011), relatam preocupação com o meio ambiente e de como será o futuro no que se refere à sustentabilidade, evidenciando a atenção global nas últimas décadas com relação ao tema. A ocorrência de indicativos como a redução da camada de ozônio, o acúmulo de descartes, o aquecimento mundial, entre outros, tem pautado as discussões referentes a esta área na sociedade.

A indústria da construção civil consiste em um setor responsável por volumosa quantidade de recursos (materiais, água e energia), geração de resíduos e emissões nocivas ao meio ambiente.

Torgal e Jalali (2010), em análise ao cenário de consumo de energia pelo viés da sustentabilidade, argumentam que a procura a nível mundial de recursos energéticos tem sido uma das principais causas para o desenvolvimento insustentável mundial. Estimam que até o ano de 2030 a procura de energia deverá crescer aproximadamente 40%, atingindo 16,8 milhões de tonelada equivalente de petróleo (tep).

Com a demanda do setor da construção estabelecida, os setores governamentais têm sido exigidos na aplicação de políticas habitacionais, sendo o setor privado responsável por aplicar tais políticas. No Brasil, para o período de 2015 a 2018, há previsão de 3

¹ GOUVEIA (2013) retrata que o déficit habitacional no Brasil atinge aproximadamente oito milhões de habitações, e estima-se que até 2023, mantido o ritmo atual, esse valor chegue a trinta e um milhões.

milhões de novas unidades², reforçando a continuidade da demanda de habitações, parcela importante da cadeia produtiva do setor da construção, pois fomenta um relevante número de postos de trabalho.

Este contexto acarretou o aprimoramento dos sistemas construtivos adotados, os quais têm sido aplicados com a finalidade do atendimento à demanda crescente e necessidade de rapidez de execução. Algumas tipologias estruturais correntes já possuem normativas nacionais, porém outras ainda estão sendo avaliados pelo Projeto S.I.N.A.T. (Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores), dentro do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-h).

Contudo, não se tem informações disseminadas sobre aspectos de consumo de Energia Incorporada destas tipologias construtivas, nas etapas do ciclo de vida da edificação, em especial nas paredes, que no contexto de habitações térreas, trata-se dos elementos que mais consomem recursos.

Os painéis verticais de vedação demandam uma importante parcela da Energia Incorporada em todo o ciclo de vida de uma habitação, justificando seu estudo para contribuição dos bancos de dados dos índices de sustentabilidade no Brasil. Em contrapartida, a demanda da indústria da construção civil traz consigo a tentativa de utilização de estruturas e vedações cada dia mais leves, sem muitas vezes atender aos critérios mínimos de desempenho estabelecidos pela norma ABNT NBR 15575:2013.

O desenvolvimento deste tema faz parte da linha de pesquisa em qualidade, sustentabilidade e planejamento no processo de produções de edificações, proposta no Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (UnB).

Neste contexto, foram desenvolvidos trabalhos de Nabut Neto (2011) a respeito de Energia Incorporada e emissões de CO₂ de fachadas de *steel frame*, de Uribe (2013), sobre análise de desempenho térmico e Energia Incorporada de vedações de *steel frame* para HIS, de Maciel (2013) acerca de análise de desempenho térmico e Energia Incorporada de fachadas ventiladas e de Gouveia (2012), em alusão à análise

²<http://www.brasil.gov.br/governo/2015/02/nova-fase-do-minha-casa-minha-vida-tera-3-milhoes-de-moradias>, acesso em 26/02/2015.

energético-ambiental de fachadas de alumínio composto (ACM) com foco na reciclagem.

Ainda nesta linha de pesquisa, ressaltam-se as publicações de Sposto e Paulsen (2014) sobre Energia Incorporada na fase de pré-uso de habitações, Pedroso e Sposto (2013) sobre Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE) de paredes de concreto e Pedroso *et al.* (2014) sobre análises de Energia Incorporada de HIS nas diferentes fases do ciclo de vida.

Assim, este trabalho versa sobre o estudo de ACVE de quatro tipologias diferentes de painéis de vedação vertical para habitações térreas, em um estudo de caso para o Distrito Federal, no Brasil.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVAS DA PESQUISA

A busca pela eficiência energética e otimização do consumo de energia vem sendo pauta frequente nas discussões mundiais em todas as cadeias produtivas. A indústria da construção civil tem forte papel neste processo, visto sua presença marcante no percentual de consumo, demandando relevante quantidade de Energia Incorporada (EI) e emissão de dióxido de carbono (CO₂) nas etapas envolvidas na fabricação de um produto oriundo da sua indústria, desde a extração da matéria-prima até o final do ciclo de vida do produto.

Atualmente discute-se no Brasil, em estudos como do CBCS *et al.* (2014) de que maneira serão adotadas medidas de prevenção contra a tendência de rápido crescimento do consumo energético de edificações, devido parcialmente aos aumentos no padrão do conforto e serviços destas. Projetos de maior vulto com maior complexidade tendem a consumir muito mais energia nas próximas décadas, evidenciando a necessidade de aumentar a eficiência energética.

A criação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV), a partir de 2010, por iniciativa do Ministério de Ciência e Tecnologia do Governo Federal, foi um importante marco para o início do desenvolvimento de uma base de dados de consumo energético, entre outros, para melhor balizamento dos estudos do tema no país.

A cadeia de materiais de construção civil no Brasil consome cerca de 50% da matéria prima extraída da natureza (CBCS *et al.*, 2014), constituindo-se do aglomerado de várias cadeias produtivas, com diversas especificidades e modelos de industrialização.

Nesta linha, Bribián *et al.* (2009) afirmaram que na Europa 40% da energia produzida é consumida pelo setor da construção de edifícios. Goggins *et al.* (2010) relataram que a energia consumida nos edifícios no Reino Unido representava até 47% das emissões de CO₂ para a atmosfera.

Em pesquisa na Índia, Ramesh *et al.* (2010) concluíram após uma vasta revisão da literatura existente, que nos edifícios a energia operacional representa cerca de 80 a 90% e a Energia Incorporada nos materiais de construção representa de 10 a 20%.

Indicativos oriundos de pesquisadores de vários locais, em pesquisas como de Ramesh *et al.* (2010) mostram a importância do estudo do consumo energético nos edifícios, apontando para a necessidade de compreensão da divisão deste consumo em todo o ciclo de vida dos edifícios.

Considerando-se a Energia Incorporada responsável por parcela importante no consumo da indústria da construção, num cenário de questionamentos mundiais sobre as matrizes energéticas e o quanto estas podem ser nocivas ao meio ambiente, torna-se bastante relevante a pesquisa do consumo energético dos materiais envolvidos no ciclo de vida das edificações, inclusive nas habitações e seus sistemas construtivos, objetivando compreender onde a EI é mais consumida.

No Brasil, para a construção de habitações, em especial aquelas para as classes sociais menos favorecidas, além dos sistemas ditos convencionais de construção, em geral estruturas reticuladas de concreto armado, os sistemas de alvenaria estrutural, painéis de concreto moldados no local e *steel frame* tem sido adotados em todas as regiões, com maior ou menor intensidade.

A demanda por habitações foi motivada nos últimos anos pelo crescimento econômico do país, em especial a partir do ano de 2005 até o ano de 2013, causando juntamente com o consumo energético de outras áreas, o interesse na avaliação da EI consumida nos respectivos processos que envolvem o ciclo de vida dos produtos remanescentes.

A EI é aquela energia consumida em todos os processos que envolvem o ciclo de vida, desde a extração e fabricação, até a montagem, uso e manutenção, desconstrução, reuso, reciclagem e disposição final dos resíduos. As etapas do ciclo de vida das habitações envolvem consumo energético dos equipamentos como da mão de obra, que podem ser contabilizados e analisados no processo da avaliação do ciclo de vida energético (ACVE).

A ACVE consiste em um recorte dos estudos de avaliação de ciclo de vida (ACV), a qual visa compreender todos os consumos energéticos necessários para o desenvolvimento da vida de um produto, do “berço até o seu túmulo”, ou seja, desde a extração de matéria-prima até a disposição final dos possíveis resíduos.

Com a demanda energética em todas as fases de vida das habitações, justificam-se estudos que possam auxiliar na compreensão do efetivo consumo de Energia Incorporada nas fases do ciclo de vida, contribuindo para o banco de dados brasileiro de futuras especificações, no que diz respeito ao potencial de consumo energético de cada sistema construtivo.

Sposto e Paulsen (2014), em estudo sobre EI em habitações na fase de pré-uso no Brasil, demonstraram que a EI relativa somente às vedações verticais seria de 60% do total, indicando que este seria o elemento com maior potencial de melhorias para reduzir a EI na fase de pré-uso.

Observa-se uma lacuna no que se refere à sustentabilidade ambiental tangente aos sistemas construtivos de construção de HIS. Diante disso, este trabalho justifica-se uma vez que é direcionado para a ACVE, considerando a avaliação das vedações verticais internas e externas como elementos relevantes para o ciclo de vida de uma habitação.

1.2 PROBLEMA

O movimento gerado pela ação do homem tem ocasionado determinados impactos ambientais nocivos, em uma realidade de extração de materiais fósseis e de consumo energético crescente, apontando para a redução das reservas naturais mundiais.

Ferramentas como a ACVE, quantificando o impacto ambiental na forma de consumos energéticos nas fases do ciclo de vida de uma habitação, constituem-se em um caminho

possível de compreender os gargalos da cadeia produtiva da indústria da construção civil.

Sendo a ACVE uma ACV parcial, busca-se a possibilidade de contribuir para a redução de investimentos em recursos humanos, financeiros e equipamentos, racionalizando tempo de coleta de dados, proporcionando um indicativo concreto de sustentabilidade energético-ambiental para uma habitação.

Considerando o tema proposto, é necessário indagar sob a realidade brasileira e os sistemas construtivos mais utilizados no Brasil para as habitações térreas de interesse social, quais são os níveis de EI em cada etapa do ciclo de vida energético dos sistemas de vedação verticais internos e externos:

- ✓ Qual é o comportamento da EI nas etapas de pré-uso, uso e manutenção e desconstrução, para as vedações verticais internas e externas para a tipologia de projeto adotado?
- ✓ Na fase de desconstrução, como é o comportamento do consumo de EI, volume e peso de resíduos?
- ✓ Através dos questionamentos apresentados, é possível consolidar a ACVE como ferramenta de avaliação de sustentabilidade energético-ambiental para a tipologia de habitações térreas?

Resolvendo esse problema, poderá ser apresentada uma abordagem inovadora de avaliação de sustentabilidade energética, colaborando com a formação de banco de dados sobre o tema, sendo os resultados restritos ao local e projeto adotados.

1.3 HIPÓTESE

Este trabalho tem como hipótese:

O estudo das fases do ciclo de vida de uma habitação térrea, em especial das vedações verticais internas e externas, examinando a Energia Incorporada (EI), pode ser relevante para avaliar o consumo energético no processo de produção de edificações habitacionais. Tal relevância está embasada no indicativo para uma utilização equilibrada dos recursos naturais, sob o viés da sustentabilidade, demonstrando se um sistema construtivo é mais ou menos sustentável, sob o aspecto energético-ambiental, considerando a realidade brasileira.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem o objetivo de estudar a Avaliação de Ciclo de Vida Energético (ACVE) de Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE) concernentes às habitações, nas fases de pré-uso, uso e manutenção e desconstrução. A partir dos resultados pretende-se demonstrar o desempenho energético ambiental destes sistemas, avaliando a EI em cada fase.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Efetuar o levantamento da ACVE em vedações de habitações térreas nos seguintes sistemas: Painéis de concreto moldados no local, Alvenaria estrutural de blocos de concreto, *Steel frame* e Sistema convencional em estrutura de concreto armado e blocos cerâmicos de vedação;
- Levantar a EI nas fases de pré-uso, uso e manutenção e desconstrução;
- Apresentar para cada tipologia de vedação, a variação da EI e discutir os resultados em termos de variação da EI, comparando estas entre si e com a bibliografia internacional;
- Gerar uma relação de massa/volume dos resíduos das vedações, a partir do estudo de desconstrução;
- Classificar os resíduos resultantes na etapa de desconstrução, quanto às classes de acordo com a norma ABNT NBR 15113:2004, levantando a EI residual dos resíduos oriundos da desconstrução das vedações.

1.5 DELIMITAÇÃO E ORIGINALIDADE

A pesquisa deste trabalho é delimitada por uma ACVE de habitações térreas, com foco nos Subsistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE), considerando um projeto de arquitetura com área de 45,64 m², para o Distrito Federal - DF.

Considerou-se a EI nas várias etapas do ciclo de vida, incluindo o transporte dos insumos neste cálculo. Não foram consideradas as quantidades de emissões de dióxido de carbono (CO₂) das vedações pesquisadas, apesar de se reconhecer sua importância e estreita correlação com a energia, devendo ser abordadas em pesquisas futuras.

No presente estudo, as esquadrias não foram consideradas, assim como a orientação solar do projeto alvo deste estudo. A etapa de desconstrução foi investigada a partir de equipamentos utilizados para 1 (um) m² de vedação. Não foi considerada a Energia necessária para reciclar os resíduos classe A e B.

A pesquisa considerou a avaliação do “berço ao túmulo” (*cradle to grave*), ou seja, o ciclo de vida completo, que inclui as fases de extração, fabricação, execução/montagem, uso, manutenção, desconstrução e disposição final. Trata-se de uma pesquisa descritiva e exploratória, com o objetivo de contribuir com a discussão do tema, sem colocar limites aos resultados ora encontrados nesta discussão.

A originalidade do tema é observada na falta de estudos no Brasil sobre ACVE no âmbito do processo de produção das edificações, em especial de habitações térreas, avaliando também a inserção efetiva de metodologias embasadas nos conceitos de sustentabilidade energético-ambiental, contribuindo para a formação de banco de dados brasileiro sobre consumo de energia neste setor, importante para a economia do país.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi organizado em cinco capítulos. No Capítulo 1, introduz-se o tema, abordando a questão da demanda mundial de materiais de construção, a preocupação iminente com o meio ambiente, como consequência, em relação direta com a sustentabilidade.

Neste contexto, aponta-se a necessidade de atendimento a tipologia de habitações térreas, salientando o papel das vedações verticais internas e externas como relevantes na questão do consumo energético no ciclo de vida de uma habitação.

Prosseguindo, apontam-se as justificativas, citando a importância da indústria da construção civil no engajamento pela eficiência energética. Ao final deste capítulo, apresenta-se o problema da pesquisa, hipótese, objetivo geral e objetivos específicos, finalizando com a delimitação.

No Capítulo 2 exibe-se a revisão bibliográfica, enfocando os conceitos relativos ao edifício e à sustentabilidade juntamente com o tema de energia e crise ambiental, habitações, sistemas construtivos para HIS, conceituação de ACV, e os Sistemas de Vedação Vertical Internas e Externas.

Buscou-se neste capítulo, o entendimento da Avaliação de Ciclo de Vida Energético (ACVE), explorando o conhecimento de autores internacionais e nacionais sobre o tema, e complementando com a exploração detalhada de forma conceitual da ACVE, no intuito de servir como entendimento para a compreensão dos procedimentos metodológicos.

Na sequência, no Capítulo 3, expõe-se a metodologia, tratando dos métodos de pesquisa com as variáveis e parâmetros iniciais da ACVE, como, por exemplo, as definições de função e unidade funcional.

Em continuidade, trata-se do enquadramento do trabalho quanto ao método de levantamento de EI, local de referência para contabilizar a EI, com o passo a passo das atividades nas três fases de ciclo de vida abordadas (pré-uso, uso e manutenção e desconstrução).

Posteriormente, a partir do projeto de arquitetura, projetos estruturais e definição de parâmetros de desempenho, apresenta-se a modelagem de planilhas e a maneira de apropriação da EI. Mostra-se, na fase de desconstrução como foram realizados os ensaios experimentais a fim de obter os dados de EI primária desta etapa em uma explicação detalhada de cada atividade. Finaliza-se este capítulo com a abordagem do tratamento estatístico dos dados coletados na parte experimental.

No Capítulo 4, abordam-se os resultados e discussões acerca destes, analisando-se em primeiro plano os resultados relativos às etapas de pré-uso e uso e manutenção, apresentando o levantamento da EI nos sistemas de vedação que foram propostos.

Por derradeiro, neste capítulo explanam-se os resultados do estudo experimental de desconstrução, para fins de levantamento dos dados de EI primários nos ensaios das vedações. Apresenta-se uma análise estatística acerca dos estudos experimentais. Ao final do capítulo, aborda-se a relação de volume e massa de resíduos oriundos da etapa de desconstrução.

Concluindo, no Capítulo 5 apresentam-se as conclusões e considerações finais relativas ao trabalho, conforme as proposições dos objetivos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

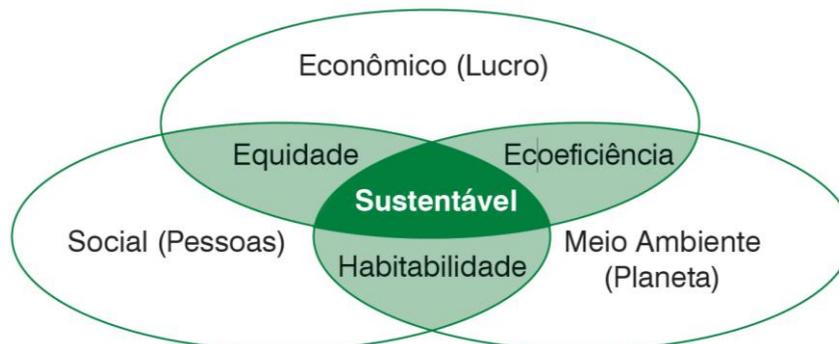
Este capítulo tem o objetivo de fornecer embasamento a partir de pesquisa teórica sobre o tema que envolve o trabalho, ou seja, a ACVE. Para tal, trata-se da sustentabilidade voltada ao edifício, oferta de energia, habitações, sistemas construtivos, ACV, ACVE e vedações para sistemas construtivos de habitações térreas.

2.1 O EDIFÍCIO E A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

O processo de produção de edificações gera impactos no meio ambiente, com consumo de insumos naturais ou manufaturados, água, energia, sendo a escala variável conforme o grau de sofisticação de cada processo envolvido.

A discussão da sustentabilidade (Figura 2.1) passa pelo reconhecimento das suas dimensões ambiental e social além dos aspectos econômicos, na busca do negócio sustentável, com foco nas alternativas possíveis para se alcançar produções menos nocivas ao meio ambiente, valorizando o futuro pelo viés ambiental.

Figura 2.1 - Dimensões da sustentabilidade



Fonte: (UNEP; SETAC , 2007) e (IBICT, 2014)

Pontuando, Roméro *et al.* (2012) alertam que as edificações representam cerca de 30% do consumo total de energia do mundo e fazem parte dos setores com maior participação na matriz energética mundial.

A indústria da construção civil, de forma geral, é contribuinte para a poluição no contexto mundial, considerando sua atuação na questão dos impactos ambientais, estando entre as maiores consumidoras individuais de recursos naturais. Essa cadeia produtiva é importante consumidora de energia e por consequência, responsável por considerável porção de emissão de gases de efeito estufa. Estima-se que cerca de 30%

da produção mundial de dióxido de carbono (CO₂) seja proveniente do setor da construção civil.

Corroborando, Agopyan *et al.* (2011) afirmam que é quase um senso comum que a construção em geral e o uso dos edifícios em particular têm considerável contribuição para as mudanças climáticas.

Nesse sentido, pode-se afirmar que a produção de edificações sustentáveis³, ultimamente, tem sido tema recorrente e obrigatório do meio técnico e científico. Pesquisas sobre Resíduos de Construção e Demolição (RCD) tem sido um exemplo para ações efetivas que vem sendo demandadas por vários vetores da cadeia produtiva, no sentido de compreender o que pode ser realizado com foco na sustentabilidade.

A indústria da construção civil consiste em setor que demanda porção considerável de matéria-prima bruta, sendo, portanto relevante na responsabilidade sobre os impactos ambientais gerados pela extração, industrialização, transporte envolvido em todas as etapas até a montagem dos produtos. Ainda, na fase de uso e manutenção e na desconstrução e disposição final, recursos energéticos serão envolvidos com seus respectivos impactos.

Na mesma direção, a *Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries* indicou, conforme Salgado *et al.* (2012), alguns aspectos, entre outros, a serem considerados no atendimento a metas para o desenvolvimento ambiental das edificações, tais como mudanças nas práticas de gestão do processo de projeto e construção e a implantação de uma nova cultura dentro do setor da construção civil, onde todos passariam a valorizar os recursos naturais (água, ar, terra) e as possibilidades de reciclagem e reuso dos materiais.

Nos últimos anos nota-se interesse maior no sentido de buscar estudos sobre a redução do consumo de recursos naturais, com conseqüente emissão de gases nocivos ao meio ambiente ou estudos focados no uso racional destes recursos, com foco na melhoria das condições de uso e preservação dos recursos fósseis e reservas naturais no contexto mundial.

³ A Sustentabilidade é ampla, segundo Agopyan e John (2011), envolvendo muitas cadeias de produção, entretanto a ênfase deste trabalho é o aspecto energético-ambiental.

Entretanto, em contraste com a necessidade da busca por melhores índices de sustentabilidade, muitos locais enfrentam resistências setoriais de interesses privados e até mesmo públicos, relacionados à lucratividade e questões geopolíticas estratégicas.

Carminatti Jr. (2012) afirma que a indústria da construção civil é um setor que consome volumosa quantidade de recursos naturais para a edificação de novas construções. Assim, os conceitos de construção sustentável tendem a ser aplicados no setor com certa prioridade, tendo em vista que, no momento atual existem diversos programas de incentivo a construção civil, e estes aumentam a representatividade dos impactos ambientais.

Contribuindo, Agopyan *et al.* (2011) citam que não se pode discutir a sustentabilidade da construção civil sem interferir em toda a cadeia produtiva que é complexa, pois envolve setores industriais tão díspares como: a extração de matérias minerais e a eletrônica avançada; conglomerados industriais como a indústria cimenteira, que interagem e até competem em alguns mercados com milhares de pequenas empresas familiares; órgãos públicos nas três escalas de governo; clientes de famílias de baixa renda em autoconstrução a empresas que constroem verdadeiras cidades.

Assim, a sustentabilidade ambiental abrange diversos aspectos, tais como consumo de recursos materiais, água, energia, emissões de resíduos sólidos ou gasosos, além dos impactos mais amplos tais como acidificação, aquecimento global, entre outros.

No caminho da sustentabilidade, não há como dissociar os resíduos da Cadeia Produtiva da Indústria da Construção (CPIC)⁴ dos impactos ambientais gerados ao meio ambiente. Blumenschein (2004) definiu ambiente construído como o produto de três cadeias principais, interagidas em um processo de produção complexo, numa cadeia produtiva maior.

A cadeia produtiva da indústria da construção, composta pelas cadeias de suprimento, processo e auxiliar, envolvem um considerável número de recursos humanos, naturais e energéticos, sendo responsável por oferecer à sociedade espaços físicos que suprem necessidades de moradia, saúde, educação, indústria e infraestruturas urbanas (BLUMENSCHHEIN, 2004).

⁴ Termo utilizado por Blumenschein (2004), denominando a cadeia produtiva da indústria da construção (CPIC).

Importante ressaltar que corroborando com Blumenschein (2004) e completando, além dos espaços físicos, a CPIC oferece materiais, componentes, equipamentos e serviços. Os espaços físicos neste contexto seriam oferecidos pelas empresas construtoras, inseridas nesta cadeia, através da utilização dos insumos produzidos pela última.

Discutir sustentabilidade neste setor, passa pelo entendimento desta complexa cadeia, evidenciado por Blumenschein (2004) e Agopyan *et al.* (2011), reforçando o entendimento do estudo detalhado entre outros, dos impactos ambientais oriundos da movimentação desta cadeia.

Desta forma, o estudo da energia consumida nas fases que compõem o ciclo de vida dos produtos oriundos das etapas de uma habitação, torna-se uma vertente relevante para atestar o nível de sustentabilidade energético-ambiental apresentado em cada etapa do seu ciclo de vida.

Com a finalidade de melhor compreender a questão da oferta de energia no Brasil, apresenta-se um panorama de como é distribuída a geração de energia, com algumas características peculiares do país.

2.2 OFERTA DE ENERGIA NO BRASIL E A CRISE AMBIENTAL

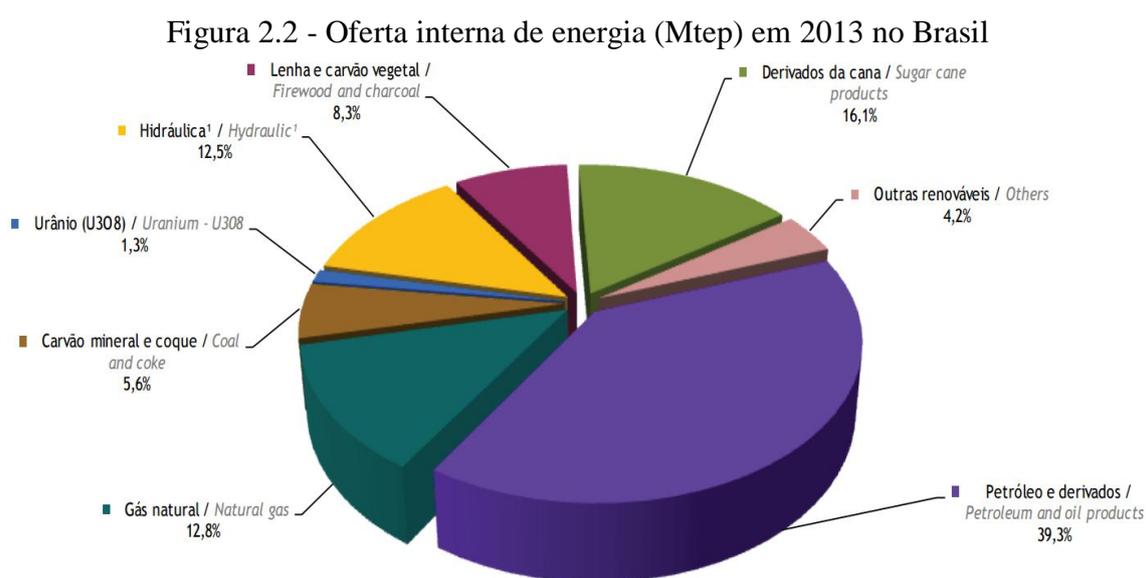
O relatório síntese do Balanço Energético Nacional de 2013 (BRASIL-c, 2013) tem por finalidade apresentar a contabilização relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia.

Segundo Brasil-b (2013), no ano de 2012, a oferta interna de energia (total de energia demandada no país) aumentou 11,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), indicando uma taxa de crescimento de 4,1% e atingindo 283,6 Mtep. Tal crescimento torna-se mais evidenciado frente à evolução do Produto Interno Bruto (PIB) nacional do ano que foi de 0,9%, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Com base no Balanço Energético Nacional 2014 ano base 2013 (BRASIL-e, 2014), a oferta interna de energia atingiu 296,2 Mtep (crescimento de 4,5% ante uma evolução do PIB nacional de 2,3%). No que se refere a este crescimento, gás natural, petróleo e

derivados responderam por 80% deste aumento e isto ocorreu basicamente por conta da redução na oferta interna de hidroeletricidade com consequente aumento de geração térmica.

Na Figura 2.2, apresenta-se a oferta interna de Energia no ano de 2013, com base em 2012 (BRASIL-b, 2013), evidenciando a forte representatividade do petróleo e derivados na geração de energia para todos os fins, além de ser igualmente a fonte não renovável mais utilizada para gerar energia. Observa-se que derivados da cana-de-açúcar e hidroeletricidade destacam-se como fontes renováveis.



Fonte: Adaptado de Brasil-b (2013)

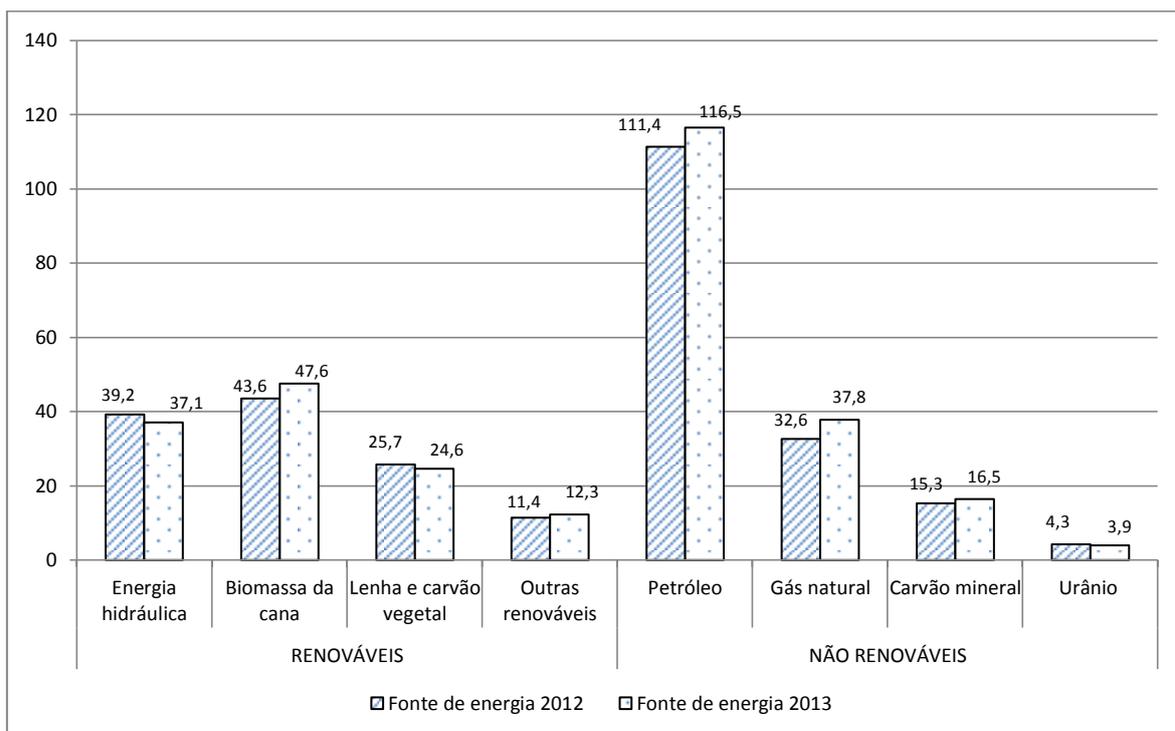
Com maior crescimento da geração térmica por conta da crise hídrica em algumas regiões do país, por conta do aumento crescente de energia para condicionamento de ambientes nos setores residencial e comercial o tema energético constitui-se estratégico, considerando que o Brasil tem na matriz de geração de eletricidade, por exemplo, as hidrelétricas como expoente relevante de produção.

Observando o comportamento da oferta interna de energia (Figura 2.3), a partir de dados do Balanço Energético de 2014 (BRASIL-d, 2014) e comparando a variação de 2012 para 2013, nota-se que houve uma redução da oferta de energia hidráulica, lenha/carvão vegetal e urânio. Entretanto, cresceram a oferta de biomassa da cana, petróleo, gás natural, carvão mineral e outras energias renováveis (eólica, por exemplo).

Nesta direção, nota-se um incremento considerável de consumo de combustíveis fósseis evidenciando um caminho seguido em todo o mundo, motivo de reflexão para todos os envolvidos.

Conforme Brasil-c (2013), em todos os setores que consomem energia no país, o segmento de transporte foi o que liderou o crescimento da demanda, crescendo a uma taxa de 7,2%, contabilizando transporte de carga e de pessoas.

Figura 2.3 - Comparação da oferta interna de energia (Mtep) em 2012/2013 no Brasil



Fonte: Adaptado de Brasil-c (2013)

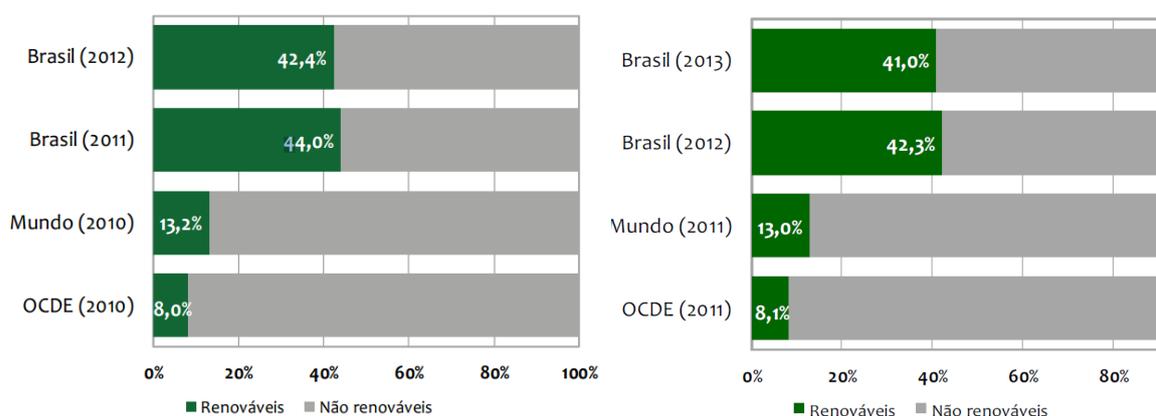
O setor de energia elétrica, apesar do aumento de 1835 MW na potência instalada do parque hidrelétrico, teve a oferta de energia hidráulica reduzida em 1,9% devido às condições hidrológicas observadas em 2012, em especial no segundo semestre. Neste período, houve um aumento do consumo final de eletricidade, de 3,8%, utilizada pelas famílias e pelo setor de serviços.

Conforme Brasil-b (2013), do ano de 2012, as residências ocuparam 9,4 % da energia total disponibilizada no Brasil, sendo que as indústrias consumiram 35,1%, os setores de transportes 31,3%, energético 9,0%, agropecuária 4,1% e os serviços de 4,5%.

Consoante ao consumo de energia, as preocupações mundiais sobre o impacto ambiental, que pode ser causado pela geração de energia, são crescentes. Entretanto, no Brasil (BRASIL-c, 2013), no ano de 2012, apresentou-se uma participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, que se mantém entre as mais elevadas do mundo, com pequena redução em virtude da menor oferta de energia hidráulica e de etanol.

Nota-se que o uso de fontes renováveis de geração de energia no Brasil em relação ao mundo é muito maior, na ordem de cinco vezes, ficando na faixa de 40% do total gerado (Figura 2.4).

Figura 2.4 - Consumo energético de fontes renováveis x não renováveis



Fonte: Adaptado de Brasil-c (2013) e Brasil-d (2014)

A relevância da geração de energia hídrica no Brasil, como fonte renovável de geração de energia elétrica, coloca o país em evidência frente a outras regiões do mundo apesar do impacto socioambiental gerado pelas usinas por conta do alagamento causado pelos reservatórios.

Ainda, conforme mostrado na Figura 2.4, do ano de 2012 para 2013, houve uma leve diminuição do consumo de fontes renováveis no Brasil, devido ao aumento de consumo e crise hídrica, notada mais fortemente no ano de 2014.

Observa-se que o consumo de energia está sempre pautado nas discussões estratégicas dos países, sendo o seu estudo uma ferramenta importante para o estabelecimento dos planos de desenvolvimento dos mesmos, conforme suas regiões.

O consumo energético, frente à crescente demanda da indústria da construção civil, enquadra-se neste contexto. A partir das compreensões pertinentes à questão da oferta de energia, discutir-se-á sobre os conceitos de habitação de interesse social, com alguns entendimentos julgados para contextualizar o estudo nas referidas tipologias de vedação, objeto do estudo.

2.3 HABITAÇÕES

Considerando o conceito de habitação, pode-se citar Plessis (2002), o qual afirma que construção é um extenso processo ou mecanismo para a realização de assentamentos humanos e criação de infraestrutura de suporte ao desenvolvimento, incluindo extração e beneficiamento de matérias primas, manufatura de materiais e componentes, projetos para construção e desconstrução, administração e operação do ambiente construído.

Freitas (2001) define habitação de interesse social como uma intervenção para fins habitacionais voltadas à população de baixa renda, podendo esta intervenção ser de pequeno, médio ou grande porte, incluindo apenas o parcelamento do solo ou a construção de edificações, possuindo como agente promotor tanto o setor público quanto o privado.

Na mesma linha, conforme sustenta CAIXA (2011), ações institucionais podem promover a construção de novas unidades habitacionais voltadas às camadas da população com menor renda, concedendo subsídios, principalmente para a faixa de 0 a 3 salários mínimos.

Normativas como a da CAIXA (2013) definem que conceitualmente o Programa Habitação de Interesse Social, por meio da Ação Apoio do Poder Público para Construção Habitacional para Famílias de Baixa Renda, objetiva viabilizar o acesso à moradia adequada aos segmentos populacionais de renda familiar mensal de até 3 salários mínimos em localidades urbanas e rurais.

A partir dos conceitos de habitações, serão abordados os sistemas construtivos correntes para estas, praticados no Brasil, com a finalidade de explorar as vedações, conforme o tema proposto.

2.4 SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA HABITAÇÕES

Entre os sistemas construtivos mais adotados no Brasil para habitações térreas, encontram-se os convencionais constituídos por estrutura de concreto armado e vedação de blocos cerâmicos, seguidos de alvenaria estrutural e aço, que são normatizados, com vasta documentação que balizam a adoção dos mesmos pela indústria da construção civil.

Nos últimos 10 anos surgiram iniciativas como o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – S.I.N.A.T. – criado em 2007, no âmbito do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat – PBQP-h, a fim de avaliar o desempenho de sistemas construtivos que ainda não tinham sido contemplados com normas técnicas prescritivas específicas, mas que se adequavam aos requisitos e critérios da Norma de Desempenho para Edificações, a ABNT NBR 15.575:2013.

Com a implantação do S.I.N.A.T. em 2007 e 2008, o primeiro sistema a ter avaliação foi o de paredes de concreto moldadas “*in loco*”, o qual a partir de 2012 teve norma publicada, demonstrando a evolução do entendimento do mesmo pelo meio técnico por meio da norma ABNT NBR 16055:2012.

Outros sistemas foram avaliados, tais como os sistemas formados por painéis pré-moldados de concreto maciço, painéis de concreto alveolar, painéis mistos de blocos cerâmicos e concreto armado, entre outros. Os sistemas leves de construção com placas de madeira (*wood frame*), placas cimentícias (*steel frame*) e PVC seguiram o mesmo caminho, possuindo atualmente uma Diretriz SINAT, com um possível caminho para a criação de normatização relacionada, tal como ocorreu com o sistema em concreto moldado no local.

De forma relevante no país, as obras de pequena escala (até 100 unidades) têm sido desenvolvidas com sistemas convencionais (estrutura de concreto e vedação de blocos cerâmicos) e de alvenaria estrutural em sua maioria e em pouca escala ainda o uso de *steel frame*. Para obras de maior escala, além destes percebe-se a aplicação dos sistemas de paredes de concreto moldado no local, com fôrmas de alumínio, motivadas pelo alto índice de repetição dos moldes.

Em meio ao aumento da adoção das paredes de concreto, nota-se no setor da construção a busca por maneiras de racionalizar os custos, adotando espessuras de paredes externas

de 10(dez) cm e internas de até 8(oito) cm, provocando reflexão quanto ao atendimento das prescrições da norma ABNT NBR 15575:2013, em especial para as habitações térreas com relação ao desempenho térmico das vedações verticais e coberturas.

Em prosseguimento, discutem-se os conceitos de Avaliação de Ciclo de Vida, para posterior entendimento da Avaliação de Ciclo de Vida Energética.

2.5 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA – ACV

A visão de gestão ambiental moderna, baseada no ciclo de vida do produto, tem como principal técnica a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Um estudo de ACV baseia-se nas normas ABNT NBR ISO 14040:2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009.

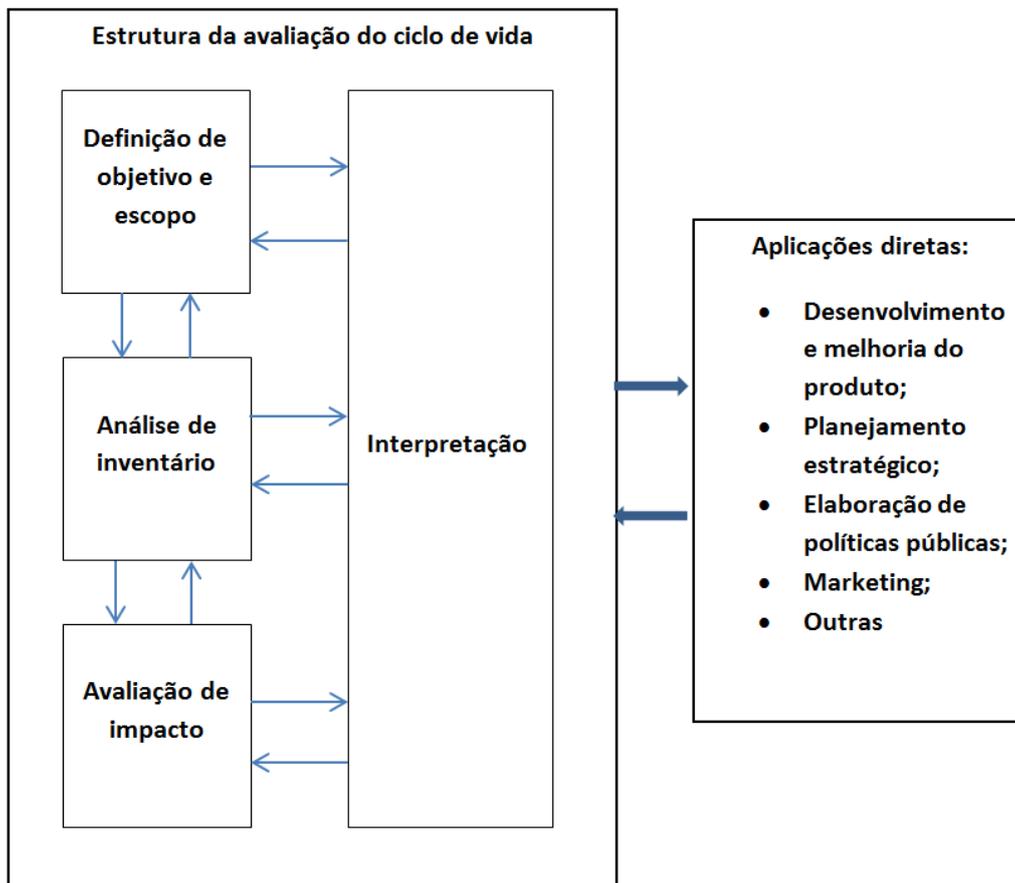
As referidas normas devem ser utilizadas em conjunto, as quais fornecem orientação para a elaboração de um estudo em quatro fases: *Definição do objetivo e escopo, Análise de inventário, Avaliação de impacto e Interpretação.*

A norma ABNT NBR ISO 14040:2009 trata da Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura e a norma ABNT NBR ISO 14044:2009 trata da Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações.

A ACV de um produto ou de um processo é uma metodologia que tem como objetivo central, avaliar os efeitos ambientais produzidos no meio ambiente ao longo do seu ciclo de vida. Segundo a ABNT NBR ISO 14040:2009, a crescente conscientização quanto à importância da proteção ambiental e os possíveis impactos associados aos produtos, tanto na sua fabricação, como no consumo, tem aumentado o interesse no desenvolvimento de métodos para melhor compreender e lidar com esses impactos.

A ABNT NBR ISO 14040:2009, estabelece que ciclo de vida seja constituído por estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto ou processo, desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais até a disposição final, tratando da compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais ao longo do seu ciclo de vida.

Figura 2.5 - Fluxograma da ACV



Fonte: Adaptada da ABNT NBR ISO 14040:2009

Nesses termos, de acordo com os preceitos da ABNT NBR ISO 14040:2009, a crescente conscientização quanto à importância da proteção ambiental e os possíveis impactos associados aos produtos na sua fabricação e consumo tem aumentado o interesse no desenvolvimento de metodologias para melhor compreender estes impactos. Uma das técnicas em desenvolvimento com esse objetivo é a avaliação do ciclo de vida (ACV).

Por outro lado, na indústria da construção civil brasileira, o estudo de ACV ainda consiste em prática pouco executada, com exceções para algumas cadeias de produção como a indústria do cimento e de telhas cerâmicas. No entanto ainda são casos de exceção, dificultando a formação de um banco de dados.

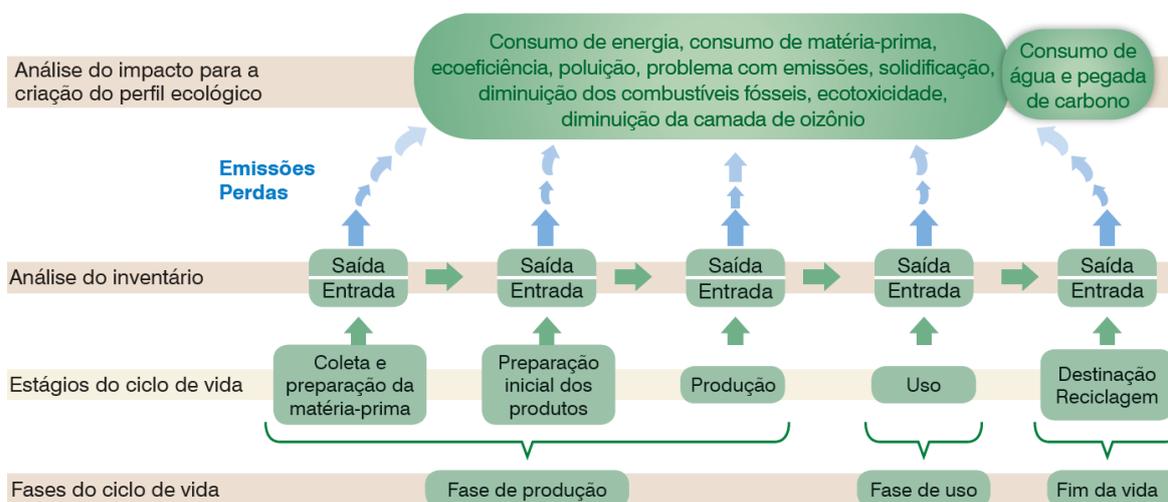
Em análise, a ACV é um método estruturado, abrangente e internacionalmente padronizado, que quantifica todas as emissões e recursos consumidos em todas as fases

do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço, analisando seus impactos sobre o meio ambiente e a saúde e considerando questões relacionadas ao esgotamento de recursos associados a qualquer bem ou serviço (IBICT, 2014).

Pelo uso de uma ACV em um determinado produto, a tomada de decisão fica apoiada por meio de estudos de aspectos ambientais e possíveis impactos ao longo do ciclo de vida de um produto, contabilizando desde a extração dos recursos, a etapa de produção, o uso, tratamento pós-uso, a reciclagem e a disposição.

Conforme consideração do IBICT (2014), pode-se adotar uma ACV para comparação de produtos que tenham a mesma função, servindo de parâmetro para melhoria do desempenho ambiental de produtos, *ecodesign* e rotulagem ambiental. Na Figura 2.6, os fluxos segundo o IBICT (2014) são demonstrados.

Figura 2.6 - Avaliação do ciclo de vida



Fonte: IBICT (2014)

Como exemplos de uso de ACV em outros países, pode-se citar Gomes e Rodrigues (2007) e Torgal e Jalali (2010), em Portugal, Huberman e Pearlmutter (2008), em Israel, Blengini (2009), na Itália, Utama *et al.* (2012), no Japão, entre outros, evidenciando o uso da metodologia de ACV para avaliar os produtos da indústria da construção.

Gomes e Rodrigues (2007), em Portugal, em trabalho sobre caixilharia, reportam a ACV como sendo um método de avaliação do impacto ambiental de produtos e serviços, em que a mesma inclui o ciclo completo de vida do produto, processo ou

atividade, através das etapas de extração e processamento de matéria-prima, fabricação, transporte e distribuição, utilização, manutenção, reciclagem, reutilização e a deposição final.

Corroborando, Huberman e Pearlmutter (2008), em ACV no deserto do *Negev* em Israel, afirmam que as ACVs são ferramentas importantes a fim de obter uma visão abrangente do ciclo dos produtos, apesar de serem ainda voluntárias na maioria dos países.

Blengini (2009), em estudo na Itália, avaliou o potencial de aproveitamento proveniente de demolição na cidade de Turin, cita a ACV como ferramenta para avaliar os resíduos de demolição em um edifício residencial, cuja metodologia foi desenvolvida a fim de dar o devido destino aos resíduos, avaliando os impactos envolvidos.

A ACV tem sido uma ferramenta adotada no setor da construção, em países desenvolvidos e também em pequena escala nos países em desenvolvimento, com resultados efetivos que têm contribuído para a avaliação do impacto ambiental nestes países, conforme citam Blengini (2009), Huberman e Pearlmutter (2008), Torgal e Jalali (2010) e Utama *et al.* (2012).

Blengini e Di Carlo (2010), na Itália, aplicaram a ACV em uma habitação de baixo consumo de energia no norte do país, a fim de melhor compreender em que fase ocorria o maior consumo de energia e constataram que este é maior na fase de uso, seguido da fase de manutenção. Os autores também ressaltaram que na situação analisada, o consumo de energia na fase de uso pode ser minimizado com o melhor condicionamento da habitação frente ao meio externo. Ressaltam também a falta de banco de dados transparentes para comparação.

Torgal e Jalali (2010), em estudo de análise sobre ACV, afirmam que as categorias de impactos ambientais das ACVs devem estar de acordo com a realidade ambiental de cada país, pois, por exemplo, um país com dificuldade de acesso a água, deve tratar esta categoria com peso diferente de um país que tenha considerável provimento desta fonte. Assim, evidenciam que cada categoria ambiental deve ter um peso diferente, conforme o país ou região em que o material for produzido.

Deve-se considerar que as características e a diversidade de cada país certamente constituem-se de importantes elementos a serem apreciados para um banco de dados

comum de consumos e emissões com a finalidade de alimentar as análises energético-ambientais.

De forma incisiva, Torgal e Jalali (2010) também chamam a atenção para o cuidado que se deve ter em aplicações generalizadas de ACVs no setor da construção, sem o cuidado de compreender as diversidades de cada país e região, alertando para a necessidade de levantamentos exaustivos a respeito dos impactos ambientais dos materiais durante a vida útil.

Continuando, Utama *et al.* (2012) do Japão, em artigo baseado em trabalho desenvolvido na Indonésia, comparando uso de coberturas de telhas cerâmicas e de concreto, adotaram a metodologia de ACV, a fim de estudar qual dos materiais poderia oferecer, no contexto da sustentabilidade, a melhor relação custo-benefício para as pessoas, sob a ótica de uso adequado da matéria-prima x desempenho e menor quantidade de emissões nocivas para o meio ambiente, nos próximos anos.

Em relação à aplicação internacional de uma ACV completa no setor da construção, nota-se que existe a compreensão da sua importância, em especial nos países desenvolvidos, entretanto ainda sem banco de dados global para avaliação, ou mesmo regionais, já que o tipo de clima, por exemplo, determina características de consumo energético, gerando mais consumo com o aquecimento e a necessidade de maiores espessuras de paredes.

A BRE - *Building Reserch Establishment* (2015) com base na Inglaterra e com ações em todo o mundo consiste em conglomerado de empresas de pesquisa, consultoria, teste e treinamento, oferecendo serviços para os mercados relacionados ao ambiente construído. Atua no desenvolvimento de ações voltadas ao desenvolvimento de melhores produtos no contexto do pensamento da sustentabilidade.

Como uma das contribuições da BRE, cita-se o BREEAM (*BRE Environmental Assessment Method*) e o Guia *Guide to Specification*. O BREEAM consiste em metodologia de desenvolvimento de edificações que aborda questões ambientais e de sustentabilidade que permite que arquitetos e engenheiros avaliem o desempenho ambiental de seus projetos.

No Brasil, desde 2010, com a iniciativa do Ministério da Ciência e Tecnologia, apresenta-se a metodologia brasileira de ACV, juntamente com a primeira versão do

banco de dados com um inventário piloto do óleo diesel brasileiro. Desta forma, o Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida (PBACV) foi aprovado, no âmbito do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO).

Nesta direção, O PBACV foi constituído para estabelecer diretrizes para o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO), dando continuidade às ações de ACV no Brasil⁵.

Paralelamente, no que diz respeito à aplicação de ACVs, para organizações como o Centro Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), há o entendimento de que estas consistem em ações onerosas perante a realidade da indústria da construção brasileira, a qual ainda apresenta-se informal em parte, necessitando formalizar-se por completo para dar o passo para as ACVs.

Em contraste, o CBCS (2012) defende uma ACV simplificada, com redução do inventário ambiental, propondo uma Plataforma Global de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada, reunindo o setor público e o produtivo, a academia e o terceiro setor para a implementação de uma ferramenta de tomada de decisão baseada em desenvolvimento sustentado do setor.

Avaliando a proposição do PBACV de organizar uma base comum para a inserção de dados dos Inventários de Ciclo de Vida de vários setores e entre estes, a construção civil, percebe-se um desalinhamento entre as premissas propostas pelo CBCS e o PBACV. O PBACV está alinhado com o Sistema Internacional de Referência de Dados de Ciclo de Vida de Produtos e Processos (ILCD, na sua sigla em inglês).

Nessas condições, o ILCD oferece uma base comum para dados e estudos sobre ciclo de vida, consistentes, robustos e de qualidade garantida. Esses dados e estudos apoiam ferramentas coerentes de consumo e de produção sustentáveis, como a eco-rotulagem ou rotulagem ambiental, o *ecodesign*, a pegada de carbono e compras públicas ecológicas (European Commission, 2010).

⁵ www.pbacv.blogspot.com.br, acessado em 22/02/2015.

Considerando os princípios do ILCD, o PBACV segue o padrão internacional, o qual facilita a troca de informações e a integração de dados e resultados em diferentes países e regiões, a partir da padronização da metodologia de levantamento de dados proposta pelo ILCD.

Torna-se muito relevante que as bases de dados sejam integradas, no sentido de que a proposição do CBCS venha a ser uma importante contribuição para as ACVs completas propostas pelo PBACV, unindo forças na direção de uma base comum de dados, mas com metodologia internacionalmente reconhecida.

A partir do início do ano de 2015, por iniciativa do IBICT, o Manual do ILCD foi traduzindo para a língua portuguesa, como um Guia Orientativo⁶, num passo importante na tentativa de difusão do mesmo pelo país, com o intuito de atender aos requisitos para inserção de dados no Sistema de Inventários do Ciclo de Vida do Brasil.

No Item 2.6, de forma intrínseca ao contexto das ACVs, tratar-se-á sobre o tema central deste trabalho, a Análise de Ciclo de Vida Energético (ACVE).

2.6 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA ENERGÉTICO – ACVE

Ao avaliar-se o desenvolvimento de uma ACV, evidencia-se a necessidade de considerável quantidade de recursos e profundidade de conhecimento acerca do tema. Desta forma, torna-se importante a busca de metodologias que apresentem resultado de forma mais rápida, mas com confiabilidade e menor custo.

A complexidade, porém, da aplicação da ACV tem apontado para tomada de outros caminhos na direção de estudos dos impactos nos diversos processos produtivos, e a ACVE tem se mostrado como uma boa alternativa para estudos iniciais com

⁶ O Guia Orientativo é um dos componentes do Manual do ILCD, oferecendo orientações técnicas para o desenvolvimento de estudos detalhados de ACV e uma base técnica específica de critérios, guias e ferramentas simplificadas para diferentes produtos, baseando-se nas normas ISO 14040 e 14044 para ACV, sendo compatível com as mesmas. Tem como público alvo os profissionais em ACV e técnicos dos setores público e privado que prestam apoio a decisões relacionadas a produtos e recursos e à gestão de resíduos.

contabilização de energia. Posteriormente, à medida que os estudos e dados vão sendo coletados, há maior possibilidade de aplicação da ACV completa.

No âmbito da construção civil no Brasil, pesquisas sobre ACVE são desafiadoras pela falta de banco de dados reais e efetivos por parte da cadeia produtiva da indústria da construção a respeito de consumo de energia nas várias fases envolvidas no ciclo de vida do processo de produção das edificações.

No entendimento das atividades envolvidas na cadeia desta indústria, torna-se de fácil compreensão que as atividades de transformação, manuseio e deslocamento das matérias primas de seus locais de origem até os postos de manufatura, dependem algum tipo de energia.

Tavares (2006) afirmou que o entendimento dos fluxos energéticos tem importância fundamental para a compreensão da maneira como se consomem os recursos energéticos disponíveis, de forma que a compilação da quantidade energética disponibilizada para a manufatura de um produto ou um serviço, requisita maneiras sistematizadas ou organizadas de avaliação que pode ser chamada de análise energética.

Nesse sentido, Lobo (2010) colocou que a aplicação de uma ACV completa, avaliando a totalidade do impacto ambiental é de relevante complexidade e traz consigo a necessidade de considerável quantidade de recursos, em especial na avaliação dos produtos do ambiente construído.

Considerando as afirmações de Tavares (2006), Lobo (2010) e Carminatti Jr. (2012), nota-se que a análise energética ou a análise do ciclo de vida energético (ACVE) pode ser uma das soluções para redução da quantidade de tempo e recursos necessários, podendo-se obter resultados expressivos na condução de análise ambiental.

Na mesma linha, Fay (1999) fez a recomendação de que estudos energéticos podem ser instrumentos de tomada de decisão, podendo vir a servir de base de estudo para demais avaliações como geração de CO₂, por exemplo.

Corroborando, Lobo (2010), afirmou que a função da ACVE não é substituir análises ambientais completas, mas apresentar abordagem com foco na análise energética e seus desdobramentos.

Mithraratne e Vale (2004), afirmaram que o uso de ACV na Nova Zelândia, em especial a ACVE, pode proporcionar melhores condições à elaboração de projetos de edificações mais sustentáveis.

Sob este foco, Fay (1999), Lobo (2010) e Mithraratne e Vale (2004) reforçaram a ideia do uso da ACVE no setor da construção para monitoramento da avaliação energético-ambiental.

Dentro dessa perspectiva, Carminatti Jr (2012) definiu que a ACVE é baseada na ACV, com a diferença de que a primeira prioriza o inventário de dados de consumo energéticos diretos e indiretos para a produção de determinado produto ou serviço e não substitui o método de análise a partir da ACV completa.

Huberman e Pearlmutter (2008), afirmaram que o estudo de ACVE pode ser adotado como medida de análise do consumo de energia, a fim de avaliar o impacto ambiental, salientando que o método não substitui uma ACV completa, mas facilita a tomada de decisão sobre o consumo de energia, sendo este um Item importante na análise da eficiência energética dos edifícios.

Em depurada síntese, Tavares (2006) afirmou que existem dois motivos para o uso da ACVE na construção civil: a complexidade de etapas da cadeia produtiva da construção civil e a intensa carga de energia despendida pelas atividades da arquitetura, engenharia e construção.

De fato, as etapas da cadeia produtiva da indústria da construção civil são extensas e de respeitável diversidade em alguns casos, formando um emaranhado de possibilidades que tornam o campo de abrangência por vezes de considerável amplitude.

É fato também que as operações envolvidas consomem ampla quantidade de energia, em especial na extração, fabricação e montagem (fase de pré-uso), além das fases de uso e manutenção e na desconstrução.

A questão que se coloca é que para as diversas tipologias construtivas existentes, podem configurar-se uma diversidade de consumos energéticos inerentes à característica de cada sistema construtivo.

A fim de referenciar os consumos energéticos, adotam-se unidades energéticas relacionadas a unidades da indústria da construção civil, onde a unidade de área

construída (m^2) é sempre um referencial de quantificação ou unidade funcional a fim de comparar tipologias iguais ou diferentes, para fins de valoração, comparação e estudo.

Tavares (2006) apontou que as unidades decorrentes das análises energéticas, ficam relacionadas, onde se apresentam os resultados das avaliações em unidades de KWh/m^2 , MWh/m^2 , GJ/m^2 , MJ/m^2 .

Para melhor compreender a ACVE, será apresentada uma revisão internacional do que autores pesquisaram e apresentaram no contexto internacional, sendo posteriormente, realizado o mesmo formato para os pesquisadores brasileiros.

2.6.1 ACVE no contexto internacional

Nas últimas duas décadas, pesquisadores internacionais, têm desenvolvido trabalhos no sentido de explorar a questão da importância de analisar os impactos ambientais no ciclo de vida de uma habitação, através da medição da Energia Incorporada envolvida neste ciclo.

Nesse sentido, Cole e Kernan (1996), no Canadá, pesquisaram Energia Incorporada em edifício de escritórios comparando estruturas de madeira, aço e concreto. Realizaram o estudo com enfoque em todo o ciclo de vida, abordando a dificuldade de comparação de dados de Energia Incorporada pela falta de base consistente destes, para a época do trabalho. Atestaram para as tipologias estruturais estudadas que a estrutura seria o Item de maior consumo de Energia Incorporada inicial.

Os autores apontam a energia operacional como a mais representativa no consumo de Energia Incorporada, tratando sobre os tipos de Energia Incorporada, como inicial, recorrente, de operação e de demolição. Comentam sobre a importância de estudar os consumos de Energia Incorporada no âmbito da construção civil, assim como a importância do projeto de arquitetura neste contexto.

Na mesma direção, Adalberth (1997), na Suécia, desenvolveu um método para o cálculo da energia em todo o ciclo de vida de uma habitação, já que segundo o mesmo até então, a maioria dos estudos era focado na fase de uso.

Adalberth (1997), em outro trabalho na Suécia, apresentou uma avaliação do consumo energético em todo o ciclo de vida em três habitações, adotando o método desenvolvido em trabalho anterior. Mostrou nesta etapa que 85% do consumo energético seriam na

fase de uso e manutenção, alertando ser este um caminho importante para diminuição do consumo energético, nesta etapa do ciclo de vida.

Nota-se que na década de 1990 pesquisadores já tratavam sobre o tema, em países da Europa e América do Norte, alertando sobre as diferenças de Energia Incorporada nas diferentes fases do ciclo de vida dos edifícios, já demonstrando a necessidade de pesquisar como se comportava a EI nos materiais que compunham os projetos, mostrando também os pesos destes consumos em cada etapa do ciclo de vida, conforme os estudos de Cole e Kernan (1996) e Adalberth (1997).

Cabe verificar que Cole (1999), desenvolveu trabalho no Canadá, analisando emissões de CO₂ e consumo de energia em três sistemas construtivos alertando para o consumo de energia devido ao transporte de mão de obra, em casos relevantes para esta atividade, evidenciando que cada região e cultura construtiva têm características particulares que devem ser consideradas na contabilização do consumo energético.

Posteriormente, Thormark (2002), na Suécia, desenvolveu trabalho destacando a Energia Incorporada para construção, operação e desconstrução, observando que a Energia Incorporada para o recorte de estudo realizado, representou 40% do total consumido numa vida útil de 50 anos para os edifícios. Observou o potencial de reciclagem dos edifícios, sob o ponto de vista da possibilidade de minimizar a Energia Incorporada dos materiais, explorando o potencial de reciclagem e reutilização, assim como na adoção de sistemas construtivos de características desmontáveis.

Logo depois, Thormark (2006), em pesquisa na Suécia sobre redução de gasto de energia, adotou a metodologia de ACV para realizar uma ACVE com foco em materiais reciclados, indicando valores para o consumo de energia nas fases de pré-uso e uso, na tipologia estudada.

Asif *et al.* (2007), na Escócia, estudaram o comportamento de uma habitação isolada, quanto ao consumo de Energia Incorporada e impactos ambientais, avaliando os cinco principais tipos de materiais de construção (madeira, alumínio, vidros, telhas de cerâmica e concreto). Concluíram para a tipologia estudada que o concreto representou 61% da Energia Incorporada da habitação, assim como o elemento gerador de maior impacto ambiental.

Cabe apontar Huberman e Pearlmutter (2008), os quais afirmam que para qualquer avaliação mais abrangente do ponto de vista arquitetônico, o consumo de energia deve ser considerado, dado o contexto do ciclo de vida do edifício, analisando as fases de pré-uso (Energia Incorporada), fase de uso (energia operacional) e fase de pós-uso (demolição, reciclagem e reutilização).

Na década de 2000-2010, os trabalhos continuaram evidenciando a necessidade do estudo pormenorizado de cada etapa do ciclo de vida, a fim de compreender o consumo de Energia Incorporada e os impactos ambientais em cada fase do ciclo de vida. Entretanto, ainda há falta de um banco de dados comum sobre o consumo energético para os materiais de construção, evidenciando a falta de uniformidade para comparação dos resultados de diferentes regiões.

Na mesma direção, Bribián *et al.* (2009), em trabalho na Espanha, fizeram uma pesquisa de estado da arte em ACV para o setor da construção, abordando em modelo de ACV simplificada o consumo de Energia Incorporada e impactos ambientais. Avaliaram que conforme a tendência de escassez de recursos energéticos não renováveis, a adoção de projetos que possibilitam ganhos bioclimáticos, de baixo impacto ambiental, recicláveis, próximos dos locais de uso, é desejável.

Nesse sentido, Goggins *et al.* (2010) na Irlanda, em trabalho abordando a Energia Incorporada em edifícios de concreto armado, comparando estruturas com e sem adição no concreto, sendo a adição utilizada em substituição ao cimento Portland comum, concluíram que o uso de materiais recicláveis podem reduzir o consumo de EI em materiais relevantes para uma estrutura como o cimento, objeto da investigação.

Ainda, Verbeeck e Hens (2010) em pesquisas na Bélgica, realizaram contribuição para o inventário de dados de materiais para avaliação de ciclo de vida de habitações, explorando o quanto a EI dos materiais de construção representava no total de energia do ciclo de vida da habitação. Concluíram que deve haver um esforço para diminuição do consumo de energia durante a fase de utilização de uma habitação, já que a fase de uso e manutenção seria aquela que representaria o maior impacto no consumo, considerando todo o ciclo de vida.

Em continuidade, considera-se que o estudo da avaliação do ciclo de vida das habitações, em especial do consumo energético consolidou-se como ponto importante

nas pesquisas sobre o tema. O impacto do consumo energético intrínseco aos materiais de construção, com as consequências nas fases de extração, manufatura, construção, uso e manutenção e desconstrução, foi sendo compreendido como uma referência importante para avaliar o grau de sustentabilidade das habitações.

Rossi *et al.* (2012), em pesquisas com habitações, realizaram estudos com consumos de energia e emissões de CO₂ na Bélgica, em Portugal e na Suécia, com dois sistemas construtivos, em aço e alvenaria. Através de análise de *software*, comprovaram para as três regiões pesquisadas que a fase operacional foi a mais preponderante no consumo de EI (62 a 98 %), especialmente pelo consumo de equipamentos voltados ao aquecimento.

Ainda, Rossi *et al.* (2012) sugeriram melhorar as características térmicas das vedações, a fim de diminuir o consumo de energia operacional. Recomendaram também o uso de estruturas de aço, para minimizar os impactos na desconstrução, pois na comparação com as estruturas convencionais em alvenaria, o aço teria menor impacto na reciclagem.

Observa-se desta forma que para regiões de climas extremos (frio ou calor), teoricamente o raciocínio lógico seria de explorar vedações que possam garantir mais isolamento, otimizando o consumo energético dos equipamentos para condicionar os ambientes internos. O questionamento que fica é o quanto essa alternativa vai gerar de impacto como EI nos materiais que estarão sendo inseridos nesse melhor condicionamento, podendo aumentar o consumo energético na fase de pré-uso.

Segundo afirmam Dixit *et al.* (2010) em pesquisa desenvolvida nos EUA, diante de um consumo de 40 % da energia consumida no mundo, a indústria da construção civil é fortemente responsável pelo consumo de recursos naturais na fase de pré-uso e de energia na fase de uso e manutenção (operacional). Comentam sobre a variabilidade dos bancos de dados de Energia Incorporada, assim como de metodologias de cálculo desta.

Nesta pesquisa, Dixit *et al.* (2010) apontaram um conjunto de dez parâmetros que poderiam influenciar a qualidade dos resultados de mensuração da Energia Incorporada: Limites ou fronteiras do sistema, Métodos de análise da Energia Incorporada, Localização geográfica, Consideração do tipo de energia (de uso final ou primária), Idade dos dados coletados, Fonte dos dados, Fidelidade dos dados (primários ou secundários), Diferenciação das tecnologias de fabricação dos materiais de um país para

outro, Energia para fabricar as máquinas para manufaturar os materiais e finalmente, a representatividade temporal da pesquisa de dados.

Na delimitação dos parâmetros, Dixit *et al.* (2010) evidenciam o cuidado e a preocupação com a comparação entre os dados coletados em diversos locais, que, contudo, possuem premissas metodológicas diferentes. Este é um dos pontos conflitantes e ainda carente de uniformização na contabilização de EI em pesquisas por todo o mundo, de forma que possam ser efetivamente contrastados.

Nota-se a necessidade de um inventário comum de dados de EI dos materiais de construção para cada país ou região, com parâmetros claramente definidos, a fim de parametrizar as coletas de dados energéticos, validando efetivamente as comparações.

Pontuando, Ramesh *et al.* (2010) na Índia adotaram ACV para avaliar 73 casos em 13 países, focando o uso de ACVE para investigar o consumo de energia nas fases de pré-uso, uso e desconstrução.

Gustavsson e Joelsson (2010) na Suécia adotaram ACV para avaliar e comparar o consumo de energia para habitações convencionais e de baixo consumo de energia. Os autores apresentaram uma metodologia para ACVE, dividindo o ciclo de vida das habitações pesquisadas em produção, uso e desconstrução, a fim de comparar com outros países da Escandinávia.

Logo em seguida, Sharma *et al.* (2011) na Índia utilizaram a ACV para produzir um estudo que pudesse mostrar em vários locais do mundo, no contexto do consumo de energia nas várias fases do edifício, em qual das fases o mesmo seria mais relevante, mostrando que o consumo de energia na fase operacional, para edifícios convencionais, tem sido maior que 50 % do consumo no ciclo total de vida útil dos mesmos.

Ao mesmo tempo, Bribián *et al.* (2011) na Espanha realizaram estudo de ACVE, comparando o consumo energético de materiais de construção convencionais com materiais mais sustentáveis ou eco-eficientes. Observaram a importância de substituir materiais finitos por outros sustentáveis, próximos aos locais de uso, conforme possível.

Ainda, Bribián *et al.* (2011) alertaram sobre a dificuldade de realizar a separação dos materiais numa desconstrução, considerando sistemas construtivos e insumos tradicionais, apontando a necessidade de determinar melhorias nos projetos de

estruturas como união de parafusos em vez de adesão química, quando possível. Ainda comentam sobre a necessidade de diminuição do uso de recursos naturais finitos, focando a sustentabilidade ambiental como norteadora das políticas voltadas à construção de edifícios.

Torgal e Jalali (2011) em Portugal, descreveram os resultados de um estudo de caso sobre os consumos energéticos de um edifício com 97 apartamentos, comparando-os com a EI nos materiais adotados na sua construção. Atestaram a alarmante realidade daquele momento em Portugal, da dependência de geração de energia por usinas termelétricas e da ainda volumosa proporção de importação de energia.

Nessa linha de análise, Torgal e Jalali (2011) abordaram sobre os gastos preponderantes na fase operacional dos edifícios, mencionando que a EI na fase de pré-uso será igualmente importante a partir de desenvolvimento de projetos mais sustentáveis. Exemplificam o uso de adições na fabricação de cimento, a fim de diminuir o impacto de consumo energético deste produto na fabricação. Sugeriram além das adições, o uso de madeira certificada como saída para proporcionar mais sustentabilidade energético-ambiental em Portugal.

Posteriormente, Han *et al.* (2013) na China, relataram em pesquisa, que 25 % do total da energia consumida no país é de responsabilidade do setor da indústria da construção civil. Pesquisaram o consumo de EI na construção de edifícios, comparando dois projetos de seis edifícios comerciais, dividindo a análise em nove sub-projetos, adotando o método híbrido para cálculo da Energia Incorporada.

Ao mesmo tempo, Moncaster e Symons (2013), em trabalho de pesquisa no Reino Unido, exploraram um novo método de calcular Energia Incorporada e emissões de carbono lançado pelo governo britânico. Atestaram a falta de dados primários de EI referente aos materiais, de forma a calcular corretamente o gasto energético em todas as etapas do ciclo de vida das habitações. Alertaram sobre a falta de consistência de dados não regulamentados da indústria de materiais para a construção civil, sem ainda um banco de dados comum a toda a indústria.

Corroborando, Basbagill *et al.* (2013) nos EUA, em estudo sobre ACV utilizando o conceito BIM (*Building Information Modeling*), propuseram um método de análise de projetos somente na etapa de revestimento de um único edifício, integrando ferramentas

BIM, ACV e simulação de desempenho energético por software, buscando dados para modelar o comportamento do edifício com relação aos possíveis impactos ambientais.

Em regra geral, os autores que tem tratado sobre o tema de EI, referem-se à falta de dados de consumo energético para fins de validação efetiva de seus trabalhos em maior amplitude. Ainda, há consenso sobre o gasto energético preponderante na fase de uso e manutenção, considerando as lacunas de pesquisa relatadas.

Apointa-se a contribuição de Foraboschi *et al.* (2014) na Itália, que avaliaram a EI para estruturas de edifícios altos, realizando o estudo em projeto estrutural de 20 a 70 pavimentos (núcleo com pilares de concreto armado e perímetro com pilares de aço), variando o tipo estrutural das lajes (seis tipos), com o objetivo de comparar o consumo de EI considerando a variação da estrutura dos pavimentos, com foco na redução de consumo energético. Os autores começaram o trabalho, ressaltando a falta de um método único de mensuração do consumo energético na comunidade científica mundial. Encontraram resultados que comprovaram para aquele caso, que a lajes de cada pavimento foram os elementos que determinaram os maiores impactos em termos de EI.

Continuando, Foraboschi *et al.* (2014) na mesma pesquisa, mostraram que a simples redução do peso da estrutura não está ligada diretamente na redução do impacto ambiental, mostrando que o menor número de pilares para aumentar os vãos livres pode acarretar maior consumo de EI, face ao aumento de materiais na composição da estrutura. Concluem afirmando a importância da integração dos projetistas de arquitetura e estrutura, visando um melhor desempenho energético ambiental da solução para os edifícios altos.

Nota-se que o estudo do tema EI também pode fortemente apontar os caminhos da sustentabilidade sob a análise do desempenho energético nas etapas que mais consomem energia, como no caso anterior, analisando a fase de pré-uso para edifícios altos. A integração entre projetistas, sob a ótica do desempenho ambiental, considerando o consumo energético pode ser alternativa de inserção de práticas sustentáveis na fase de projeto dos edifícios.

Karimpour *et al.* (2014) em pesquisa na Austrália, realizaram uma revisão da literatura sobre ciclo de vida energético de edifícios residenciais. Consideraram que a Energia Incorporada nos edifícios desse uso pode representar até 25 % do total do ciclo de vida

energético e que aplicando os conceitos de VPL (Valor Presente Líquido) para climas amenos, este percentual pode subir para até 35 %.

Cumpra assinalar que Cellura *et al.* (2014) na Itália, pesquisaram a abordagem do ciclo de vida energético em um projeto residencial, contabilizando os valores de Energia Incorporada inicial, de operação, recorrente (manutenção) e de demolição. O trabalho foi focado em clima frio, observando as particularidades de consumo energético operacional em função da necessidade de aquecimento. Os autores finalizaram abordando a necessidade da construção de parâmetros globais de dados energéticos, para parametrizar os trabalhos no mundo.

Por conseguinte, Bansal *et al.* (2014) em pesquisa na Índia, afirmaram que de 30 a 40 % da energia consumida no mundo vai para o setor da construção civil, envolvendo as fases de construção, operação e manutenção e demolição. Os autores realizaram estudo em prédios multifamiliares com aptos de 20 a 60 m², com até quatro pavimentos, analisando o consumo energético na fase de pré-uso, para diferentes materiais de construção.

Na mesma linha, ainda, Bansal *et al.* (2014) adotaram no estudo os insumos da estrutura, sem fundações e acabamentos. Concluíram que a EI na fase de pré-uso pode ser reduzida em até 40 %, desde que seja realizado um estudo prévio do projeto e dos materiais segundo as premissas de cálculo de EI na fase inicial, ou seja nas etapas de projeto e construção.

Srinivasan *et al.* (2014) aplicaram nos USA, um estudo de caso em prédio de uma universidade, em que puderam comparar quatro tipos de ferramentas de contabilização de energia, avaliando o consumo energético na fase de uso e na fase de desconstrução. Concluíram que é necessário ter cautela na fase de entrada de dados, uma vez que, ainda não há uma base mundial única de dados. Por este motivo, os autores recomendaram estudos completos de todo o ciclo de vida, além de mais estudos na fase de desconstrução.

De forma abrangente, a maioria dos autores internacionais cita a falta de base de dados, considerando as diferenças entre as regiões como uma dificuldade de proporcionar condições de comparação de resultados. Unânime também é a opinião sobre a dificuldade de obtenção dos dados, levando em consideração a citação de trabalhos de

referência de pesquisadores que tem realizado estudos sobre o tema. Contudo, ainda não há uma base comum de dados energéticos para todas as fases do ciclo de vida uma habitação. Nesta direção, a busca por bases de dados regionais pode proporcionar melhores condições para avaliação de resultados.

Em exemplo oportuno, Gaspar e Santos (2015) em Portugal, realizaram comparação entre construção, reforma e demolição de uma habitação, com foco na Energia Incorporada envolvida nos três processos. Os autores buscaram comparar exatamente os mesmos materiais adotados em cada sistema, desde a extração da matéria-prima até a conclusão da obra, excluindo, contudo, o transporte e a mão de obra.

Concluíram que apesar das obras novas proporcionarem peso menor/m² de habitação, os materiais adotados tendem a consumir mais EI. Sugerem a diferenciação de regiões para os níveis mínimos aceitáveis de EI, assim como aumento da vida útil para mais de 50 anos, potencializando a EI dos materiais que compõem as habitações. Concluíram que para as condições locais, a reforma seria a condição mais sustentável do ponto de vista de gasto energético nas fases de pré-uso e uso /manutenção.

Recentemente, Praseeda *et al.* (2015) em estudo na Índia, abordando estudo de EI, compararam métodos de ACVE: O método análise de processo, método de avaliação de EI por entradas e saídas (*input-output analysis*) e o método de análise híbrida (*hybrid analysis*). Concluíram que o método de entradas e saídas não seria o mais adequado para a realidade Indiana, pela alta variabilidade dos dados existentes naquele país. Constatam a necessidade de mais trabalhos e pesquisas sobre o tema naquele país, indicando que, dado a época da pesquisa, o método mais indicado seria o de análise de processo.

Cumprе evidenciar que boa parte dos autores internacionais citados trata sobre a falta de uma base de dados conjunta ou por países de consumo energético dos insumos da cadeia da indústria da construção civil, como um entrave para subsidiar uma efetiva utilização dos estudos relacionados à ACVE, e como elementos norteadores de políticas voltadas à diminuição dos impactos ambientais.

Resta complementar que a falta de uniformidade de uso de dados de energia primária (energia contabilizada diretamente na geração) e energia de uso final (energia contabilizada na ponta ou no local do uso efetivo) tem gerado dúvidas na divulgação de

valores finais de EI, já que nem todos os autores têm apresentado a utilização de fator de correção de energia de uso final para primária, fato que pode acarretar dados duvidosos de contabilização de EI.

Na Tabela 2.1 são apresentados valores de EI encontrados por vários autores em diferentes períodos para sistemas construtivos e VUP (Vida útil de Projeto) diversas.

Tabela 2.1 - Consumos de EI, encontrados por pesquisadores nacionais e internacionais

Autor/ano	Pais	Sistema construtivo	VUP (anos)	Consumo energia em todo o ciclo de vida - GJ/m ²
Mithraratne e Vale (2004)	Nova Zelândia	Construção leve	100	17,01
Mithraratne e Vale (2004)	Nova Zelândia	Parede concreto	100	16,23
Mithraratne e Vale (2004)	Nova Zelândia	Super isoladas	100	11,83
Winther e Hestnes (1999)	Noruega	Convencional	50	25,20
Winther e Hestnes (1999)	Noruega	Solar	50	22,32
Winther e Hestnes (1999)	Noruega	Solar eficiente	50	15,12
Huberman e Pearlmutter (2008)	Israel	Parede concreto	50	8,24
Thormark (2002)	Suécia	Convencional	50	17,70
Sposto e Paulsen (2014)	Brasil	Convencional	50	7,20
Ramesh <i>et al.</i> (2010)	Europa	Variados	50	41,80

Fonte: Autor

Prosseguindo, apresenta-se a ACVE no Brasil, a partir de pesquisas nacionais.

2.6.2 ACVE no contexto nacional

Na bibliografia nacional, no âmbito da pesquisa acadêmica, trabalhos foram desenvolvidos, em especial a partir do ano 2000, em maior intensidade, apesar do pouco número de pesquisadores do tema.

Sperb (2000) comparou algumas tipologias habitacionais em termos de impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida de materiais de construção. Analisando os materiais de construção para paredes e coberturas das tipologias escolhidas, em termos de exploração de recursos naturais, conteúdo energético, consumo energético durante o transporte e potencial de reciclagem, concluiu que o conteúdo energético e o consumo energético durante o transporte dos materiais de construção apresentaram valores significativamente diferentes entre as tipologias e entre si.

Sperb (2000) constatou ainda que as diferenças de conteúdos energéticos e gastos energéticos durante o transporte dos materiais, para as cinco tipologias estudadas

(estrutura de aço, paredes duplas cerâmicas, paredes duplas argamassadas, alvenaria convencional cerâmica e alvenaria convencional em blocos de concreto) sugerem a possibilidade de utilização de materiais de construção alternativos que tenham menores conteúdos energéticos e que sejam simultaneamente provenientes de recursos naturais locais ou regionais, além da necessidade de potencial de reciclabilidade dos mesmos.

Sobre a EI devido ao transporte, apesar do exposto por Sperb (2000) salvo exceções, representa pouco em relação à EI dos materiais, de uso e manutenção ou desconstrução. Apesar de estar sempre presente na composição do somatório energético e de ser importante na contabilização, seu peso, conforme muitos autores citados representa menor expressão. Composições de serviços que levem materiais transportados de consideráveis distâncias teriam maior impacto, mesmo assim, sem alterar a pouca representação no somatório geral.

Kuhn (2006) realizou avaliação ambiental dos subsistemas implantados e dos materiais empregados na habitação denominada Protótipo Alvorada, em Porto Alegre, RS. Os custos dos materiais também foram identificados. A autora identificou as principais cargas ambientais que ocorreriam ao longo do ciclo de vida das edificações, identificou os dados disponíveis no Brasil sobre estas cargas relacionadas aos produtos da edificação, além de apontar os métodos existentes para avaliar as mesmas.

Pode-se inferir que Kuhn (2006) argumentou que mesmo considerando a escolha do Protótipo Alvorada, o método de análise ambiental apresentou limitações e imprecisões, em sua maioria relacionadas à indisponibilidade de dados nacionais, referentes aos processos de produção de materiais de construção no Brasil, assim como às características da frota de veículos de transporte de carga. A autora não foi efetiva na questão de apontar definitivamente uma resposta para o desempenho ambiental do protótipo adotado no trabalho, em função da falta de dados na época do desenvolvimento do trabalho.

Nota-se que Kuhn (2006) encontrou a dificuldade recorrente à maioria das publicações nacionais e internacionais sobre o tema, ou seja, a falta de um inventário de dados no país sobre a quantidade de EI dos materiais, meio de transporte e mão de obra.

Corroborando, Tavares (2006) identificou e quantificou Energia Incorporada ao longo do ciclo de vida de certas tipologias de habitações brasileiras. Os resultados obtidos

entre os cinco modelos estudados apresentaram valores de consumo energético no ciclo de vida, no intervalo de 15,01 GJ/m² a 24,17 GJ/m², considerados baixos em comparação aos valores internacionais de países desenvolvidos, na ordem de 50 GJ/m² a 90 GJ/m², porém o autor ressalta que as condições climáticas desses países elevaram o consumo operacional para a climatização.

Deve ser ressaltada a diferença em termos de EI quando se compara regiões frias de regiões tropicais, pois nas primeiras, projetos de vedações, elementos de isolamento térmico e elementos especiais para garantir conforto térmico impulsionam a soma de EI na fase de pré-uso. Igualmente, na fase operacional, equipamentos de aquecimento, gás GLP, podem aumentar o consumo energético. Assim, deve-se analisar os consumos energéticos de cada país ou região conforme as demandas oriundas das características climáticas.

Ainda, Tavares (2006) relatou que a energia embutida inicial variou de 4,10 GJ/m² a 4,90 GJ/m² e a energia embutida final ou total de 5,74 GJ/m² a 7,32 GJ/m², concluindo que os resultados naquele momento eram equivalentes a 29 % a 49 % de todo o ciclo de vida, que na visão do autor, demonstrava a relevância dos estudos sobre energia embutida.

Cabe verificar que Tavares (2006) detectou que os três principais materiais consumidos em quantidade nas edificações residenciais, no caso, o cimento, aço e cerâmicas consomem pelo menos 80 % de energia não renovável. A pesquisa detectou que o cimento tinha alta participação em volume, energia embutida e perdas, além de responder por boa parte dos impactos ambientais gerados no setor da construção civil.

Em sistemas construtivos onde compósitos cimentícios sejam presenças relevantes, o cimento será item importante no somatório de EI, juntamente com o aço e o alumínio em algumas situações como alto de uso de fôrmas deste último.

Continuando, Lobo (2010) apresentou uma metodologia de inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono (CO₂ eq) por meio da análise energética dos serviços de uma planilha de composição de serviços de obras, com uma vinculação dos dados dos insumos de EI e emissão de CO₂. O autor adotou uma análise energética até o 2º nível energético da *International Federation of Institutes for Advanced Study – IFIAS*, em que a energia embutida (neste trabalho chamada de Energia Incorporada) e a

emissão de CO₂ eq de uma habitação foram adotadas como unidades de pesquisa. Os dados coletados se restringiram à fase de pré-uso, ou seja, até a conclusão da obra. Como resultado, o autor concluiu que o modelo selecionado apresentou EI de 4,23 GJ/m² e emissões de 0,57 t CO₂ eq/m².

Ainda, Lobo (2010) realizou um vasto estudo, direcionando sua pesquisa para a composição de serviços da Secretaria de Infraestrutura do Estado do Paraná, buscando formatar uma base de dados regional de EI dos insumos formadores das composições. Entretanto, os dados de EI lançados no trabalho ainda foram de caráter secundário, ou seja, lançados a partir de outros autores, permanecendo o problema da falta de base de dados energéticos regulamentada.

Nabut Neto (2011) estudou a Energia Incorporada de fachadas de *steel frame*, na fase de pré-uso, e correlacionou os valores com emissões de CO₂ totais (ECO2T). O autor comparou os resultados desta fachada com uma convencional, de blocos cerâmicos, com um revestimento de argamassa e com placas de cerâmica aderidas. O autor concluiu que a redução da Energia Incorporada e das emissões de CO₂ associadas aos materiais de construção civil é altamente desejável, assim como, a necessidade do transporte ser feito por meio ferroviário e/ou hidroviário, na medida do possível.

Com relação ao aço, Nabut Neto (2011) concluiu que se deve dar preferência à utilização de aço reciclado nas indústrias, visando redução da Energia Incorporada e das emissões de CO₂ deste material, adotando outros meios de fabricação, com outros combustíveis como óleos vegetais, energia solar, eólica e fotovoltaica, assim como na indústria cerâmica, substituir a lenha por biomassa oriunda de florestas com manejo, na medida da viabilidade.

Na mesma linha, Macedo (2011) propôs uma Metodologia de Avaliação Ambiental de Sistemas Construtivos (MAASC), utilizando o software *Simapro*. A proposição da autora foi de abrangência do estágio atual da ACV da construção civil brasileira e a possibilidade de já adotar o software proposto sem dados nacionais. Considerou que pela falta de dados nacionais, a opção por um único sistema construtivo que fosse constituído por uma única matéria-prima, no caso o aço, teria mais efetividade, levantando dados do sistema estrutural em aço, suas entradas e saídas desde o processo de fabricação e beneficiamento, obra, uso e manutenção, desmonte e destinação final (*cradle to grave*).

Macedo (2011) entendeu que o MAASC seria uma contribuição importante para a formação de inventários de produtos da construção civil, ficando evidente a viabilidade da análise dos impactos ambientais dos sistemas construtivos, através da identificação dos materiais e processos de maior impacto por etapa do ciclo de vida.

Em análise, Carminatti Jr. (2012) levantou a EI inicial de um projeto padrão voltado à habitação de interesse social como sistema construtivo, aplicando os conceitos de ACVE. O autor considerou três situações: projeto concebido em alvenaria estrutural de blocos de concreto, alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e *Light steel framing* (LSF).

Na comparação dos resultados das simulações propostas, Carminatti Jr. (2012), concluiu que o projeto concebido em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos foi o que apresentou menor valor de EI inicial absoluto em relação aos demais sistemas simulados, ficando numa faixa de 3,0 GJ/m², tendo o LSF apresentado um valor médio (para os sistemas pesquisados) de 3,9 GJ/m², e finalmente o sistema em alvenaria estrutural de blocos de concreto apresentou valor de 6,6 GJ/m².

Cabe salientar que Carminatti Jr. (2012) adotou, no trabalho de pesquisa, valores de EI obtidos em literatura internacional e que obedeciam às características de produção do país de origem. Desta forma, no entendimento do autor, faz-se necessário desenvolver um banco de dados nacional de EI, de modo que as condições de cada região sejam efetivamente representadas.

Sposto e Paulsen (2012) levantaram a Energia Incorporada para uma habitação de área de 52,00 m², adotada no PMCMV do governo federal, no DF. Através da pesquisa, os autores encontraram que o consumo de EI foi de 7,2 GJ/m², em que metade da EI deveu-se à utilização de materiais para a manutenção, e cerca de 60 % da EI utilizada foi adotada na construção das paredes.

Ainda, Sposto e Paulsen (2012) indicam, através deste estudo, que como as vedações verticais representam considerável parte da Energia Incorporada no conjunto do sistema construtivo da habitação, uma alternativa para redução da EI nas paredes seria o uso de materiais e compósitos que tivessem menor EI, buscando também utilizar materiais que pudessem proporcionar manutenções otimizadas.

Posteriormente, Maciel (2013) utilizou a ACVE para estudo de Fachadas Ventiladas no DF, levantando, quantificando e analisando a Energia Incorporada Inicial (EIi), a Energia Incorporada Operacional (EIo) e a Energia Incorporada Recorrente (EIr) de três tipologias de Fachadas Ventiladas (Fachada Ventilada de Placas Pétreas - FVPP, Fachada Ventilada de Porcelanato - FVPo e Fachada Ventilada de Alumínio Composto - FVACM), isto referente a uma Edificação Habitacional Modelo (EHM) típica do Plano Piloto de Brasília-DF.

Maciel (2013) encontrou como resultados que a EIo foi a mais significativa em todas as tipologias. A FVACM teve a melhor eficiência (menor Energia Total) e a menor massa dentre as tipologias. A FVPP teve a menor eficiência e a maior massa. A FVPo mostrou-se intermediária em massa e ET.

Considerando ainda o estudo de Energia Incorporada, Schneck (2013) desenvolveu estudo investigando a influência do tipo arquitetônico em impactos ambientais, no custo e em quesitos de habitabilidade em empreendimentos habitacionais de interesse social, a partir de projeto e orçamento de edifício em forma de H, no RS. O autor realizou simulações arquitetônicas com a finalidade de aprimorar quesitos de habitabilidade e aumento de índice econômico de compactidade (IeC).

Em continuidade, Schneck (2013) partiu de pressuposto de que com o aumento do IeC, a quantidade de material aplicada nos edifícios seria diminuída e por consequência os impactos ambientais e custos de produção seriam minimizados. O autor realizou estudo de EI e emissão de CO₂ dos materiais estimados relacionados aos projetos propostos, comparando com o projeto de referência, abordando também custo e habitabilidade. Os resultados de Schneck (2013) apontaram para uma redução de 7 % da EI e 8 % de emissão de CO₂ em benefício da proposição de projeto, resultando também numa redução de custo de 7 %, além de melhorias nos quesitos de habitabilidade como conforto térmico e lumínico, funcionalidade e flexibilidade de planta.

Sposto e Paulsen (2014) em estudo no DF, analisaram uma habitação construída com sistema convencional, onde foi calculada a ACVE na fase de pré-uso em estudo de caso que mostrou que a Energia Incorporada foi de 3,2 GJ/m². Também evidenciaram que cerca de 60% da Energia Incorporada na fase de pré-uso foi aquela relacionada às vedações verticais, indicando que este é o elemento com maior potencial de melhorias para a redução da EI.

Apesar dos trabalhos citados e desenvolvidos no Brasil, existem poucas publicações sobre ACVE. Iniciativas do PBACV em desenvolver o entendimento sobre a ACV no país, inclusive no setor da construção civil, têm sido relevantes. Cita-se também o CBCS como difusor das práticas de sustentabilidade no país.

No Item 2.6.3, apresentam-se as definições que formam a base para o cálculo da EI nas diversas etapas do ciclo de vida.

2.6.3 Definições para a ACVE

Ao considerar a ACVE, autores como Tavares (2006), Lobo (2010) e Carminatti Jr. (2012), citam Wilting (1996), como referência, por meio da Federação Internacional de Institutos de Estudos Avançados (IFIAS), onde parâmetros foram definidos a fim de auxiliar na definição dos limites de uma ACVE, a partir de quatro níveis de avaliação, conforme a Figura 2.7.

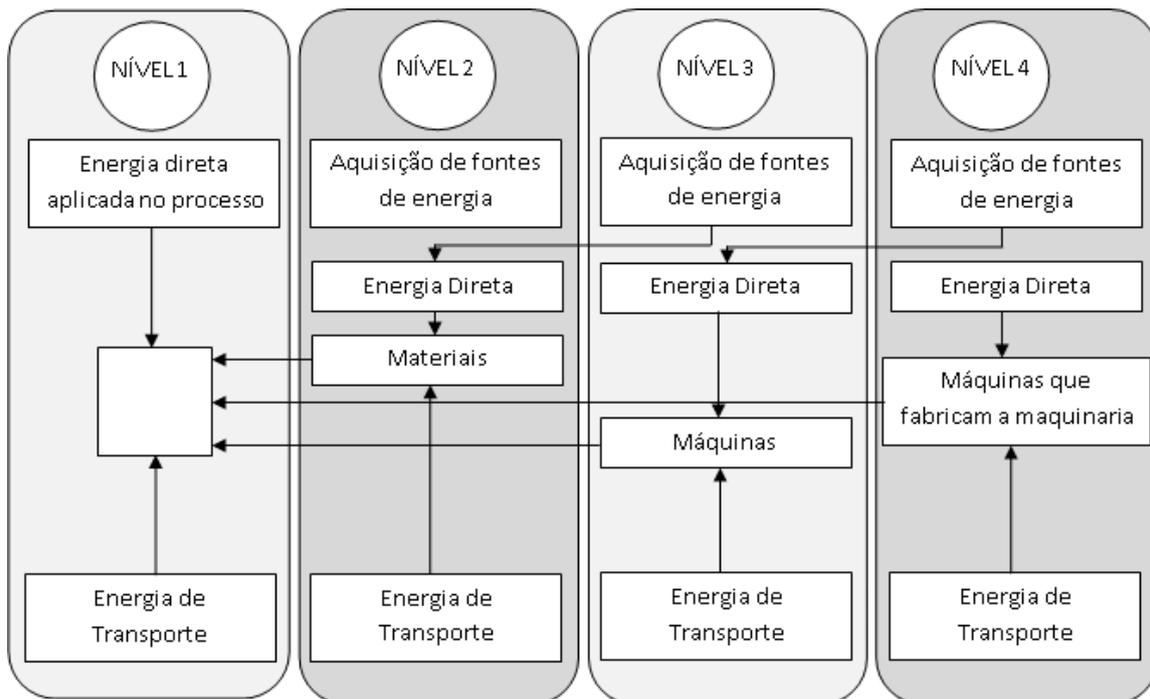
Wilting (1996) aponta que o nível 1 trata dos requisitos de energia do processo (REP), informados em termos de energia secundária, e que seus limites seriam o que a norma ISO 14048 define como etapa “*gate to gate*”, ou seja, significando a atividade dentro dos limites da fábrica. Esse nível apresenta boa acessibilidade dos dados, entretanto em muitos casos, representa 50% do total de energia.

O nível 2 contempla a energia necessária para aquisição, conversão, extração e distribuição da energia direta do primeiro processo, do nível 1. O nível 2, somado ao nível 1, representa 90% dos RTE (requisitos totais de energia) analisados no processo (Tavares, 2006).

O nível 3 representa a adição dos requisitos energéticos a fim de obter os bens de capital, como as máquinas, as edificações, as formas de transporte que serão adotados no processo. O nível 3 pode acrescentar 9% ao total dos RTE (Tavares, 2006).

O nível 4 responde pelos requisitos energéticos para os equipamentos que deverão produzir os bens de capital do nível 3, representando muito pouco, em torno de 1% dos RTEs (Tavares, 2006), sendo que neste nível 4, os requisitos energéticos são de relevante dificuldade de obtenção, pela complexidade das fontes que compõem as máquinas para fabricar os equipamentos que farão o trabalho no nível 3.

Figura 2.7 - Níveis conforme proposto pelo IFIAS



Fonte: Adaptado de *Wilting* (1996)

Wilting (1996) e Baird (1997), citados por Tavares (2006) e Carminatti Jr. (2012) comentam que para todos os níveis, há uma contribuição da energia de transporte. Há uma análise controversa, por Wilting (1996), onde o gasto de energia consumido pela mão de obra não é levado em consideração nesta metodologia, nem mesmo a divisão de quanto do salário que é provido pelos trabalhadores é utilizado para o trabalho propriamente dito ou para seus consumos particulares.

Tavares (2006) e Carminatti Jr. (2012) afirmam que para o cálculo dos RTE (requisitos totais de energia), são somadas as conversões de energia primária para secundária, que se constituem na forma de energia disponível para o consumo. Considerando este tipo de conversão, são utilizados os RTE que expressam as quantidades de energia primária necessárias para produção da energia secundária, em MJ/MJ. Tavares (2006) e Carminatti Jr. (2012) retratam que um mesmo produto ou processo tem diferentes valores de RTE e REE, que vai depender dos locais onde são produzidos, da data e das condições do sistema em que a energia é produzida e convertida.

Considerando as etapas de coleta de informações, é importante dividir os RTEs em partes, do “berço ao túmulo”, com suas terminologias de consumo energético ao longo do ciclo de vida, segundo Tavares (2006).

O nome deste conjunto de requisitos foi definido na terminologia da ISO 14040 (1997) como Energia Total, ou seja, a soma da energia embutida inicial equivalente aos consumos diretos e indiretos para as etapas desde a prospecção de matéria prima até a entrega da obra, energia de manutenção como sendo a dispendida durante a vida útil da edificação e energia de desconstrução aquela que é consumida no descarte e reciclagem. Na Figura 2.8, o ciclo de vida energético de uma edificação é apresentado, com base em estudo de Tavares (2006).

Conforme a Figura 2.8, tem-se a EI inicial constituída pelos consumos diretos e indiretos (atividades de prospecção e preparo e transporte das matérias-primas, transporte, fabricação, transporte dos produtos até a obra). Apresenta a EI de uso e manutenção, que constitui-se na energia gasta para manter e operar a edificação na vida útil e também na sua manutenção. Já a Energia de desconstrução corresponde à atividade de demolição, descarte, deposição e possível reciclagem, fechando o ciclo, do “berço ao túmulo”.

Nesse sentido, Sartori e Hestnes (2007) afirmaram que energia primária é aquela medida ao nível dos recursos naturais, adotada para mensurar a energia de uso final, incluindo a extração, transformação e as perdas. A Energia secundária é aquela energia medida na fase final de uso, após a transformação da energia primária.

Considerando o exposto anteriormente, é necessária a conversão da Energia de Uso Final para Energia Primária, por meio do Fator de Conversão (FC) de acordo com o período proposto. Este fator deve ser calculado com base na divulgação anual, no caso do Brasil, do BEN (Balanço Energético Nacional) relativo ao ano de interesse.

Para o ano de 2014, ano base 2013, conforme divulgação em Brasil (2014), conforme cálculo, o valor foi do fator chamado agora de fator de correção, calculado pelo autor com sendo de 1,62⁷, conforme as perdas na transformação, transporte e distribuição, demonstrado na Figura 2.8.

⁷ O cálculo do Fator de correção da Energia de uso final para Energia primária foi realizado da seguinte maneira: Considerou-se 100 para Energia de uso final, 27,30% para Perda por transformação e 15,30% para as perdas no transporte e distribuição de eletricidade. Assim, para considerar as perdas no transporte e distribuição na Energia de uso final, denominou-se tal valor de y, onde $y - 0,1530 y = 100$, onde $y = 118,06$. Analogamente, para considerar as perdas na transformação, denominou-se tal valor de x, onde $x - 0,2730 x = 118,06$, onde $x = 162,39$.

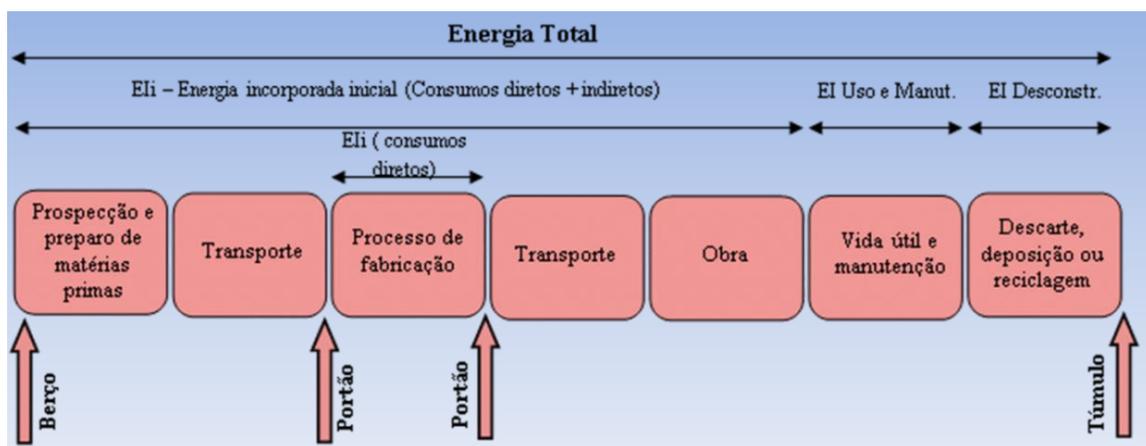
Figura 2.8 - Esquema da metodologia utilizada pelo autor para FC (ano 2014/2013)

Perdas na transformação = 27,30%		Perdas no transporte e distribuição de eletricidade = 15,30%		ENERGIA DE USO FINAL
ENERGIA PRIMÁRIA 162,39	➔	TRANSP. /DISTRIBUIÇÃO 118,06	➔	100,00

Fonte: Autor

Ainda, para Sartori e Hestnes (2007) Energia Incorporada é a soma de toda a energia necessária para fabricar um bem, podendo ou não incluir a energia da matéria-prima, sendo expressa em termos de energia primária.

Figura 2.9 - Ciclo de vida energético de uma edificação



Fonte: Adaptado de Tavares (2006)

Corroborando, Ramesh *et al.* (2010) afirmam que Energia Incorporada é o conteúdo energético de todos os materiais utilizados na construção e a energia gasta no momento da execução e na manutenção do edifício.

Nesta direção, Paulsen e Sposto (2013) consideram que energia inicial incorporada está contida na fase de pré-utilização das habitações, contabilizando os gastos de energia das etapas de extração, fabricação e transporte dos materiais até os locais de construção, incluído a energia gasta para com os resíduos gerados pela construção.

O conceito de Energia Incorporada recorrente foi apresentado por Sartori e Hestnes (2007) como sendo a soma da Energia Incorporada no material, utilizada nas fases de reabilitação e manutenção. Para Ramesh *et al.* (2010) o conceito de energia recorrente incorporada é expresso pela Equação (2.1).

$$EI_R = Mi \times mi [(Lb/Lmi) - 1] \quad (2.1)$$

Onde: EI_R = Energia Recorrente Incorporada do edifício; Mi = Teor de energia do material de (i), por unidade; mi = Quantidade de material de construção (i); Lb = Vida útil do edifício; e Lmi = Tempo de vida do material de (i).

Sob este foco, Paulsen e Sposto (2013), consideram que Energia Incorporada recorrente está presente na fase de utilização, sendo incluída neste cálculo a energia de manutenção oriunda da adoção dos materiais para o tratamento ou substituição dos elementos do edifício, na fase de uso do produto pronto.

Já, Ramesh *et al.* (2010) definem energia de operação como sendo aquela necessária para climatizar os ambientes, aquecendo, ventilando ou dotando os mesmos de ar condicionado, proporcionando também água quente, iluminação, de forma a dar conforto exigido, de acordo com as condições climáticas e do ciclo de horário de funcionamento. A Equação 2.1 demonstra a teoria dos autores.

2.7 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

A cadeia produtiva da construção vem de forma crescente apresentando um volume considerável de resíduos oriundos da implementação dos sistemas, processos e técnicas construtivas envolvidas nas atividades correlacionadas.

Hendriks *et al.* (2007) classificam os resíduos de construção como matérias-primas secundárias, que seriam aquelas recuperadas, reutilizáveis, onde os materiais são coletados, separados classificados, preparados ou tratados e finalmente processados.

Considera-se segundo Brasil-g (2002), que os resíduos de construção civil são aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, comumente chamados de entulhos de obras.

Hendriks *et al.* (2007) definem ainda que resíduo é o material que a princípio tem valor positivo (diferente do entulho, que tem valor negativo e que é matéria perdida no processo de reutilização e reciclagem) e é adequado para reutilização ou reciclagem

após coleta e tratamento, estando apto para entrar novamente no ciclo. Depois do tratamento, os materiais residuais tornam-se matérias primas secundárias.

No Brasil, as políticas de reciclagem ainda são incipientes, apesar da existência de normativas que orientam a classificação dos resíduos conforme a destinação e risco. Agopyan *et al.* (2011) citam que no Brasil, a taxa de reciclagem ainda é muito baixa, embora esteja crescendo com a entrada de empresas privadas em uma atividade que se iniciou operada por órgãos públicos municipais, e que, apesar do sucesso em alguns locais, como Belo Horizonte, coleciona fracassos na maioria dos municípios, como São Paulo.

Segundo Brasil-g (2002) e ABNT NBR 15113:2004, a classificação dos resíduos da construção civil divide-se em classes A, B, C e D.

Os resíduos classe A são aqueles reutilizáveis ou recicláveis como agregados.

Os resíduos classe B são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros. Recentemente, o gesso foi incluído na Classe B, conforme a Resolução CONAMA n° 469 de 30 de julho de 2015, juntamente com as embalagens vazias de tintas imobiliárias.

Os resíduos classe C são aqueles para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem e recuperação.

Finalmente, os resíduos classe D são aqueles perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados, provenientes de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

2.8 VEDAÇÕES VERTICAIS PESQUISADAS

Para o desenvolvimento do trabalho, foram estudados quatro tipos de Sistemas de Vedação Vertical Interna e Externa - SVVIEs, listados em sequência:

- a) Vedações de concreto⁸;

⁸ As vedações de concreto moldadas no local têm sido utilizadas com frequência no DF, como exemplo o *Jardim Mangueiral*, com 8000 unidades.

- b) Vedações de *Steel Frame*⁹;
- c) Vedações de alvenaria estrutural de blocos de concreto¹⁰;
- d) Vedações convencionais de blocos cerâmicos.

Apresenta-se em sequência, sucintamente, as características de cada tipologia, com o objetivo de explicar do ponto de vista tecnológico, cada sistema de vedação.

2.8.1 Vedações de concreto moldadas no local

Esta tipologia de sistema construtivo de vedação tem como parâmetro atual a norma ABNT NBR 16055:2012, a qual determina os requisitos necessários do ponto de vista estrutural.

As vedações deste sistema são moldadas no local, por meio de fôrmas, com as instalações normalmente embutidas. Uma característica deste sistema tem sido o alto custo das fôrmas de alumínio, fato que restringe o uso em obras com menos de 800 unidades.

A tecnologia teve forte influência de cultura construtiva de outros países da América Latina como EUA, Colômbia e México, assim como países da Europa, por exemplo, a França (MISURELLI e MASSUDA, 2009).

As paredes moldadas no local são constituídas de concreto armado com espessura de 10 cm e altura igual ao pé direito de cada unidade habitacional.

As paredes são de concreto comum, com adição de fibras de polipropileno na proporção de 300 g/m³. A resistência característica à compressão especificada é de no mínimo f_{ck} 25 MPa, com massa específica igual a 2300 kg/m³. O abatimento (slump) especificado para o concreto das paredes é de 20 + ou - 3 cm.

A resistência mínima especificada para desforma das paredes após 24 horas da concretagem é de 3 MPa (SINAT/DATec n° 010, 2012).

⁹ Embora não se tenham muitas aplicações do sistema construtivo em Steel frame no DF, este tem sido tema de várias pesquisas na Universidade de Brasília, entre as quais podem ser citadas as de Nabut Neto (2011) e Uribe (2013).

¹⁰ Embora a alvenaria estrutural de blocos de concreto seja uma tecnologia em uso no Brasil desde 1960, segundo PARZEKIAN *et al.* (2012), o seu emprego tem aumentado gradativamente, como solução racionalizada.

A produção é caracterizada por ciclos sucessivos de montagem e desconstrução das fôrmas, a fim de moldar as paredes de concreto armado no local.

As instalações elétricas são inseridas nas paredes de tal forma que a montagem dos eletrodutos e caixas de passagem devem ser realizadas antes da operação de concretagem, efetivamente.

Já as tubulações hidrosanitárias, preferencialmente devem ser dispostas em *shafts*, com a finalidade de facilitar as manutenções periódicas ao longo da vida útil.

2.8.2 Vedações em *Steel Frame*

O Sistema em *Steel Frame* ou *Steel Framing* constitui-se de uma estrutura de perfis de aço zincado por imersão a quente ou por eletrodeposição e formados a frio, unidos principalmente por parafusos autobrocantes e pinos especiais, formando painéis de paredes e estrutura de laje e cobertura, compondo um conjunto autoportante, apto a receber os esforços emitidos pela edificação (CAIXA, 2003).

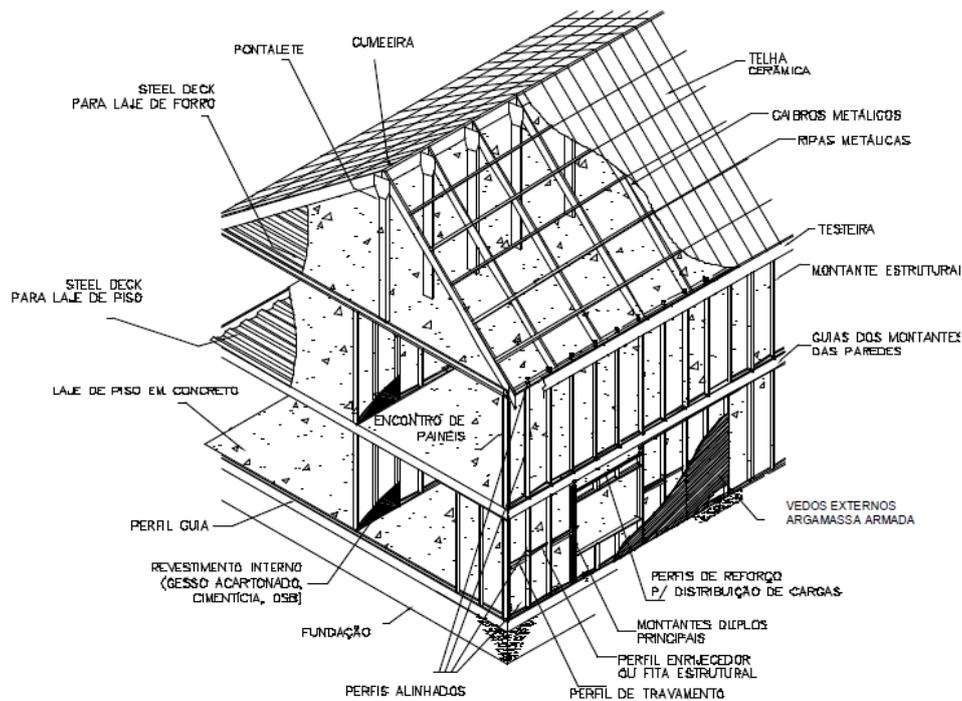
Conforme a diretriz SINAT 003/12, sistemas em *Steel Frame*, são tais, cuja principal característica é ser estruturado por perfis de aço conformados a frio, com revestimento metálico e fechamento em chapas delgadas.

Nesta situação, os perfis de aço são dimensionados para atuar em substituição aos pilares e vigas de concreto, de forma que juntamente com elementos de fechamento, como chapas cimentícias, OSB, gesso acartonado, PVC, entre outros elementos, possam complementar os painéis.

A vedação é complementada por elementos que possam garantir a estanqueidade às ações oriundas da variação da temperatura, como mantas, que possam atuar também como isolantes acústicos, impermeabilizantes, a fim de atender as prescrições mínimas de desempenho.

Na Figura 2.10, busca-se mostrar o esquema estrutural de uma habitação em *Steel Frame*, demonstrando a função de elemento estrutural dos perfis de aço, com a estrutura das paredes, nomenclatura dos seus elementos e os pontos críticos dos painéis de parede. A diretriz SINAT 003/2012 apresenta os vários requisitos que devem ser respeitados nas etapas de projeto e execução do sistema construtivo.

Figura 2.10 - Vista da estrutura de uma habitação em *Steel Frame*.



Fonte: CBCA (2015)

Na implantação deste sistema, cuidados como interface das paredes com as lajes de piso e fundações são relevantes, a fim de, por exemplo, garantir a estanqueidade do sistema.

As ligações entre as fundações, normalmente o radier, e a estrutura são evidenciadas onde as guias de piso são parafusadas ao radier pelo chumbador, com inserção anterior de elemento nivelador entre a superfície do radier e a guia de piso.

Os montantes de aço são fixados dentro da guia de piso, a cada 40 cm, com posterior colocação de barreira impermeável, manta para impermeabilização, pingadeira, e por fim a chapa de fechamento, todas na face externa.

Nas faces internas, tem-se de baixo para cima, em sequência, um vedante flexível, com posterior fixação da chapa de gesso acartonado, impermeabilização (caso seja área molhada), massa de regularização e pintura ou revestimento impermeável (no caso de banheiros e cozinhas).

Com relação a este sistema, Oliveira *et al.* (2011) colocam a questão da preocupação no atendimento à Vida Útil de Projeto - VUP da edificação, frente às soluções ainda inovadoras no país, como é o sistema em *steel frame* ou *light steel framing*, com atenção ao uso e manutenção corretos, através de manual adequado.

Oliveira *et al.* (2011), reforçam que a associação de projeto, planejamento executivo da obra, execução do sistema, adoção de materiais e detalhes construtivos, são de importância vital para o sistema.

2.8.3 Vedações em Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto

O sistema construtivo em alvenaria estrutural de blocos de concreto é normalizado pela ABNT NBR 15961-1:2011, ABNT NBR 15961-2:2011 e demais normas complementares.

Uma estrutura de alvenaria estrutural deve ser projetada de modo que esteja apta a receber todas as influências ambientais e ações que sobre ela produzam efeitos significativos tanto na sua construção quanto durante a sua vida útil de projeto. Devem-se resistir às ações excepcionais, como explosões e impactos, sem apresentar danos desproporcionais às suas causas.

Com relação à qualidade de projeto, a ABNT NBR 15961-1:2011 e a ABNT NBR 15961-2:2011 prescrevem que se deve adotar: Sistema estrutural adequado à função desejada para a edificação; Ações compatíveis e representativas; Dimensionamento e verificação de todos os elementos estruturais presentes; Especificação de materiais apropriados e de acordo com os procedimentos efetuados; Procedimentos de controle para projeto.

Com relação à documentação do projeto, na ABNT NBR 15961-1:2011 e ABNT NBR 15961-2:2011 prescreve-se que o mesmo deve ser constituído por desenhos técnicos e especificações. Por desenhos técnicos, compreende-se que deverão haver plantas de fiadas diferenciadas e as elevações de todas as paredes.

Também devem ser apresentados o posicionamento dos blocos especiais, detalhes de amarração das paredes, localização dos pontos grauteados e armaduras e posicionamento das juntas de controle e de dilatação.

As especificações de projeto devem conter as resistências características à compressão dos prismas e dos grautes, as faixas de resistência média à compressão das argamassas, assim como a categoria, a classe e a bitola dos aços a serem adotados.

Parzekian *et al.* (2012) afirmam que alvenarias estruturais em edifícios funcionam como elementos estruturais, suportando ou resistindo aos carregamentos e ações, e também como elementos de vedação ou arquitetônicos, dividindo ou protegendo os ambientes. Em ambas as situações essas podem ser aparentes, texturizadas ou revestidas.

A regra básica para o sistema em alvenaria estrutural é o conceito de módulo, que começa o trabalho pelo projeto de arquitetura, o qual deve determinar a modulação horizontal e vertical, de modo que os vãos sejam múltiplos deles mesmos, para um melhor aproveitamento dos componentes, formando um conjunto em um sistema racional.

A modulação transforma os demais componentes como portas, janelas, shafts e elementos especiais, em uma linha de montagem, já que os vãos múltiplos proporcionam maior racionalidade.

O projeto de alvenaria estrutural de blocos de concreto é caracterizado pela apresentação das plantas de fiadas e das elevações, assim como dos detalhes complementares auxiliares, de forma que a mão de obra tenha todas as informações necessárias para apenas montar a obra, baseada nas informações detalhadas do projeto.

Na execução das paredes da habitação, a partir das plantas de fiadas e de paginações de paredes, os elementos são edificados, segundo as observações dispostas nos referidos projetos, de forma a cumprir com o estudo na fase de concepção.

Quanto aos requisitos de conforto térmico e acústico, Parzekian *et al.* (2012), afirmam que segundo as prescrições da ABNT NBR 15575:2013, o uso de blocos de concreto com 14 cm de espessura, revestimento externo de 2 cm e revestimento interno de 1 cm são suficientes para garantir o desempenho térmico do componente construtivo em mais de 70 % das cidades brasileiras.

Com relação ao desempenho acústico, Parzekian *et al.* (2012), também concluem que para paredes de blocos de concreto de 14 cm, as mesmas apresentaram 44 dB, sem revestimento.

Ressalta-se que neste sistema construtivo, a compatibilização dos projetos é fator determinante para o sucesso de sua implementação, afetando diretamente o resultado financeiro.

Do ponto de vista do conhecimento da tecnologia, o sistema em alvenaria estrutural tem considerável nível de aceitação tanto por parte dos usuários, como por parte da mão de obra, sendo também bastante coberto por vasta informação técnica e normalização.

2.8.4 Vedações constituídas por estruturas de concreto armado e blocos cerâmicos vazados

Sistema construtivo mais adotado no país, visto que é o mais difundido em todas as regiões, constituído basicamente como sendo uma estrutura reticulada formada pela interação de pilares, vigas e lajes, perfazendo um conjunto tal que, com as vedações de alvenaria ou outras, constitui o conjunto estrutural dos edifícios.

Este sistema construtivo é normatizado pela ABNT NBR 6118:2013 e suas normas complementares e as normas ABNT NBR 15270-1:2005, ABNT NBR 15270-3:2005 de blocos cerâmicos e complementares.

A execução da alvenaria convencional é realizada em geral, após a execução da estrutura reticulada, de forma que conforme as fiadas sejam assentadas, estas tenham uma ligação rígida com os pilares. No encontro das paredes com as vigas, deve haver um encunhamento, a fim de preencher o espaço entre a parede e o fundo das vigas, de forma a consolidar o painel à estrutura, com foco num sistema posterior monolítico, que possa suprir a estrutura de condições para que esta possa suportar as ações permanentes e acidentais.

Na norma ABNT NBR 15575-4:2013, há uma orientação sobre o desempenho de edificações habitacionais, apresentando-se os requisitos para os SVVIE. No Apêndice M apresentam-se os requisitos para o desempenho térmico, acústico e de Vida Útil de Projeto (VUP).

2.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Para propiciar o embasamento sobre a ACVE de vedações de HIS, buscou-se tratar dos conceitos relacionados, como a sustentabilidade e as habitações, a partir das ligações dos aspectos econômico, social e ambiental. O tema deste trabalho encontra-se inserido na questão da sustentabilidade energético-ambiental, a partir da análise de ciclo de vida, sob o aspecto da Energia Incorporada.

O consumo de energia na cadeia produtiva da construção é relevante em todo o mundo, assim como o consumo de jazidas de materiais não renováveis e seus impactos ao meio ambiente.

As habitações térreas são uma parte importante da indústria da construção, como consumidora de recursos naturais para abastecer o ciclo produtivo a partir dos sistemas construtivos adotados e suas particularidades. Cumpre assinalar que os sistemas de vedações verticais aplicados nas habitações representam até 60% da Energia Incorporada (SPOSTO e PAULSEN, 2013) com referência às tipologias térreas, sendo seu estudo relevante para a compreensão da Energia Incorporada nas fases do ciclo de vida.

A metodologia de estudo de ACV, já em vasta aplicação nos países desenvolvidos, ainda se insere aos poucos nos países em desenvolvimento como o Brasil, avaliando o comportamento ambiental de produtos, processos e sistemas. Por conseguinte, uma ACV completa apresenta larga complexidade metodológica e custos, limitando a aplicação num primeiro momento em setores ainda não detentores de base de dados com inventários mínimos a fim de embasar os levantamentos necessários.

A indústria da construção no Brasil ainda é carente de um banco de dados que possa permitir a presença de inventários dos principais insumos utilizados, como cimento, aço, madeira e agregados. Ademais, o setor da construção ainda não foi totalmente incentivado na busca do desenvolvimento destes inventários e na divulgação dos mesmos. Entretanto, em 2010, implementou-se o PBACV, programa importante para a massificação de inventários que venham contribuir para metodologias como a ACV, juntamente como o alinhamento com o Sistema Internacional de Referência de Dados de Ciclo de Vida de Produtos e Processos (ILCD, na sua sigla em inglês).

Iniciativas como do CBCS, visando contribuir com a discussão do tema no setor da indústria da construção tem sido igualmente relevantes para a realidade brasileira. Todavia, denota-se que o CBCS defende uma simplificação da ACV a partir da redução do inventário ambiental, numa linha de trabalho um pouco diferente daquela adotada pelo PBACV, onde a metodologia de ACV completa é tida como primordial.

Nesta perspectiva, a ACVE constitui-se em recorte da ACV, a partir do levantamento de dados de consumo energético nas fases de vida de um produto, demarcando os fluxos

energéticos necessários para produção deste na fase de pré-uso, por meio da extração, da manufatura e montagem, considerando a vida útil e consequentes manutenções até a desconstrução e destino final, encerrando o ciclo de vida.

Autores nacionais e internacionais afirmam, segundo a revisão teórica, que a falta de banco de dados tem sido fator de dificuldade para subsidiar os inventários de consumo energético.

No entanto, espera-se com o desenvolvimento gradual do tema, em especial no Brasil, nos últimos anos, tendo em vista o fomento de bancos de dados, que ocorra o avanço de programas como o PBACV e integração dos centros de pesquisa no tema, possibilitando inventários de consumo energético e análises de sustentabilidade ambiental em formatos como a ACVE. Por conseguinte, após a revisão teórica, apresenta-se na sequência a metodologia do trabalho, a qual expõe os procedimentos para atingir os objetivos propostos.

3. MÉTODO DE PESQUISA

3.1 INTRODUÇÃO

Preliminarmente, do ponto de vista metodológico, segundo Gerhardt e Silveira (2009), a metodologia científica trata de método e ciência, sendo o método o caminho em direção a um objetivo. Assim, a metodologia é o estudo do método, ou seja, conjunto de regras e procedimentos estabelecidos para realizar uma pesquisa.

Complementa-se ainda conforme Gerhardt e Silveira (2009), que os métodos de pesquisa devem ser identificados quanto à sua abordagem, natureza, objetivos e procedimentos.

Aponta-se, quanto à abordagem, que o método desta pesquisa é classificado como quantitativo. Quanto à natureza, classifica-se como pesquisa aplicada. Concernente aos objetivos trata-se de pesquisa exploratória/descritiva. Com relação aos procedimentos, qualifica-se como um estudo de caso para as fases de pré-uso e uso e manutenção e um estudo experimental para a fase de desconstrução.

Com base nas classificações anteriores, pode-se citar Yin (2005), o qual afirmou que em geral, os estudos de caso representam a estratégia preferida quando se colocam questões

do tipo “como” e “por que”, quando o foco encontra-se em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real. Ainda, afirma que os estudos de caso podem ser exploratórios e descritivos.

A par dessa linha, cumpre assinalar que Calado e Montgomery (2003), definem que estudo experimental é um teste ou séries de testes nos quais propositadamente mudanças são realizadas para as variáveis de entrada de um processo ou sistema, tal que pudesse observar e identificar razões para mudanças na variável resposta.

Na definição das variáveis dependentes e independentes, com base em Gerhardt e Silveira (2009), definiu-se que a Energia Incorporada (EI) seria a variável dependente e que os insumos, EI unitária, perdas, local de extração/indústria, massa e EI de transporte, seriam as variáveis independentes.

Com as definições teóricas metodológicas definidas, efetivou-se um programa-piloto para a fase de desconstrução, incluindo a realização de ensaios para todos os sistemas construtivos de vedação analisados.

Quanto às definições do sistema, função e unidade funcional, a partir da norma ABNT NBR ISO 14040:2009, considerou-se a aplicação de uma ACVE em SVVIE para HIS, do berço ao túmulo, tendo como função a vedação vertical e como unidade funcional, o metro quadrado (m²) de área construída.

3.2 METODOLOGIA PARA OBTER OS QUANTITATIVOS DE EI

Tavares (2006) identificou quatro métodos de obtenção do consumo energético (direto e indireto) para fabricação e distribuição de um produto: análise de processo, análise estatística, análise por matrizes insumos x produtos e análise híbrida. Continuando, o método híbrido apresenta a vantagem de integração de todos os métodos, reduzindo as incertezas.

Dixit *et al.* (2010), Ding (2004), Lenzen (2006), Fay e Treloar (1998), Treloar (1998) Crawford e Treloar (2005) e Pullen (2000), também discutiram os métodos de obtenção. Langston e Langston (2008), Crawford e Treloar (2005) e Alcorn e Baird (1996) após pesquisas, consideraram o método híbrido como mais completo na análise do ciclo de vida dos edifícios.

Desta forma, adotou-se o método de análise híbrida, buscando-se listar os insumos considerados em cada etapa do estudo de caso, apontando a Energia Incorporada (EI) e indicando a sua fonte, conforme o Apêndice I.

O Estudo de caso/experimental avaliando os quatro tipos de vedações resultou em valores de EI nas fases de pré-uso, uso e manutenção e desconstrução, conforme definido anteriormente.

Os ensaios-piloto da fase de desconstrução permitiram uma correlação entre os dados coletados no estudo de caso e as informações reais de desconstrução nos ensaios, complementando a metodologia proposta.

Na Figura 3.1, apresenta-se as macro-atividades desenvolvidas no trabalho.

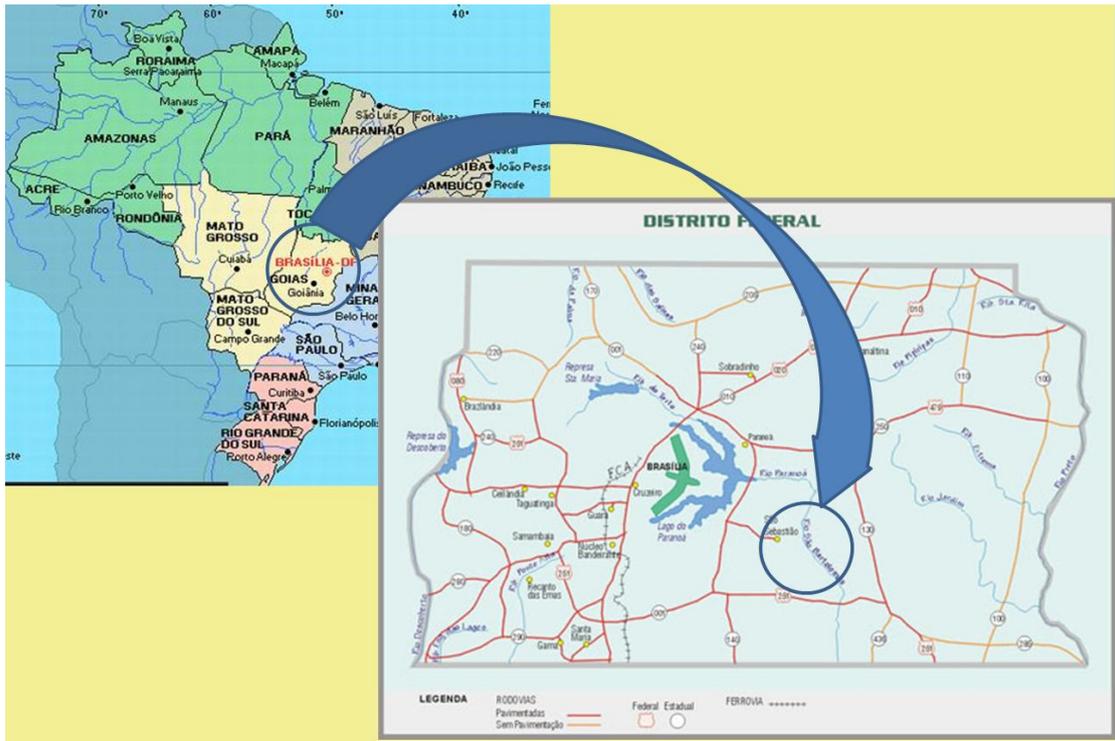
Figura 3.1 - Macro-atividades da metodologia



Fonte: Autor

Como local para o estudo de caso (Figura 3.2), estabeleceu-se a cidade de São Sebastião, no entorno de Brasília, no DF, a fim de fixação de um local de referência para efetuar o levantamento da EI de transporte. De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), esta região está enquadrada na zona bioclimática 4.

Figura 3.2 - Localização da cidade de São Sebastião, no DF



Fonte: Adaptado de www.guianet.com.br, acessado em 10/09/2015

Quadro 3.1 - Etapas do estudo de caso e estudo experimental

Macro-atividade	Passos realizados para levantar a EI total
Etapas	<ul style="list-style-type: none"> • Definição da arquitetura e elaboração de projeto arquitetônico; • Definição dos SVVIEs: Parede de concreto moldada no local, Alvenaria estrutural de blocos de concreto, <i>Steel frame</i> e Sistema convencional de estrutura de concreto armado e alvenaria de vedação; • Projeto estrutural das quatro tipologias de SVVIE, seguindo a arquitetura adotada. Estes projetos foram embasados nas normas prescritivas existentes no Brasil, nas diretrizes e DATECs do SINAT (para o caso do <i>Steel frame</i>); • Elaboração de planilha de serviços, relativos aos SVVIEs; • Quantificação dos materiais que compõem os serviços (através de referências como a TCPO); • Cálculo da Energia Incorporada em GJ/m² para cada SVVIE, para cada fase (pré-uso, uso e manutenção e desconstrução); • Correção dos valores de EI nas fases de manutenção e desconstrução; • Cálculo da EI total (EI_{total}) nas três fases do ciclo de vida; • Soma de cada SVVIE em GJ/m², a fim de parametrizar a comparação entre os sistemas construtivos de vedações no aspecto da EI.

O estudo de caso/experimental, envolvendo os SVVIEs adotados teve a finalidade de aferir a EI nas fases mencionadas, a partir de estudo dos constituintes de cada tipologia.

No Quadro 3.1, descreve-se as etapas realizadas de forma cronológica, a fim de se obter os insumos desejados para apropriar a EI.

Com base nas quantidades de materiais e associando estas às referências de EI existentes, chegou-se a um valor em GJ/m² para cada sistema de vedações, em cada fase (pré-uso, uso e manutenção e desconstrução).

Nas fases de uso e desconstrução, para calcular o valor final de EI, os valores de EI relativos aos dados de energia de uso final, normalmente fornecidos em KWh, foram corrigidos por um fator de correção (FC), a fim de transformar este dado energético em energia primária, considerando as perdas na transformação e na transmissão até o uso final. Para os demais dados de EI, não se realizaram as correções, devido às incertezas de consideração dessas, pois os dados são secundários.

Na Figura 3.3, apresenta-se de forma simplificada as etapas que compuseram o estudo de caso para as fases de pré-uso e uso e manutenção e ensaios na fase de desconstrução.

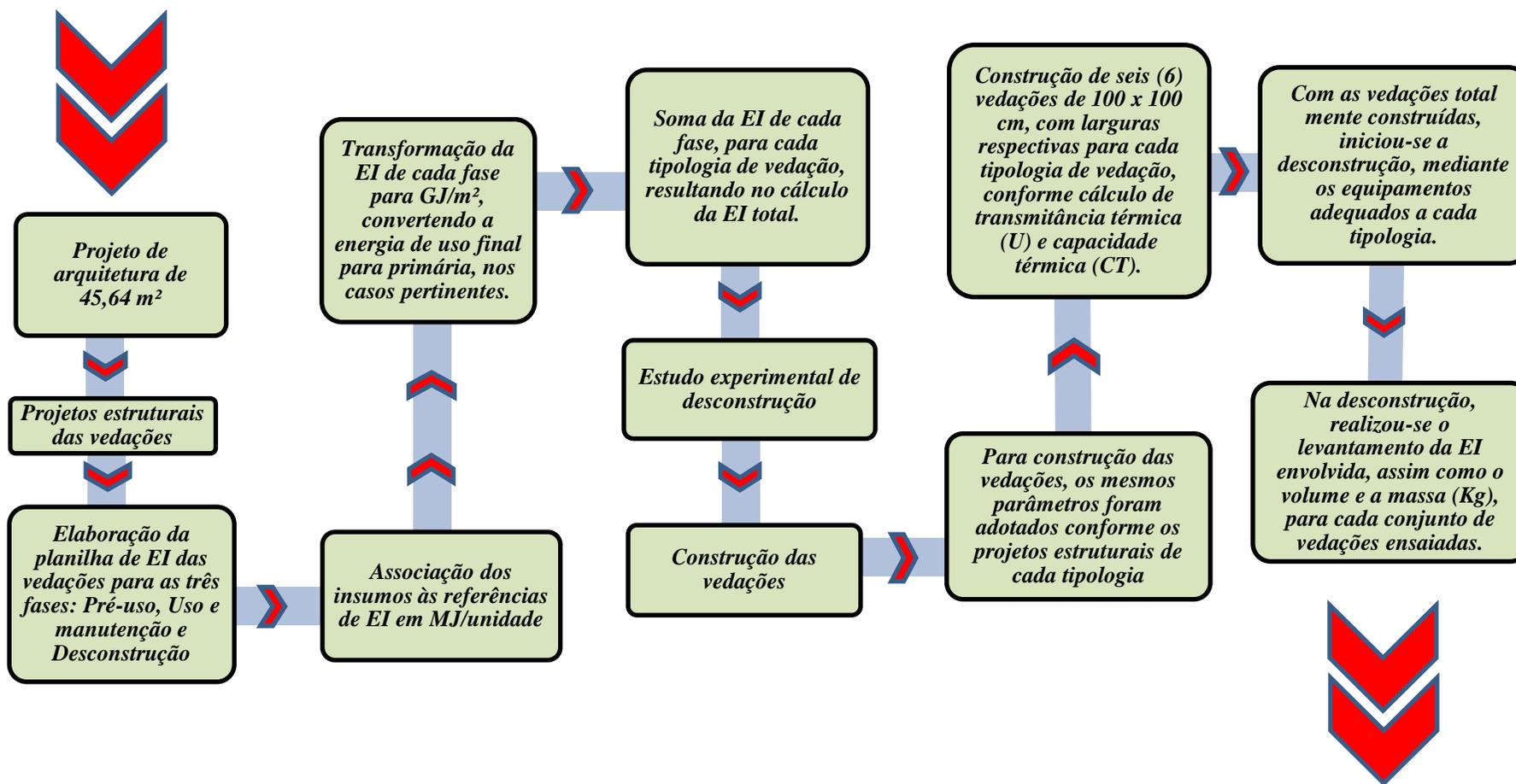
Nas três fases do ciclo de vida, contabilizou-se a EI no transporte, sendo adicionada ao somatório da EI de cada vedação, proporcionando um valor em GJ/m², a fim de parametrizar os dados encontrados.

Após o estudo de caso, com os SVVIEs estudados, foi possível comparar a EI nas três fases do ciclo de vida. A fim de tentar visualizar melhor a etapa de desconstrução, realizou-se um conjunto de ensaios, com cada um dos SVVIEs em escala reduzida (para largura e altura) na proporção 1:3. No Quadro 3.2, explicam-se as etapas realizadas.

Quadro 3.2 - Etapas dos ensaios de desconstrução

Macro-atividade	Ensaio da fase de desconstrução com os SVVIEs adotados
Etapas	<ul style="list-style-type: none">• Com base nos projetos, foram construídos 6 (seis) vedações de dimensões 100 (cem) x 100 (cem) cm de cada SVVIE, totalizando 24(vinte e quatro) corpos de prova;• Para cada vedação, foi aferida a EI para desconstrução, levando em conta a especificação de cada equipamento adotado para as operações;• A soma da EI encontrada na etapa de ensaios foi utilizada na contabilização total da EI.

Figura 3.3 - Etapas realizadas no estudo de caso nas etapas de pré-uso e uso e manutenção e ensaios na fase de desconstrução



Fonte: Autor

Nos ensaios de desconstrução, com os projetos estruturais dimensionados, foram construídas as vedações, num total de seis para cada SVVIE da pesquisa. Após a construção, com o catálogo dos equipamentos utilizados, a EI dos mesmos na atividade foi catalogada, de forma a compor o resultado para cada parede, para compilação posterior dos resultados.

O conjunto de seis vedações para cada tipologia de vedação justificou-se pela questão da validade dos resultados perante os testes de desvio padrão e coeficiente de variação, na direção de índices de confiabilidade dos valores obtidos na coleta de dados.

A partir dos resultados de EI para cada SVVIE, estes foram inseridos nos cálculos da etapa de desconstrução dos estudos de caso.

Com a descrição dos passos necessários para o ao cálculo de EI total para os sistemas de vedação, no Item 3.3 explica-se detalhadamente como foram realizados os estudos de caso. Para melhor compreensão, denominou-se de estudos de caso a parte relativa às fases de pré-uso e uso e manutenção.

Posteriormente, no Item 3.4, explica-se detalhadamente como foi implementado o estudo experimental, que compreendeu a fase de desconstrução, envolvendo as atividades de ensaios reais com as paredes de vedação pesquisadas.

3.3 ESTUDO PARA AS FASES DE PRÉ-USO E USO E MANUTENÇÃO

Para organizar o levantamento, o ciclo de vida foi dividido em três fases (pré-uso, uso e manutenção e desconstrução) a fim de determinar a EI total. Concernente à metodologia, dividiu-se as fases de pré-uso e uso e manutenção como sendo estudo de caso e a fase de desconstrução como sendo um estudo experimental.

3.3.1 Definição do projeto de arquitetura

Ante o exposto, definiu-se a arquitetura da habitação, tomando-se um projeto para transmitir a realidade da tipologia implementada no país (HIS), em termos de área construída, características geométricas, sistemas construtivos referenciados, inserido nos parâmetros dos órgãos financiadores oficiais de densidade e abrangência.

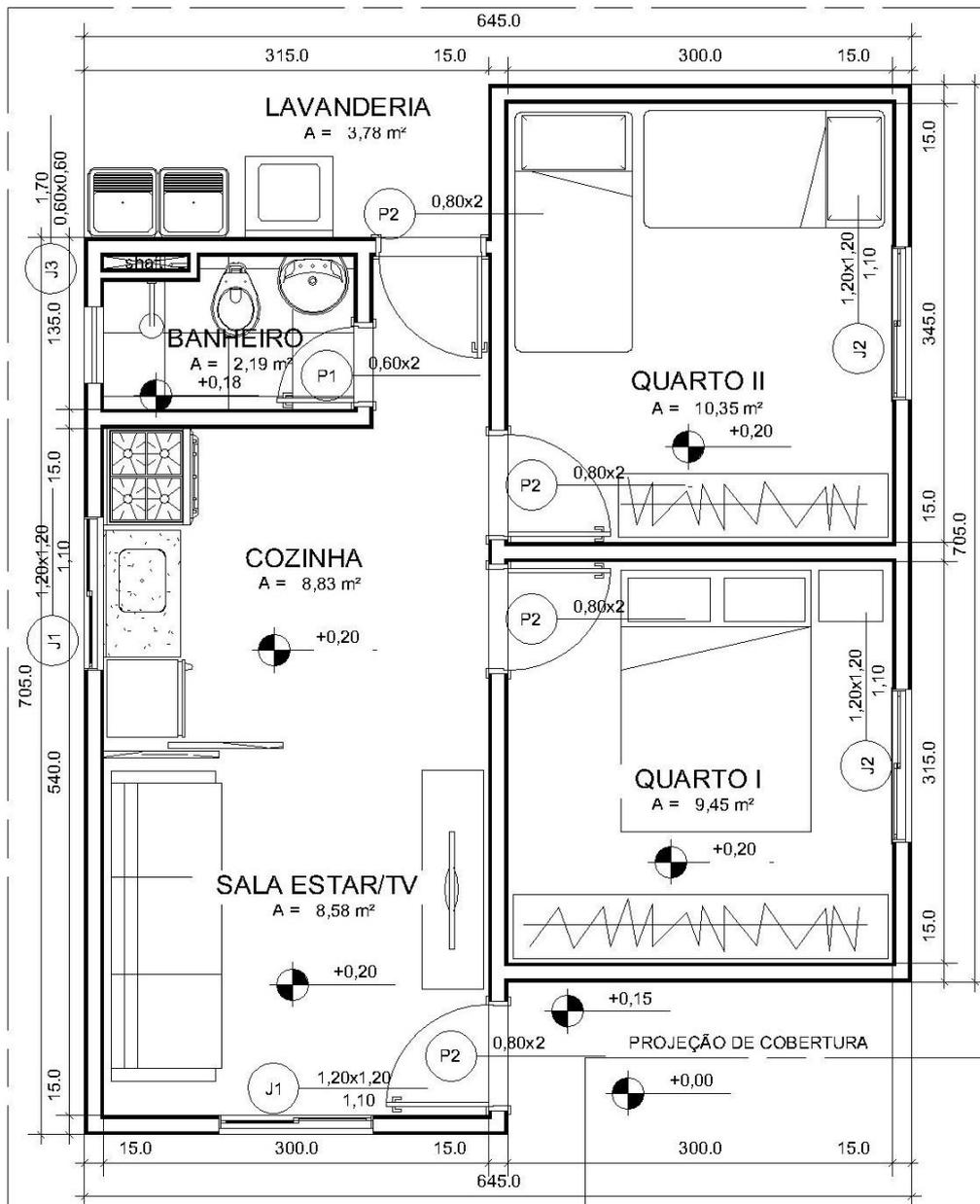
Desta forma, definiu-se uma área de 45,64 m², a fim de contextualizar com a realidade de uso desta tipologia. Nas Figuras 3.4 e 3.5, mostram-se as perspectiva e a planta baixa da habitação tomada como modelo para a pesquisa, respectivamente.

Figura 3.4 - Perspectivas do projeto padrão adotado



Fonte: Autor

Figura 3.5 - Planta baixa do projeto padrão de 45,64 m²



Fonte: Autor, a partir das especificações de CAIXA (2011) e CAIXA (2013)

O trabalho teve como parâmetro o conjunto de “Especificações Mínimas”, segundo CAIXA (2011), uma das instituições financeiras intervenientes do programa. As referidas especificações estão listadas no Anexo A e a planta baixa da habitação no Apêndice A.

As fachadas da habitação pesquisada estão apresentadas na Figura 3.6, na qual são apresentadas as quatro vistas externas, sendo os cortes mostrados na Figura 3.7.

Figura 3.6 - Fachadas. a) principal; b) posterior; c) lateral direita; d) lateral esquerda



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Autor

Figura 3.7.- Cortes. a) Sem cobertura; b) Horizontal; c) Longitudinal; d) Transversal



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Autor

3.3.2 Sistema de Produto e Unidade Funcional dos SVVIEs

O Sistema de Produto é o conjunto de operações que constituem cada um dos estágios do ciclo de vida de um produto, para cada um dos quais serão coletados os dados de entrada e saída de matéria e de energia durante um estudo de ACV (SILVA *et al.*, 2010).

Como Sistemas, os SVVIEs adotados foram apresentados de acordo com suas características principais, com a função de desempenho térmico e a vida útil para atendimento à ABNT NBR 15575:2013 e ABNT NBR 15220:2005. A função dos sistemas foi definida como a vedação vertical em um projeto de habitação térrea.

No que tange a norma ABNT NBR ISO 14040:2009, a unidade funcional foi o desempenho quantificado de um sistema de produto para ser utilizado como unidade de referência em um estudo de ACV. O objetivo de uma unidade funcional é o de proporcionar referências para que as entradas e saídas estejam relacionadas. Essas referências são necessárias para assegurar a comparabilidade dos resultados.

Comparações de resultados de ACVE são particularmente críticas quando diferentes sistemas estão sendo contrastados, devendo-se garantir que operações como esta, sejam realizadas em uma base comum. Prosseguindo, a unidade funcional para os SVVIEs pesquisados foi o metro quadrado de área construída, avaliando as vedações internas e externas.

Como garantia para o desempenho dos sistemas, avaliados na unidade funcional m², inicialmente consideraram-se vedações com espessura total de 15,5 cm e atendimento a função de desempenho térmico, de acordo com a Tabela 3.1.

Por conseguinte, adotou-se como parâmetro a transmitância térmica $U \leq 3,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e capacidade térmica $CT \geq 130 \text{ KJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, desde que $\alpha \leq 0,6^{11}$, fixando a zona bioclimática de Brasília (zona 4) e vida útil mínima de 50 anos. Na Tabela 3.1, apresenta-se os resultados do cálculo para U e CT.

¹¹ α é entendido, segundo a ABNT NBR 15575/2013, como sendo a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede, de forma que para o mesmo ser menor ou igual a 0,6, torna-se necessário que a parede receba pintura na cor clara.

Tabela 3.1 - Valores de U e CT para as vedações pesquisadas (SVVIE)

Vedações	Transm. térmica (W/m ² .K) - U	Capac. térmica (KJ/m ² .K) - CT
Concreto	3,70	420
Convencional	2,25	142
Alvenaria estrutural	3,07	264
<i>Steel Frame</i>	0,29	133

Obs: SVVIE CONC – Vedação de concreto; SVVIE CONV - Vedação com bloco cerâmico; SVVIE ALES - Vedação de alvenaria estrutural; SVVIE STFR - Vedação de *Steel Frame*

Na definição das larguras¹² das vedações de parede de concreto armado, embora, os cálculos de U e CT tenham indicado que a largura mínima deveria ser de 17,5 cm, a largura adotada foi de 10 cm para paredes externas e internas.

Quanto aos demais SVVIE, foram definidas a espessura final das vedações em 15,5 cm para convencional e alvenaria estrutural, sendo de 14,8 cm para *steel frame*, todos conforme os cálculos de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT), apresentados na Tabela 3.1.

Na Tabela 3.2, estão expostas as larguras de parede adotadas para cada SVVIE.

Tabela 3.2 - Larguras das vedações pesquisadas

Espessuras / Vedações	SVVIE CONC	SVVIE CONV	SVVIE ALES	SVVIE STFR
Espessuras (cm)	10,00	15,50	15,50	14,80

Os projetos estão explicitados de forma completa nos Apêndice C, Apêndice D, Apêndice E e F.

3.3.3 Elaboração das planilhas de serviços e materiais

Para melhor compreensão, nas fases de pré-uso e uso e manutenção, os dados foram extraídos da etapa de estudo de caso (conforme se denominou, segundo aspectos metodológicos). Já na fase de desconstrução, os dados foram retirados do estudo

¹² Definiu-se as larguras das vedações com base nas prescrições da DIRETRIZ SINAT DATEc n° 010/2012, a qual apresenta a avaliação de desempenho térmico do SVVIE com larguras de 10 cm e concreto de 25 MPa, realizada por simulações computacionais (segundo critério descrito na Diretriz SINAT 001/Revisão 02 (2011)). As simulações realizadas na Diretriz consideraram as oito zonas climáticas brasileiras constantes na ABNT NBR 15.220, as quais indicaram níveis adequados de desempenho térmico em todos os ambientes de longa permanência das habitações, tanto para inverno quanto para verão.

experimental. Isto posto, foi possível mensurar a EI em cada etapa, segundo a Tabela 3.3, que explicita a forma de organização destes dados.

A Tabela 3.3 foi utilizada nas três fases de análise da ACVE (pré-uso, uso e manutenção e desconstrução), sendo que em cada uma foram levantados os serviços necessários para compor as vedações dos SVVIEs, com os quantitativos respectivos, relacionados às suas unidades de medida.

Prosseguindo, a EI de cada fase foi adquirida junto às bases de dados existentes (dados secundários), consoante Lobo (2010), Tavares (2006), Caminatti Jr. (2012), Nabut Neto (2011), Uribe (2013), Paulsen e Sposto (2013) e Maciel (2013).

A EI da fase de desconstrução foi calculada a partir do estudo experimental (dados primários), sendo no decorrer das operações de cálculo, elaborada a EI total de cada insumo e por conseguinte, da etapa pesquisada.

A Tabela 3.3 apresenta colunas em sequência, na seguinte ordem: insumos, % de perdas de cada insumo, total de insumos somados às perdas, dado de EI primário ou secundário, referência do autor em que foi baseado o dado de EI, EI total do insumo sem a consideração do transporte, cidade de origem de cada insumo relacionado.

Ainda considera-se a distância percorrida até o local de estudo, massa específica do insumo em kg/unidade, massa em toneladas para transportar, EI de transporte, EI total de transporte e finalmente a EI total da fase contabilizada, considerando a EI dos materiais e do transporte destes.

No que tange às perdas, considerou-se as referências de Agopyan *et al.* (1998) e Formoso *et al.* (1998), a fim de que o consumo de EI fosse contabilizado com a finalidade de somar-se ao dado original de cada insumo.

Assim sendo, para cada insumo foi considerado o seu local de origem, a fim de contabilizar a distância até a cidade de São Sebastião, DF, de modo a proceder ao cálculo da EI de transporte.

Cumprasse assinalar que na lista de insumos que compuseram cada fase, naqueles onde a unidade foi diferente de Kg, a partir da massa específica, todos tiveram a massa transformada para Kg, de modo a transformar todas as quantidades para a unidade de toneladas.

Tabela 3.3 - Modelo de planilha de cálculo da EI total para cada SVVIE

SVVIE: Nome: _____ – Área construída: 45.64 m ² - Área de vedações internas e externas na habitação: 125,02 m ²														
Fase (PRÉ-USO, USO E MANUTENÇÃO, DESCONSTRUÇÃO)														
Descrição dos insumos que estão contidos na fase da ACVE	Unidade	A	B	C= (A+(B*A)/100)	D	Autor adotado como referência do dado de EI unitária	E = (C x D)	Cidade de origem do insumo	F	G	H = (C xG)	I	J = (F xH xI)	K= (E+J)
		Insumos para uma habitação	Perdas (%)	Insumos habitação com perdas	Dado de EI (MJ)/Und de cada insumo		EI (MJ) total do insumo		Distância percorrida pelo insumo até a obra em Km	Massa específica do insumo em Kg/Und	Massa para transportar (toneladas)	EI Transp. MJ /(Ton . Km)	EI Transp. TOTAL	EI (MJ) TOTAL
Nome insumo														
												EI (MJ) Total		
												EI (GJ) Total		
												EI (GJ)/(45,64 m ²)		

Ao considerar a EI de transporte, foi adotado o dado secundário descrito por Nabut Neto (2011), o qual pesquisou no DF, a EI de transporte de caminhões cheios, determinando um valor de 0,0137 l/ton.km, que convertidos¹³, resultaram em 0,4864 MJ/ton.km. Com enfoque nesta referência, foi calculada a EI de transporte total de cada insumo.

Finalmente, foi contabilizada a EI Total de cada insumo com a adição da EI de transporte e a EI dos materiais totalizando com a parte equivalente às perdas. Ao final de fase a EI total foi contabilizada, com as devidas transformações de unidade, até um valor em GJ, efetuando o quociente pela área total da habitação, qual seja, 45,64 m².

3.3.4 Apropriação da EI aos materiais componentes dos SVVIEs

Conforme explicado em 3.3.3, para cada etapa da ACVE da habitação pesquisada, foram elencados os insumos pertinentes, dentro do escopo previsto, ou seja, estudo das paredes internas e externas da habitação nos quatro SVVIEs abordados.

Na fase de desconstrução, a EI foi multiplicada por um fator de correção – FC, o qual tem motivação no fato de que se torna necessária a correção da Energia de Uso Final para Energia Primária, conforme Item 2.6.3 da revisão teórica. O fator calculado foi de 1,62.

No Apêndice K, apresenta-se o processo de cálculo de EI nas três fases para cada SVVIE, onde levantou-se o total de EI para cada fase, total geral e particularmente para as vedações em paredes de concreto armado foi calculada a EI para uma habitação, considerando quatro condições para o uso das fôrmas de alumínio, quais sejam, uma única vez e 100 (cem), 500 (quinhentas) e 1000 (mil) reutilizações.

A par deste cenário de repetições, cumpre salientar que a reutilização é característica intrínseca do sistema em fôrmas de alumínio, sendo razão do uso sob ponto de vista comercial, em especial para obras com muitas unidades. Busca-se explorar no cálculo de EI, outros motivos para uso do sistema de vedações em parede de concreto.

Nessas condições, ao longo do capítulo 4, apresentam-se os resultados dos estudos de caso, juntamente com a discussão acerca destes.

¹³ 1 L Diesel = 35,58 MJ (NABUT NETO, 2011)

3.4 PROTÓTIPOS DE DESCONSTRUÇÃO

3.4.1 Descrição dos procedimentos de execução das vedações

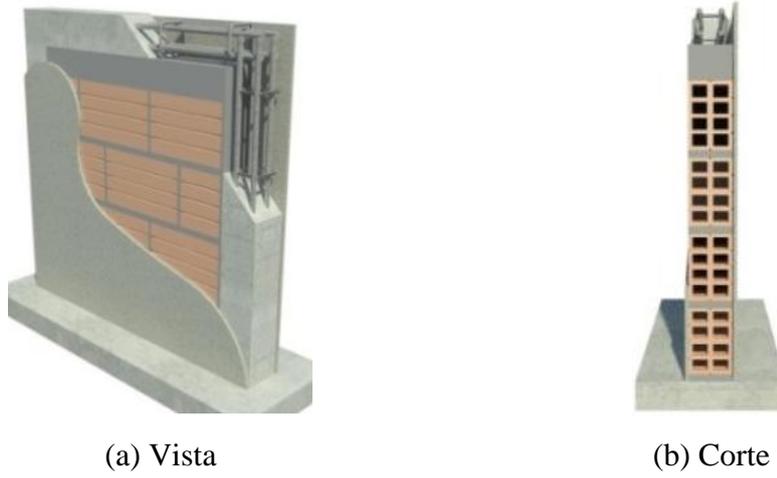
A construção das vedações foi realizada com o fim de quantificar a EI total para a desconstrução de cada SVVIE. Para tal, foram desenvolvidos 6 (seis) corpos de prova (CP), totalizando um conjunto de 24 (vinte e quatro) unidades.

Para o desenvolvimento dos protótipos, os materiais aplicados em cada sistema foram os seguintes:

- Convencional: Largura total da vedação de 15,5 cm, com blocos cerâmicos de 11,5 x 19 x 29 cm, em pórtico de pilares e viga, duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm, selador nas duas faces pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa com altura e comprimento de 100 cm;
- Concreto: Largura total da vedação de 10,0 cm, parede maciça de concreto armado, selador nas duas faces, pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa, altura e comprimento de 100 cm;
- Alvenaria estrutural: Largura total da vedação de 15,5 cm, com blocos de concreto com $f_{bk} = 3,0$ MPa, dimensões 11,5 x 19 x 24 cm, duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm, selador nas duas faces, pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa, altura e comprimento de 100 cm;
- *Steel frame*: Largura total da vedação de 14,8 cm, com perfis estruturais de aço galvanizado formado por guias de piso e teto, juntamente com os montantes, ambos com 90 mm de largura, uma placa de OSB de 18 mm em cada face, uma placa cimentícia de 10 mm na face externa e uma placa de gesso acartonado 12 mm na face interna, massa corrida na face interna, selador nas duas faces, pintura PVA na parte interna e textura acrílica rolada na face externa, sendo altura e comprimento de 100 cm.

Nessas condições, os ensaios seguiram os parâmetros previamente definidos segundo os projetos estruturais, dimensionados conforme o projeto de arquitetura da habitação pesquisada. Nesta linha, desde a Figura 3.8 até a Figura 3.11, buscou-se demonstrar a modelagem de cada um dos SVVIEs.

Figura 3.8 -Vedação convencional



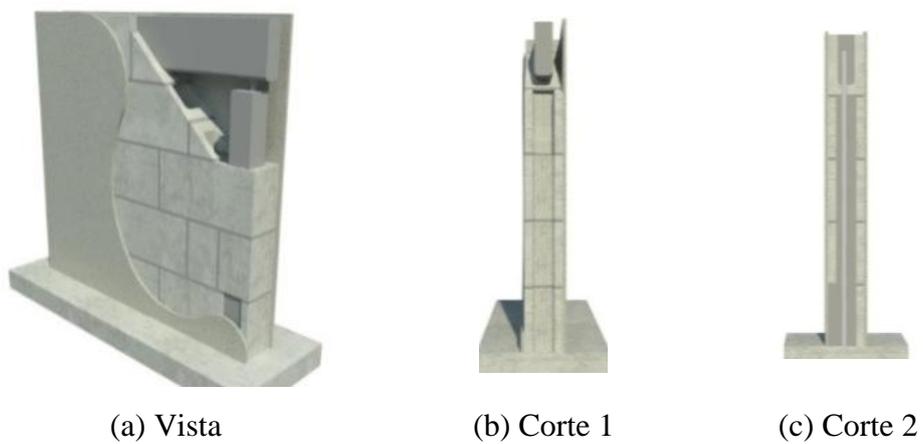
Fonte: Autor

Figura 3.9 -Vedação de parede de concreto



Fonte: Autor

Figura 3.10 -Vedação de alvenaria estrutural



Fonte: Autor

Figura 3.11 -Vedação de *steel frame*



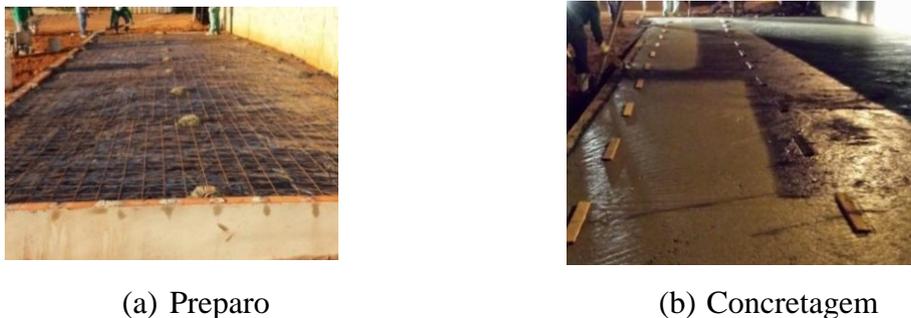
Fonte: Autor

Inicialmente, para que os estudos de caso tivessem seus cálculos efetivados, realizou-se um estudo piloto de vedações, o qual teve como objetivo a confirmação das larguras das mesmas, que já tinham sido determinadas nos cálculos de U e CT, mas que necessitavam de confirmação.

Posteriormente, com as informações coletadas da fase de desconstrução, em especial a EI, foi realizada a modelagem com os quatro SVVIE abordados, nas três fases do ciclo de vida, quais sejam, pré-uso, uso e manutenção e desconstrução. Além da EI, buscou-se os dados de volume e massa de cada amostra.

Para a realização dos ensaios, definiu-se um único local, de dimensões 4,5 x 15,0 m, para a edificação das 24 (vinte e quatro) amostras. O local teve pavimento de concreto com resistência característica à compressão de 20 MPa, construído especialmente para a construção, conforme demonstra-se na Figura 3.12.

Figura 3.12 - Base para ensaios



Fonte: Autor

Após a construção da base de suporte das amostras, procedeu-se a construção das mesmas, conforme cada projeto específico, resultando no conjunto apresentado na Figura 3.13.

Figura 3.13 - Amostras construídas e preparadas para a etapa de desconstrução



Fonte: Autor

3.4.1.1 Descrição da execução das vedações convencionais

Figura 3.14.- Sequência executiva das vedações de concreto armado

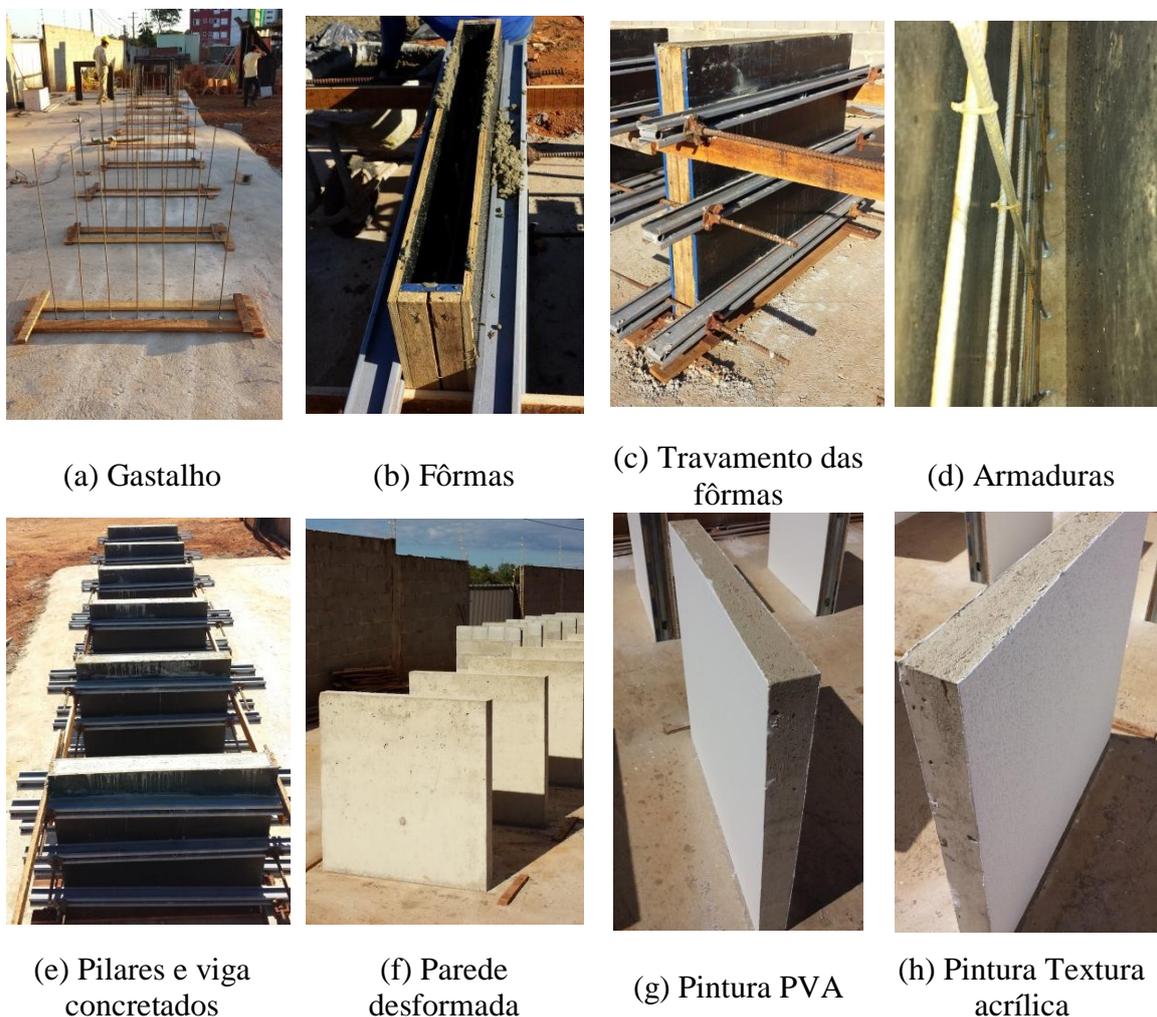


Fonte: Autor

3.4.1.2 Descrição da execução das vedações de parede de concreto moldado no local

Para as vedações de parede de concreto moldado no local, de acordo com o projeto estrutural, cálculos de U e CT, segundo a Tabela 3.1, foram construídas 6 (seis) amostras de 100 x 100 cm, de modo que pudessem representar em escala real, um trecho de 1 m² de parede. Na Figura 3.15, a sequência de construção é demonstrada.

Figura 3.15 - Sequência executiva das vedações de parede de concreto moldado no local

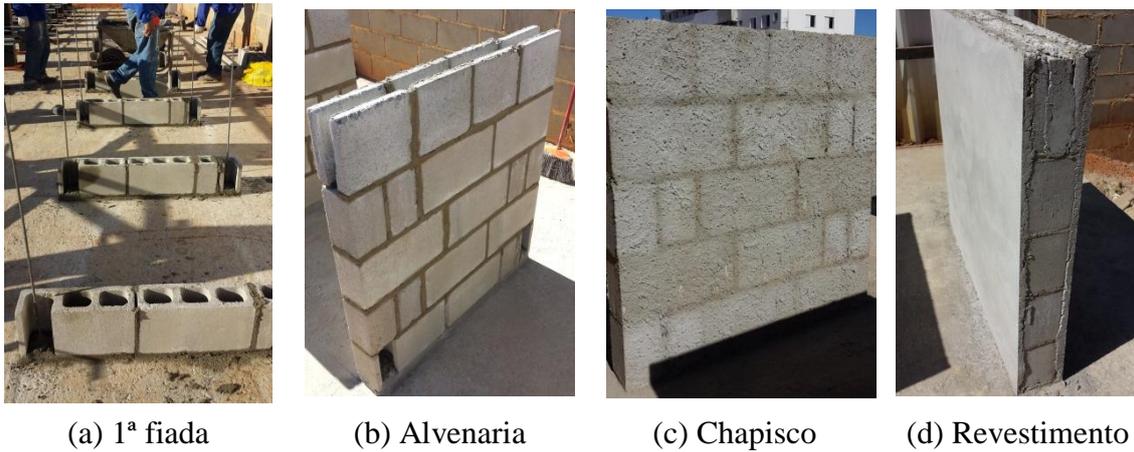


Fonte: Autor

3.4.1.3 Descrição da execução das vedações de alvenaria estrutural

Para as vedações de alvenaria estrutural de blocos de concreto, conforme o projeto estrutural, cálculos de U e CT, segundo a Tabela 3.1, foram construídas 6 (seis) paredes de 100 x 100 cm, de modo que pudessem representar em escala real, um trecho de 1 m² de parede. Na Figura 3.16, a sequência de construção é explicitada.

Figura 3.16 - Sequência executiva das vedações de alvenaria estrutural de blocos de concreto



(g) Pronta
Fonte: Autor

3.4.1.4 Descrição da execução das vedações de *steel frame*

Para as vedações de *steel frame*, conforme o projeto estrutural, cálculos de U e CT, segundo a Tabela 3.3, foram construídas 6 (seis) paredes de 100 x 100 cm, de modo que pudessem representar em escala real, um trecho de 1 m² de parede. Na Figura 3.17, é demonstrada a sequência executiva.

Figura 3.17 - Sequência executiva das vedações de *Steel Frame*



(a) Estrutura de guias e montantes



(b) Fixação da placa de OSB



(c) Lã de rocha



(d) Parede sem pintura



(e) Início da pintura



(f) Pintura



(g) Pintura textura acrílica



(h) Pintura em PVA

Fonte: Autor

3.4.2 Descrição dos procedimentos para a desconstrução das vedações

Conforme um dos objetivos do trabalho, após a construção das vedações, houve a necessidade de definição dos equipamentos que seriam adotados para desconstrução e respectivas aferições de EI, massa e volume.

Com base em pesquisa de Andrade (2013), o qual adotou alguns equipamentos para os experimentos de desconstrução de pórticos de concreto armado, vislumbraram-se para as vedações pesquisadas, determinados equipamentos.

Nesse sentido, foram considerados equipamentos do tipo leve, de fabricantes nacionais, com funcionamento por meio de energia elétrica a fim de quantificar a EI na realização da desconstrução. No Apêndice N, mostram-se os equipamentos adotados.

3.4.2.1 Descrição da desconstrução das vedações de blocos cerâmicos

Após a montagem das vedações, procedeu-se a desconstrução de acordo com a sequência mostrada na Figura 3.18.

Figura 3.18. - Sequência de desconstrução das vedações de concreto armado

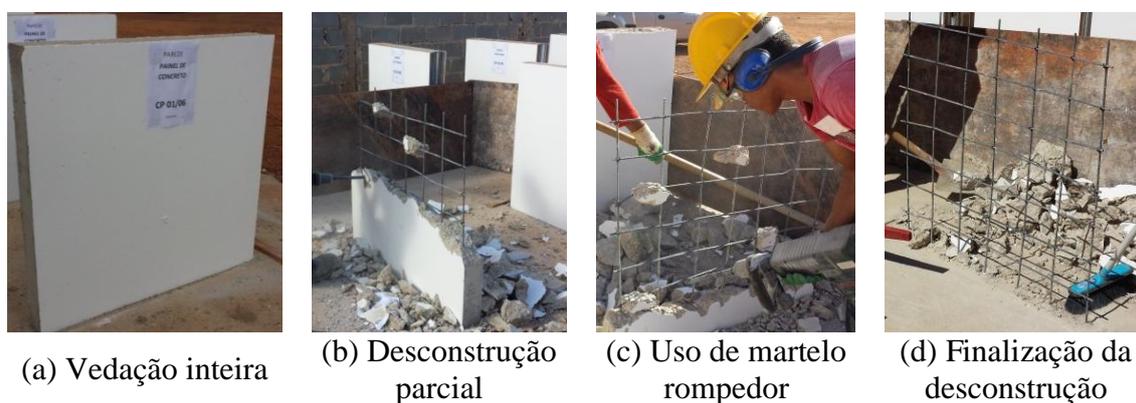


Fonte: Autor

3.4.2.2 Descrição da desconstrução das vedações de concreto moldadas no local

Posteriormente à montagem das vedações, procedeu-se a desconstrução de acordo com a sequência mostrada na Figura 3.19.

Figura 3.19 - Sequência de desconstrução das vedações de parede de concreto



Fonte: Autor

3.4.2.3 Descrição da desconstrução das vedações de alvenaria estrutural

Em seguida à montagem das vedações, procedeu-se a desconstrução de acordo com a sequência mostrada na Figura 3.20.

Figura 3.20 - Sequência de desconstrução das vedações de alvenaria estrutural



Fonte: Autor

3.4.2.4 Descrição da desconstrução das vedações de *Steel frame*.

Após a montagem das vedações, procedeu-se a desconstrução de acordo com a sequência mostrada na Figura 3.21.

Figura 3.21 - Sequência de desconstrução das vedações de *steel frame*.



Fonte: Autor.

A par da sequência de ensaios, posteriormente, no capítulo 4, apresentam-se e discutem-se os resultados coletados.

3.4.3 Conceitos de estatística em relação à metodologia da desconstrução.

A análise dos dados obtidos deu-se a partir do experimento inteiramente casualizado (DIC), sendo realizado através da ANOVA com o teste “F” a 1% e 5% de significância. Com a comparação das médias através do teste *Tuckey* a 5%.

A estimativa da EI em cada tipologia de vedação foi efetivada através do intervalo de confiança, IC, para médias ao nível de 95% de confiabilidade.

O desenvolvimento dos modelos matemáticos foi realizado através dos mínimos quadrados, para estimar a EI, massa e volume.

3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Diante do explanado, infere-se que a ACVE de vedações verticais de HIS pode ser importante balizadora para a sustentabilidade energético-ambiental, assim como contribuir para a produção de inventário para banco de dados de insumos da cadeia produtiva da construção civil.

A partir das premissas consideradas para o desenvolvimento metodológico, definindo as vedações verticais internas e externas como o sistema a ser explorado, juntamente com a função de vedação e a unidade funcional sendo o m², possibilitou-se a construção do delineamento do estudo de caso para as fases de pré-uso e uso e manutenção e um estudo experimental tangente a fase de desconstrução.

Os insumos de cada etapa de ciclo de vida foram apontados a fim de quantificar os consumos, transformar em dados energéticos a partir de fontes primárias e secundárias de dado de energia. A energia de transporte foi contabilizada de forma a justificar a fixação de um local para servir como referência, por isso a definição da cidade de São Sebastião, no DF.

A correção dos dados de energia de uso final para energia primária também foi considerada, de forma a estabelecer dado real de consumo energético (somente para os dados primários). Nem todos os trabalhos consultados levaram em conta a correção de energia de uso final para energia primária, fator considerado importante para a veracidade das informações. Os dados levantados foram planilhados para fins de organização.

Na etapa de estudo experimental, o objetivo foi de compreender e levantar a EI da fase de desconstrução, a fim de inserir os dados no levantamento total. A partir da construção e desconstrução das quatro tipologias de vedação, foi possível coletar além da EI, os volumes e a massa, sendo informações interessantes a fim proporcionar outras

vertentes de compreensão. Nesta etapa a EI foi considerada como dado primário, sendo objeto de correção de energia de uso final para primária.

As referências de desempenho, no caso a transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) foram levantadas para a finalidade de determinar a largura das paredes, para efeito de todo o levantamento de insumos. Considerou-se como parâmetro a transmitância térmica $U \leq 3,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e capacidade térmica $CT \geq 130 \text{ KJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, com vida útil de projeto mínima de 50 anos (conforme Tabela 3.1).

Para os resultados experimentais, procedeu-se uma avaliação estatística, com vistas à finalidade de validação dos valores encontrados, avaliando os valores de Energia Incorporada, volume e massa dos conjuntos de corpos de prova ensaiados. No próximo capítulo, apresentam-se os resultados com as discussões acerca destes.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Conforme os objetivos propostos de acordo com a metodologia implementada, partiu-se para a apresentação dos resultados dos estudos de caso de cálculo de EI e o estudo experimental de desconstrução de paredes.

4.1 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS ESTUDOS DE CASO DAS VEDAÇÕES PARA O CÁLCULO DE EI

Após a realização dos estudos de caso, conforme primeiro objetivo, calculou-se a EI para cada SVVIE pesquisado, em cada fase do ciclo de vida. Na Tabela 4.1, apresentam-se os resultados encontrados, considerando-se que os dados de Energia Incorporada foram divididos pela área construída da habitação tomada como modelo para a pesquisa.

Tabela 4.1 - EI nas vedações pesquisadas

Vedações	EI de Pré-uso	EI Uso e manutenção (GJ/m ²)	EI Desconstrução	EI Total
Concreto (1X)	20,03	11,93	0,030	31,99
Concreto (100 X)	1,77	11,93	0,030	13,73
Concreto (500 X)	1,62	11,93	0,030	13,58
Concreto (1000 X)	1,60	11,93	0,030	13,56
<i>Steel frame</i>	3,90	12,23	0,011	16,13
Alvenaria estrutural	1,21	11,93	0,033	13,17
Convencional	2,02	11,93	0,036	13,99

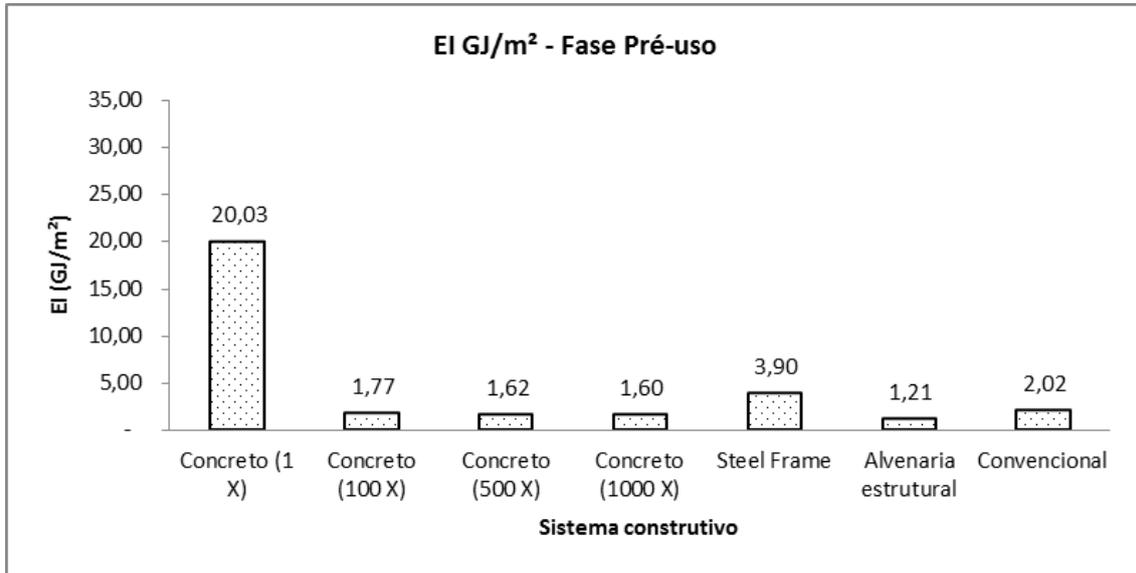
Obs: Concreto (1X) – Vedação de concreto sem reutilização das fôrmas; Concreto (100X) – Vedação de concreto com 100 reutilizações das fôrmas; Concreto (500X) – Vedação de concreto com 500 reutilizações das fôrmas; Concreto (1000X) – Vedação de concreto com 1000 reutilizações das fôrmas; Convencional - Vedação com bloco cerâmico; Alvenaria estrutural - Vedação de alvenaria estrutural de blocos de concreto; *Steel frame* - Vedação de *Steel Frame*.

Ressalta-se que no SVVIE CONC pelo uso de fôrmas de alumínio, apresenta-se um cenário com 100(cem), 500(quinzentas) e 1000(mil) reutilizações deste insumo, fato evidenciado pelo alto custo de aquisição do sistema de fôrmas referido. Desta forma, no cálculo de EI deste sistema, o Item relativo ao insumo fôrmas, foi dividido então pela quantidade de reutilização apresentada.

Na Figura 4.1, mostra-se a comparação entre as vedações na fase de pré-uso, notando-se uma menor EI para a alvenaria estrutural, seguido respectivamente, do concreto com repetição de fôrmas com 500 e 1000 repetições, concreto com 100 repetições, convencional, *steel frame* e por fim o concreto armado sem repetição de fôrmas. Nesta fase, evidencia-se que as vedações de concreto com fôrmas de alumínio tornam-se

competitivas a partir da repetição, chegando muito próximo ao menor valor encontrado, no caso as vedações de alvenaria estrutural.

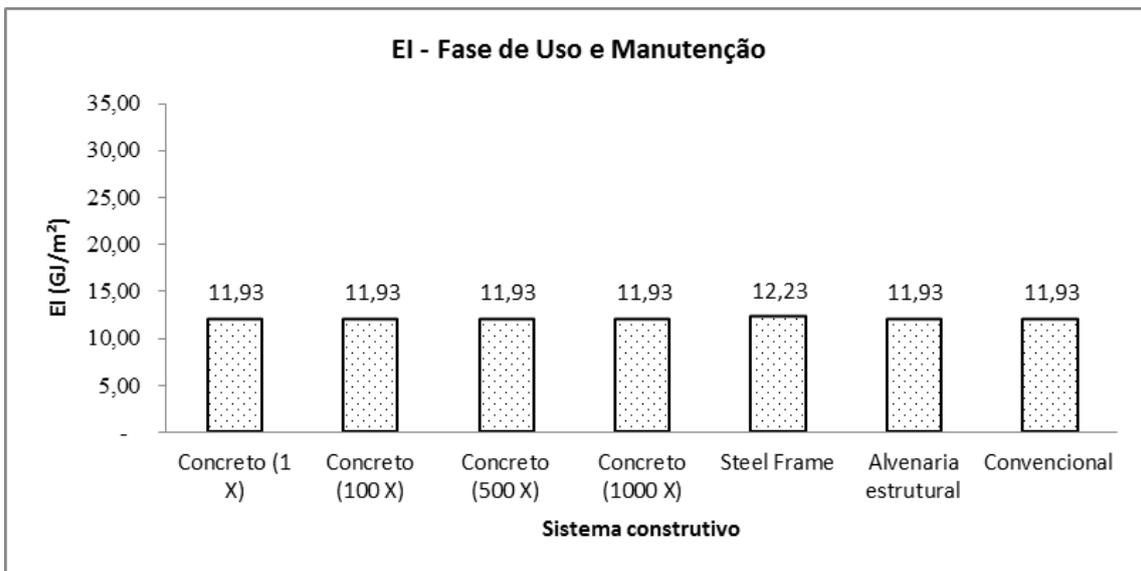
Figura 4.1 - EI na fase de pré-uso para os SVVIEs pesquisados.



Fonte: Autor

Na Figura 4.2, apresenta-se a comparação para a fase de uso e manutenção, para os SVVIEs abordados.

Figura 4.2 - EI na fase de uso e manutenção para os SVVIEs pesquisados



Fonte: Autor

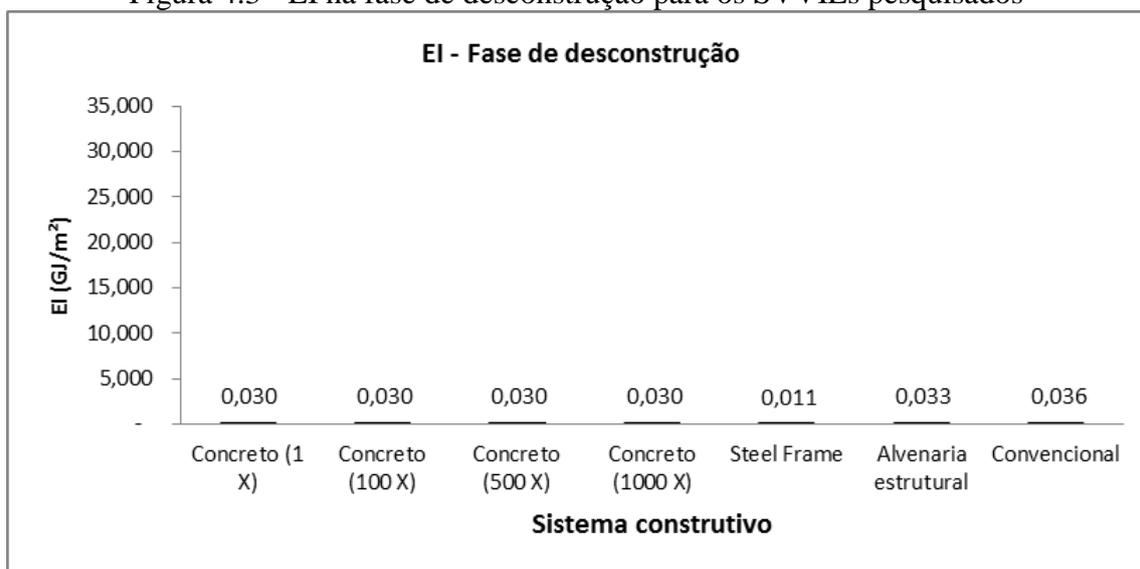
O fato evidenciado em primeira análise é a EI maior para as vedações de *steel frame*, explicado pela necessidade de troca dos painéis de gesso acartonado aos 25 anos, pelo fim de sua vida útil de projeto.

Notam-se nos demais SVVIEs que o comportamento foi semelhante.

Esse comportamento similar denota-se pela existência dos mesmos serviços de manutenção, no caso reposição do sistema de pintura interna e externa a cada três anos.

Ao analisar a fase de desconstrução, na Figura 4.3, de imediato evidencia-se que a EI nesta fase é menor para as vedações de *steel frame*, pela razão do menor tempo disponibilizado para a desmaterialização, visto que as operações de desconstrução consistem basicamente na adoção de equipamentos para desacoplar as partes que tinham sido unidas por parafusos nas etapas anteriores.

Figura 4.3 - EI na fase de desconstrução para os SVVIEs pesquisados

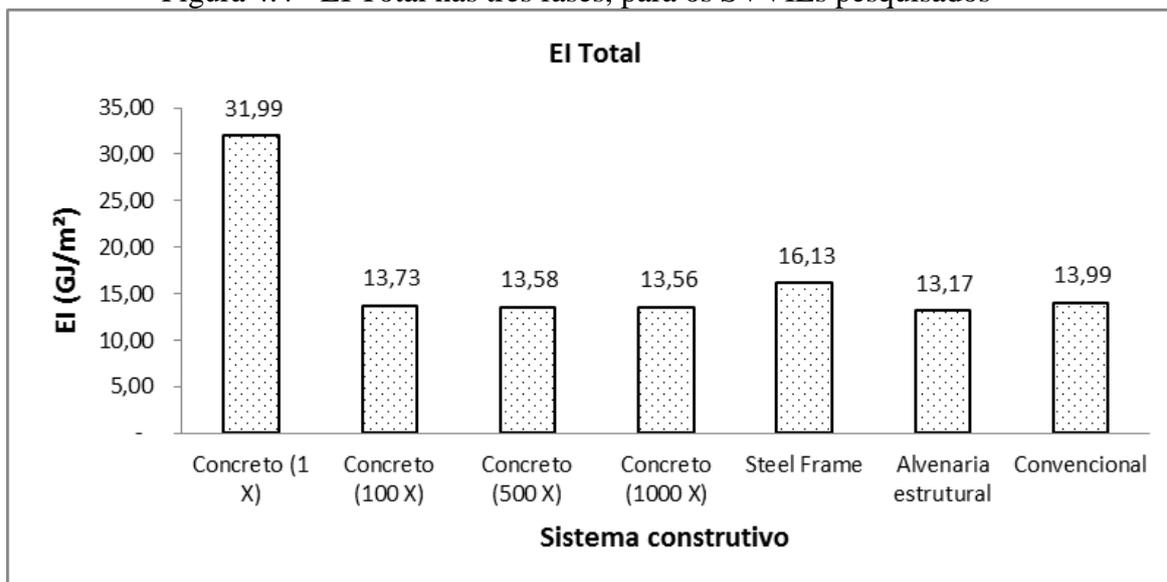


Fonte: Autor

Vale salientar que na desconstrução, o fator de repetição das formas de alumínio para as vedações de parede de concreto não exerce nenhuma influência. A partir da menor EI no sistema de *steel frame*, tem-se na ordem crescente as vedações de parede de concreto, estrutura convencional e alvenaria estrutural.

Após a análise realizada individualmente nas três fases, ao somar a EI Total para cada SVVIE, na Figura 4.4, apresenta-se um comportamento global para cada tipologia pesquisada, evidencia-se menor EI nas vedações em alvenaria estrutural.

Figura 4.4 - EI Total nas três fases, para os SVVIEs pesquisados



Fonte: Autor

A partir dessa, de forma crescente, vislumbra-se com maior EI respectivamente, as vedações em parede de concreto com 1000, 500 e 100 reutilizações de fôrma, convencional, *steel frame* e por fim com a maior EI, as vedações em parede de concreto sem reutilização das fôrmas.

Resta comprovado que as vedações em parede de concreto sem reutilização de fôrmas são aquelas de maior EI, fator que serve como uma das justificativas para a máxima repetição das fôrmas destinadas à fabricação das paredes. Considerando o cenário de reutilização de fôrmas nas vedações de parede de concreto, mediante os resultados, considera-se que a vedação com maior EI total seria a de *steel frame*.

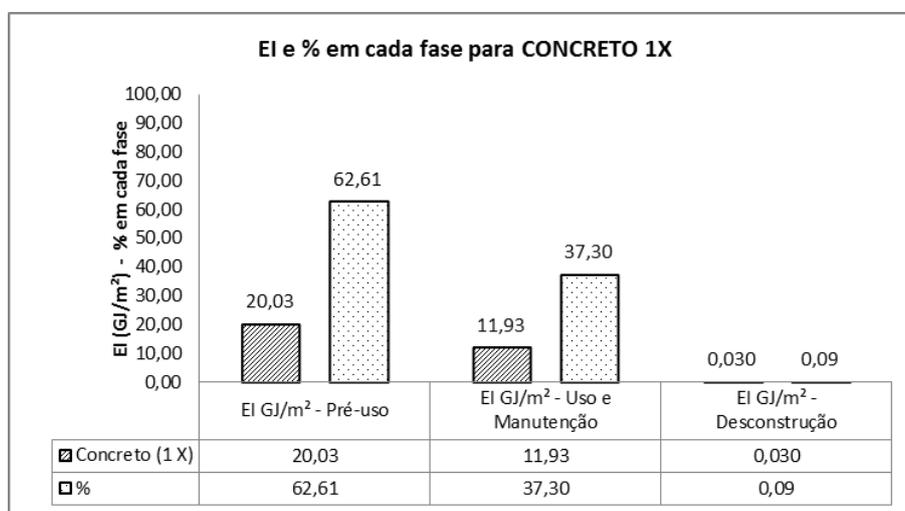
Avaliando os resultados encontrados e comparando, Mithraratne e Vale (2004) em sistemas leves para VUP de 100 anos, encontraram 17,01 GJ/m², para 16,23 GJ/m² para sistemas em concreto e 11,83 GJ/m² para sistemas de alto isolamento térmico, sendo todas as situações para todo o ciclo de vida. Nesta direção, Winther e Hestnes (1999), destacaram valores na ordem de 25,20 GJ/m² para sistemas convencionais. Huberman e Pearlmutter (2008) apresentaram valores de 8,24 GJ/m² para sistemas em paredes de concreto, também para todo o ciclo de vida de 50 anos.

Dentro desta perspectiva, as publicações pesquisadas consideraram o sistema de cobertura para o somatório de EI, fato não considerado neste trabalho, que teve enfoque nas paredes, já que as mesmas podem representar até 60% da EI da habitação, conforme

já citado. Devem ser consideradas ao comparar resultados de regiões diferentes, as características inerentes ao clima, legislações construtivas, cultura e particularidades que podem representar diferenças relevantes em termos de EI.

Já na Figura 4.5, analisando-se somente as vedações de parede de concreto, com uma utilização de fôrmas de alumínio, evidencia-se que no aspecto da EI, as fases de pré-uso e uso e manutenção são muito preponderantes em relação à etapa de desconstrução, sendo esta última representada por menos de 1% da EI. A fase de pré-uso representa 62% da EI e uso e manutenção aponta 37%. Pela razão do uso das fôrmas de alumínio apenas uma vez, a fase de pré-uso tem maior EI, fato que não se deve confirmar nas análises que houver repetição de fôrmas.

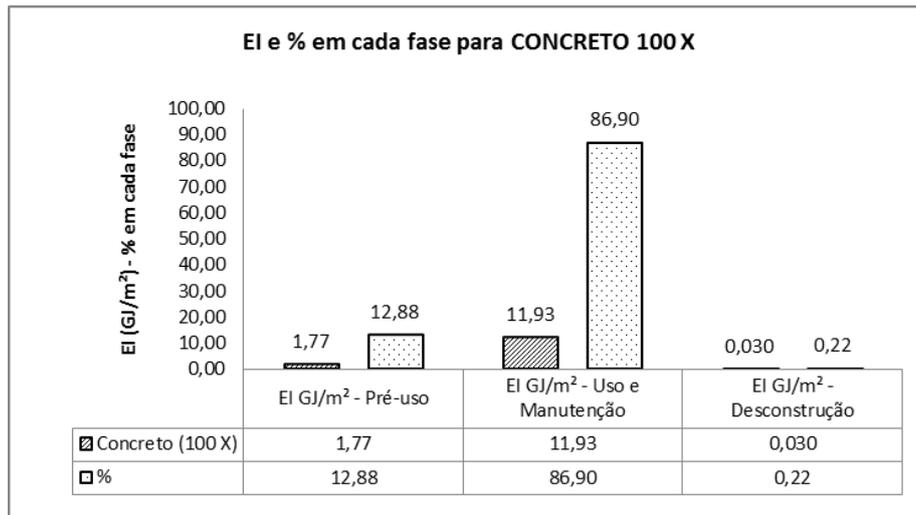
Figura 4.5 - EI por fases, nas vedações de parede de concreto sem repetição de fôrmas



Fonte: Autor

Na Figura 4.6, apresenta-se o comportamento das vedações de parede de concreto com repetição de cem vezes, onde nota-se que, pela característica de reuso das fôrmas de alumínio, o cenário de EI muda em relação ao uso de apenas uma vez, pois se antes a maior EI deu-se na fase de pré-uso, nesta situação, o maior % foi para a fase de uso e manutenção (87%), ficando a fase de pré-uso com 12%. A fase de desconstrução continua com peso menos relevante, na ordem de menos de 1%.

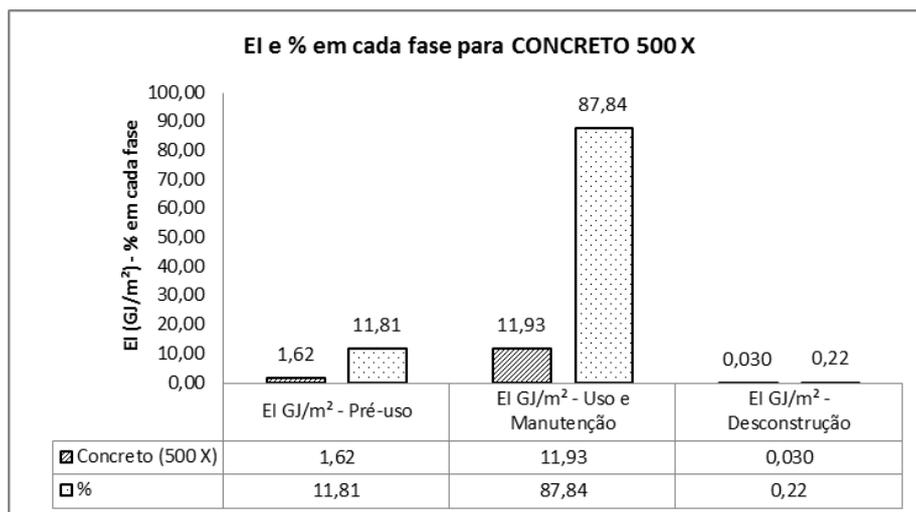
Figura 4.6 - EI nas fases para as vedações em parede de concreto com 100 repetições



Fonte: Autor

Na Figura 4.7, apresenta-se o comportamento das vedações de parede de concreto com quinhentas repetições, notando-se que pela característica de reuso das fôrmas de alumínio, o cenário de EI é muito semelhante ao caso de cem repetições das fôrmas.

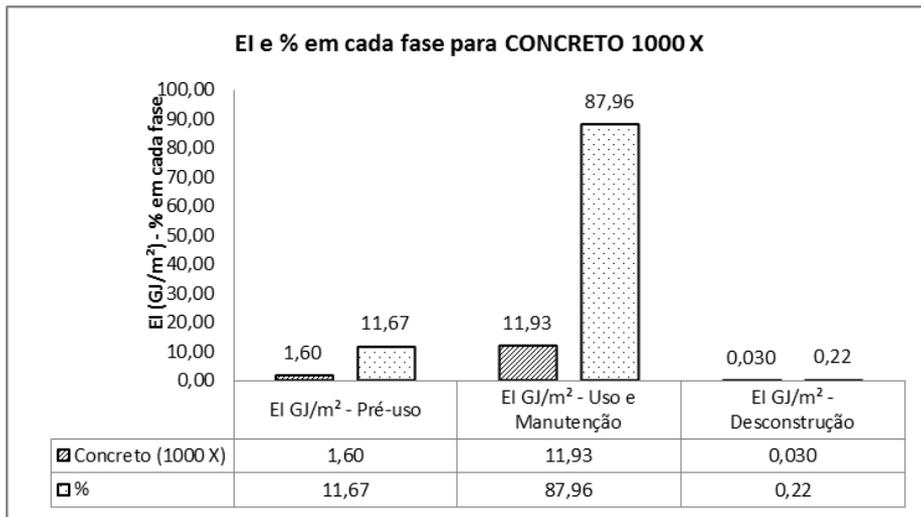
Figura 4.7 - EI e % nas fases para as vedações de parede de concreto com 500 repetições de fôrmas



Fonte: Autor

Na Figura 4.8, apresenta-se o comportamento das vedações de parede de concreto com mil repetições, onde, mais uma vez, pela característica de reuso das fôrmas de alumínio, o cenário de EI é semelhante ao caso de cem repetições das fôrmas.

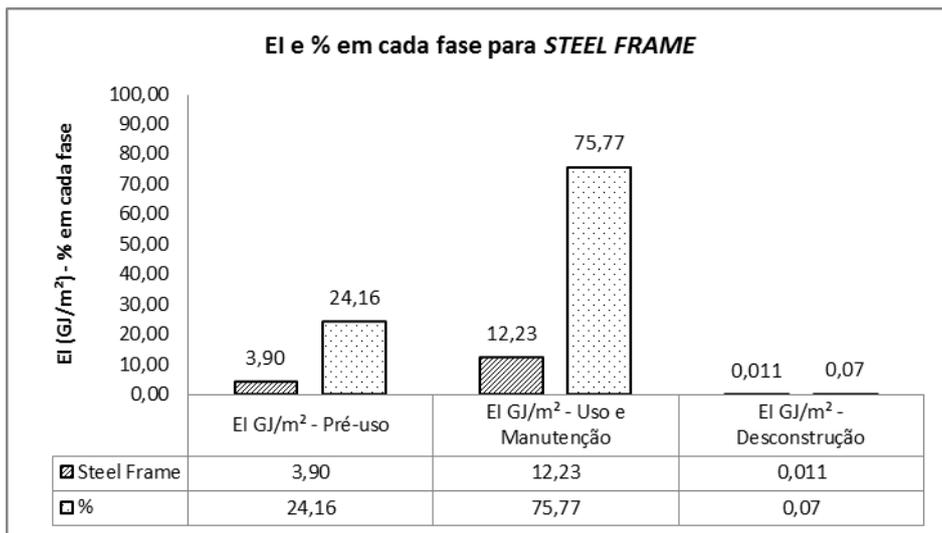
Figura 4.8 - EI e % nas fases para as vedações de parede de concreto com mil repetições



Fonte: Autor

Dando continuidade à análise por fases, mostra-se o comportamento das vedações de *steel frame*, conforme a Figura 4.9, a qual evidencia que a fase de desconstrução tem pouca EI, com menos de 1%, ficando 75% para a fase de uso e manutenção e 24% para a fase de pré-uso.

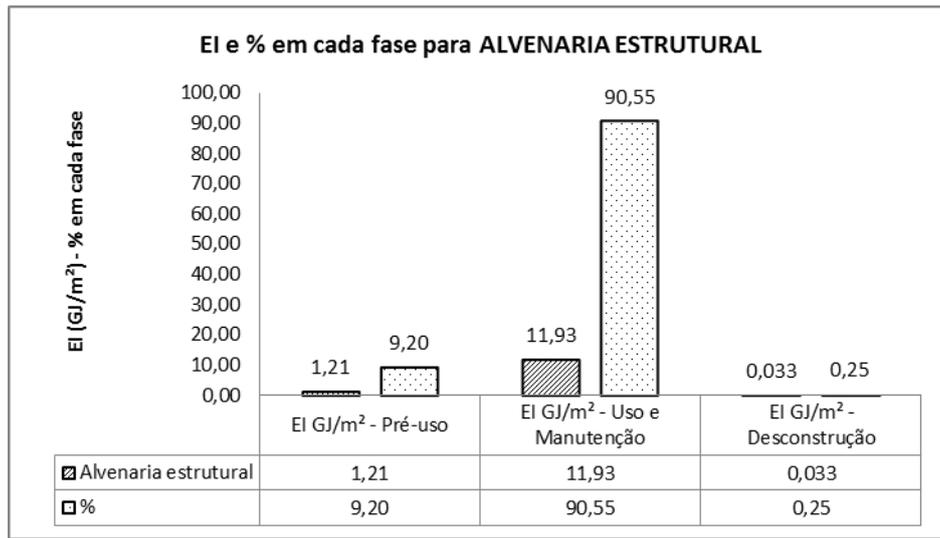
Figura 4.9 - EI e % nas fases para as vedações de *steel frame*



Fonte: Autor

Na Figura 4.10, mostra-se o comportamento da EI para as vedações em alvenaria estrutural nas fases do ciclo de vida, com um consumo maior na fase de uso e manutenção (90 %), sendo que a fase de pré-uso teve 9% e a desconstrução menos de 1%.

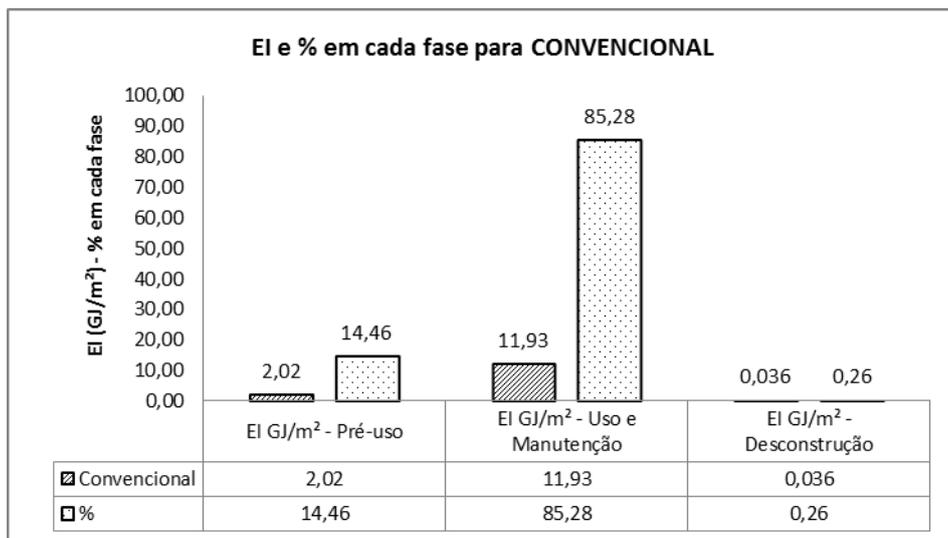
Figura 4.10 - EI e % nas fases para as vedações em alvenaria estrutural



Fonte: Autor

Na Figura 4.11, mostra-se a abordagem da última vedação pesquisada, no caso as vedações em estrutura convencional (concreto armado com vedações de blocos cerâmicos), em que a fase de desconstrução mostrou-se igualmente a menos importante, pois apresentou menos de 1% da EI, sendo a fase de pré-uso com 14% e a fase de uso e manutenção com a maior representatividade, ou seja, de 85%.

Figura 4.11 - EI e % nas fases para as vedações em estrutura convencional

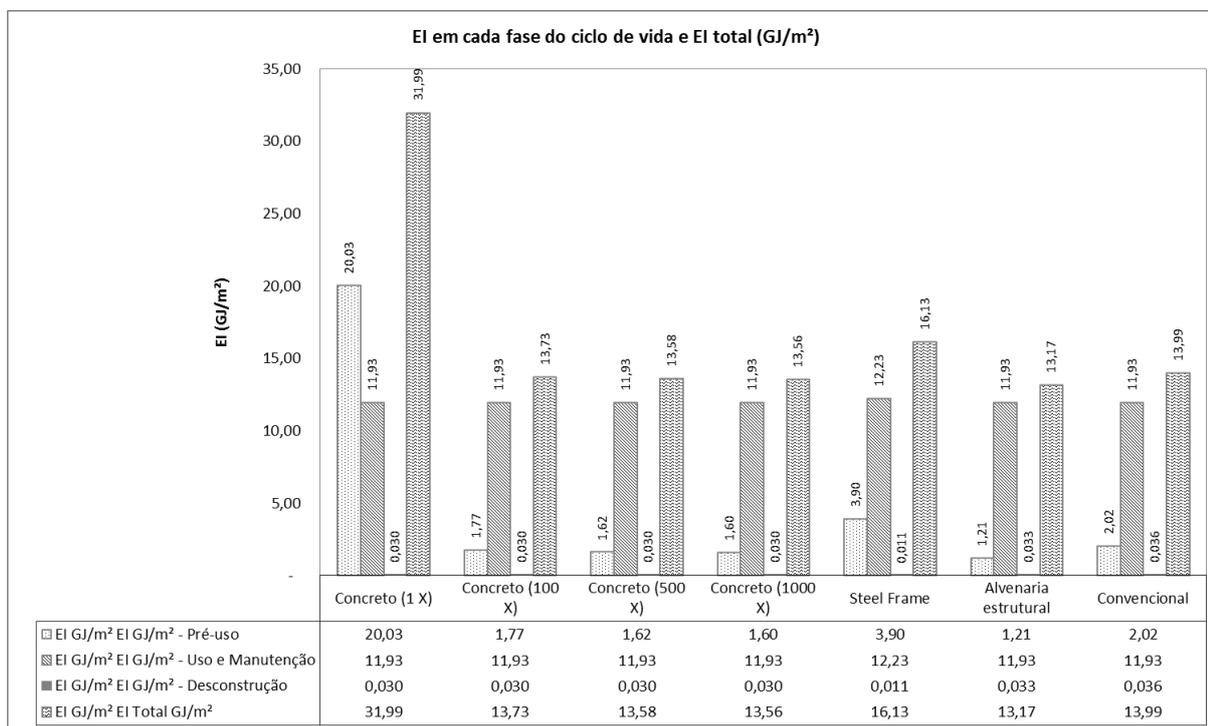


Fonte: Autor

Na Figura 4.12, apresenta-se o conjunto de todas as vedações pesquisadas nas três fases do ciclo de vida. Evidencia-se um comportamento semelhante entre os sistemas em que

a maior EI ocorreu na fase de uso e manutenção, em diferentes percentuais. Tal situação não se manteve apenas na primeira situação, que não há a repetição de fôrmas de alumínio nas vedações de parede de concreto.

Figura 4.12 - EI em todas as vedações pesquisadas, por fase e total em GJ/m²



Fonte: Autor

Notabiliza-se a baixa representatividade do consumo de EI na fase de desconstrução em todos os sistemas analisados, apesar da sua importância quanto à destinação final e reaproveitamento das diferentes classes dos resíduos.

Em resumo, ao considerar a EI total nas três fases, as vedações em alvenaria estrutural (de blocos de concreto) foram aquelas que apresentaram a menor EI.

A maior EI na fase de uso e manutenção na maioria das vedações tem importante relação com a EI relativa aos equipamentos de cocção, refrigeração, aquecimento e iluminação (conforme resultados apresentados nas planilhas do Apêndice K).

Nesta fase, a EI de manutenção tem menor peso do que a EI destinada ao uso, evidenciando a preocupação que deve ser requerida para com a eficiência energética dos equipamentos que normalmente compõem a tipologia de habitação pesquisada.

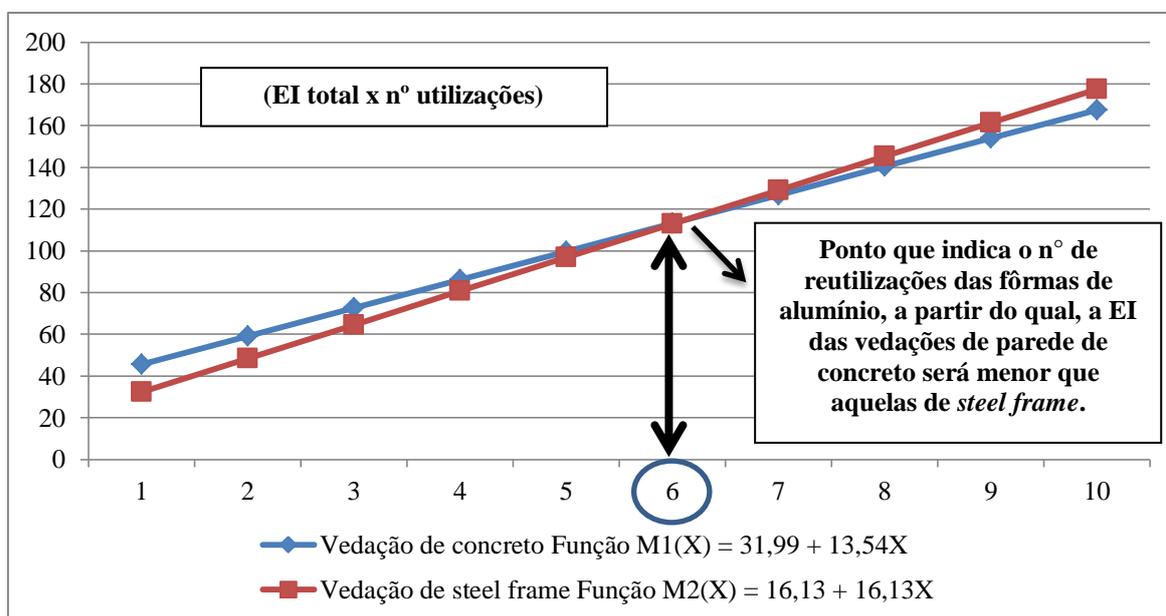
Outra análise faz-se necessária sobre a questão das fôrmas de alumínio das vedações de parede de concreto. Buscou-se fazer uma correlação entre esta e as demais vedações,

sob o aspecto de quantas repetições seriam necessárias nas vedações de concreto, sob o aspecto da EI, para que as fôrmas de alumínio tenham consumo igual ou menor que as demais vedações, já que sem repetição sua EI é muito maior.

Ao comparar-se segundo a Tabela 4.1, os valores de EI total, nota-se que mesmo com até 1000 repetições das fôrmas das vedações de concreto, os valores de EI total das vedações em alvenaria estrutural (de blocos de concreto) ainda são menores, logo, esta última realmente apresenta a melhor *performance* quanto à EI.

Entretanto, na comparação das vedações de parede de concreto com as vedações de *steel frame* e convencional, com certo grau de repetição das fôrmas, sob o aspecto da EI total foi possível, diante desta análise, afirmar-se que a partir de seis (6) repetições (Figura 4.13) de fôrmas, as vedações de parede de concreto, deverão apresentar menos EI que as vedações de *steel frame*.

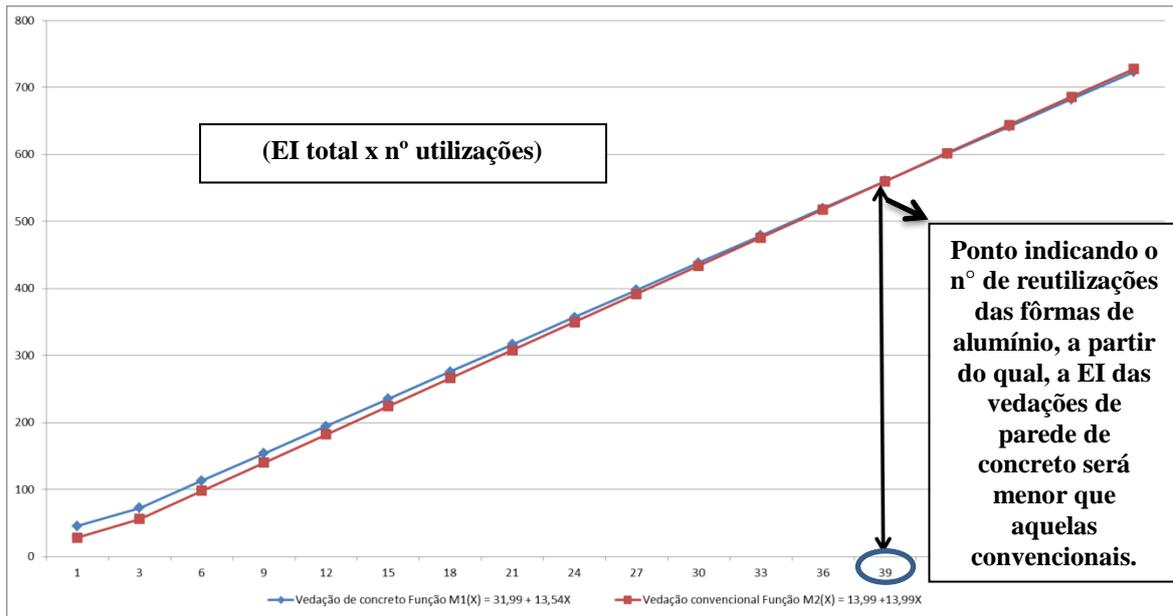
Figura 4.13 - Comparativo entre vedações de parede concreto e *steel frame*



Fonte: Autor

Ainda abordando a mesma linha comparativa, segundo a Figura 4.14, pode-se afirmar que as vedações de concreto vão apresentar menor EI total que as vedações em estrutura convencional, a partir de trinta e nove (39) repetições de fôrmas de alumínio.

Figura 4.14 - Comparativo entre vedações de parede de concreto convencionais



Fonte: Autor

Desta forma, nota-se que sob a premissa da EI como parâmetro de sustentabilidade, sob as condições descritas do trabalho, considerando projeto e especificações de materiais, que as vedações em alvenaria estrutural (com blocos de concreto) têm a menor EI, dentre as tipologias estudadas, durante a ACVE.

Com efeito, as vedações de parede de concreto apresentaram menor EI que as vedações de *steel frame* e convencional a partir de seis (6) e trinta e nove (39) repetições de fôrmas. Na Figura 4.13 e na Figura 4.14, pode-se perceber esse comportamento.

Nas vedações de parede de concreto, na etapa de pré-uso, o cimento representou 48% da EI, na etapa de uso e manutenção o consumo dos equipamentos da habitação representou 99% da EI e na etapa de desconstrução os equipamentos para o trabalho representaram 83%.

Já nas vedações convencionais (sistema em concreto armado com vedação de blocos cerâmicos), na etapa de pré-uso, os blocos cerâmicos de fechamento representaram 30% da EI, na etapa de uso e manutenção o consumo dos equipamentos da habitação representou 99% da EI e na etapa de desconstrução os equipamentos para o trabalho representaram 81%.

Na sequência, nas vedações de alvenaria estrutural de blocos de concreto, na etapa de pré-uso, os blocos de concreto representaram 17% da EI, na etapa de uso e manutenção

o consumo dos equipamentos da habitação representou 99% da EI e na etapa de desconstrução os equipamentos para o trabalho representaram 89%.

Por fim, nas vedações de *steel frame*, na etapa de pré-uso, as placas de OSB representaram 25% da EI, na etapa de uso e manutenção o consumo dos equipamentos da habitação representou 96% da EI e na etapa de desconstrução os equipamentos para o trabalho representaram 65%.

4.2 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO EXPERIMENTAL DE DESCONSTRUÇÃO

Considerando o procedimento metodológico aplicado segundo a descrição do Item 3.4.2, após os ensaios das quatro séries de seis amostras de paredes, conforme as vedações pesquisadas, foram encontrados os resultados apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Resultados de experimento de desconstrução de paredes

Vedações	Amostra	Massa total de	EI	Volume
		resíduos	(MJ/m ²)	(m ³)
		(kg)		
SVVIE CONC (Parede de concreto sem repetições de fôrmas)	1	237,5	0,51	0,20
	2	221,3	0,31	0,18
	3	226,6	0,36	0,19
	4	224,3	0,35	0,18
	5	217,3	0,36	0,18
	6	217,4	0,32	0,17
SVVIE STFR (Steel frame)	1	57,9	0,13	0,15
	2	58,3	0,16	0,15
	3	57,1	0,16	0,15
	4	59,3	0,10	0,15
	5	58,7	0,23	0,15
	6	58,5	0,14	0,15
SVVIE ALES (Alvenaria estrutural)	1	268,2	0,38	0,25
	2	265,6	0,34	0,26
	3	253,2	0,29	0,23
	4	265,2	0,23	0,23
	5	263,0	0,25	0,26
	6	258,2	0,25	0,24
SVVIE CONV (Convencional)	1	250,4	0,73	0,24
	2	241,1	0,85	0,23
	3	240,2	1,09	0,23
	4	245,5	1,01	0,24
	5	209,3	1,09	0,21
	6	244,2	1,01	0,24

Para fins de validação dos resultados dos ensaios, procedeu-se a análise estatística descrita no Item 4.2.1.

4.2.1 Resultados e análise estatística dos dados relativos ao experimento de desconstrução

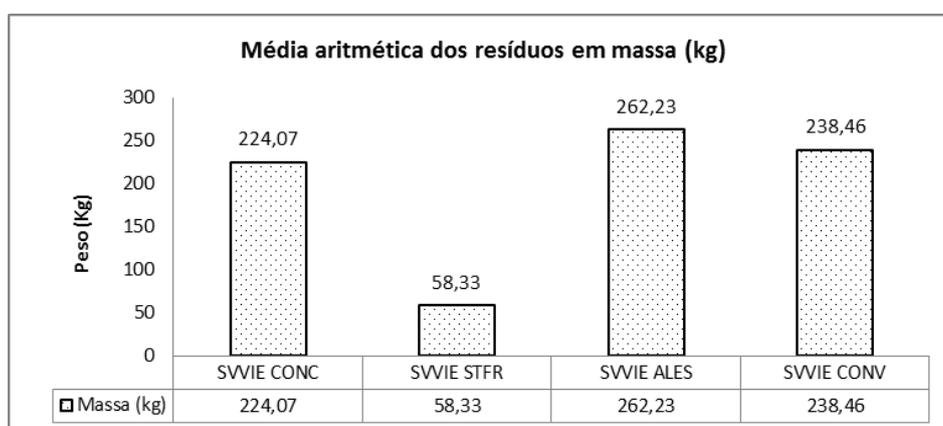
A partir da Tabela 4.2, os dados coletados receberam medidas estatísticas descritivas, onde foram calculadas as médias aritméticas, desvio padrão e coeficiente de variação. Os resultados de média estão apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Média aritmética dos resultados de experimento de desconstrução de vedações

VEDAÇÕES	Média aritmética		
	Massa total de resíduos (kg)	EI (MJ/m ²)	Volume (m ³)
SVVIE CONC	224,07	0,37	0,18
SVVIE STFR	58,33	0,15	0,15
SVVIE ALES	262,23	0,29	0,25
SVVIE CONV	238,46	0,96	0,23

Na Figura 4.15, os valores da média aritmética das massas geradas pelos resíduos de cada parede construída a partir de cada projeto estrutural das vedações pesquisadas, estão expostos de forma gráfica, evidenciando o menor valor para as vedações em *steel frame* em relação às demais vedações, na ordem de 25% da massa da vedação imediatamente superior. As vedações de alvenaria estrutural mostraram-se como aquelas que apresentaram a maior massa/m².

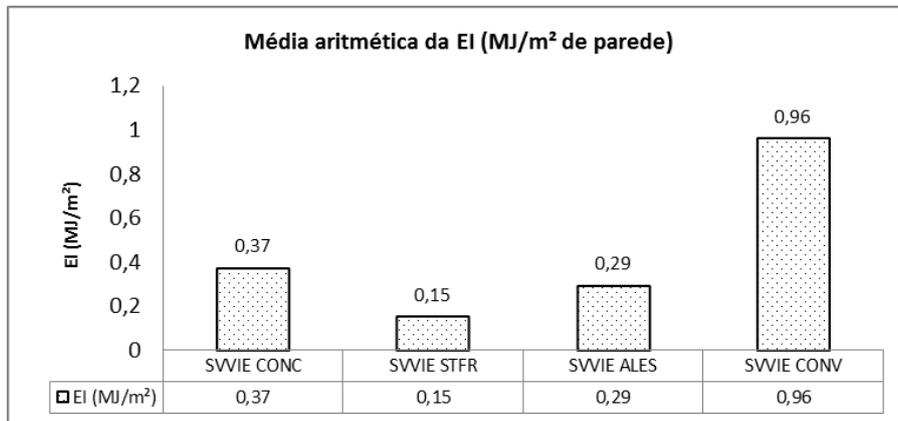
Figura 4.15 - Média aritmética das massas (Kg) dos resíduos de desconstrução das paredes de cada SVVIE



Fonte: Autor

Na Figura 4.16, os valores da média aritmética da EI propiciada por conta das operações necessárias para desconstruir as vedações, estão expostos de forma gráfica, evidenciando a maior EI para desmontar as vedações convencionais, apresentando em torno de 500% a mais de EI do que aquela que apontou a menor EI, no caso as vedações de *steel frame*.

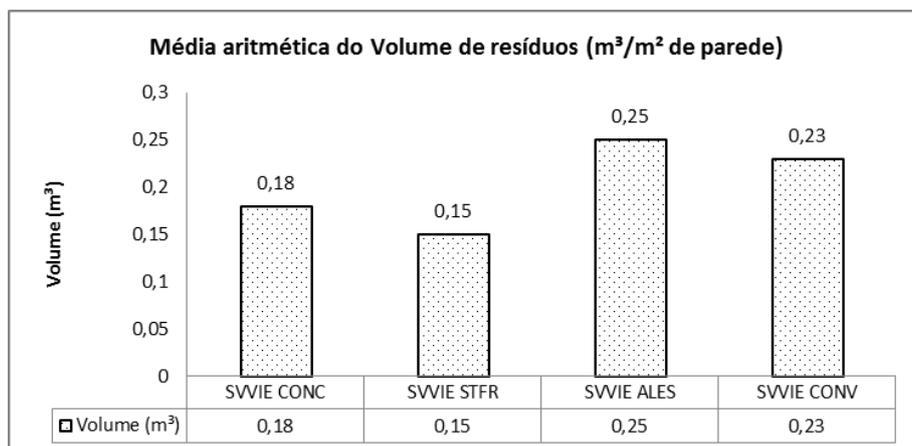
Figura 4.16 - Média aritmética da EI (MJ/m² de parede) consumida nos resíduos de desconstrução das paredes de cada SVVIE



Fonte: Autor

Na Figura 4.17, os valores da média aritmética do volume gerado de resíduos de cada vedação construída, estão expostos de forma gráfica, assinalando o maior volume para desconstrução nas vedações em alvenaria estrutural, em relação às demais. A vedação que gerou menos volume de resíduos na desconstrução foi a de *steel frame*.

Figura 4.17 - Média aritmética do volume (m³/m² de parede) gerado pelos resíduos de desconstrução das paredes de cada SVVIE



Fonte: Autor

Foram calculados também o desvio padrão e coeficiente de variação apresentados no conjunto de valores encontrados, mostrados respectivamente na Tabela 4.4 e Tabela 4.5.

Tabela 4.4 - Desvio padrão dos resultados de experimento de desconstrução de paredes

SVVIE	Desvio padrão		
	Massa total de resíduos	EI	Volume
	(kg)	(MJ/m ²)	(m ³)
SVVIE CONC	7,54	0,07	0,01
SVVIE STFR	0,73	0,04	0,00
SVVIE ALES	5,55	0,06	0,01
SVVIE CONV	14,74	0,14	0,01

Tabela 4.5 - Coeficiente de variação (%) dos resultados de experimento de desconstrução de paredes

SVVIE	Coeficiente de variação (%)		
	Massa total de resíduos	EI	Volume
	(kg)	(MJ/m ²)	(m ³)
SVVIE CONC	3,37	19,68	5,63
SVVIE STFR	1,25	28,48	0,00
SVVIE ALES	2,12	20,34	5,63
SVVIE CONV	6,18	14,95	5,05

O tratamento dos dados das variáveis quantitativas mensuradas neste projeto foi realizado através do delineamento inteiramente casualizado, conforme Gomes (2000), em que a partir da análise da variância utilizando-se o teste de *R. A. Fisher*, testaram-se os tratamentos para verificar a existência, ou não, de diferença entre esses.

Quando constatada a existência de diferença entre os tratamentos, desenvolveu-se o teste de *Tukey*, para que desta forma fosse verificado quais os tratamentos apresentavam diferença entre si.

Realizou-se também, a construção de intervalos de confiança para estimação de médias populacionais destas variáveis ao nível de 95% de confiabilidade, sua representação gráfica foi realizada a partir do software *Minitab* versão 17 e a taxa de variação entre as medidas mensuradas das variáveis dos tratamentos.

4.2.1.1 Massa total de resíduos do desmonte de cada vedação

Nesta seção é apresentada a análise dos dados de massa dos resíduos oriundos do desmonte das vedações pesquisadas. Na Tabela 4.6, apresentam-se os dados de massa total dos resíduos, em kg, por unidade de superfície da parede, em m², oriundos da desconstrução.

Tabela 4.6 - Massa total de resíduos em cada vedação pesquisada

Vedações	Amostras (kg/m ²)					
	1	2	3	4	5	6
Parede de concreto	237,50	221,35	226,60	224,30	217,30	217,40
Tipologias de vedação						
<i>Steel frame</i>	57,95	58,35	57,15	59,30	58,70	58,55
Alvenaria estrutural	268,20	265,60	253,20	265,20	263,00	258,20
Convencional	250,45	241,10	240,20	245,50	209,30	244,20

A partir dos dados das vedações apresentadas na Tabela 4.6, foi realizada a análise de variância para verificar as diferenças significativas quanto à produção de resíduos após o seu desmonte, em massa por superfície, sendo que os resultados desta análise são apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Análise de variância do experimento casual com os SVVIEs na geração de resíduo em massa, (kg/m²), após o seu desmonte

Causa de Variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	155.578,07	51.859,36	678,80
Resíduo	20	1.527,97	76,40	
Total	23	157.106,04	S = 8,74	

Legenda: (G.L.) - graus de liberdade, (S.Q.) - Soma dos quadrados; (Q.M.) - Quadrado médio, (F) - Desvio padrão

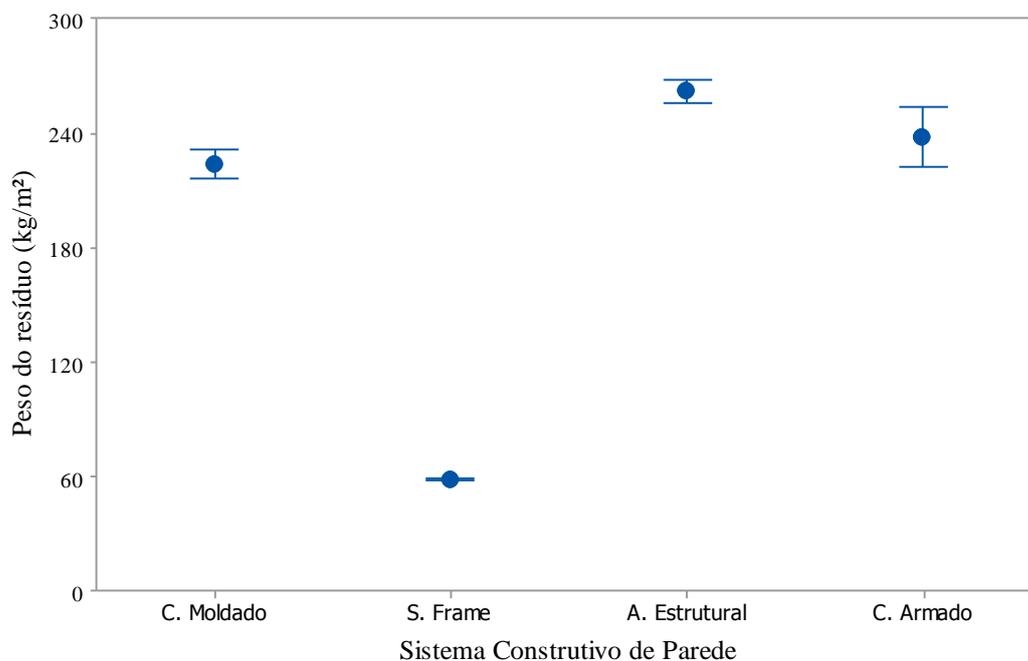
Resta evidenciado que na Tabela 4.2, pode-se constatar através da aplicação do teste *Fisher* ao nível de 1% de significância, a existência de diferença entre os sistemas de vedação na geração de resíduos. Desta forma realizou-se o teste de *Tukey* ao nível de 1% de significância e a construção de intervalos de confiança para estimar a verdadeira média da massa dos resíduos ao nível de 95% de confiança, para verificar quais destes tratamentos testados apresentaram esta diferença. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.8 e na Figura 4.18.

Tabela 4.8 - Estimativa da média da massa total dos resíduos por unidade de superfície lateral, em kg/m², das vedações após o seu desmonte

Tratamentos		I.C. _{95%} (kg/m ²)*	
Tipologia de vedações	Parede de concreto	224,08 ± 7,91	A
	<i>Steel frame</i>	58,33 ± 0,77	B
	Alvenaria estrutural	262,23 ± 5,83	C
	Convencional	238,46 ± 15,47	A

*As letras A, B e C, traduzem o resultado de comparação de médias, de *Tukey* com 1% de significância

Figura 4.18 - Massa total média de resíduo/m² para cada tipologia de vedação



Fonte: Autor

Após a análise destes resultados, pode-se afirmar que as vedações de parede de concreto, *steel frame* e alvenaria estrutural, apresentaram diferenças significativas entre si quanto à geração de resíduo em massa por unidade de superfície lateral de parede (kg/m²).

Ainda, infere-se que as vedações convencionais apresentaram diferença significativa quando comparadas com as vedações de *steel frame* e alvenaria estrutural, sendo que esta última vedação não apresentou diferença quando comparada às convencionais. Pode-se constatar também que as vedações de *steel frame* apresentaram, aproximadamente, 74,0%, 75,5% e 77,8% a menos de resíduos, em massa por m², quando comparadas, respectivamente, com as vedações: parede de concreto, convencionais e alvenaria estrutural.

4.2.1.2 EI oriunda da desconstrução das vedações

Nesta seção denota-se a análise dos dados de EI na desconstrução das vedações pesquisadas. Na Tabela 4.9, apresentam-se os dados de EI/m², em MJ/m², na desconstrução das vedações construídas por quatro métodos de sistemas construtivos.

Tabela 4.9 - EI em cada SVVIE pesquisado

Vedações		Amostras (MJ/m ²)					
		1	2	3	4	5	6
Tipologia de vedação	Parede de concreto	0,51	0,31	0,36	0,35	0,36	0,32
	<i>Steel frame</i>	0,13	0,16	0,16	0,10	0,23	0,14
	Alvenaria estrutural	0,38	0,34	0,29	0,23	0,25	0,25
	Convencional	0,73	0,85	1,09	1,01	1,09	1,01

A partir dos dados coletados nos ensaios, apresentados na Tabela 4.2, realizou-se a análise de variância para verificar as diferenças significativas entre eles quanto à EI/m² durante o seu desmonte. Os resultados desta análise são apresentados na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Análise de variância do experimento casual com os SVVIEs no consumo de EI (MJ/m²), após o seu desmonte

Causa de Variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	2,30	0,77	97,77
Resíduo	20	0,16	0,01	
Total	23	2,46	S = 0,09	

Legenda: (G.L.) - graus de liberdade, (S.Q.) - Soma dos quadrados; (Q.M.) - Quadrado médio, (F) - Desvio padrão.

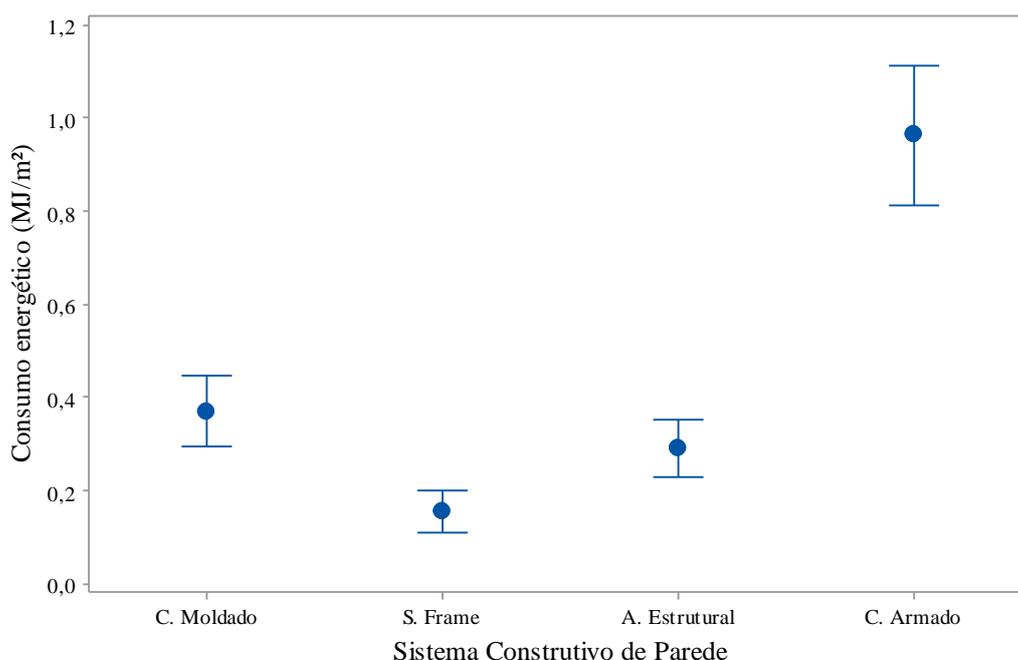
A partir dos resultados apresentados na Tabela 4.10, pode-se constatar através da aplicação do teste *Fisher* ao nível de 1% de significância, a existência de diferença entre as vedações na geração de resíduo. Desta forma realizou-se o teste de *Tukey* ao nível de 1% de significância e a construção de intervalos de confiança para estimar a verdadeira média do peso dos resíduos ao nível de 95% de confiança, para verificar quais destes tratamentos testados apresentaram esta diferença. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.11 e na Figura 4.19.

Tabela 4.11- Estimativa da média da EI/m²de superfície lateral, em MJ/m², das paredes após o seu desmonte

Tratamentos		I.C. _{95%} (kg/m ²)	
Sistema construtivo de paredes	Parede de concreto	0,37 ± 0,08	A
	<i>Steel frame</i>	0,15 ± 0,05	B
	Alvenaria estrutural	0,29 ± 0,06	AB
	Convencional	0,96 ± 0,15	C

As letras A, B e C, traduzem o resultado de comparação de médias, de *Tukey* com 1% de significância.

Figura 4.19 - EI média para cada SVVIE de resíduo/m² de parede (MJ/m²)



Fonte: Autor

Após a análise destes resultados, pode-se afirmar que as vedações de parede de concreto, *steel frame* e convencional apresentaram diferenças significativas entre si quanto à EI por unidade de superfície lateral de parede, em MJ/m².

Entretanto, as vedações em parede de concreto e as de alvenaria estrutural não apresentaram diferenças significativas entre si, e que as de *steel frame* e as de alvenaria estrutural não apresentaram diferenças significativas sob o aspecto da comparação de médias utilizando o teste *Tukey* ao nível de 1% de significância.

Constata-se também que as vedações em *steel frame* apresentaram aproximadamente, 48,3%, 59,5% e 84,4% a menos de EI por unidade de superfície lateral de parede,

quando comparadas, respectivamente, com as vedações de alvenaria estrutural, parede de concreto e convencional.

4.2.1.3 Volume gerado pelos resíduos oriundos da desconstrução das paredes

Nesta seção apresenta-se a análise dos dados de volume gerados pelos resíduos no desmonte das paredes nos SVVIES pesquisados. Na Tabela 4.12, apresentam-se os dados de volume dos resíduos por unidade de superfície lateral de parede, em m^3/m^2 , oriundos do desmonte das paredes.

Tabela 4.12 - Volume em cada amostra dos SVVIEs pesquisados

Vedações		Amostras (m^3/m^2)					
		1	2	3	4	5	6
Tipologia de vedação	Parede de concreto	0,20	0,18	0,19	0,18	0,18	0,17
	<i>Steel frame</i>	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Alvenaria estrutural	0,25	0,26	0,23	0,23	0,26	0,24
	Convencional	0,24	0,23	0,23	0,24	0,21	0,24

A partir dos dados dos coletados na Tabela 4.12, realizou-se a análise de variância para verificar se estes tratamentos apresentavam diferenças significativas entre eles quanto ao volume gerado de resíduos por m^2 de parede após o seu desmonte, sendo os resultados desta análise, apresentados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13- Análise de variância do experimento casual com os SVVIEs no volume de resíduos (m^3/m^2), após o seu desmonte

Causa de Variação	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Tratamentos	3	0,0347	0,0116	106,72
Resíduo	20	0,0022	0,0001	
Total	23	0,0369	S = 0,01	

Legenda: (G.L.) - graus de liberdade, (S.Q.) - Soma dos quadrados; (Q.M.) - Quadrado médio, (F) - Desvio padrão.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4.13, pode-se constatar através da aplicação do teste *Fisher* ao nível de 1% de significância a existência de diferença entre estes sistemas de construção de paredes no volume gerado de resíduos por m^2 de parede, após o seu desmonte.

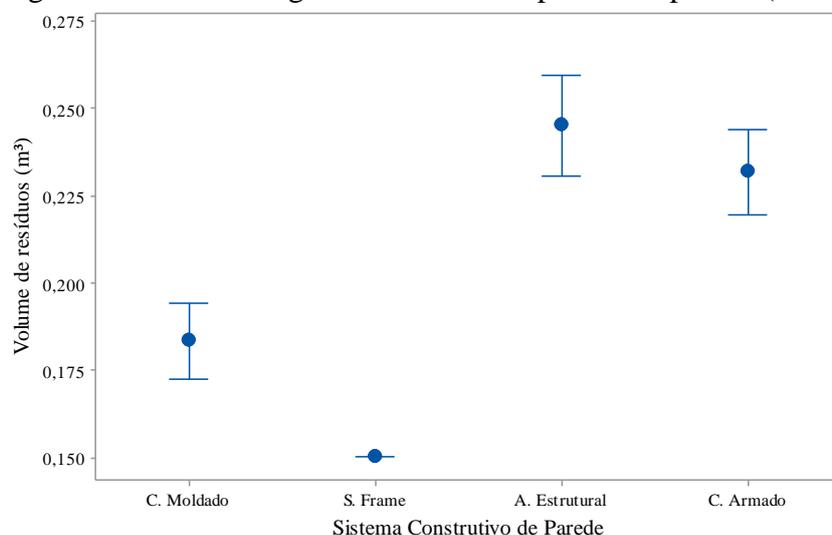
Desta forma, realizou-se o teste de *Tukey* ao nível de 1% de significância, e a construção de intervalos de confiança para estimar a verdadeira média do volume gerado dos resíduos ao nível de 95% de confiança, para verificar quais destes tratamentos testados apresentaram esta diferença, sendo que os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.14 e na Figura 4.20.

Tabela 4.14 - Estimativa da média do volume de resíduos, em m^3/m^2 , das paredes após o seu desmonte

Tratamentos		I.C. _{95%} (kg/m^2)*	
Vedações pesquisadas	Parede de concreto	$0,18 \pm 0,01$	A
	<i>Steel frame</i>	$0,15 \pm 0,00$	B
	Alvenaria estrutural	$0,25 \pm 0,01$	C
	Convencional	$0,23 \pm 0,01$	C

*As letras A, B e C, traduzem o resultado de comparação de médias, de *Tukey* com 1% de significância.

Figura 4.20 - Volume gerado de resíduos por m^2 de parede (m^3/m^2)



Fonte: Autor

Após a análise destes resultados, pode-se afirmar que as vedações de parede de concreto e *steel frame* apresentaram diferenças significativas entre si quanto à geração de resíduo em volume por m^2 de parede, em m^3/m^2 .

Estes sistemas também apresentaram diferença significativa quanto ao volume de resíduos gerados pelas vedações de alvenaria estrutural e convencional, sendo que as últimas não apresentaram diferença significativa no volume de resíduos gerado entre estas.

Constata-se também que as vedações em *steel frame* apresentaram, aproximadamente, 16,7%, 34,8% e 40,0% a menos de resíduos, quando comparadas, respectivamente, com as vedações de parede de concreto, convencional e alvenaria estrutural.

4.2.2 Análise do volume e massa de desconstrução

A partir dos resultados dos ensaios (Tabela 4.15), buscou-se compreender as diferenças em termos de volume e massa de resíduos resultantes da operação de desconstrução, no ímpeto de efetuar relações entre as tipologias.

Tabela 4.15 - Relação de massa/volume (kg/m^3) média na operação de desconstrução das vedações

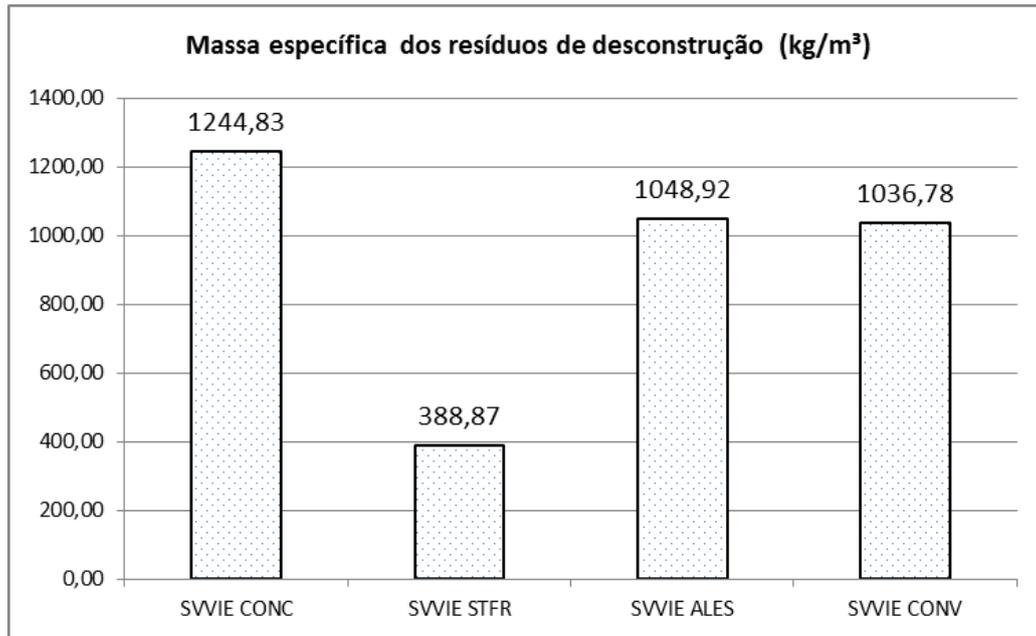
Sistema de vedação vertical interna e externa	Médias aritméticas		Relação M/V dos resíduos de desconstrução (Kg/m^3)
	Massa total dos resíduos (Kg/m^2)	Volume (m^3/m^2)	
Parede de concreto	224,07	0,18	1244,83
<i>Steel frame</i>	58,33	0,15	388,87
Alvenaria estrutural	262,23	0,25	1048,92
Convencional	238,46	0,23	1036,78

Os resultados da relação massa/volume gerados nos ensaios das vedações pesquisadas evidenciam o descompasso entre as vedações em termos de massa de resíduos/ m^3 .

Os resultados do cálculo dos volumes das vedações de parede de concreto apresentaram valores mais relevantes, da ordem de 1.244,83 kg/m^3 .

Já os resultados das vedações de *steel frame* mostraram valores de 388,87 kg/m^3 (Figura 4.21).

Figura 4.21 - Relação massa/volume dos resíduos



Fonte: Autor

4.2.3 Classificação da EI dos resíduos resultantes da desconstrução das vedações

Ao avaliar os resíduos resultantes da desconstrução das vedações, na etapa de estudo experimental da pesquisa, buscou-se mensurar a classificação destes resíduos, conforme a norma NBR 15113 (ABNT, 2004) e de acordo com as Resoluções CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, nº 348, de 16 de agosto de 2004 e nº 469 de 30 de julho de 2015.

A partir da divisão de classes de resíduos, buscou-se junto aos resultados do estudo experimental, a mensuração desta divisão dos resíduos, conforme apresenta-se no Quadro 4.1, onde os resíduos das vedações pesquisadas foram separados por classes A, B, C e D, com a finalidade de determinar a EI residual.

Com a identificação dos resíduos por classes, a partir daqueles de classe A e B, buscou-se fazer um balanço, de forma que considerando a reciclabilidade destes, a EI pôde ser deduzida da EI total. No Quadro 4.2, mostra-se a influência da EI residual na EI total.

Quadro 4.1 - Divisão dos resíduos, de acordo com NBR 15113 (ABNT, 2004)

Vedações	Insumos resultantes da desconstrução	Classif. quanto às classes	Massa média total (kg)	Massa média por classes	% resíduos em massa, por classes	Dado de EI unitária (MJ/kg)	EI total por classes = Massa (Kg) X EI unitária(MJ/Kg)	EI total em % por classes	EI total residual na desconstrução em cada vedação (MJ/m ² de vedação)	EI residual (GJ/m ²) total para uma habitação de 45,64 m ²
Parede de concreto	Concreto	A	224,07	220,87	99	1,40	309,22	88,55	349,22	0,96
	Aço	B		3,20	1	12,50	40,00	11,45		
Steel frame	Placa cimentícia	A	58,33	22,85	39	13,10	299,33	45,15	662,96	1,82
	Aço, parafusos, OSB	B		23,00	39	12,50	287,50	43,37		
	Gesso acart., lâ de rocha	C		12,48	22	6,10	76,13	11,48		
Alvenaria estrutural	Graute, bloco de concreto, argamassa cimentícia	A	262,23	261,03	99	1,00	261,03	94,57	276,03	0,76
	Aço	B		1,20	1	12,5	15,00	5,43		
Convencional	Concreto, argamassa, bloco cerâmico	A	238,46	233,26	98	1,40	326,56	83,40	391,56	1,07
	Aço	B		5,20	2	12,5	65,00	16,60		

OBS: Para o cálculo da EI residual total da habitação, o valor por m² de parede foi multiplicado por 125,02 m² (total de vedações da habitação) e dividido por 45,64 m² (área construída da habitação). Os dados secundários de EI foram baseados em Alcorn (1996).

Quadro 4.2 - Comparação entre a EI nas três fases e EI residual (GJ/m²)

SVVIE	EI de pré-uso	EI uso/ manutenção	EI desconstrução desconsiderando os resíduos	EI total	EI residual total	EI residual classe A e B	EI total sem EI residual classe A
	(GJ/m ²)						
Parede concreto *	1,60	11,93	0,030	13,56	0,96	0,96	12,60
<i>Steel frame</i>	3,90	12,23	0,011	16,13	1,82	1,60	14,53
Alvenaria estrutural	1,21	11,93	0,033	13,17	0,76	0,76	12,41
Convencional	2,02	11,93	0,036	13,99	1,07	1,07	12,92

* Os dados referem-se à tipologia com 1000 reutilizações das fôrmas de alumínio

Em análise ao Quadro 4.2, evidencia-se que a EI residual referente aos resíduos classe A e B, representa 7% da EI total nas vedações de parede de concreto, 10% da EI total nas vedações de *steel frame*, 6% da EI total nas vedações alvenaria estrutural e 8% da EI total das vedações convencionais.

Considerando os conceitos de Hendriks *et al.* (2007), evidencia-se que o estudo de desconstrução das vedações mostrou o potencial de resíduos reaproveitáveis no ciclo de vida das vedações pesquisadas, configurando percentuais aproximados de 6 a 10% de reciclabilidade das tipologias pesquisadas, sendo este um vasto campo de pesquisa em aberto, a partir dos estudos de EI nas fases do ciclo de vida.

4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Os resultados das proposições da metodologia mostraram o desempenho em termos de EI de quatro sistemas de vedação vertical interna e externa (SVVIE) para habitações térreas.

Avaliando os resultados em primeiro plano, ressaltam-se as diferenças entre os quatro sistemas analisados, verificando que as vedações em parede de concreto tiveram um tratamento diferenciado no cálculo, o qual foi aplicado inicialmente para uma única utilização do conjunto de fôrmas de alumínio e posteriormente, considerando cem, quinhentas e mil reutilizações.

Tal situação teve a finalidade de compreensão do grau de diluição da EI relativa às fôrmas de alumínio, ao longo do ciclo de reutilizações, fato que se comprovou

efetivamente como uma necessidade frente às demais vedações, sob o aspecto da EI. Ressalta-se que não se considerou a comparação de custos.

Nessa conjuntura, em análise dos dados de EI total, as vedações em parede de concreto sem repetição de fôrmas, tiveram uma EI aproximadamente 3,5 vezes maior que a vedação com consumo imediatamente inferior, no caso as vedações de *steel frame*. Já conforme o cenário de repetição das fôrmas para 100, 500 e 1000 reutilizações, a EI das vedações de parede de concreto ficou abaixo das demais, exceto das vedações de alvenaria estrutural que tiveram a menor EI em todo o ciclo.

Salienta-se que para paredes de concreto o cenário de repetição de fôrmas é condição normal de mercado, variando-se a quantidade até uma média de 1000 reutilizações.

Por conseguinte, a par das *fases* de ciclo de vida *individualmente*, inicialmente no *pré-uso* obteve-se maior EI apenas nas vedações de *steel frame* e na situação de vedações de concreto sem nenhuma reutilização das fôrmas. Já as vedações em alvenaria estrutural apresentaram a menor EI.

Na fase de *uso e manutenção*, obteve-se maior EI nas vedações em *steel frame*. As demais vedações apresentaram juntas, no mesmo nível, a menor EI. Tal fato ocorreu pelo ciclo de manutenção ser da mesma característica e periodicidade, diferentemente das vedações de *steel frame*, que devem ter as placas de gesso acartonado substituídas aos 25 anos de vida útil.

Sob o prisma da fase de *desconstrução*, obteve-se maior EI nas vedações em estrutura convencional. Já a menor EI foi extraída nas vedações em *steel frame*. A maior EI justifica-se pela sequência de desconstrução, em que inicialmente tem-se que desconstruir as vedações em blocos cerâmicos, para posteriormente realizar a operação com a estrutura reticulada de pilares e vigas. Já com o *steel frame*, a desconstrução é desenvolvida com maior rapidez, pois os procedimentos de desconstrução resumem-se a desparafusar placas e perfis.

Por oportuno, *entre as fases*, analisando a EI de cada vedação separadamente, nota-se que as *paredes de concreto* apresentaram EI maior na fase de uso e manutenção, seguida da fase de pré-uso e por último da fase de desconstrução, considerando o cenário real de repetição de fôrmas, a partir de 100 vezes.

Continuando, nas vedações de *steel frame*, a fase que teve maior relevância no consumo de EI foi a de pré-uso. Presume-se que o motivo seja pelos insumos constantes na mesma, como aço e placas cimentícias. Na sequência com menor impacto a fase de uso e manutenção e por último a fase de desconstrução.

Ainda, *entre as fases*, nas vedações de alvenaria estrutural, a fase que teve o maior EI foi a de uso e manutenção, seguida do pré-uso e por último a desconstrução.

Finalizando a análise *entre as fases*, a vedações convencionais tiveram mesmo comportamento em relação às vedações de parede de concreto e alvenaria estrutural.

No Quadro 4.3 e no Quadro 4.4, expõe-se o resumo do comportamento das vedações em termos de EI nas fases de ciclo de vida, ocorrências de maior e menor EI, respectivamente.

Quadro 4.3 - Ocorrência de *maior* EI nas fases do ciclo de vida das vedações pesquisadas

Vedações	Fases de ciclo de vida		
	Pré-uso	Uso e manutenção	Desconstrução
Paredes de concreto		✓	
<i>Steel frame</i>	✓		
Alvenaria estrutural		✓	
Convencional		✓	

Quadro 4.4 - Ocorrência de *menor* EI nas fases do ciclo de vida das vedações

Vedações	Fases de ciclo de vida		
	Pré-uso	Uso e manutenção	Desconstrução
Paredes de concreto			✓
<i>Steel frame</i>			✓
Alvenaria estrutural			✓
Convencional			✓

Abordando aqueles insumos mais representativos em termos de EI em cada fase para os sistemas pesquisados, nas vedações de parede de concreto, na etapa de pré-uso, o cimento representou 48% da EI, na etapa de uso e manutenção o consumo dos equipamentos da habitação representou 99% da EI e na etapa de desconstrução os equipamentos para o trabalho significaram 83%.

Nas vedações convencionais, na etapa de pré-uso, os blocos cerâmicos de fechamento representaram 30% da EI, na etapa de uso e manutenção o consumo dos equipamentos

da habitação representou 99% da EI e na etapa de desconstrução os equipamentos para o trabalho representaram 81%.

Nas vedações de alvenaria estrutural de blocos de concreto, na etapa de pré-uso, os blocos de concreto representaram 17% da EI, na etapa de uso e manutenção o consumo dos equipamentos da habitação significou 99% da EI e na etapa de desconstrução os equipamentos para o trabalho representaram 89%.

Nas vedações de *steel frame*, na etapa de pré-uso, as placas de OSB representaram 25% da EI, na etapa de uso e manutenção o consumo dos equipamentos da habitação representou 96% da EI e na etapa de desconstrução os equipamentos para o trabalho culminaram em 65%.

Já no Item 4.2, os resultados do estudo experimental tiveram o objetivo de levantar a EI da fase de *desconstrução*, através de ensaios com as vedações pesquisadas, resultando na coleta de volume e massa, além da EI.

Após análise estatística, com os testes necessários para validação dos conjuntos de amostras, foi possível visualizar inicialmente os dados de EI nesta fase, já discutidos, evidenciando as vedações convencionais como sendo aquelas que apresentaram a maior EI. Em ordem decrescente apresentaram-se as vedações de parede de concreto, alvenaria estrutural e *steel frame*.

Houve também a possibilidade de levantar as referências de massa e volume das vedações na desconstrução. Quanto à massa, as vedações em alvenaria estrutural foram aquelas que apresentaram a maior relevância, seguidas em ordem decrescente pelas vedações convencionais, parede de concreto e *steel frame*.

Devem ser consideradas, nestas análises, as larguras das vedações, determinadas segundo os parâmetros de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013).

Já quanto ao volume, novamente as vedações de alvenaria estrutural foram aquelas que apresentaram os maiores valores, seguidas em ordem decrescente pelas vedações convencionais, parede de concreto e *steel frame*.

Na abordagem da EI resultante dos resíduos da desconstrução, nota-se que ao avaliar simplesmente a EI de desconstrução das vedações, os valores representaram na ordem

de 1% da EI total em todas as fases da ACVE. Entretanto, quando mensura-se a EI residual referente às classes de resíduos, evidencia-se que sua importância, a qual pode representar até 10% da EI total.

Demonstra-se assim que a etapa de desconstrução deve ser melhor explorada, em especial no que diz respeito à EI devida aos resíduos, sendo campo vasto de pesquisa.

5. CONCLUSÕES

Considerando os objetivos propostos, o primeiro foi atendido a partir da revisão da literatura sobre os temas inseridos na discussão sobre a ACVE, como sustentabilidade, energia, vedações verticais de habitações, com pesquisa sobre a ACVE no Brasil e no Mundo.

Evidencia-se no Brasil a necessidade de fomento de ações na direção de tornar a ACVE, no contexto das ACVs como uma ferramenta importante de avaliação da sustentabilidade energético-ambiental. Enquanto muitos pesquisadores de países desenvolvidos e em desenvolvimento têm publicado um bom conjunto de pesquisas sobre o tema, no Brasil ainda as ações nesta área de pesquisa, em especial na indústria da construção civil, são incipientes.

Constata-se que é opinião unânime entre os pesquisadores do tema, a falta de banco de dados para cada país, região ou geral que possa contemplar as características regionais, como clima e escassez de algum tipo de insumo não renovável. A falta deste banco de informações faz com que as pesquisas ao redor do mundo fiquem sem referência entre as mesmas, sem uma maior efetividade para contribuir com a sustentabilidade e melhores condições de exploração do meio ambiente, com a redução de emissões de gases e diminuição de gasto de energia.

O PBACV tem sido a partir de 2010, no Brasil, uma vertente importante de desenvolvimento das ACVs, onde insere-se a metodologia de ACVE, inclusive na cadeia da construção. Contudo, ainda encontra-se carente de banco de dados de indicadores que levem a resultados consistentes e que possam ser comparados com outros em nível de pesquisa e mercado.

O segundo e terceiro objetivos foram plenamente atingidos, com o levantamento da ACVE, a partir da Energia Incorporada, comparando as vedações de parede de concreto, *steel frame*, alvenaria estrutural e convencional, destinadas às habitações térreas, com enfoque em interesse social.

Cumprasse assinalar, que os resultados obtidos no levantamento da EI, nas fases de pré-uso, uso e manutenção e desconstrução das vedações citadas evidenciaram os níveis de EI em cada etapa para as vedações em estudo.

Por conseguinte, os estudos mostraram que nas condições específicas da pesquisa, os valores para EI total (considerando as fases de pré-uso, uso e manutenção e desconstrução) foram de 13,17 GJ/m² para as vedações de alvenaria estrutural, 13,56 GJ/m² para as vedações de parede de concreto (com mil reutilizações de fôrmas), 13,99 GJ/m² para as vedações convencionais e 16,13 GJ/m² para as vedações de *steel frame*.

Corroborando com Carminatti Jr. (2012), que encontrou valores de EI na fase de pré-uso de 3,9 GJ/m² para sistemas em *steel frame*, neste trabalho os valores encontrados foram de 3,59 GJ/m².

Conforme apresentado na discussão dos resultados, considerando a EI total nas três fases do ciclo, nas condições do projeto apresentado, que as vedações em alvenaria estrutural são aquelas que apresentaram a *menor* EI, sendo 2% menos que as vedações de parede de concreto com maior índice de repetição de fôrmas, 6% menos que as vedações convencionais e 19% menos que as vedações de *steel frame*.

Assim, quanto a EI total, as vedações de *steel frame* foram as que apresentaram a *maior* EI, sendo 16% maior que as vedações convencionais, 21% maior que as vedações de parede de concreto com o maior índice de repetição e 23% maior que as vedações de alvenaria estrutural.

As vedações de parede de concreto mesmo considerando alta repetição de fôrmas, ainda apresentaram maior EI que as vedações de alvenaria estrutural, mas menor EI do que as vedações de *steel frame* e convencional.

Em todas as situações, a etapa de desconstrução comportou-se como sendo a de menor peso no gasto de EI. Entretanto, tal situação sugere mais investigações no que diz respeito aos resíduos, com o conseqüente tratamento e destinação final.

A fase de uso e manutenção, em quase todas as situações, foi a de maior peso, considerando a EI, para todas as vedações abordadas, exceto nas vedações de parede de concreto com apenas uma utilização, mas o resultado deve ser desconsiderado, pois o sistema tem por característica a repetição das fôrmas de alumínio. Nesta fase, a maior intensidade de EI, segundo as premissas da pesquisa, ocorreu em função da EI relativa aos equipamentos de uso, como iluminação, refrigerador e utensílios.

Assim, na fase de uso e manutenção, os equipamentos utilizados para as atividades cotidianas são efetivamente responsáveis por até 88% da EI. Tal conclusão reflete a preocupação que se deve ter com relação à eficiência energética dos equipamentos para uso dos usuários na vida útil da habitação. A manutenção das vedações responde por apenas 10 a 15% da EI durante os 50 anos de vida útil, conforme o escopo desta pesquisa.

Na fase de desconstrução, as vedações em *steel frame* tiveram a menor EI, porque apresentam um processo de desconstrução potencialmente mais rápido em relação às demais.

Ao tratar-se das vedações de paredes de concreto, nesta pesquisa, a partir da proposição de fôrmas de alumínio, buscou-se um parâmetro tal que pudesse mostrar a quantidade mínima de reutilizações necessárias para que sob o aspecto da EI o sistema tivesse menor EI. Inicialmente, com as vedações em alvenaria estrutural, não é possível, pois até mil repetições ainda o valor de EI desta é menor que as vedações de parede de concreto.

Entretanto, afirma-se que nas condições estudadas, a partir de seis reutilizações de fôrmas de alumínio, as vedações de paredes de concreto apresentaram menor EI que as vedações de *steel frame*. Ainda, ao atingir trinta e três reutilizações de fôrmas, a EI das primeiras, será também menor que as vedações convencionais.

Tal conclusão evidencia a necessidade de estudos, em especial no desenvolvimento de empreendimentos de relevante quantidade de habitações, no sentido de abordar a EI como um parâmetro real de sustentabilidade, servindo de balizador de gestão para direcionar recursos focando o equilíbrio energético-ambiental no viés da sustentabilidade da cadeia produtiva da construção. Conforme Fay (1999), as análises energéticas fornecem resultados para discussão, análise e dados para tomada de decisão.

Nas vedações de parede de concreto, persiste uma realidade quanto à adoção de larguras para paredes internas e externas que, pelo método de simulação de desempenho térmico, fica bem abaixo dos cálculos realizados pelo método de cálculo, ambos prescritos na norma ABNT NBR 15575/2013. Tais vedações com larguras de 10 cm não atendem ao procedimento de cálculo de desempenho térmico, fator que traz preocupação no que se

refere ao desempenho de habitações que vem sendo desenvolvidas no Brasil, nas oito regiões bioclimáticas.

Na análise dos resíduos na etapa de desconstrução, a relação massa/volume em kg/m³ apresentou-se de tal forma que as vedações em *steel frame* foram as mais leves, apresentando valores na ordem de 388,87 kg/m³. Já as vedações de parede de concreto, nas condições da pesquisa, foram aquelas que apresentaram a maior relação massa por volume, em valores de 1244,83 kg/m³.

Em análise da EI dos resíduos das vedações pesquisadas, ficou evidenciado que nas condições pesquisadas, considerando como reaproveitáveis os resíduos classes A e B como secundários, podendo ser reaproveitáveis, que nas vedações de concreto, os resíduos podem representar até 7% da EI total do ciclo de vida. Nesta linha comparativa, os resíduos das vedações de *steel frame* podem representar até 10% da EI total, os resíduos das vedações de alvenaria estrutural podem representar até 6% da EI total e os resíduos das vedações convencionais podem representar até 8% da EI total.

Outro aspecto a considerar refere-se aos dados secundários obtidos para apropriar a EI nos levantamentos realizados. Justamente a falta de banco de dados com informações precisas, no país, com informações sobre, por exemplo, a consideração da correção da energia de uso final para primária (fator que traz questionamentos em relevante parte das pesquisas publicadas) poderia efetivamente agregar maior capacidade de comparação com outros trabalhos de outras regiões e países.

Para os sistemas menos sustentáveis sob o aspecto tratado, ficaria o alerta para ações de melhoria de desempenho na respectiva fase de vida detectada.

Sendo a indústria da construção civil portadora de relevante Energia Incorporada e sendo as vedações verticais responsáveis por 60% em uma habitação, estudos como este podem contribuir para a tomada de decisão acerca do cenário de desempenho energético ambiental dos sistemas de vedação avaliados. Nesta linha, aqueles sistemas que apresentarem menor consumo em cada etapa do ciclo de vida devem ser incentivados pelos atores de decisão da iniciativa privada e pública.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das limitações do presente trabalho e dos resultados obtidos, seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- a) Ampliar os estudos de EI na etapa de desconstrução com habitações em escala real;
- b) Avaliar a EI em vedações verticais de edifícios com mais de um pavimento, considerando as três fases, abordando também a emissão de CO₂;
- c) Avaliar a EI de vedações verticais e horizontais de habitações com uso de *softwares* simuladores para fase de uso;
- d) Estudar a EI das vedações comparando com outros sistemas construtivos;
- e) Avaliar e comparar o estudo de EI para outras zonas bioclimáticas brasileiras;
- f) Avaliar outras tipologias de projeto quanto à EI, analisando as emissões de CO₂.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHISH, S. *et al.*. Life cycle assessment of buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, V. 15, p. 871-875, 2011.

ALCORN, J.A. BAIRD, G. Use of a Hybrid Energy Analysis Method for Evaluating the Embodied Energy of Building Materials. **Center for Building Performance and Research**, Victoria University of Wellington, New Zealand, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. 2013. Rio de Janeiro, RJ. 71 p.

_____. **NBR 15575-4** – Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 16055:2012** – Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos. 35 p.

_____. **NBR ISO 14040:2009** – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a, 21p.

_____. **NBR ISO 14044:2009** – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b, 21p.

_____. **NBR 15961-1** – Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Parte 1: Projeto. 42 p.

_____. **NBR 15961-2** – Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Parte 2: Execução e controle de obras. 35 p.

_____. **NBR 15220-1** – Desempenho térmico de edificações – Definições, Símbolos e Unidades. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-2** – 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 15220-3** – Desempenho térmico de edificações – Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações familiares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-1** – Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005, 11 p.

_____. **NBR 15270-3** – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005, 27 p.

_____. **NBR 15113** – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004, 24 p.

ADALBERTH, K. Energy use during the life cycle of buildings: A Method. **Building and Environment**, Vol. 32, Nº 4, Pgs. 317-320, 1997.

ADALBERTH, K. Energy use during the life cycle of buildings: A Method. **Building and Environment**, Vol. 32, N° 4, Pgs. 321-329, 1997.

AGOPYAN, V. *et al.* **Alternativas para a redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras. Relatório Final.** PCC-USP/FINEP/ITQC, 5 volumes. 1355 p. Setembro de 1998.

AGOPYAN, V. JOHN, V. GOLDEMBERG, J. **O desafio da sustentabilidade na construção civil: Volume 5.** São Paulo, Blucher, 2011.

ANDRADE, F. (2013). **Metodologia para a Avaliação do Processo de Desconstrução de Estruturas de Concreto Armado Pré-Fabricado de Galpões: estudo de caso no DF e GO.** Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-004A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 147p.

ASIF, M.; MUNEER, T.; KELLEY, R. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. **Building and Environment**, 42, 2007, Pgs. 1391-1394.

BASBAGILL, J.; FLAGER, F.; LEPECH, M.; FISCHER, M. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. **Building and Environment**, 60, 2013, Pgs. 81-92.

BANSAL, D.; SINGH, R.; SAWHNEY, R.L. Effect of construction materials on embodied energy and cost of buildings – A case study of residential houses in India up to 60 m² of plinth area. **Energy and Buildings**, 69, 2014, Pgs. 260-266.

BLENGINI, G. A. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. **Building and Environment**, 44, 2009, Pgs. 319-330.

BLENGINI, G. A.; DI CARLO, T. The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. **Energy and Buildings**, 42, 2010, Pgs. 869-880.

BLUMENSCHNEIN, R. N. **A sustentabilidade na cadeia produtiva da indústria da construção.** Doutorado em política e gestão ambiental, UnB, CDS, Brasília, DF, 2004, 252 p.

BAIRD, G.; ALCORN, A.; HASLAM, P. The energy embodied in building materials – update New Zealand coefficients and their significance. **IPENZ Transactions**, Lisboa, Vol. 24, N° 24/CE. 1997.

BRASIL-a, MCT, **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa.** 2013. Disponível em: acesso em 14 de julho de 2013.

BRASIL-b, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2013: Relatório Síntese ano base 2012.** Brasília, DF, 2013.

BRASIL-c, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2013: Relatório Final ano base 2012.** Brasília-DF, 2013.

BRASIL-d, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2014: Relatório Síntese ano base 2013.** Brasília, DF, 2014.

BRASIL-e, Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional 2014: Relatório Final ano base 2013**. Brasília-DF, 2014.

BRASIL-f. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n° 469 de 30 de julho de 2015** . Brasília-DF.

BRASIL-g. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n° 307, de 05 de julho de 2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Brasília, DF, 17 jul. 2002.

BRE. **About us**. Disponível em: <http://www.bre.co.uk/>. Acessado em: 20 de fevereiro de 2015.

BRIBIÁN, I. Z.; USÓN, A. A.; SCARPELLINI, S. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and Environment**, 46, 2011, Pgs. 1133-1140.

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for a building certification. **Building and Environment**, 44, 2009, Pgs. 2510-2520.

CAIXA. **Demanda habitacional no Brasil** / Caixa Econômica Federal. – Brasília, DF: CAIXA, 2011.

CAIXA. **Sistema construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aços revestidos – Requisitos e condições mínimos para financiamento pela Caixa** / Caixa Econômica Federal. – Brasília, DF : CAIXA, 2003, acesso em 13 de julho de 2013.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. Planejamento de experimentos usando o Statistica. Rio de Janeiro: E-papers, 2003. 260 p.

CARMINATTI JR., R. **Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse social concebido em *light steel framing***. Dissertação de Mestrado. São Carlos, SP, UFSCar, 2012.

CBCA. **Detalhes construtivos para construções em *steel framing***. Disponível em: <http://www.cbca.ibs.org.br>. Acessado em: 22 de fevereiro de 2015.

CBCS. CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; PNUMA – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE; MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**. Versão 1, 2014, 111p.

CELLURA, M.; GUARINO, F. LONGO, S.; MISTRETTA, M. Energy life-cycle approach in Net zero energy buildings balance: Operation and embodied energy of an Italian case study. **Energy and Buildings**, 72, 2014, Pgs. 371-381.

CITHERLET, S.; DEFAUX, T. Energy and environmental comparison of three variants of a family house during its whole life span. **Building and Environment**, V. 42, 2007, Pgs. 591 - 598.

CHEHEBE, J.R.B. **Análise de Ciclo de Vida de Produtos – ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro, Qualitymark Ed. 1998. ISBN 85-7303-948-23.

COLE, R. J.; KERNAN, P. C. Life cycle energy use in office buildings. **Building and Environment**, Vol. 31, nº 4, Pgs. 307-317, 1996.

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

CRAWFORD, R.H.; TRELOAR, G.J. **Validation of the use of Australian input output data for building embodied energy simulation**. In: Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, 2003.

CRAWFORD, R.H.; TRELOAR, G.J. **An assessment of the energy and water embodied in commercial building Construction**. In: 4th Australian LCA Conference, Sydney, Australia, 2005.

DIRETRIZ SINAT DATec nº 010/2012 – **Sistema Construtivo Bairro Novo em paredes de concreto armado moldado no local**, publicada em março de 2012.

DIRETRIZ SINAT DATec nº 003/2012 Revisão 01 – **Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Steel Framing”)**, publicada em dezembro de 2012.

DIRETRIZ SINAT DATec nº 001/2011 Revisão 02 – **Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local**, publicada em agosto de 2011.

DIRETRIZ SINAT DATec nº 005/2011 – **Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas - (Sistemas leves tipo “Light Wood Framing”)**, publicada em dezembro de 2012.

DING, G. **The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities**. Ph.D. Thesis, University of technology, Sydney, Australia, 2004.

DIXIT, M. K.; SOLÍS, J. L. F.; LAVY, S.; CULP, C. H. Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. **Energy and Buildings**. Vol. 42. 2010. 1238 - 1247.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013**. Rio de Janeiro-RJ. 2013.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014**. Rio de Janeiro-RJ. 2014.

European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance**. First edition March 2010. Traduzido por Luiz Marcos Vasconcelos. EUR 24708EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010.

FAY, R.; TRELOAR, G. **Life cycle energy analysis a measure of the environmental impact of buildings**. Environment Design Guide GEN22 (1998) 1–7.

- FAY, M. R. **Comparative life cycle energy studies of typical Australian suburban dwellings**. Tese (PhD) - Faculdade de Arquitetura, Edificações e Planejamento da Universidade de Melbourne, Melbourne, 1999.
- FREITAS, C.G.L *et al.*. **Habitação e meio ambiente: abordagem integrada em empreendimentos de interesse social**. São Paulo: IPT. 2001.
- FORABOSCHI, P.; MERCANZIN, M.; TRABUCCO, D. Sustainable structural design of tall buildings based on embodied energy. **Energy and Buildings**, 68, 2014, Pgs. 254-269.
- FORMOSO, C. T.; DE CESARE, C. M.; LANTELME, E. M. V.;SOIBELMAN, L. **As perdas na construção civil: Conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor**. NORIE, UFRGS, Porto Alegre, RS, 1998. 12 p.
- GASPAR, P. L; SANTOS, A. L. Embodied energy on refurbishment vs. demolition: A southern Europe case study. **Energy and Buildings**, 87, 2015, Pgs. 386-394.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5ª Edição, São Paulo: Atlas, 2010.
- GUSTAVSSON, L. JOELSSON, A. Life cycle primary energy analysis of residential buildings. **Energy and Buildings**, 42, 2010, Pgs. 210-220.
- GOMES, J. F., RODRIGUES, A. M. **Análise do ciclo de vida das caixilharias: um estudo comparativo**. Caixiave, Lisboa, Portugal, 2007.
- GOGGINS, J.; KEANE, T.; KELLY, A. The assessment of embodied energy in typical reinforced concrete building structures in Ireland. **Energy and Buildings**, 42, 2010, Pgs. 735-744.
- GRIGOLETTI, G. C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia, PPGEC, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2001.
- GOUVEIA, G M. **Análise Energético-Ambiental de Fachadas com Foco na Reciclagem. Estudo de caso com Painéis de Alumínio Composto “ACM” em Brasília-DF**. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil. UnB – Universidade de Brasília. Brasília-DF. 2012.
- GOUVEIA, H. L. V. (2013). **Indicadores de Desempenho em Habitações de Interesse Social no Brasil**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-10A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 176 p.
- GOMES, F. P. **Curso de Estatística Experimental**. 14ª Ed. USP-Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2000.
- HAN, M. Y.; CHEN, G. Q.; SHAO, L.; LI, J. S.; ALSAEDI, A.; AHMAD, B.; GUO, S.; JIANG, M. M.; XI JI. Embodied energy consumption of building construction engineering: Case study in E-town, Beijing. **Energy and Buildings**, 64, 2013, Pgs. 62-72.
- HUBERMAN, N.; PEARLMUTTER, D. A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. **Energy and Buildings**, 40. 2008. Pgs. 837 - 848.

HENDRIKS, C. F.; NIJKERK, A.A.; KOPPEN, A. E.; AMORIM, C. N. D.; CLÍMACO, R. S. C. **O ciclo da construção**. Tradução. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2007.

HESKETH M. **Parede de Concreto**. In 9º Congresso de Materiais, Tecnologia e Meio Ambiente da Construção, 2009. Belo Horizonte, MG.

IBICT – INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Desenvolvimento sustentável e avaliação do ciclo de vida**. Brasília: CNI, 2014, 33 p.

JOHN, V. M., PRADO, R. T. A. **Selo Casa Azul CAIXA - Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo, SP, Páginas e Letras - Editora e Gráfica, 2010.

KARIMPOUR, M.; BELUSKO, M.; XING, K.; BRUNO, F. Minimising the life cycle energy of buildings: Review and analysis. **Building and Environment**, 73, 2014, Pgs. 106-114.

KUHN, E. A. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, PPGEC, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2006.

LANGSTON, Y.L.; LANGSTON C.A. Reliability of building embodied energy modeling: an analysis of 30 Melbourne case studies. **Construction Management and Economics**, 26 (2) (2008) 147–160.

LENZEN, M.; DEY, C.; FORAN, B. Analysis, energy requirements of Sydney households. **Ecological Economics**, 49 (3) (2004) 375–399.

LENZEN, M., Errors in conventional and input output base life cycle inventories. **Journal of Industrial Ecology**, 4 (4) (2006) 128–148.

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, Setor de Tecnologia, PGCC, UFPR, Curitiba, PR, 2010.

MACIEL, A. C. F. (2013). **Energia Incorporada de Fachadas Ventiladas. Estudo de Caso para Edificação Habitacional em Brasília, DF**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E. DM-018A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 146p.

MISURELLI H.; MASSUDA C. **Como construir parede de concreto**. Revista Técnica, e. 147, p. 74-80, jun. 2009.

MACEDO, D. B. G. **Metodologia de avaliação do ciclo de vida de sistemas construtivos – Aplicação em um sistema estruturado em aço**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia, PPGEE, UFMG, Belo Horizonte, MG, 2011.

MITHRARATNE, N.; VALE, B. Life cycle analysis model for New Zealand houses. **Building and Environment**, 39, 2004, Pgs. 483 - 492.

- MONCASTER, A. M.; SYMONS K.E. A method and tool for “cradle to grave” embodied carbon and energy impacts of UK buildings in compliance with the new TC350 standards. **Energy and Buildings**, 66, 2013, Pgs. 514-523.
- NABUT NETO, A. C. **Energia Incorporada e emissões de CO₂ de fachadas. Estudo de caso do steel frame para utilização em Brasília, DF.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-009A/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 117 p. 2011.
- OLIVEIRA, J. A. da C. **Proposta de Avaliação e Classificação da Sustentabilidade Ambiental em Canteiros de Obras. Metodologia ECO OBRA aplicada no Distrito Federal – DF.** Tese de doutorado em estruturas e construção civil. PECC, UnB, Brasília, DF, 2011.
- OLIVEIRA, L. A.; WAELKENS, A. C; MITIDIERI FILHO, C. V. **Sistemas construtivos tipo light steel frame para unidades habitacionais – aspectos relativos à durabilidade.** Revista Técnica, novembro 2011, edição 176.
- PULLEN, S. F. **The spatial representation of embodied energy of residential areas in the urban environment.** 1996. 297 p. Thesis (Doctor Degree of Philosophy) – The University of Adelaide. Adelaide, Australia. 1996.
- PULLEN, S. Estimating the embodied energy of timber building products. **Journal of the Institute of Wood Science**, 15 (3) (2000) 147–151.
- 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 Buildings 57. 2013, Pags. 95-102.
- PARZEKIAN, G. A.; HAMID, A. A; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural.** EdUFSCar, São Carlos, SP, 2012, 625 p.
- PEDROSO, G. M.; SPOSTO, R. M. **Análise do ciclo de vida energético (ACVE) de habitações de interesse social (HIS) de paredes de concreto.** In: III Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, VI Encontro Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, 24-26 Julho, 2013, Campinas. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2013.
- PEDROSO, G. M; CAMPOS, D. P.; PAIVA, L. A.; SPOSTO, R. M. **Energia Incorporada na fase de pré-uso de paredes de concreto armado moldadas in loco – Estudo de caso no DF.** 3º Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social. Porto Alegre, RS, 28 a 30 de abril de 2014, Anais. EDIPUCRS, 2014
- PLESSIS, C. du (Org.) **Agenda 21 for sustainable construction in developing countries: a discussion document.** Rotterdam: CIB; CSIP, 2002.
- PARZEKIAN, G. A; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural.** São Carlos: EdUFSCar, 2012. 625 p.
- PRASEEDA, K. I.; VENKATARAMA REDDY, B. V.; MANI, M. Embodied energy assessment of building materials in India using process and input-output analysis. **Energy and Buildings**, 86, 2015, Pags. 677-686.

REDDY, V. JAGADISH, K.S. Embodied energy of common and alternative building materials and Technologies. **Energy and Buildings**, v. 35, p 2129-137, India, 2001.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, 42. 2010. Pgs. 1592 – 1600.

ROSSI, B.; MARIQUE, A. F.; REITER, S. Life cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. **Building and Environment**, 51, 2012, Pgs. 402 – 407.

ROMÉRO, M. A., REIS, L. B. PHILIPPI JR.. A. **Eficiência energética em edifícios**. Editora Manole. Barueri, SP, 2012, 190 p.

SALGADO, M. S., CHATELET, A., FERNANDEZ, P. **Produção de edificações sustentáveis: desafios e alternativas**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, V. 12, n. 4, p. 81-99, out/dez. 2012.

SCHNECK, M. R. **Tipo arquitetônico em empreendimentos habitacionais de interesse social: impactos ambientais, diferenças no custo e em quesitos de habitabilidade**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, RS, 2013.

SPERB, E. R. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, PPGEC, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2000.

SPOSTO, R. M.; AMORIM, C.N.D. **Preliminary analyses of sustainability of ceramic components to masonry for social housing: Aspects of culture, industry capacity, quality and recycling in Brasilia, Distrito Federal**. In: BUILDING FOR THE FUTURE: THE CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 16., 2004, Toronto. *Proceedings...*Rotterdam (Netherlands): CIB, 2004. P. 10.

SPOSTO, R. M.; PAULSEN, J. S **Energia Incorporada em habitações de interesse social na fase de pré-uso: O caso do programa Minha Casa Minha Vida no Brasil**. Revista Oculum Ensaios, Campinas, SP, págs. 39-50, Janeiro-Junho 2014.

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

SHARMA, A.; SAXENA, A.; SETHI, M. SHREE, V. Life cycle assessment of buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 15. 2011. Pgs. 871 – 875.

SHFORMAS, **Banco de Dados**. Disponível em: <http://www.shformas.com.br/lumiform>. Acessado em 26/03/2013, as 21hs e 07 min.

SILVA, Gil Anderi; KULAY, Luiz Alexandre. Desempenho ambiental de produtos. 2010. (Palestra em *PowerPoint*).

SRINIVASAN, R. S.; INGWERSEN, W.; TRUCCO, C; RIES, R.; CAMPBELL. D. Comparison of energy-based indicators used in life cycle assessment tools for buildings. **Building and Environment**, 79, 2014, Pgs. 138-151.

- TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese de doutorado, PPGECC, UFSC, Florianópolis, SC, 2006.
- TORGAL, F. P., JALALI, S. **A sustentabilidade dos materiais de construção civil**. Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2010.
- TORGAL, F. P., JALALI, S. **Energia Incorporada em materiais de construção versus energia operacional**. Revista Internacional Construlink; 27 – Jun. 2011, Vol 9, pgs, 5-12.
- THORMARK, C. A low energy building in a life cycle – its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. **Building and Environment**, 37, 2002, Pgs. 429-435.
- THORMARK, C. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. **Building and Environment**, 41, 2006, Pgs. 1019-1026.
- TRELOAR, G.J. **A comprehensive embodied energy analysis framework**. Ph.D. Thesis, Deakin University, Victoria, Australia, 1998.
- TRELOAR, G.J. **Life cycle energy analysis—a measure of the environmental impact of buildings**. Environment Design Guide GEN22 (1998) 1–7.
- UTAMA, N. A.; MCLELLAN, B. C.; GHEEWALA, S. H.; ISHIHARA, K. N. Embodied impacts of traditional clay versus modern concrete houses in a tropical regime. **Building and Environment**, 57, 2012, Pgs. 362-369.
- 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.
- UNEP; SETAC. **Life cycle management: a business guide to sustainability**. Paris, 2007. 51 p.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. UAB/UFRGS. Porto Alegre, Editora UFRGS, 2009. 120 p.
- VANZOLINI, F. **Processo AQUA FCAV– construção sustentável – Referencial Técnico de Certificação – Edifícios Habitacionais 2013 – versão 2**. São Paulo, SP.
- VERBEECK, G.; HENS, H. Life cycle inventory of buildings: A contribution analysis. **Building and Environment**, 45, 2010, Pgs. 964-967.
- WILTING, H.C. **An energy perspective on economic activities**. Doctoral Thesis, Rijksuniversiteit Groningen, Holanda, 1996. ISBN 90-367-0679-3.
- WINTHER, B. N.; HESTNES, A. G.; Solar versus green: The analysis of a Norwegian Row House. **Solar Energy**, 66, Volume 6, 1999, Pgs. 387-393.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**; trad. Daniel Grassi. – 3ª Edição – Porto Alegre: Bookman, 2005.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –ABNT. Norma brasileira ABNT NBR 6023: **Informação e documentação – referências**. Rio de Janeiro, RJ. 2002.

BESSA, V.M.T. **Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios**. Tese de Doutorado, EPUSP, DECC, São Paulo, SP, 2010.

CARVALHO, M.T.M. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-003A/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 241p.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO; SESI – SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA. **Guia de boas práticas em sustentabilidade na indústria da construção**. Nova Lima, MG, Fundação Dom Cabral, 2012. 160p.

DE MEESTER, B.; DEWULF, J.; VERBEKE, S.; JANSSENS, A.; VAN LANGENHOVE, H. Exergetic life-cycle assessment (ELCA) for resource consumption evaluation in the built environment. **Building and Environment**, Vol. 44, Pgs. 11-17, 2009.

ECO, H. **Como se faz uma tese**. Tradução Gilson Cesar Cardoso de Souza – São Paulo: Perspectiva, 2006. 20ª edição, 174 p.

GRAF, H. F. **Transmitância térmica e Energia Incorporada na arquitetura: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a Norma ABNT NBR 12721**. Dissertação de Mestrado, UFPr, Setor de Tecnologia, PPCC, Curitiba, 2011, 160p.

IBICT – INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **O Pensamento do ciclo de vida: Uma história de descobertas**. Brasília, DF.: 2012, 52 p. il. Cartilha.

IBICT – INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Desenvolvimento sustentável e avaliação do ciclo de vida**. Brasília, DF.: 2014, 33 p.

LOMBARD, L. P.; ORTIZ, J. ; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, 40. 2008. Pgs. 394 - 398.

MANFREDINI, C.; SATLER, M. A. **Estimativa da Energia Incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul**. Ambiente Construído, Porto Alegre, V. 5, n. 1, Pgs 23-37, jan./mar. 2005.

MORAIS, D. M., **Briquetes de resíduos ligno-celulósicos como potencial energético para a queima de blocos cerâmicos: Aplicação em uma indústria de cerâmica vermelha que abastece o Distrito Federal**. Tese de Doutorado, Publicação E.TD – 001A/07 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 230p.

MME, MCIDADES, ELETROBRÁS. **Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social**. Dezembro 2005.

MORA, E. P. **Life cycle, sustainability and the transcendent quality of buiding materials**. Building and Environment, 42, 2007, Pgs. 1329-1334.

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

PFEIFER, M. **Passos para cumprir uma agenda verde**. Valor setorial: Construção Civil, V. 9, p. 8-14, 2011.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

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

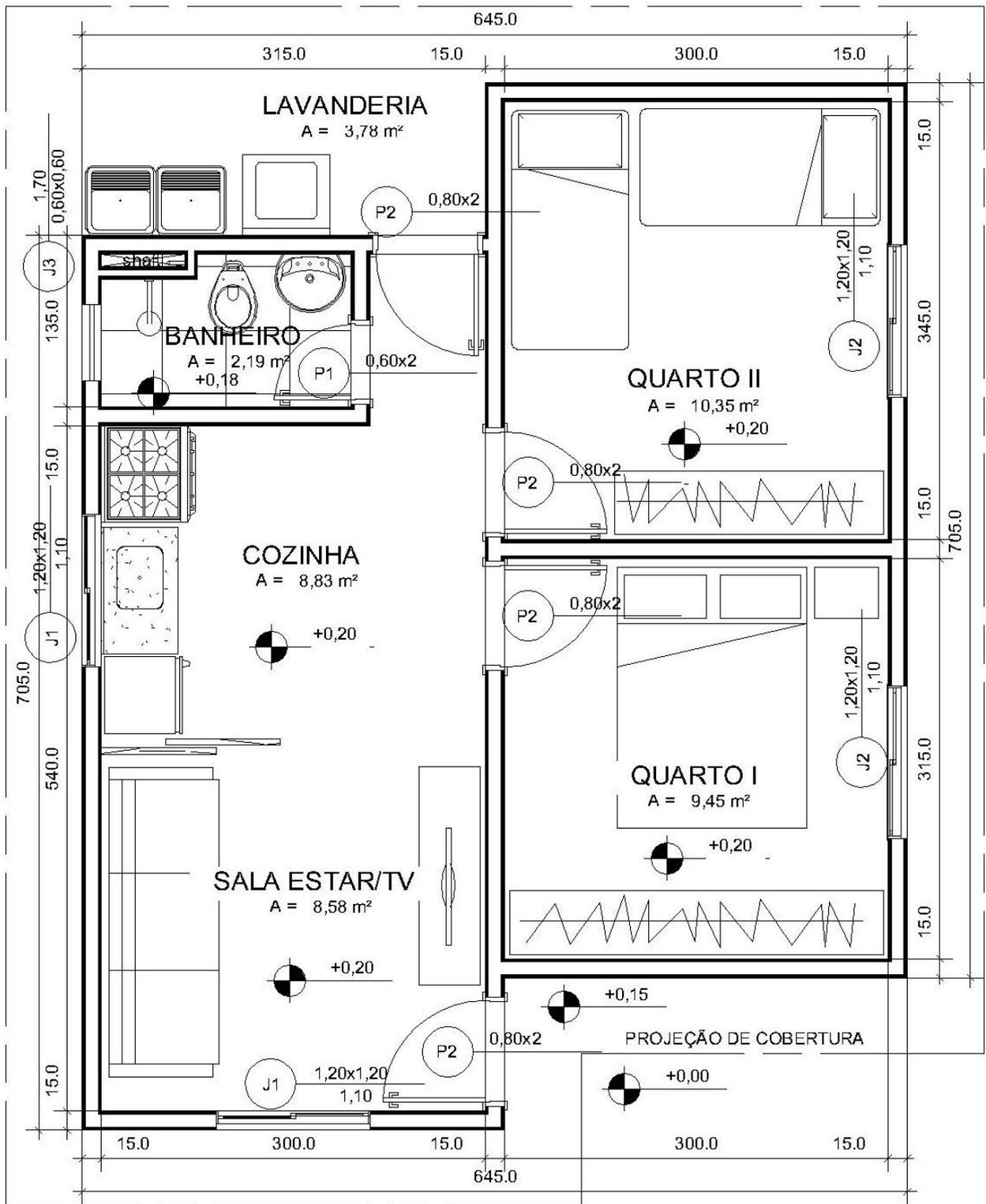
SILVA, J. G. **Análise do ciclo de vida de tijolos prensados de escória de alto-forno**. Dissertação de Mestrado. PPGEC, UFES, Vitória, ES, 2005, 204 p.

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. SINAT. DATec nº 010 - Sistema construtivo BAIRRO NOVO em paredes de concreto armado moldadas no local. 2012. 14p.

SPOSTO, R. M. **Análise preliminar da sustentabilidade na produção de blocos cerâmicos para alvenaria em Brasília – DF**. Anais (Eletrônico) do X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, 2004.

SILVA, G. A.; BRÄSHER, M.; LIMA, J. A. O.; LAMB, C. **Avaliação do Ciclo de Vida: Ontologia Terminológica**. IBICT, Brasília, DF, 2014, 72p.

Apêndice A - Planta baixa de arquitetura – Sem escala – medidas em cm

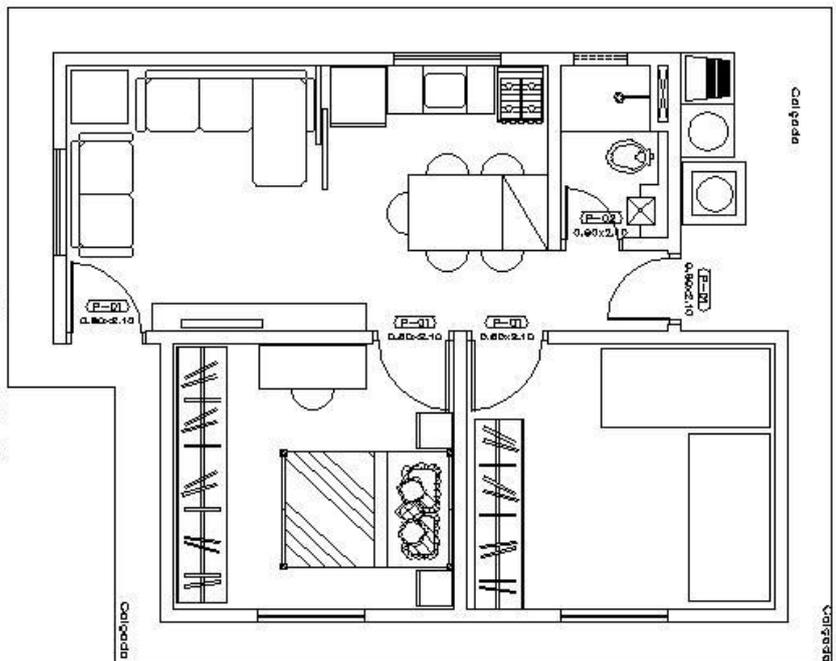
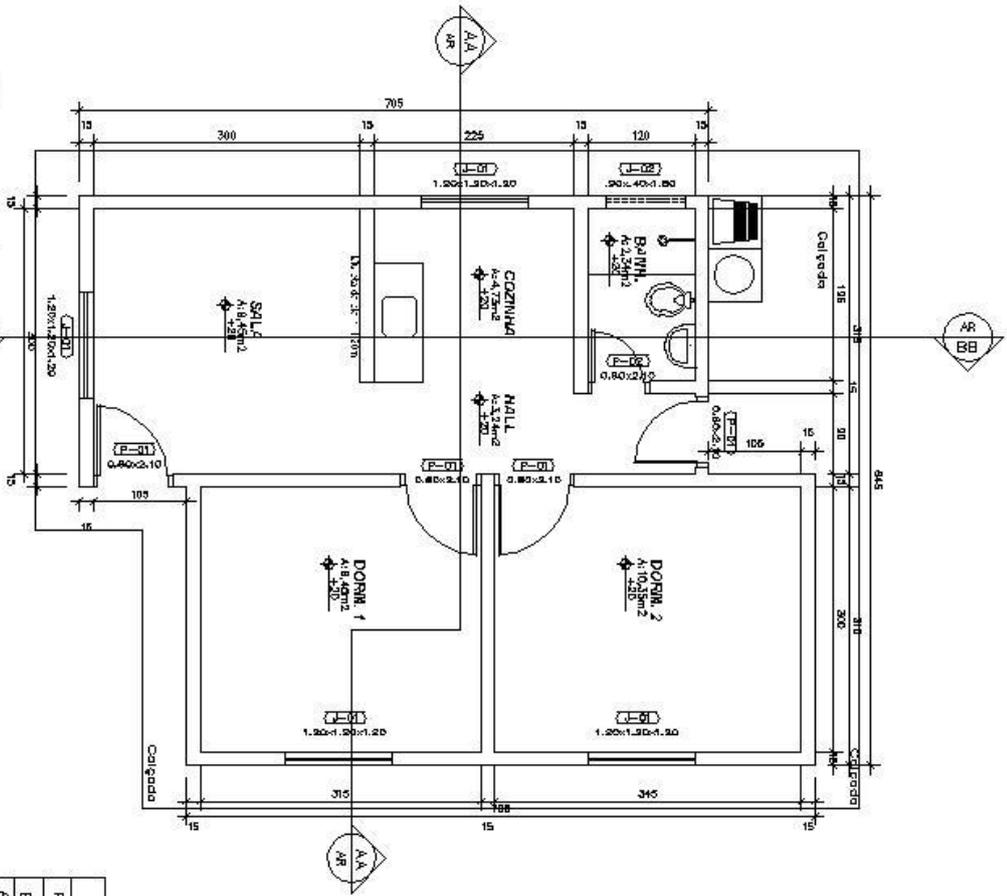


01 PLANTA BAIXA

Apêndice B - Projeto de arquitetura – Sem escala – medidas em cm

Planta Baixa

Fig. 1:50



Planta baixa

Esc. 1:50

PROJETO ARQUITETÔNICO

PROPRIETÁRIO: GILSON MARAFIÇA PEDROSO

ENDEREÇO: BRASÍLIA-DF

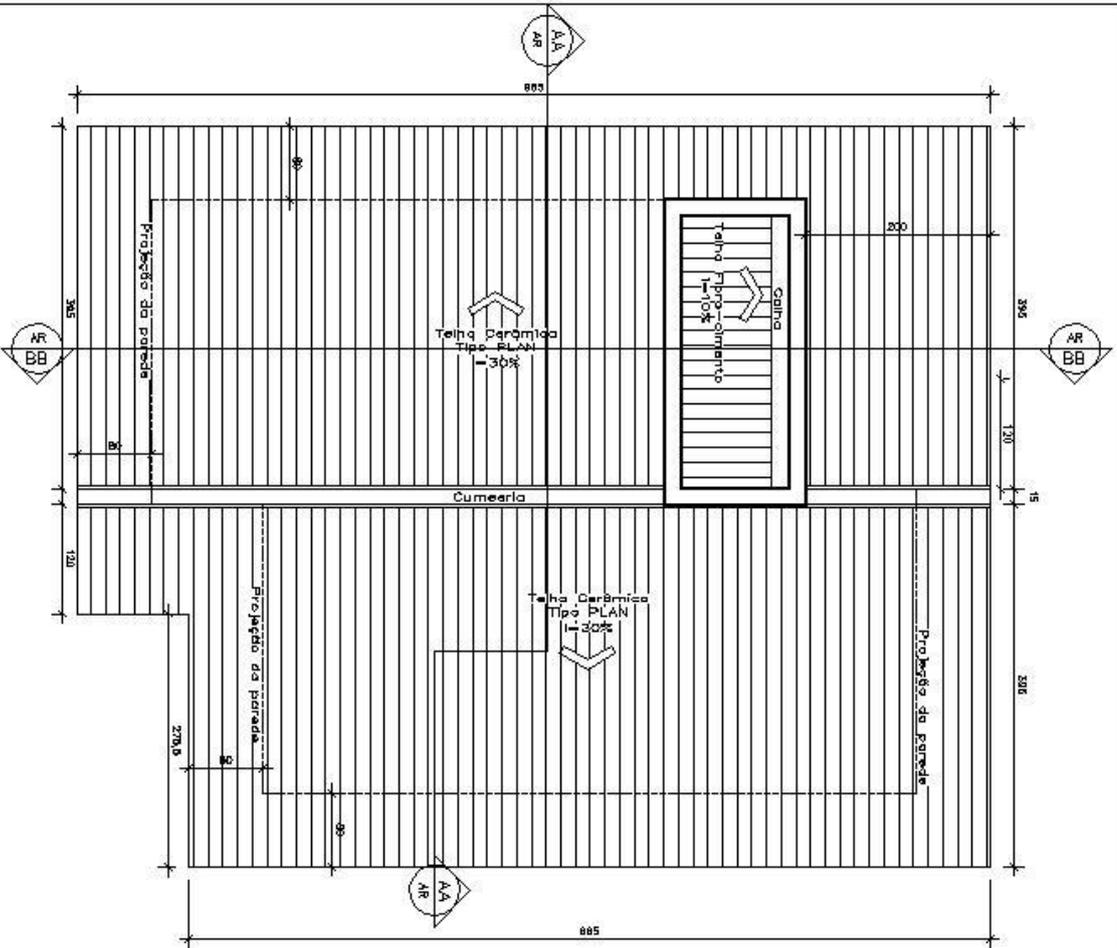
Autor do Projeto: GILSON MARAFIÇA PEDROSO CREA 93.264 / RS

DIRTA: HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

TÍTULO: PLANTA BAIXA

APROVADO

DATA:	28/06/13	ESCALA:	1:50
FOLHA NO REV.:	01/04		



Planta de Cobertura
Esc. 1:50

QUADRO DE ABERTURAS

Quadro de legendas das PORTAS

ITEM	DIMENS.	TIPO	OBS.	MATERIAL
PO1	0,80 x 2,10	1 folha de abrir	Porta metálica	...
PO2	0,60 x 2,10	1 folha de abrir	Porta metálica	...

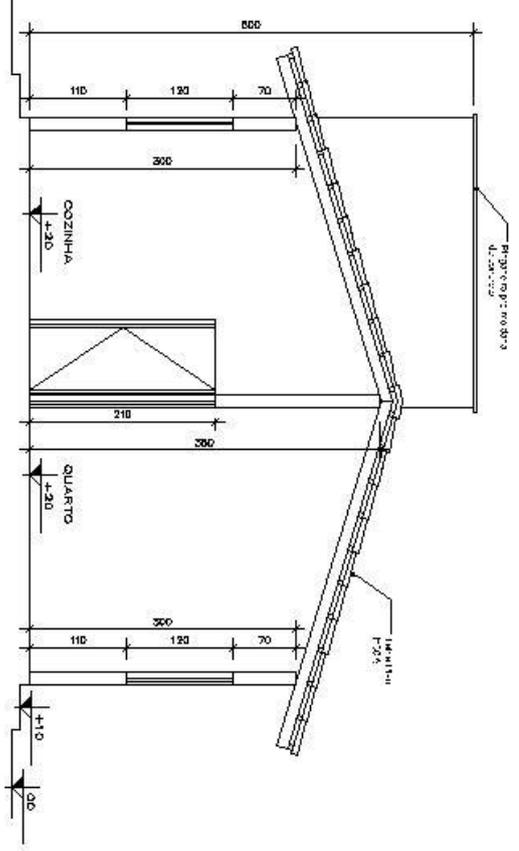
Quadro de legendas das JANELAS

ITEM	DIMENS.	ALTURA	TIPO	OBS.	MATERIAL
J01	1,20 x 1,20	1,20	Basculante	...	Metálica
J02	0,80 x 0,60	1,80	Basculante	...	Metálica
D					
C					
B					
A	03/03/2005			Projeto Legal e Projeto Básico	
Letra	Data	Ass.		Descrição	

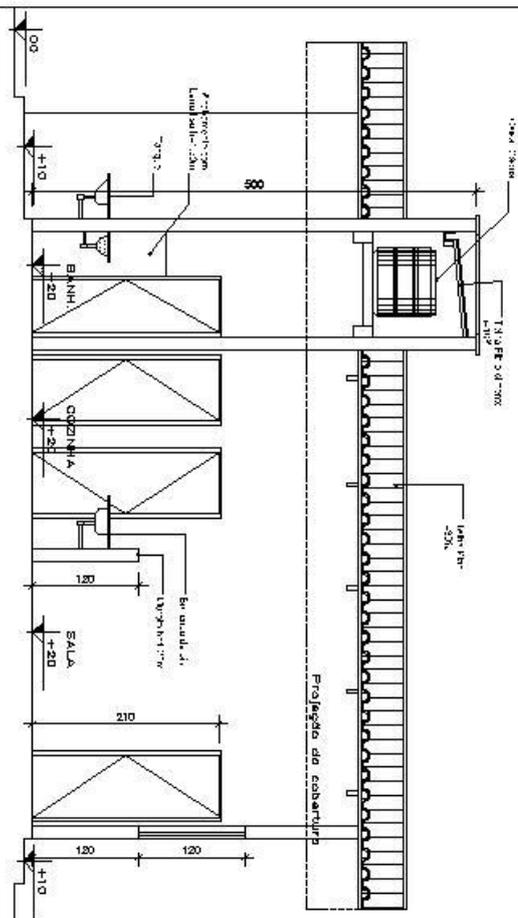
PROJETO ARQUITETÔNICO

PROPRIETÁRIO: GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS
 ENDEREÇO: BRASILIA-DF
 Autor do Projeto: GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS
 OBRA: HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL
 TÍTULO: PLANTA DE COBERTURA

DATA:	28/06/13	ESCALA:	1/50
		FOLHA Nº REV.:	02/04

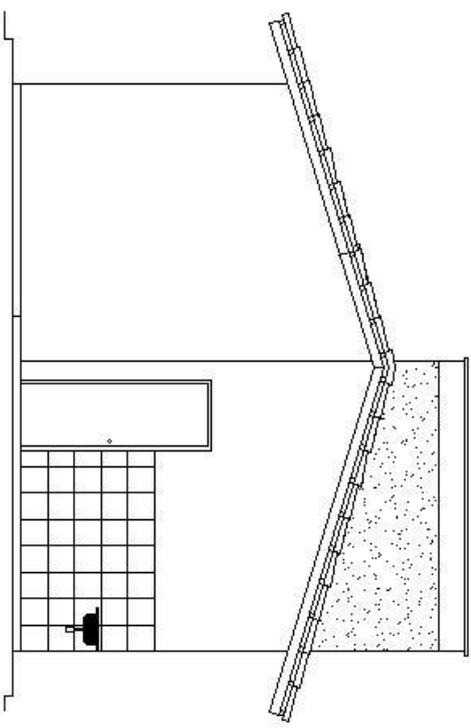


Corte AA



Corte BB

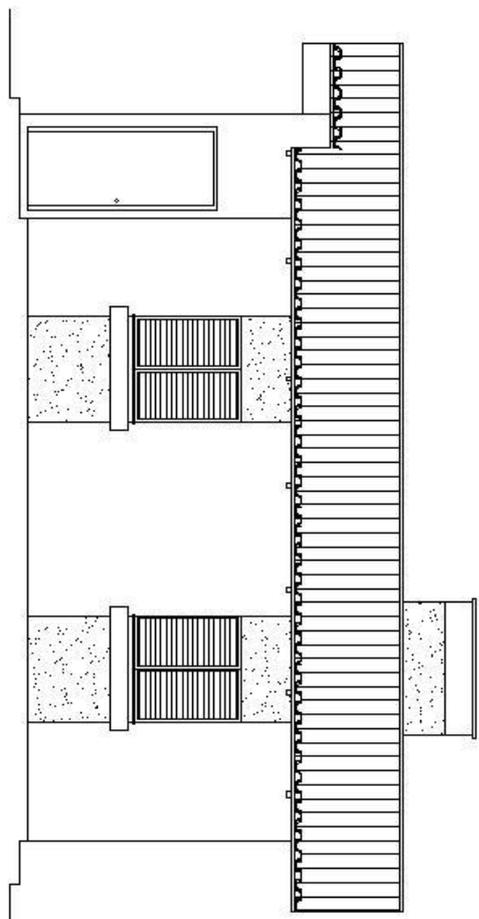
Esc. 1:50



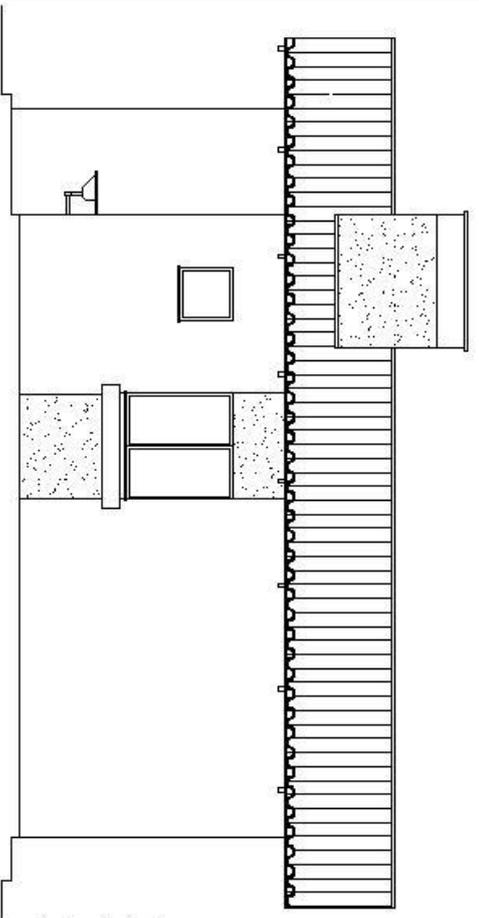
Fachada Posterior

Esc. 1:50

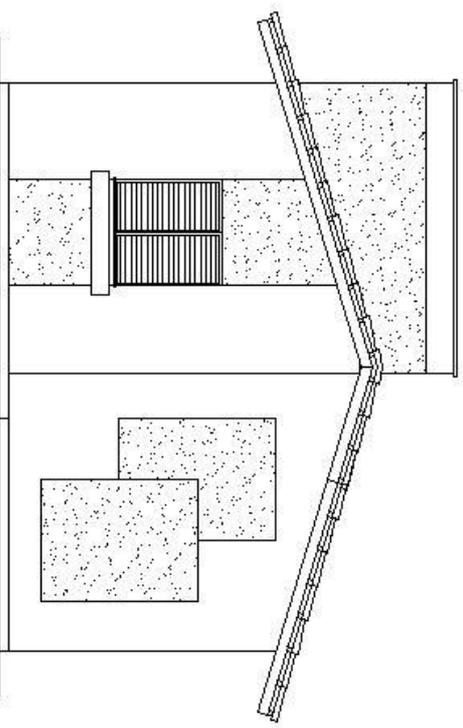
PROJETO ARQUITETÔNICO	
PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIGA PEDROSO
ENDEREÇO:	BRÁSILIA-DF
Autor do Projeto: GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93264 / RS	
OBRA:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL
TÍTULO:	CORTES E FACHADA
DATA:	28/06/13
ESCALA:	1/50
FOLHA Nº:	REV. 03/04
APROVADO:	



Fachada Lateral Direita
Esc. 1:50



Fachada Lateral Esquerda
Esc. 1:50

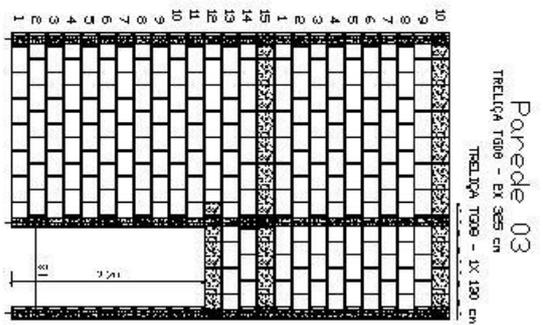
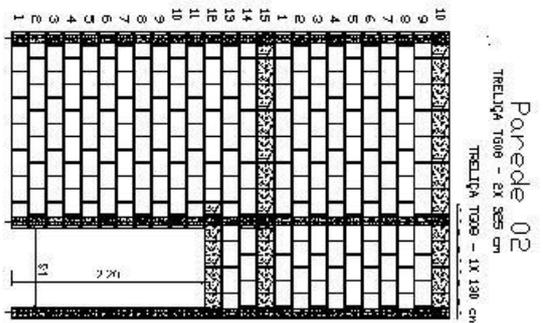
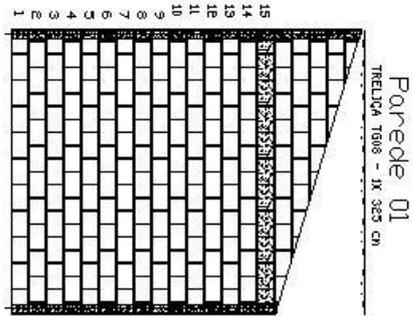


Fachada Principal
Esc. 1:50

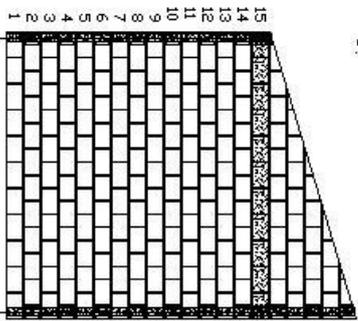
PROJETO ARQUITETÔNICO

PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIGA PEDROSO		
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF		
Autor do Projeto:	GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS		
OBRA:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	DESCRIÇÃO	
TÍTULO:	FACHADAS	APROVADO	
DATA:	28/06/13	ESCALA:	1/50
		FOLHA Nº REV.:	04/04

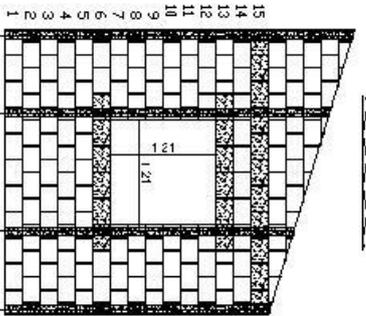
Apêndice C - Projeto de alvenaria estrutural de blocos de concreto



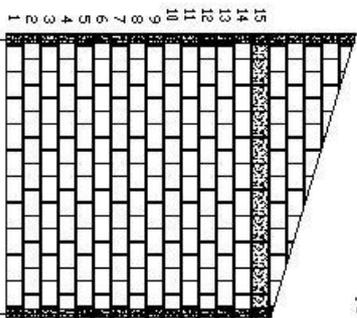
Parede 06
TRELIÇA T008 - 1x 325 cm



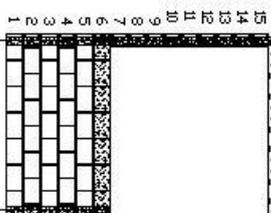
Parede 07
TRELIÇA T008 - 1x 325 cm
TRELIÇA T008 - 2x 300 cm



Parede 04
TRELIÇA T008 - 1x 325 cm



Parede 05
TRELIÇA T008 - 1x 325 cm

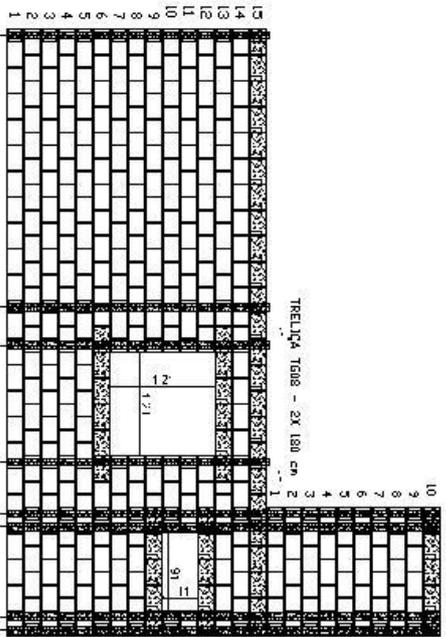


PROJETO ESTRUTURAL EM ALVENARIA ESTRUTURAL	
PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIGA PEDROSO
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF
Autônomo do Projeto:	GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS
DBR/A:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL
TÍTULO: PAGINAÇÕES	
DATA:	28/06/13
ESCALA:	1:50
FOLHA Nº:	REV. 02/03
APROVADO:	
PROJETO ESTRUTURAL	

Parede 08

TRELIÇA T008 - 1X 700 cm

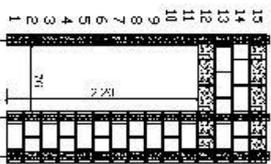
TRELIÇA T009 - 3X 150 cm



Parede 09

TRELIÇA T008 - 1X 400 cm

TRELIÇA T009 - 1X 155 cm

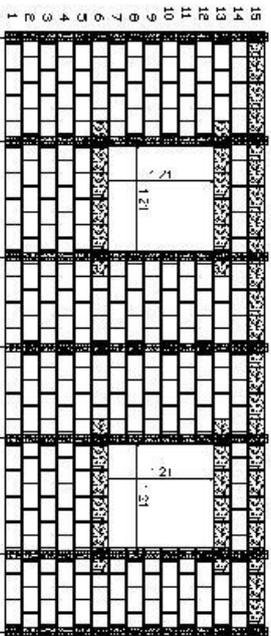


Parede 11

TRELIÇA T008 - 1X 700 cm

TRELIÇA T009 - 2X 150 cm

TRELIÇA T008 - 2X 150 cm

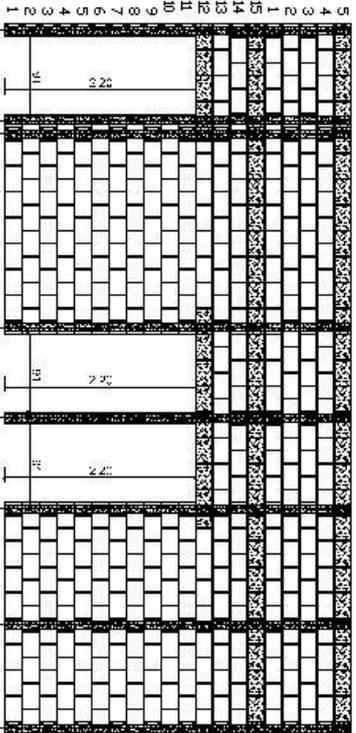


Parede 10

TRELIÇA T008 - 2X 820 cm

TRELIÇA T008 - 1X 135 cm

TRELIÇA T008 - 1X 250 cm



PROJETO ESTRUTURAL EM ALVENARIA ESTRUTURAL

PROPRIETÁRIO: GILSON MARAFIGA PEDROSO

ENDEREÇO: BRASÍLIA-DF

Autor do Projeto: GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS

OBRA: HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

TÍTULO: PAGINAÇÕES

APROVADO

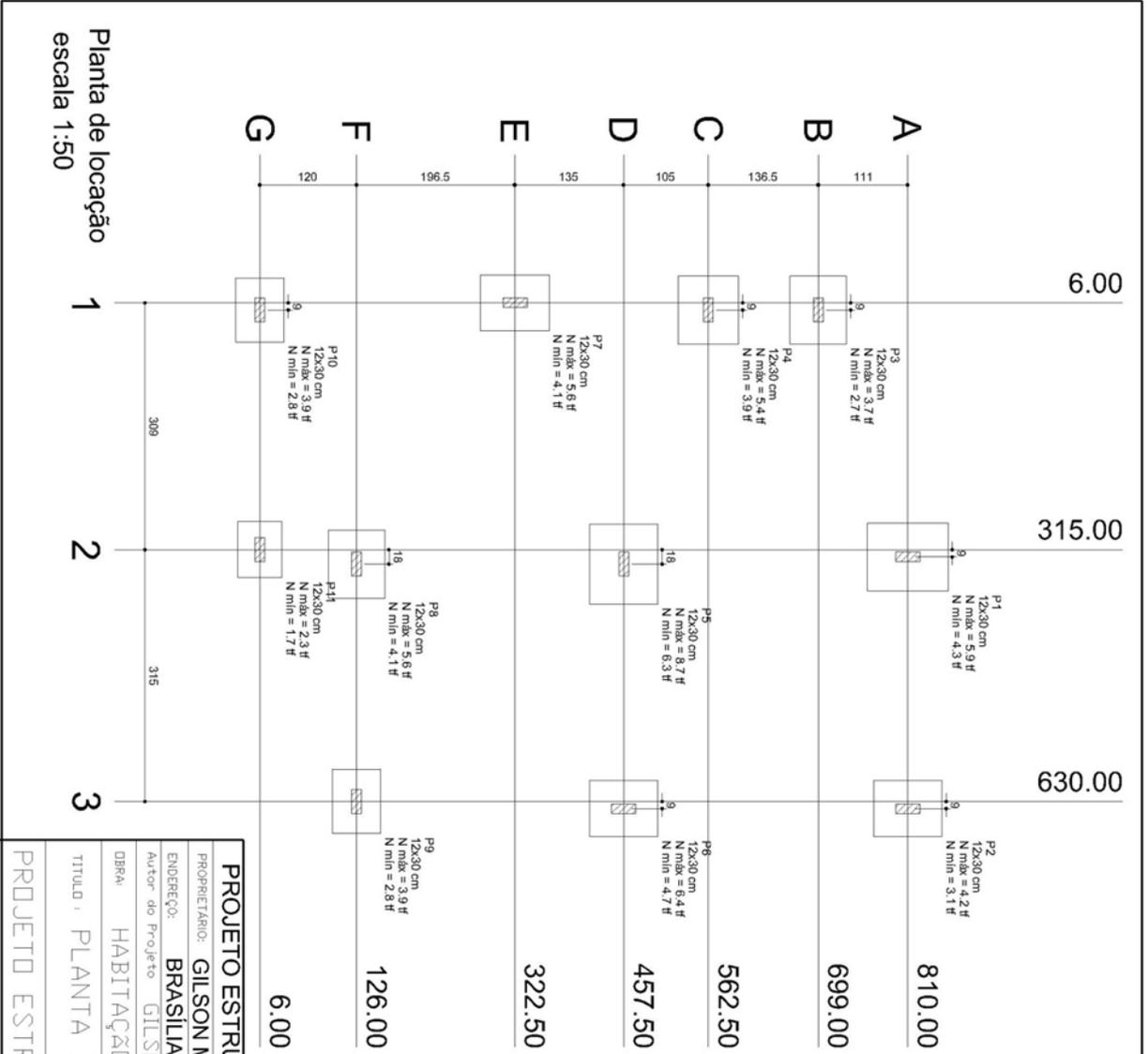
ESCALA: 1/50

FOLHA Nº REV. 03/03

PROJETO ESTRUTURAL

DATA: 28/06/13

Apêndice D - Projeto de concreto armado com vedação de blocos cerâmicos



Nome	Seção (cm)	P#t#		Carga Máx. (t)	Carga Min. (t)
		X (cm)	Y (cm)		
P1	12x30	324,00	810,00	5,9	4,3
P2	12x30	639,00	810,00	4,2	3,1
P3	12x30	15,00	699,00	3,7	2,7
P4	12x30	15,00	562,50	5,4	3,9
P5	12x30	333,00	457,50	8,7	6,3
P6	12x30	639,00	457,50	6,4	4,7
P7	12x30	6,00	322,50	5,6	4,1
P8	12x30	333,00	126,00	5,6	4,1
P9	12x30	630,00	126,00	3,9	2,8
P10	12x30	15,00	6,00	3,9	2,8
P11	12x30	315,00	6,00	2,3	1,7

Lado B (cm)	Lado H (cm)	Fundação			
		T0 / Ra (cm)	n1 / Ra (cm)	n1 / Ra (cm)	df (cm)
85	100	25	25	25	170
70	85	25	25	25	170
70	85	25	25	25	170
75	85	25	25	25	170
85	100	25	25	25	170
70	85	25	25	25	170
70	85	25	25	25	170
60	80	25	25	25	170
60	80	25	25	25	170
55	70	25	25	25	170

PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO

PROPRIETÁRIO: GILSON MARAFIGA PEDROSO

ENDEREÇO: BRASÍLIA-DF

Autor do Projeto: GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS

DESA: HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

TÍTULO: PLANTA DE LOCAÇÃO

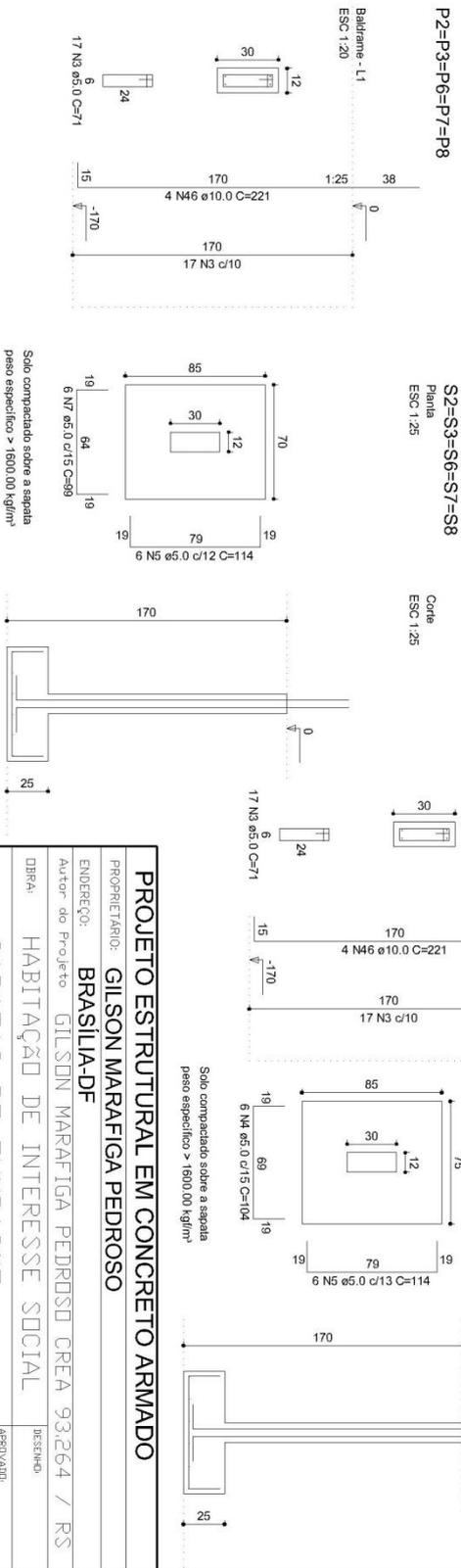
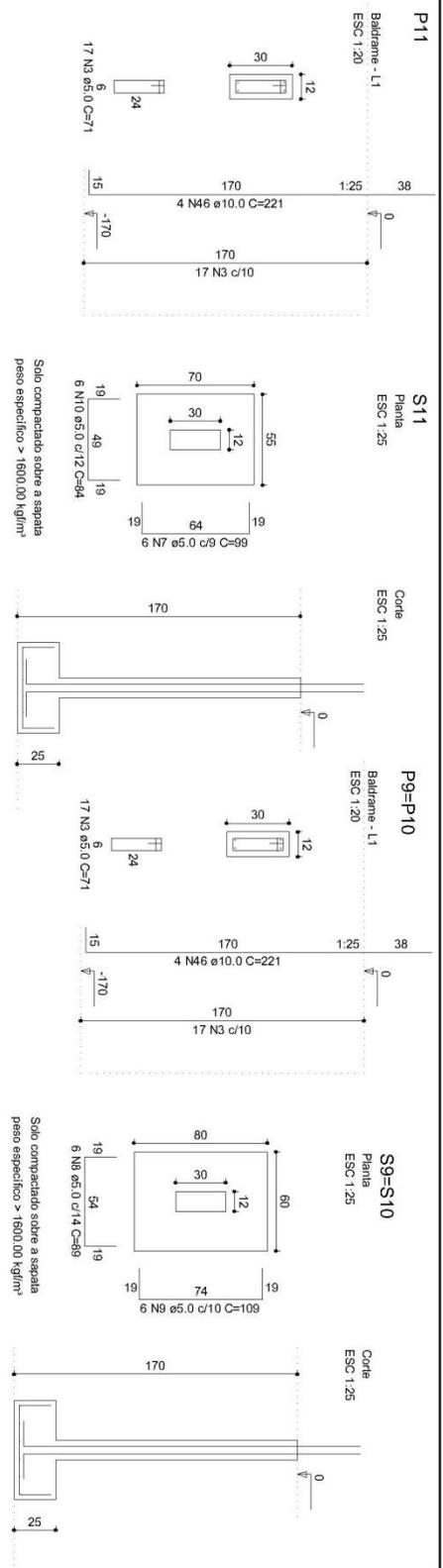
PROJETO ESTRUTURAL

DATA: 28/06/13

ESCALA: 1:50

FDLHA: No REV. 01/10

Planta de locação
escala 1:50

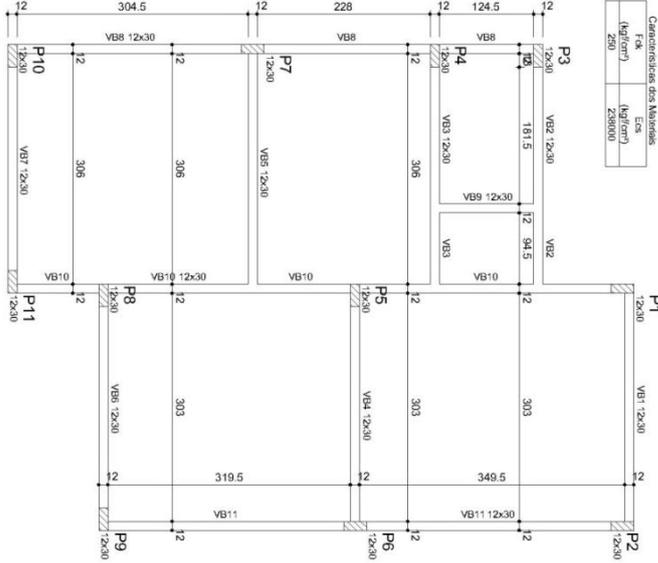


PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	
PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIGA PEDROSO
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF
Autor do Projeto:	GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS
DESENHO:	
DETA:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL
TÍTULO:	SAPATAS DE FUNDAÇÃO
APROVADO:	
ESCALA:	IND.
DATA:	28/06/13
FOLHA NO REV:	02/10

Nome	Tipo	Altura (cm)	Estruturação (cm)	Spessegura (kg/m ²)
------	------	-------------	-------------------	---------------------------------

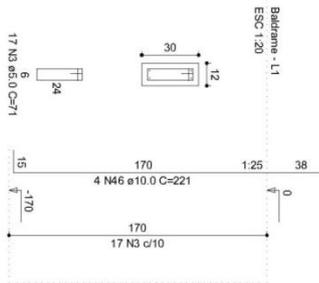
Características dos Materiais	
Fck (kgf/cm ²)	Ecs (kgf/cm ²)
25	238000

Vigas			
Nome	Seção	Estruturação (cm)	Área (cm ²)
VB1	12x30	0	0
VB2	12x30	0	0
VB3	12x30	0	0
VB4	12x30	0	0
VB5	12x30	0	0
VB6	12x30	0	0
VB7	12x30	0	0
VB8	12x30	0	0
VB9	12x30	0	0
VB10	12x30	0	0
VB11	12x30	0	0

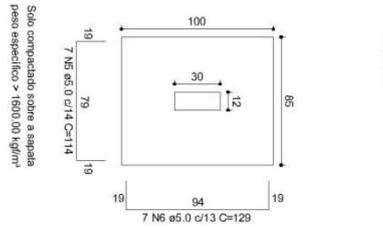


Forma do pavimento Baldrame escala 1:50

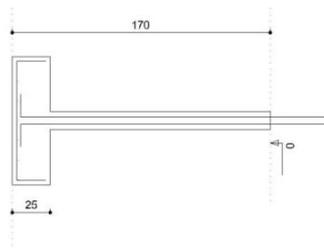
P1=P5



S1=S5
Planta
ESC 1:25



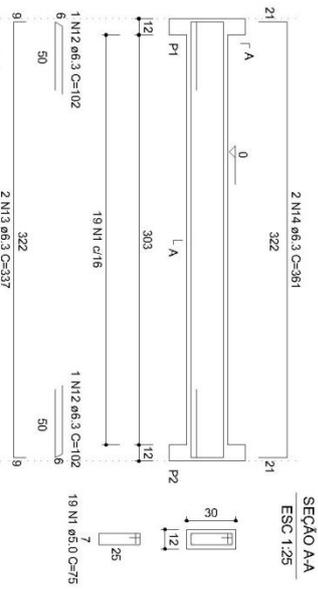
Corte
ESC 1:25



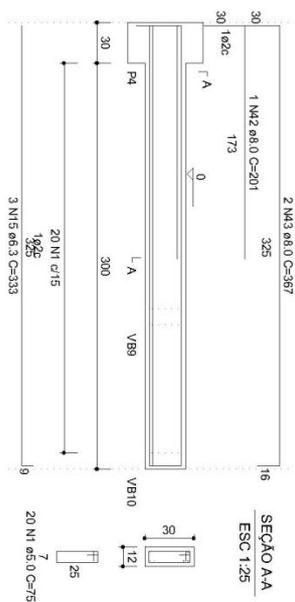
Solo compactado sobre a sapata peso específico > 1600.00 kg/m³

PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	
PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIGA PEDROSO
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF
Autor do Projeto:	GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS
DBRA:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL
TÍTULO:	FORMA DO BALDRAME E SAPATAS
PROJETO ESTRUTURAL	DATA: 28/06/13
	ESCALA: IND.
	FOLHA Nº REV. 03/10

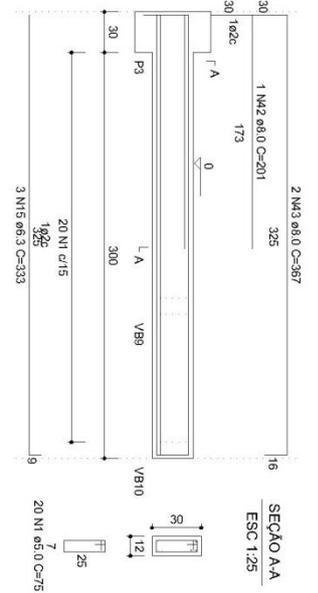
VB1
1:30



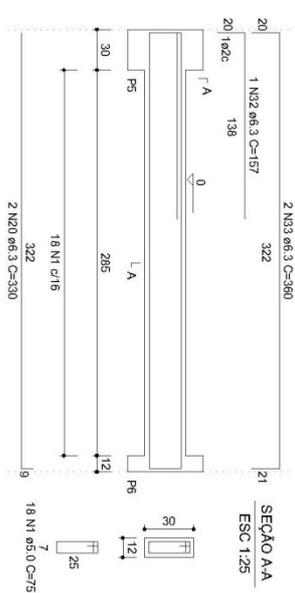
VB3
1:30



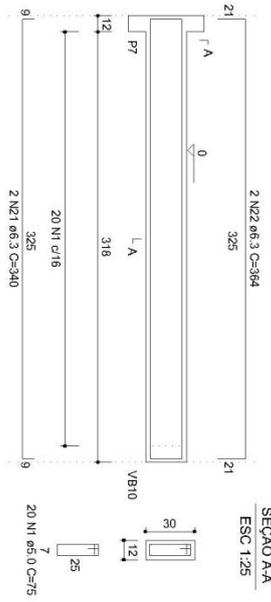
VB2
1:30



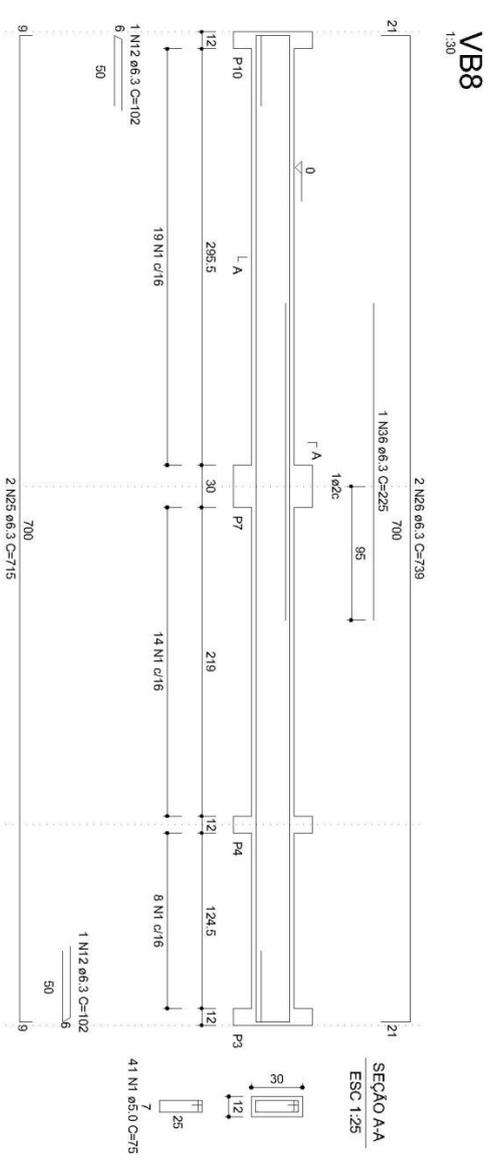
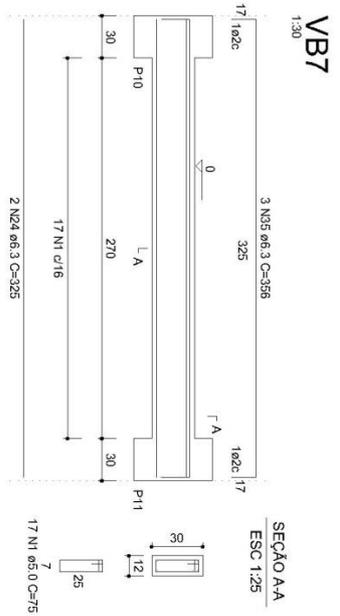
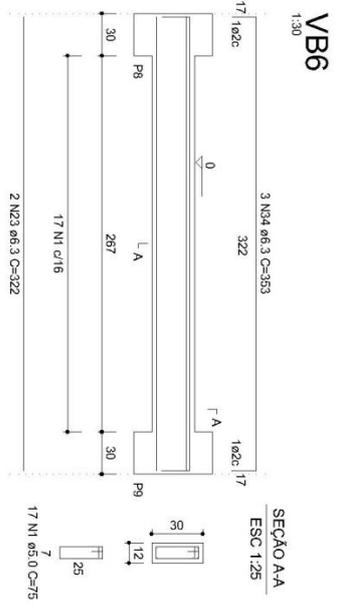
VB4
1:30



VB5
1:30

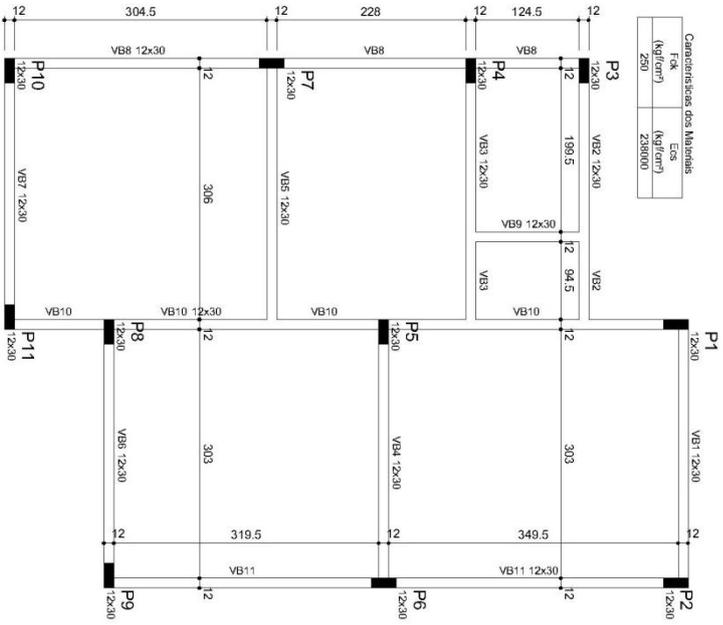


PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	
PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIGA PEDROSO
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF
Autor do Projeto:	GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS
DESCRIÇÃO:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL
TÍTULO:	VIGAS DO BALDRAME
APROVADO:	
REVISADO:	
ESCALA:	IND.
FOLHA NO REV.:	04/10
DATA:	28/06/13
PROJETO ESTRUTURAL	



PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	
PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIGA PEDROSO
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF
Autor do Projeto	GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 932.264 / RS
DBRA:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL
TÍTULO:	VIGAS DO BALDRAME
PROJETO ESTRUTURAL	DATA: 28/06/13
	ESCALA: IND.
	FOLHA Nº REV. 05/10

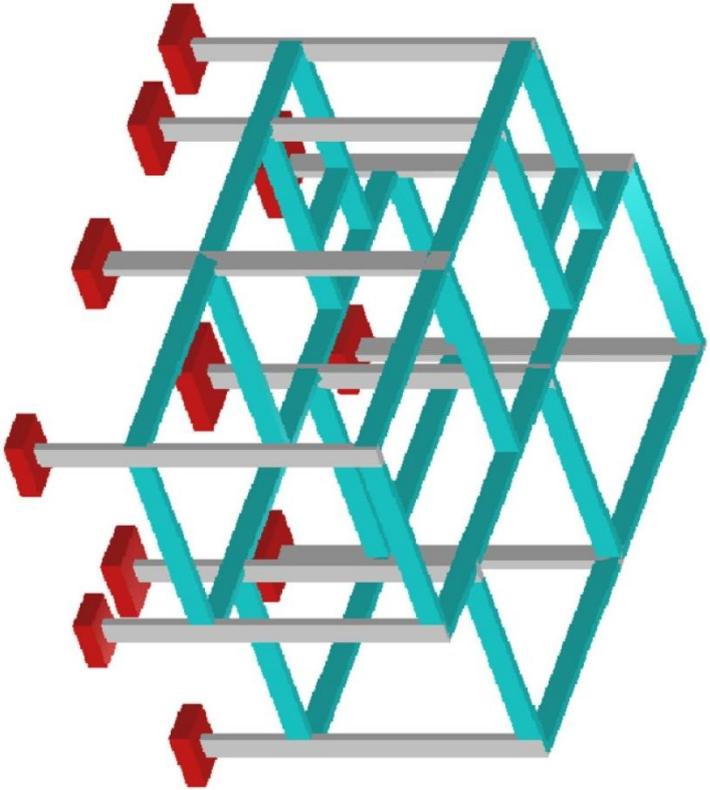
Forma do pavimento Térreo escala 1:50



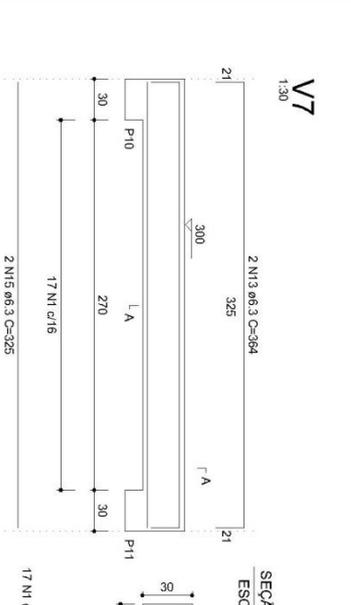
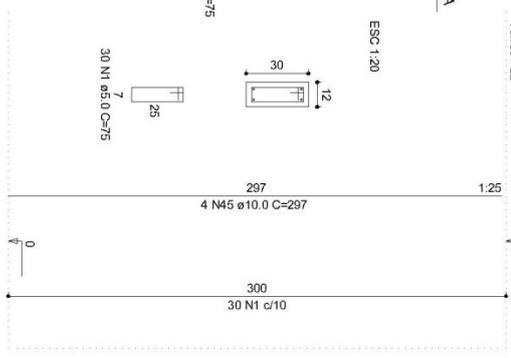
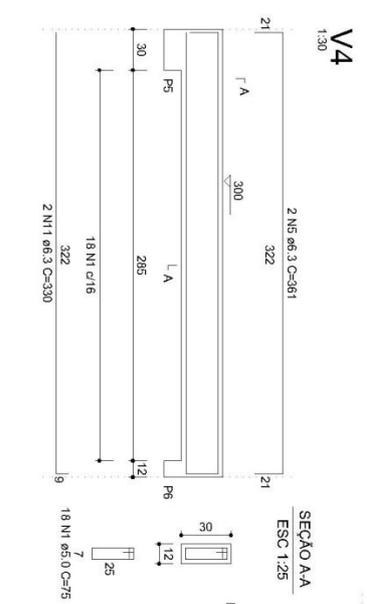
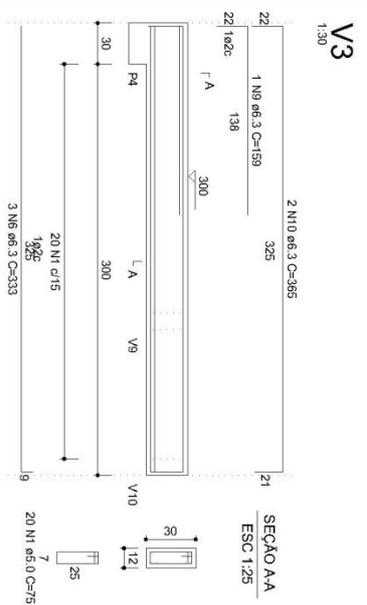
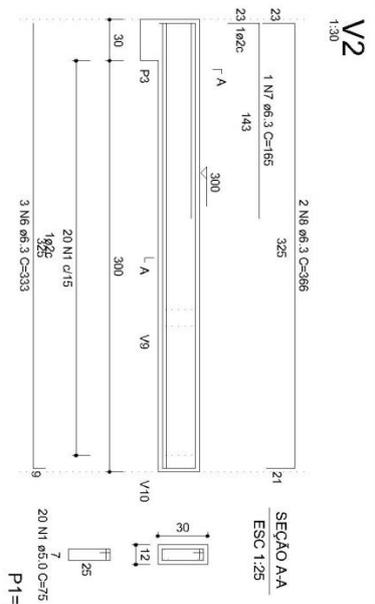
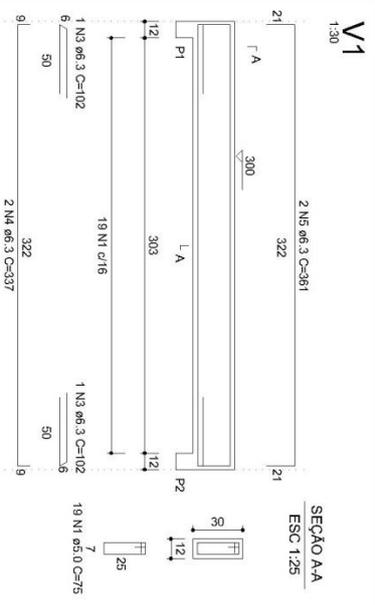
Nome	Tipo	Altura (cm)	Elvração (cm)	Seçãom² (kg/m²)
------	------	-------------	---------------	-----------------

Características dos Materiais	
Fck (kgf/cm²)	250
Ecs (kgf/cm²)	238000

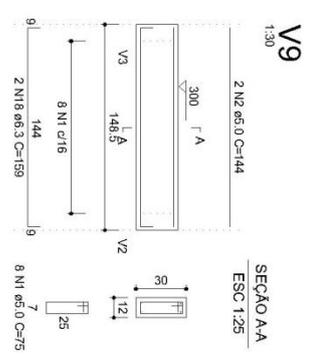
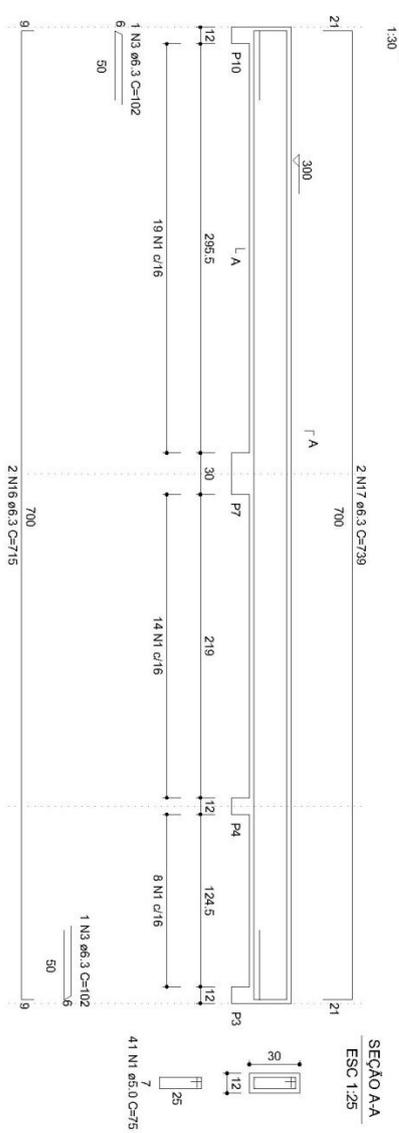
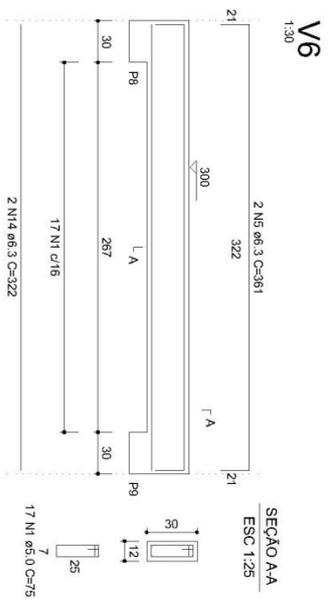
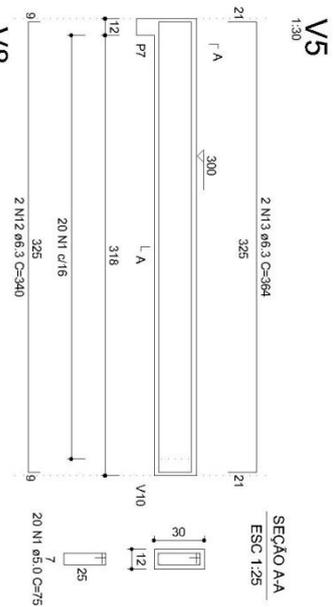
Vigas			
Nome	Seção (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm)
VB1	12x30	0	300
VB2	12x30	0	300
VB3	12x30	0	300
VB4	12x30	0	300
VB5	12x30	0	300
VB6	12x30	0	300
VB7	12x30	0	300
VB8	12x30	0	300
VB9	12x30	0	300
VB10	12x30	0	300
VB11	12x30	0	300



PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	
PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIÇA PEDROSO
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF
Autor do Projeto	GILSON MARAFIÇA PEDROSO CREA 93.264 / RS
OBRA:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL
TÍTULO:	FORMA DO TEREÇO
PROJETO ESTRUTURAL	DATA: 28/06/13
	ESCALA: 1:50
	FOLHA Nº REV. 07/10
	APROVADO
	DESIGNO

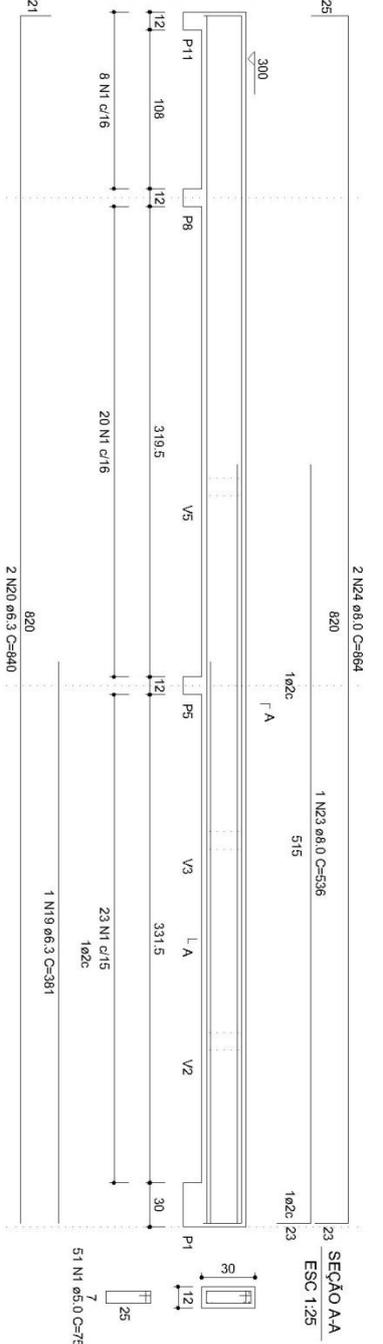


PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	
PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIGA PEDROSO
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF
Autor do Projeto	GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS
DEBRA	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL
TÍTULO :	VIGAS DO TERREDO
DATA:	28/06/13
APROVADO:	
ESCALA:	IND.
FOLHA NO REV.	08/10
PROJETO ESTRUTURAL	



PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO	
PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIGA PEDROSO
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF
Autor do Projeto	GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS
DIRTA:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL
TÍTULO:	VIGAS DO TERREO
PROJETO ESTRUTURAL	DATA: 28/06/13
	ARROVADO
	ESCALA: IND.
	FOLHA Nº REV: 09/10

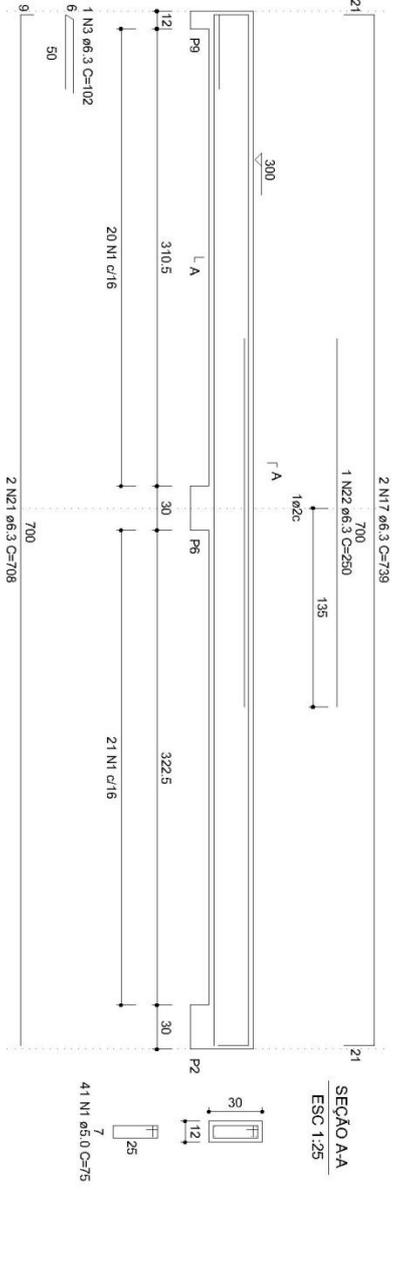
V10



RELAÇÃO DO AÇO

AÇO	N	DIAM	Q	UNIT	C TOTAL
11P1-L12	1	5.0	873	75	65975
V89-L12	2	5.0	144	144	5772
V89-L12	3	5.0	187	187	5772
V89-L12	4	5.0	104	104	624
2xP1-L1	5	5.0	50	114	5700
2xP9-L1	6	5.0	14	129	1606
2xS5-L1	7	5.0	36	99	3564
8 N1 c/15	8	5.0	12	89	1066
10 N1 c/16	9	5.0	12	109	1306
11 N1 c/16	10	5.0	6	84	504
12 N1 c/16	11	5.0	6	84	504
13 N1 c/16	12	5.0	1	102	1122
14 N1 c/16	13	5.0	4	337	1346
15 N1 c/16	14	5.0	8	361	2866
16 N1 c/16	15	5.0	12	333	3996
17 N1 c/16	16	5.0	1	165	165
18 N1 c/16	17	5.0	2	366	732
19 N1 c/16	18	5.0	1	159	159
20 N1 c/16	19	5.0	2	365	730
21 N1 c/16	20	5.0	4	340	1360
22 N1 c/16	21	5.0	4	340	1360
23 N1 c/16	22	5.0	6	364	2184
24 N1 c/16	23	5.0	4	322	1286
25 N1 c/16	24	5.0	4	325	1300
26 N1 c/16	25	5.0	4	715	2860
27 N1 c/16	26	5.0	4	739	4434
28 N1 c/16	27	5.0	6	759	636
29 N1 c/16	28	5.0	4	681	581
30 N1 c/16	29	5.0	4	681	581
31 N1 c/16	30	5.0	1	708	2832
32 N1 c/16	31	5.0	1	250	250
33 N1 c/16	32	5.0	1	157	157
34 N1 c/16	33	5.0	2	360	720
35 N1 c/16	34	5.0	3	353	1059
36 N1 c/16	35	5.0	3	356	1068
37 N1 c/16	36	5.0	1	225	225
38 N1 c/16	37	5.0	2	353	353
39 N1 c/16	38	5.0	2	353	353
40 N1 c/16	39	5.0	1	254	254
41 N1 c/16	40	5.0	1	536	536
42 N1 c/16	41	5.0	2	864	1728
43 N1 c/16	42	5.0	2	201	402
44 N1 c/16	43	5.0	4	367	1466
45 N1 c/16	44	5.0	4	737	1474
46 N1 c/16	45	5.0	4	297	1308
47 N1 c/16	46	5.0	4	221	884
48 N1 c/16	47	5.0	4	221	884
49 N1 c/16	48	5.0	2	552	1104

V11



SEÇÃO A-A

ESC 1:25

PROJETO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO

PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIGA PEDROSO		
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF		
Autor do Projeto:	GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS		
DBRA:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	DESENHO	
TÍTULO:	VIGAS DO TERREDO	APROVADO	
PROJETO ESTRUTURAL	DATA: 28/06/13	ESCALA: IND.	FOLHA No REV: 10/10

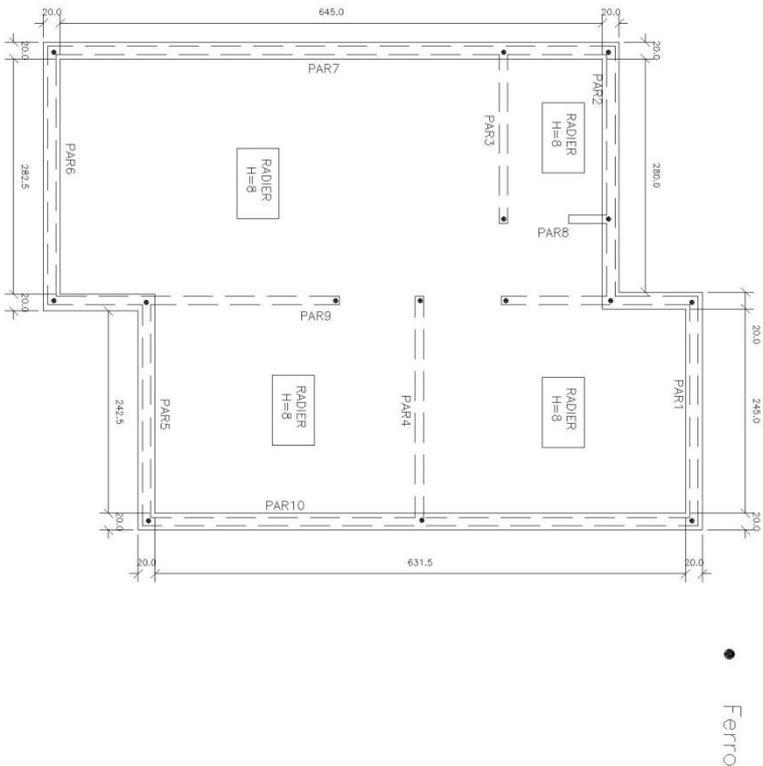
RESUMO DO AÇO

AÇO	DIAM	C.TOTAL (m)	PESO+10% (kg)
CASO	6.3	374.3	100.9
CASO	8.0	56.1	24.4
CASO	10.0	240.8	163.4
CASO	5.0	946.6	160.3
PESO TOTAL			
CASO	288.7		
CASO	160.3		

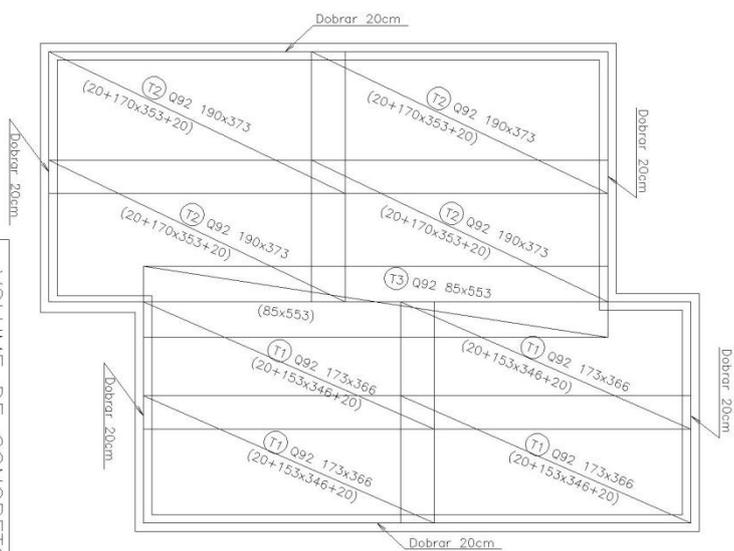
Vol. de concreto total (C-25) = 6.9 m³
 Área de forma total = 119.43 m²

Apêndice E - Projeto de painéis de concreto moldado no local

FORMA DO RADIER/LOCAÇÃO DE FERRO VERTICAL
ESCALA 1:50



ARMAÇÃO DO RADIER
ESCALA 1:50



Relação de Telas

Pos	Designação	Quant.	Dim. Unt.(m)	Total (m)
1	092	4	1,73 x 3,66	25,33m2
2	092	4	1,90 x 3,73	28,35m2
3	092	1	0,85 x 5,53	4,70m2

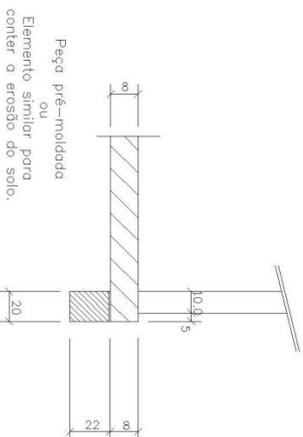
Resumo das Telas

Categ. aço	Designação	Area de Tela m ²	Peso (kg/m ²)	Peso Total
CA - 60	0 92	58,38	1,48	86,41 kg

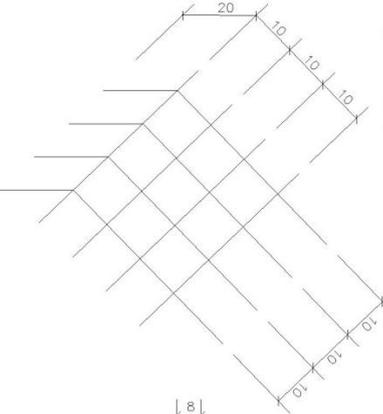
VOLUME DE CONCRETO RADIER
4,88 m³
Considerado mais 10%

PROJETO ESTRUTURAL EM PAINÉIS DE CONCRETO	
PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIGA PEDROSO
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF
Autor do Projeto	GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS
OBRA:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL
TÍTULO :	FORMA E ARMAÇÃO DO RADIER
PROJETO ESTRUTURAL	APROVADO:
DATA: 28/06/13	ESCALA: 1:50
	FOLHA Nº. REV. 01/05

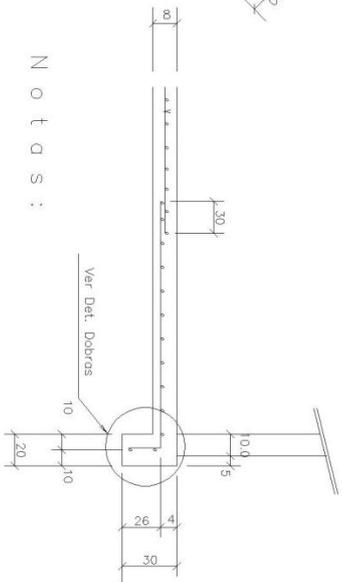
DET. BORDA – RADIER
SUGESTÃO-2
ESCALA 1:20



DET. DOBRA DA TELA
SEM ESCALA



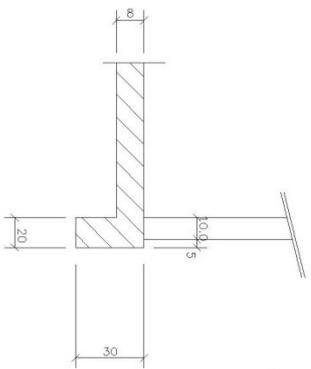
CORTE ARMADURA
ESCALA 1 : 25



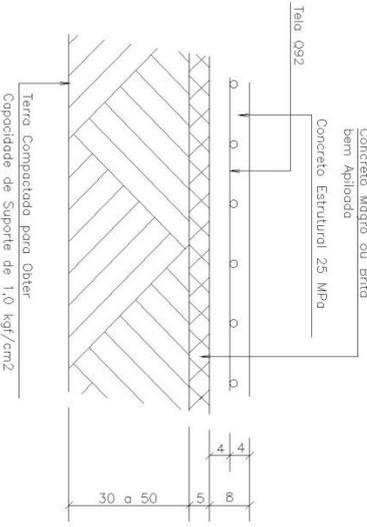
N O T A S :

- 1 – Dimensões em centímetros
- 2 – Não tomar medidas em Escala
- 3 – Conferir Medidas no Obra
- 4 – Fck do Radier = 25 Mpa
- 5 – A construção e implantação das estruturas de fundação radier deverão estar em conformidade com o que estabelece a Norma Brasileira de fundação N.B.R. – 6122 – Marco/86
- 6 – As estruturas de fundação em radier estão projetadas para transmitirem ao solo de fundação pressão uniformemente distribuídas de até 20t/m².
- 7 – As estruturas de fundação deverão estar protegidas quanto as infiltrações de águas provenientes da cobertura pluvial, redes de alimentação externa e esgotos visando a eliminação da possibilidade de corremento de fins no contato Radier
- 8 – O solo deverá ser compactado a pelo menos 95% do proctor normal com desvio em relação a unidade ótima de + ou - 2%
- 9 – A superfície do solo deverá ser preparada com lançamento de concreto magro de 5 cm

DET. BORDA – RADIER
SUGESTÃO-1
ESCALA 1:20

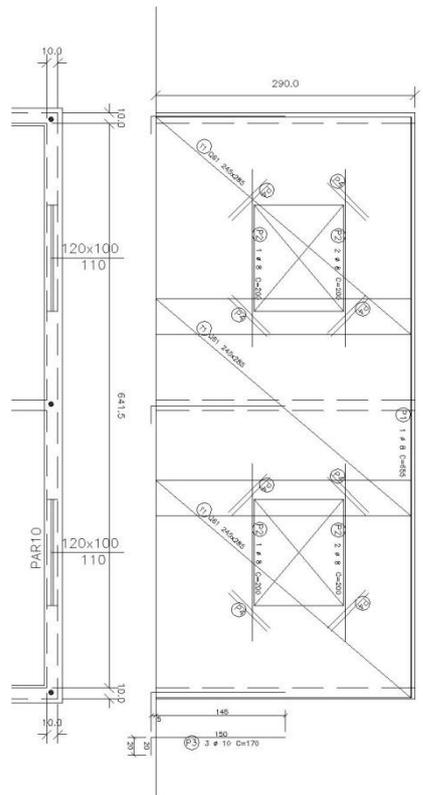
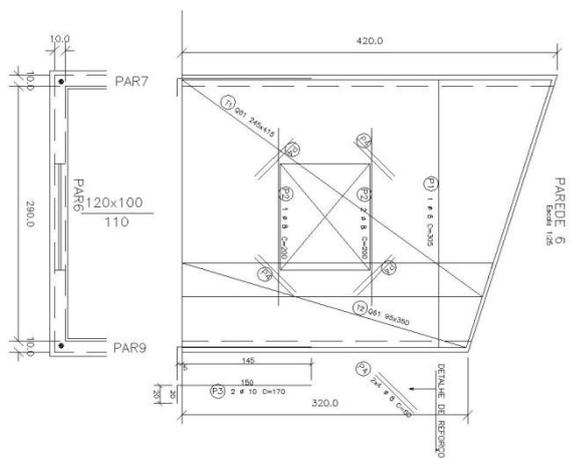
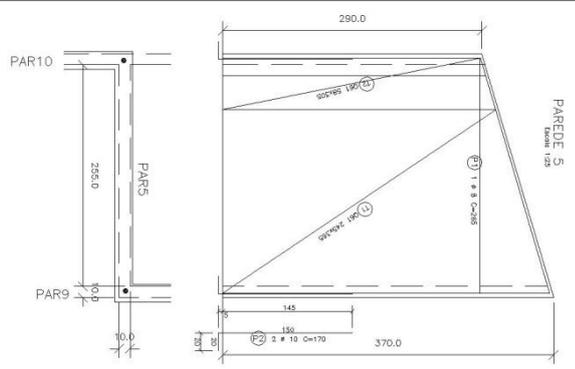
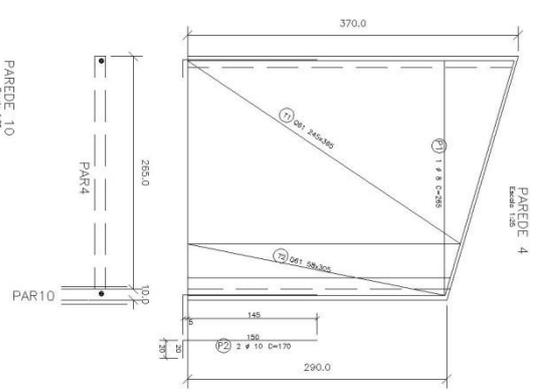
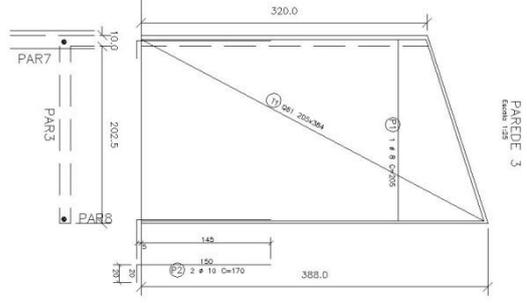
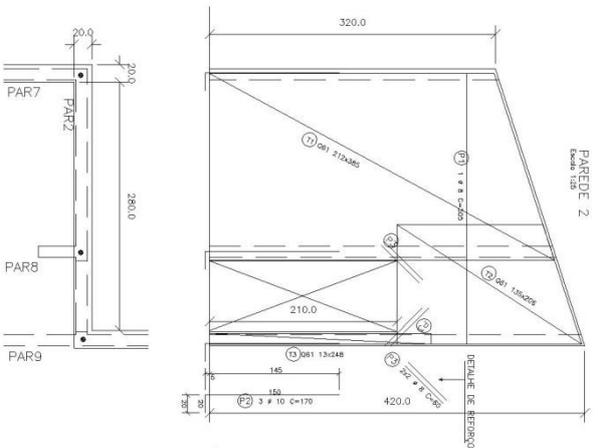
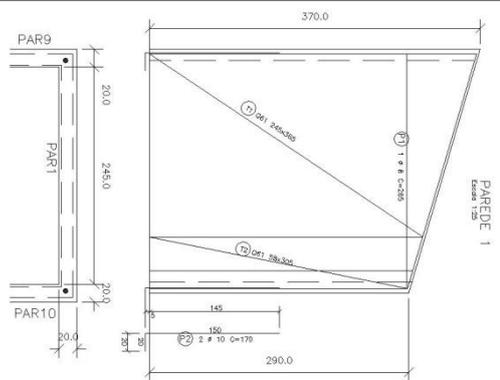


DETALHE GENCICO – RADIER
ESCALA 1 : 10



PROJETO ESTRUTURAL EM PAINÉIS DE CONCRETO

PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIÇA PEDROSO		
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF		
Autor do Projeto	GILSON MARAFIÇA PEDROSO CREA 93.264 / RS		
OBRA:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL		
TÍTULO :	FORMA E ARMAÇÃO DO RADIER		
PROJETO ESTRUTURAL	DATA:	28/06/13	ESCALA: 1:50
			FOLHA Nº REV
			02/05



PROJETO ESTRUTURAL EM PAINÉIS DE CONCRETO

PROPRIETÁRIO: **GILSON MARAFIGA PEDROSO**

ENDEREÇO: **BRASILIA-DF**

Autor do Projeto **GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS**

OBRA: **HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

TÍTULO: **ELEVAÇÕES E ARMAÇÕES DAS PAREDES**

PROJETO ESTRUTURAL

DATA: 28/06/13

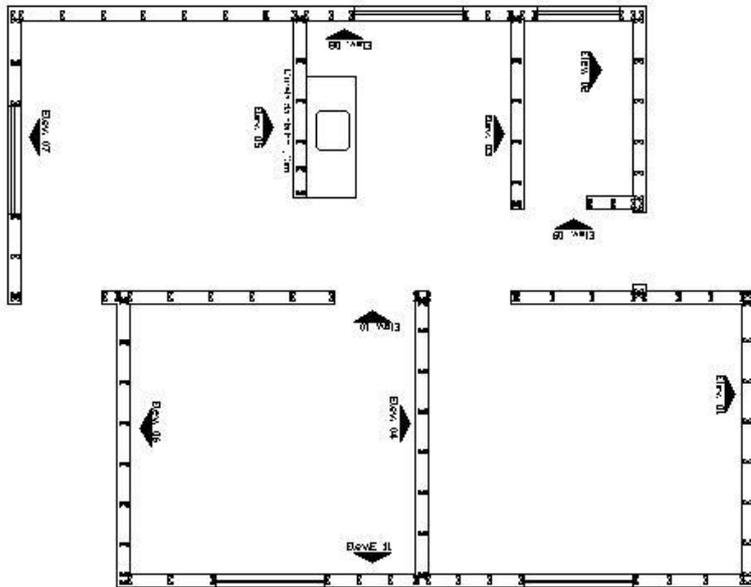
APROVADO:

DESIGNADO:

ESCALA: 1:50

FOLHA Nº REV. 04/05

Apêndice F - Projeto de *steel frame*

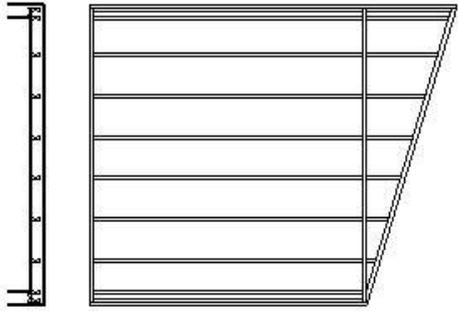


Planta Base Estrutural STEEL FRAME
 Esc. 1/50

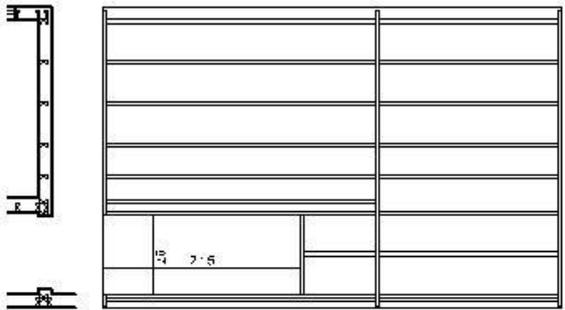
PROJETO ESTRUTURAL EM STEEL FRAME

PROPRIETÁRIO:	GILSON MARAFIGA PEDROSO		
ENDEREÇO:	BRASILIA-DF		
Autor do Projeto:	GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93264 / RS		
DATA:	28/06/13	DESENHO:	
TIPO:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	APROVADO:	
TÍTULO:	PLANTA DE PRIMEIRA FIADA	ESCALA:	1/50
PROJETO ESTRUTURAL		FOLHA Nº REV.:	01/03

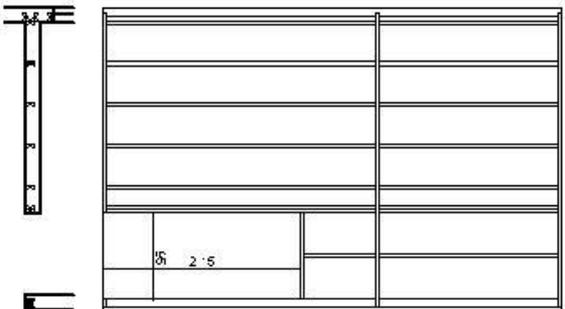
Elev. 01



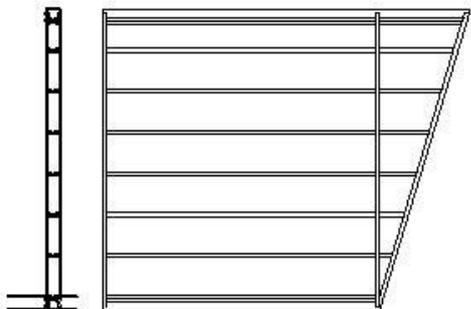
Elev. 02



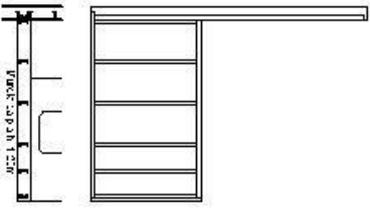
Elev. 03



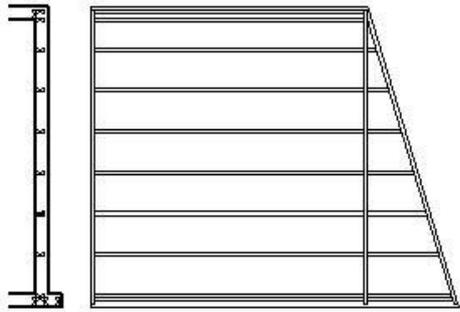
Elev. 04



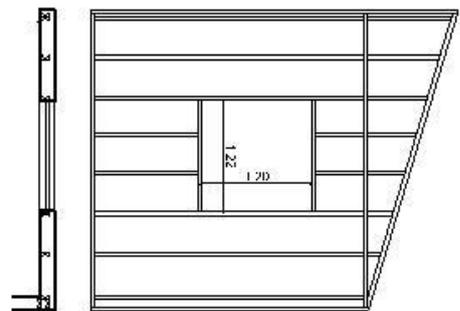
Elev. 05



Elev. 06



Elev. 07



PROJETO ESTRUTURAL EM STEEL FRAME

PROPRIETÁRIO: GILSON MARAFIGA PEDROSO

ENDEREÇO: BRASÍLIA-DF

Autor do Projeto: GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS

DBRA: HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

TÍTULO: PAGINAÇÕES

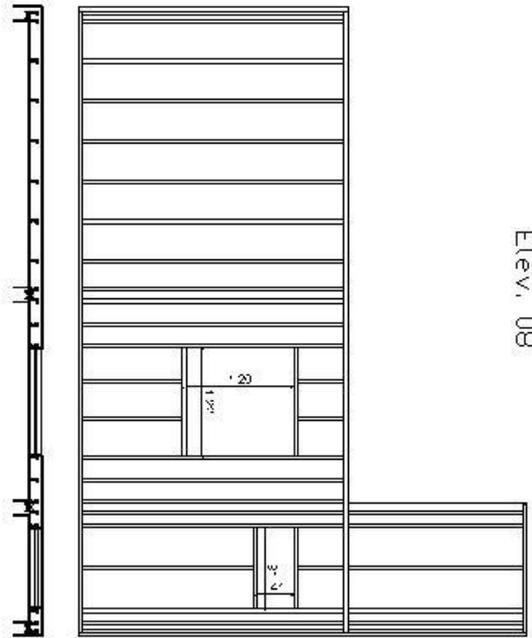
TÍTULO: PAGINAÇÕES

PROJETO ESTRUTURAL

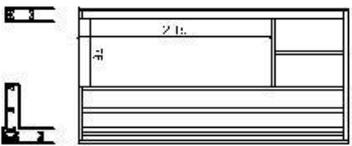
DATA: 28/06/13

ESCALA: 1/50
FOLHA Nº REV. 02/03

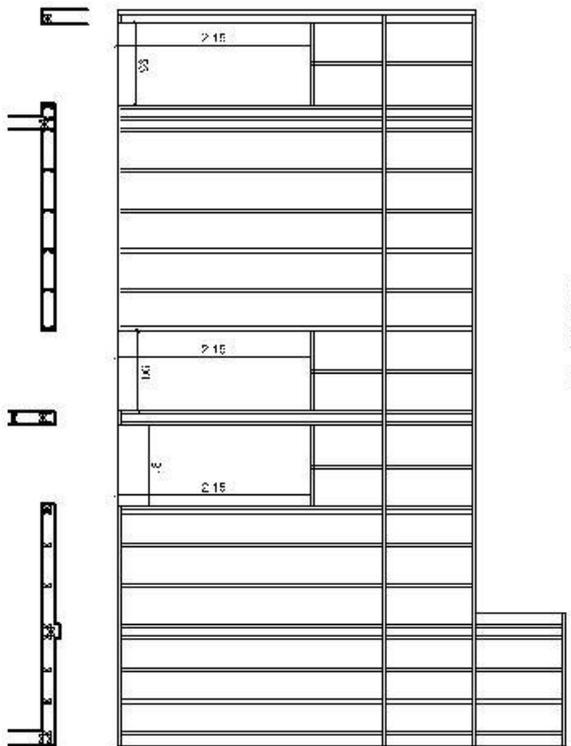
Elev. 08



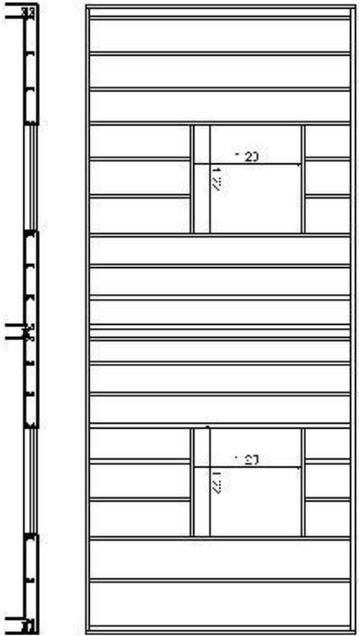
Elev. 09



Elev. 10

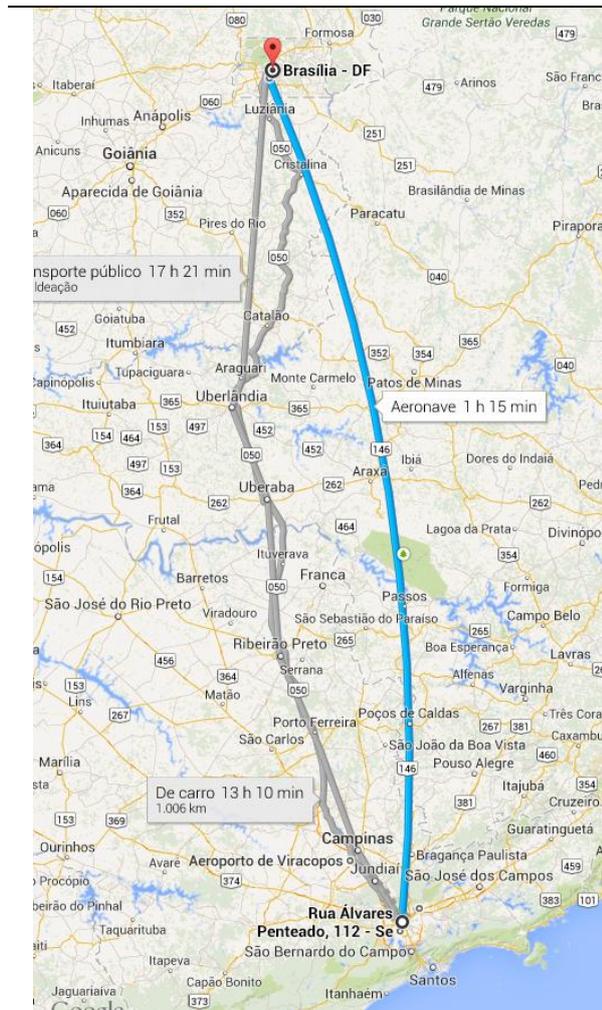


Elev. 11

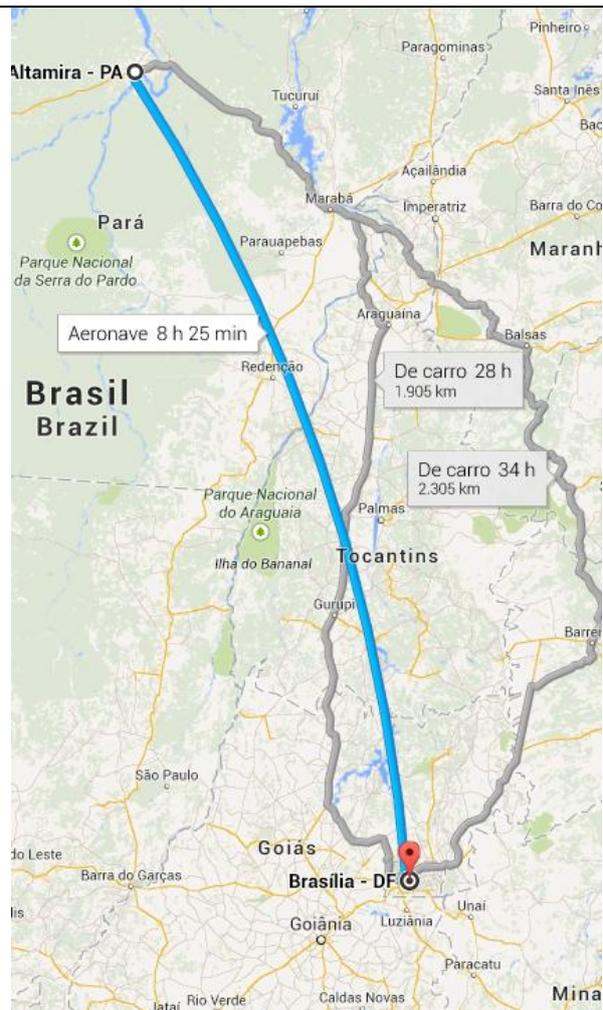


PROJETO ESTRUTURAL EM STEEL FRAME			
PROPRIETÁRIO: GILSON MARAFIGA PEDROSO			
ENDEREÇO: BRASILIA-DF			
Autor do Projeto: GILSON MARAFIGA PEDROSO CREA 93.264 / RS			
DBFA:	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	DESIGNO	
TÍTULO: PAGINAÇGES			
PROJETO ESTRUTURAL		DATA:	ESCALA: 1/50
		28/06/13	FOLHA Nº REV:
			03/03

Apêndice G - Exemplo de levantamento dos percursos dos insumos até o destino



(a)



(b)

Fonte: GoogleMaps (2014)

Apêndice H - Tabela insumos consumidos para os ensaios de desconstrução

SVVIE	Insumo	Un	Qt	Custo (R\$)
Concreto armado	Concreto 25 MPa	m ³		
	Argamassa para encunhamento Bautech – 25 Kg	sc	2	72,40
	Sarrafo 5 cm	m	65	108,36
	Sarrafo 7 cm	m	25	45,13
	Prego 17x27 cabeça dupla	kg	1/2	5,5
	Fôrma plastificada 14 mm 2,20 x 1,10 m	plc	5	420,00
	Otto compound adesivo lt 1 kg (A+B)	kg	1/2	21,72
	Arame recozido 1,25 mm	kg	1	9,10
	Aço CA 50 8 mm	kg	30,0	142,50
	Aço CA 50 5 mm	Kg	11,1	48,62
	Pedreiro assent. bloco	h	4	80,00
	Ajudante assent. bloco	h	2	20,00
	Carpinteiro	hs	10	200,00
	Argamassa 1:2:8 (cim:cal:areia) para revestimento de esp. 2 cm	m ³	0,26	
	Pedreiro	hs	10	75,00
	Ajudante	hs	7	50,00
	Pintor	hs	4	75,00
<i>Somatório do custo de cada conjunto de 6 (seis) paredes</i>				
Painel de concreto	Concreto 25 MPa	m ³		
	Sarrafo 5 cm	m	65	108,36
	Sarrafo 7 cm	m	25	45,13
	Prego 17x27 cabeça dupla	kg	1/2	5,5
	Fôrma plastificada em madeira 14 mm 2,20 x 1,10 m	plc	5	420,00
	Otto compound adesivo 1 kg (A+B)	kg	1/2	21,72
	Arame recozido 1,25 mm	kg	1	9,10
	Aço CA 50 6.3 mm	Kg	24	114,00
	Carpinteiro para execução de fôrmas (não foi necessário ajudante)	hs	10	200,00
	Pintor	hs	4	75,00
	<i>Somatório do custo de cada conjunto de 6 (seis) paredes</i>			
Alvenaria estrutural	Meio bloco 11,5x19x11,5 cm	und	48	58,00
	Bloco e meio 11,5x19x36,5 cm	und	48	120,00
	Aço CA 50 8 mm	kg	13,2	62,7
	Canaleta 11,5x19x24 cm	und	24	36,00
	Argamassa assentamento 1:05:4,5 (vol)	m ³	0,07	17,50
	Graute 15 MPa	m ³	0,12	30,00
	Pedreiro assent. bloco	h	6	100,00
	Ajudante assent. bloco	h	3	30,00
	Argamassa 1:2:8 (cim:cal:areia) para revestimento de esp. 2 cm	m ³	0,26	
	Pedreiro	hs	10	75,00
	Ajudante	hs	7	50,00
	Pintor	hs	4	75,00
	<i>Somatório do custo de cada conjunto de 6 (seis) paredes</i>			
Steel Frame	Placa OSB 2440x1220x18 mm	ch	5	217,97
	Guia estrutural 90x40x3000 mm	pc	4	345,68
	Montante estrutural 90x40x3000 mm	pc	7	126,14
	Placa cimentícia CRFS 2400x 1200x10 mm	ch	3	563,00
	Placa gesso acartonado 2400x1200x12,5 mm	und	3	137,59
	Lã de rocha 1350x600x50 mm 8 pcs	pac	2	530,83
	Montador Steel frame	h	8	46,25
	Ajudante de Steel frame	h	4	20,00
	Parafuso AB CHATA 4.0x45cx c/ 500 paraf.	cx	1	54,64
	Parafuso AB CHATA PH ZC 3,5x25 cx c/ 500 paraf.	cx	1	34,41
	Parafuso AB CHATA PH BICRO 4.0x45 cx c/ 500 paraf.	cx	1	65,33
	Pintor	hs	4	75,00
	<i>Somatório do custo de cada conjunto de 6 (seis) paredes</i>			
Equipam./outros	Brocas para furadeira várias bitolas	vb	1	55,00
	Mandril bosch	un	1	19,43
	Haste para martetele	un	1	11,13
	Linha nylon 100 m	un	1	3,67
	Corda 6 mm	m	30	31,36
	Concreto 20 MPa para base das paredes	m ³	6	1380,00
	Lona preta 150 micras – 80 m ²	vb	1	98,00
	Tela aço Q92 2450x6000 mm	pc	5	700,00
	Balança mecânica 150 KG BRIÃO	pc	1	530,00
	Nível de alumínio 120 cm	pc	1	48,49

	Esmerilhadeira bosch	pc	1	289,83
	Disco de corte	pc	1	10,35
	Luva borracha par	pc	2	29,33
	Abafador de ruído	pc	1	15,92
	Protetor facial	pc	1	18,14
	Luva couro raspa par	pc	2	26,87
	Locação de rompedor	dia	1	85,00
	Pastilhas cerâmicas para taliscas das paredes	vb	1	57,00
	Banner para identificação do experimento 0,80 x 1,00 m	und	1	48,00
	Locação de tenda para desconstrução das paredes	und	1	250,00
	Locação de Martelo rompedor de 10 Kg para desconstrução das paredes	vb	1	375,00
	Mão de obra de 2 ajudantes em 3 dias (24 hs para cada um)	vb	1	340,00
	<i>Somatório do custo dos equipamentos e insumos auxiliares</i>			

Apêndice I - Dados secundários de EI

Insumos utilizados na fase do ciclo de vida	Und	EI (MJ/UND), adotado pelo autor	Alcorn e Baird (1996)	Nabut Neto (2011)	Tavares (2006)	Lobo (2010)	Carminatti Jr. (2012)	Local de extração	Local de industrialização ou comercialização	Soma das dist. (Km) até São Sebastião, DF
AlumínioVIRGEM EXTRUDADO estruturados para uma habitação sem repetição (20 Kg/m ² de fôrma) (SH)	kg	166,00	166,0					Oriximina, PA	Av. Brasil, 45208, Campo Grande, RJ, SH Fôrmas	4805
Areia lavada grossa para concreto (1515 kg/m ³) (Lemos)	kg	0,05			0,05	0,05	0,05	Pires do Rio, GO	SIA, Trecho 4, Pátio ferroviário 2, Brasília, DF	261
Brita 1 para concreto (Lemos)	m ³	247,50	0,15 (p/ kg)		0,15 (p/ Kg)	0,15 (p/ Kg)		Sobradinho, DF	SIA, Trecho 4, Pátio ferroviário 2, Brasília, DF	60
Cimento Portland CP-32 (cimento Tocantins)	kg	4,20	7,8	2,46	4,2	4,2	4,2	Sobradinho II, DF	Sobradinho II, DF	33
Tela soldada Q 61 - Malha 15 x 15 cm - diâmetro 3,4 mm (aço laminado Arcelor)	kg	30,00			30	xxx	31	João Monlevade, MG	São Paulo, SP	1693
Fibra de polipropileno (Bautech)	kg	83,80			83,8	xxx		XXXX	Itaquaquecetuba, SP	1032
Espaçadores para tela soldada em PVC (Jeruel)	kg	80,00			xxx	xxx		XXXX	Jundiá, SP	943
Desmoldante de fôrmas para concreto	l	86,13			xxx	87		XXXX	São Paulo, SP	997
Pontalete (seção transversal: 3x3 " / altura: 75 mm / largura: 75 mm)	m	2,10			xxx	xxx		Santarém, PA	Santarém, PA	2482
Sarrafo (seção transversal: 1x3 " / espessura: 25 mm / altura: 75 mm)	m	0,70			xxx	xxx		Santarém, PA	Santarém, PA	2482
Tábua de cedrinho (espessura: 25 mm / largura: 200 mm / seção transversal: 1x8")	m	1,20			xxx	xxx		Santarém, PA	Santarém, PA	2482
Prego com cabeça 17 x 21 (comprimento: 48 mm / diâmetro: 3,00 mm) (Gerdau)	kg	31,00			xxx	31		Santa Cruz, RJ	Santa Cruz, RJ	1184
Prego com cabeça dupla 17 x 27 (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	31,00			xxx	31		Santa Cruz, RJ	Santa Cruz, RJ	1184
Prego com cabeça 15 x 15 (comprimento: 34,5 mm / diâmetro: 2,40 mm)	kg	32,00			xxx	31		Santa Cruz, RJ	Santa Cruz, RJ	1184
Chapa de madeira compensada plastificada (comprimento: 2200 mm / espessura: 12 mm / largura: 1100 mm)	m ²	0,63			xxx	8 (p/kg)		União da Vitória-PR	União da Vitória-PR	1479
Bloco de vedação cerâmica de 11,5 x 19 x 29 cm fbk mínimo = 1,5 MPa	kg	2,90	2,5	4,88	2,9	2,9		Sobradinho, DF	Sobradinho, DF	41
Areia média lavada para assentam. Alvenaria	kg	0,05		0,05	0,05	0,05	0,05	Pires do Rio, GO	SIA, Trecho 4, Pátio ferroviário 2, Brasília, DF	261
Cal Hidratada assentam. Alvenaria (Itaú)	kg	4,03		3	xxx	4,5	4	XXXX	Ribeirão Preto, SP	686
Areia grossa para chapisco	kg	0,05			0,05	0,05	0,05	Pires do Rio, GO	SIA, Trecho 4, Pátio ferroviário 2, Brasília, DF	261
Líquido preparador de superfície para pint. Interna e externa	l	98,00			95,5	98		XXXX	São Paulo, SP	997
Tinta latex acrílica para exterior	l	65,00	88,5		61	98	46,2	XXXX	São Paulo, SP	997
Tinta latex PVA para interior	l	65,00	88,5		65	98	46,2	XXXX	São Paulo, SP	997
Massa corrida PVA	kg	65,00	88,5		xxx	98		XXXX	São Paulo, SP	997
Placa OSB 2440x1220x18 mm	kg	7,50			7,5	xxx		Ponta Grossa, PR	Ponta Grossa, PR	1272
Guia estrutural 90x40x3000 mm + Montante estrutural 90x40x3000 mm ambos em Aço Galvanizado	kg	33,80		30,49	33,8	33,8		XXXX	São Paulo, SP	997
Placa cimentícia CRFS 2400x 1200x10 mm	kg	6,00	13,1		xxx	4,19	2243,9	São Paulo, SP	São Paulo, SP	997
Placa gesso acartonado 2400x1200x12,5 mm	kg	6,10	6,1		xxx	6,1	50,9	Petrolina, PE	São Paulo, SP	997
Lã de rocha 1350x600x50 mm	kg	19,00			19	24		São Paulo, SP	São Paulo, SP	997
Desmoldante para fôrmas de alumínio (Desmol VG)	l	86,30				86,3		São Paulo, SP	São Paulo, SP	997
Parafusos autobrocantes - aço reciclado	kg	12,50	12,5		12,5	12,5		XXXX	São Paulo, SP	997

Apêndice J - Fichas de ensaios de desconstrução de paredes de vedações

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 12/07/14	Sistema Construtivo: Alvenaria Estrutural	Operador: Gilson Pedroso	N° CP: 01/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 15,5 cm (parede 11,5 cm + duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	Pesos (kg) de resíduos cimentícios: 266,80 Pesos (kg) de resíduos de aço: 1,40 Peso Total de resíduos da parede: 268,20 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Martelo rompedor GSH 11 E Professional, elétrico, potência de 1500 W/h;</i> • <i>Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h;</i> 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Martelo: 16 min, equivalentes a um consumo de 400 W ou 384000 J ou 0,38MJ (1 W = 1 J/s);</i> • <i>Esmerilhadeira: 45 segundos, equivalentes a um consumo de 9 W ou 405 J ou 0,000405 MJ (1 W = 1 J/s);</i> • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,38 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	<i>Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 6,7 unidades de medida, resultando num valor de 0,25 m³ de resíduos.</i>
Obs: Nenhuma.	

Data: 12/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 12/07/14	Sistema Construtivo: Alvenaria Estrutural	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 02/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 15,5 cm (parede 11,5 cm + duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução



Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	Pesos (kg) de resíduos cimentícios: 264,40 Pesos (kg) de resíduos de aço: 1,20 Peso Total de resíduos da parede: 265,60 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Professional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Martelo:</i> 15 min, equivalentes a um consumo de 375 W ou 337500 J ou 0,34 MJ (1 W = 1 J/s); • <i>Esmerilhadeira:</i> 32 segundos, equivalentes a um consumo de 6,4 W ou 204,80 J ou 0,0002048 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,34 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 6,9 unidades de medida, resultando num valor de 0,26 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 12/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 12/07/14	Sistema Construtivo: Alvenaria Estrutural	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 03/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 15,5 cm (parede 11,5 cm + duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	Pesos (kg) de resíduos cimentícios: 252,00 Pesos (kg) de resíduos de aço: 1,20 Peso Total de resíduos da parede: 253,20 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Professional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo: 13 min e 50 seg, equivalentes a um consumo de 345,83 W ou 287038,90 J ou 0,29 MJ (1 W = 1 J/s); • Esmerilhadeira: 25 seg, equivalentes a um consumo de 5 W ou 125 J ou 0,000125 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,29 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 6,2 unidades de medida, resultando num valor de 0,23 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 12/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 12/07/14	Sistema Construtivo: Alvenaria Estrutural	Operador: Gilson Pedroso	N° CP: 04/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 15,5 cm (parede 11,5 cm + duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução



Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	Pesos (kg) de resíduos cimentícios: 264,00 Pesos (kg) de resíduos de aço: 1,20 Peso Total de resíduos da parede: 265,20 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Profissional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo: 12 min e 18 seg, equivalentes a um consumo de 307,50 W ou 226935 J ou 0,23 MJ (1 W = 1 J/s); • Esmerilhadeira: 35 seg, equivalentes a um consumo de 7 W ou 245 J ou 0,000245 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,23 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 6,2 unidades de medida, resultando num valor de 0,23 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 12/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 12/07/14	Sistema Construtivo: Alvenaria Estrutural	Operador: Gilson Pedroso	N° CP: 05/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 15,5 cm (parede 11,5 cm + duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
<p>Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.</p>	<p>Pesos (kg) de resíduos cimentícios: 261,80 Pesos (kg) de resíduos de aço: 1,20 Peso Total de resíduos da parede: 263,00 Kg</p>
<p>Equipamentos para desconstrução:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Professional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	<p>Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Martelo: 13 min, equivalentes a um consumo de 325 W ou 253500 J ou 0,25 MJ (1 W = 1 J/s); • Esmerilhadeira: 27 seg, equivalentes a um consumo de 5,4 W ou 145,8 J ou 0,0001458 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,25 MJ
<p>Caixa para medição do volume gerado (m³):</p>	<p>Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 6,8 unidades de medida, resultando num valor de 0,26 m³ de resíduos.</p>
<p>Obs: Nenhuma.</p>	

Data: 12/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 12/07/14	Sistema Construtivo: Alvenaria Estrutural	Operador: Gilson Pedroso	N° CP: 06/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 15,5 cm (parede 11,5 cm + duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução



Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	Pesos (kg) de resíduos cimentícios: 257,00 Pesos (kg) de resíduos de aço: 1,20 Peso Total de resíduos da parede: 258,20 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Profissional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • <u>Martelo</u>: 13 min, equivalentes a um consumo de 325 W ou 253500 J ou 0,25MJ (1 W = 1 J/s); • <u>Esmerilhadeira</u>: 35 segundos, equivalentes a um consumo de 4,2 W ou 147 J ou 0,000147MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,25 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 6,4 unidades de medida, resultando num valor de 0,24 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 12/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 11/07/14	Sistema Construtivo: Concreto armado	Operador: Gilson Pedroso	N° CP: 01/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 15,5 cm (parede 11,5 cm formada por pórtico de pilares e viga+ duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	Pesos (kg) de resíduos cimentícios: 245,25 Pesos (kg) de resíduos de aço: 5,20 Peso Total de resíduos da parede: 250,45 Kg
Equipamentos para desconstrução:	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento:
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Martelo rompedor GSH 11 E Professional, elétrico, potência de 1500 W/h;</i> • <i>Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h;</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Martelo: 22 min e 0 seg, equivalentes a um consumo de 530,00 W ou 726000 J ou 0,73 MJ (1 W = 1 J/s);</i> • <i>Esmerilhadeira: 1 min e 50 seg, equivalentes a um consumo de 22,00 W ou 2420 J ou 0,002 MJ (1 W = 1 J/s);</i> • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,73 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	<i>Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 6,3 unidades de medida, resultando num valor de 0,24 m³ de resíduos.</i>
Obs: Nenhuma.	

Data: 11/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 11/07/14	Sistema Construtivo: Concreto armado	Operador: Gilson Pedroso	N° CP: 02/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 15,5 cm (parede 11,5 cm formada por pórtico de pilares e viga+ duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	<u>Pesos (kg) de resíduos cimentícios:</u> 235,90 <u>Pesos (kg) de resíduos de aço:</u> 5,20 <u>Peso Total de resíduos da parede:</u> 241,10 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Professional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo: 23 min e 45 seg, equivalentes a um consumo de 593,75 W ou 846093,75 J ou 0,85 MJ (1 W = 1 J/s); • Esmerilhadeira: 2 min e 35 seg, equivalentes a um consumo de 31,00 W ou 4805 J ou 0,005 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,85 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 6,0 unidades de medida, resultando num valor de 0,23 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 11/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 11/07/14	Sistema Construtivo: Concreto armado	Operador: Gilson Pedroso	N° CP: 03/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 15,5 cm (parede 11,5 cm formada por pórtico de pilares e viga+ duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	Pesos (kg) de resíduos cimentícios: 235,00 Pesos (kg) de resíduos de aço: 5,20 Peso Total de resíduos da parede: 240,20 Kg
Equipamentos para desconstrução:	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento:
<ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Profissional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	<ul style="list-style-type: none"> • Martelo: 27 min e 0 seg, equivalentes a um consumo de 675,00 W ou 1093500,00 J ou 1,09 MJ (1 W = 1 J/s); • Esmerilhadeira: 2 min e 0 seg, equivalentes a um consumo de 24,00 W ou 2880,00 J ou 0,003 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 1,09 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 6,0 unidades de medida, resultando num valor de 0,23 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 11/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 11/07/14	Sistema Construtivo: Concreto armado	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 04/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 15,5 cm (parede 11,5 cm formada por pórtico de pilares e viga+ duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	Pesos (kg) de resíduos cimentícios: 240,30 Pesos (kg) de resíduos de aço: 5,20 Peso Total de resíduos da parede: 245,50 Kg
Equipamentos para desconstrução:	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento:
<ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Professional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	<ul style="list-style-type: none"> • Martelo: 26 min e 0 seg, equivalentes a um consumo de 650,00 W ou 1014000 J ou 1,01 MJ (1 W = 1 J/s); • Esmerilhadeira: 2 min e 22 seg, equivalentes a um consumo de 28,40 W ou 4032,80 J ou 0,004 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 1,01 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 6,3 unidades de medida, resultando num valor de 0,24 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 11/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 11/07/14	Sistema Construtivo: Concreto armado	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 05/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 15,5 cm (parede 11,5 cm formada por pórtico de pilares e viga+ duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	Pesos (kg) de resíduos cimentícios: 203,90 Pesos (kg) de resíduos de aço: 5,40 Peso Total de resíduos da parede: 209,30 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Profissional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Martelo: 27 min e 0 seg, equivalentes a um consumo de 675 W ou 1093500 J ou 1,09 MJ (1 W = 1 J/s);</i> • <i>Esmerilhadeira: 2 min e 12 seg, equivalentes a um consumo de 26,40 W ou 3484,80 J ou 0,003 MJ (1 W = 1 J/s);</i> • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 1,09 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	<i>Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 5,6 unidades de medida, resultando num valor de 0,21 m³ de resíduos.</i>
Obs: Nenhuma.	

Data: 11/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 11/07/14	Sistema Construtivo: Concreto armado	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 06/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 15,5 cm (parede 11,5 cm formada por pórtico de pilares e viga+ duas camadas de revestimento argamassado de 2 cm + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	<u>Pesos (kg) de resíduos cimentícios:</u> 239,00 <u>Pesos (kg) de resíduos de aço:</u> 5,20 <u>Peso Total de resíduos da parede:</u> 244,20 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Profissional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo: 26 min e 0 seg, equivalentes a um consumo de 650 W ou 1014000 J ou 1,01 MJ (1 W = 1 J/s); • Esmerilhadeira: 2 min e 12 seg, equivalentes a um consumo de 26,40 W ou 3484,80 J ou 0,003 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 1,01 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,0378 m ³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 6,5 unidades de medida, resultando num valor de 0,24 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 11/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 10/07/14	Sistema Construtivo: <i>Painel de concreto moldado no local</i>	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 01/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 10,0 cm (parede maciça de concreto armado + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	<u>Pesos (kg) de resíduos cimentícios:</u> 234,30 <u>Pesos (kg) de resíduos de aço:</u> 3,20 <u>Peso Total de resíduos da parede:</u> 237,50 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Martelo rompedor GSH 11 E Profissional, elétrico, potência de 1500 W/h;</i> • <i>Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h;</i> 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Martelo: 18 min e 18 seg, equivalentes a um consumo de 457,50 W ou 502335 J ou 0,50 MJ (1 W = 1 J/s);</i> • <i>Esmerilhadeira: 9 min e 7 seg, equivalentes a um consumo de 109,40 W ou 59841,8 J ou 0,006 MJ (1 W = 1 J/s);</i> • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,51 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	<i>Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 5,4 unidades de medida, resultando num valor de 0,20 m³ de resíduos.</i>
Obs: Nenhuma.	

Data: 10/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 10/07/14	Sistema Construtivo: <i>Painel de concreto moldado no local</i>	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 02/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 10,0 cm (parede maciça de concreto armado + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	<u>Pesos (kg) de resíduos cimentícios:</u> 218,20 <u>Pesos (kg) de resíduos de aço:</u> 3,15 <u>Peso Total de resíduos da parede:</u> 221,35 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Profissional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo: 13 min e 3 seg, equivalentes a um consumo de 326,25 W ou 255453,75 J ou 0,26 MJ (1 W = 1 J/s); • Esmerilhadeira: 8 min e 14 seg, equivalentes a um consumo de 98,80 W ou 48807,20 J ou 0,05 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,31 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 4,9 unidades de medida, resultando num valor de 0,18 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 10/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 10/07/14	Sistema Construtivo: <i>Painel de concreto moldado no local</i>	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 03/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 10,0 cm (parede maciça de concreto armado + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	<u>Pesos (kg) de resíduos cimentícios:</u> 223,40 <u>Pesos (kg) de resíduos de aço:</u> 3,20 <u>Peso Total de resíduos da parede:</u> 226,60 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Profissional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo: 14 min e 55 seg, equivalentes a um consumo de 372,92 W ou 333760,42 J ou 0,33 MJ (1 W = 1 J/s); • Esmerilhadeira: 6 min e 5 seg, equivalentes a um consumo de 73 W ou 26645 J ou 0,03 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,36 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 5,0 unidades de medida, resultando num valor de 0,19 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 10/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 10/07/14	Sistema Construtivo: <i>Painel de concreto moldado no local</i>	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 04/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 10,0 cm (parede maciça de concreto armado + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	Pesos (kg) de resíduos cimentícios: 221,10 Pesos (kg) de resíduos de aço: 3,20 Peso Total de resíduos da parede: 224,30 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Martelo rompedor GSH 11 E Profissional, elétrico, potência de 1500 W/h;</i> • <i>Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h;</i> 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Martelo: 14 min e 34 seg, equivalentes a um consumo de 364,17 W ou 318281,67 J ou 0,32 MJ (1 W = 1 J/s);</i> • <i>Esmerilhadeira: 6 min e 28 seg, equivalentes a um consumo de 77,6 W ou 30108,80 J ou 0,03 MJ (1 W = 1 J/s);</i> • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,35 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	<i>Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 4,7 unidades de medida, resultando num valor de 0,18 m³ de resíduos.</i>
Obs: Nenhuma.	

Data: 10/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 10/07/14	Sistema Construtivo: <i>Painel de concreto moldado no local</i>	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 05/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 10,0 cm (parede maciça de concreto armado + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução



Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	<u>Pesos (kg) de resíduos cimentícios:</u> 214,10 <u>Pesos (kg) de resíduos de aço:</u> 3,20 Peso Total de resíduos da parede: 217,30 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Martelo rompedor GSH 11 E Profissional, elétrico, potência de 1500 W/h;</i> • <i>Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h;</i> 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Martelo: 15 min e 10 seg, equivalentes a um consumo de 379,17 W ou 345041,67 J ou 0,34 MJ (1 W = 1 J/s);</i> • <i>Esmerilhadeira: 5 min e 24 seg, equivalentes a um consumo de 64,80 W ou 20995,20 J ou 0,02 MJ (1 W = 1 J/s);</i> • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,36 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	<i>Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 4,7 unidades de medida, resultando num valor de 0,18 m³ de resíduos.</i>
Obs: Nenhuma.	

Data: 10/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 10/07/14	Sistema Construtivo: <i>Painel de concreto moldado no local</i>	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 06/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 10,0 cm (parede maciça de concreto armado + selador nas duas faces + pintura lisa na face interna e textura rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg), considerando o desconto do peso da Tara do recipiente de 10,70 Kg.	Pesos (kg) de resíduos cimentícios: 214,20 Pesos (kg) de resíduos de aço: 3,20 Peso Total de resíduos da parede: 217,40 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo rompedor GSH 11 E Profissional, elétrico, potência de 1500 W/h; • Esmerilhadeira da marca Bosch GWS 7-115 ET, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Martelo: 14 min e 20 seg, equivalentes a um consumo de 358,33 W ou 308166,67 J ou 0,31 MJ (1 W = 1 J/s); • Esmerilhadeira: 4 min e 0 seg, equivalentes a um consumo de 48,00 W ou 20995,20 J ou 0,01 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,32 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,0378 m³ do recipiente (35 X 45 X 24 cm), foram obtidas 4,6 unidades de medida, resultando num valor de 0,17 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 10/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 11/07/14	Sistema Construtivo: <i>Steel Frame</i>	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 01/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 14,8 cm (Estrutura de aço galvanizado formado por guias de piso e teto, juntamente com os montantes. Uma placa de OSB 18 mm em cada face, uma placa cimentícia de 10 mm na face externa e uma placa de gesso acartonado 12 mm na face interna + massa corrida na face interna, selador nas duas faces, PVA na parte interna e textura acrílica rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg):	<u>Peso Total de resíduos da parede:</u> 57,95 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Parafusadeira da marca Dewalt VVR 720 DW 253, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Parafusadeira: 13 min e 29 seg, equivalentes a um consumo de 161,80 W ou 130896,2 J ou 0,13 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,13 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,148 m³ de volume ocupado pela parede construída, considerou-se o mesmo volume construído como volume de resíduos: 0,15 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 11/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 11/07/14	Sistema Construtivo: <i>Steel Frame</i>	Operador: Gilson Pedroso	N° CP: 02/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 14,8 cm (Estrutura de aço galvanizado formado por guias de piso e teto, juntamente com os montantes. Uma placa de OSB 18 mm em cada face, uma placa cimentícia de 10 mm na face externa e uma placa de gesso acartonado 12 mm na face interna + massa corrida na face interna, selador nas duas faces, PVA na parte interna e textura acrílica rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg):	Peso Total de resíduos da parede: 58,35 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Parafusadeira da marca Dewalt VVR 720 DW 253, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Parafusadeira: 15 min e 0 seg, equivalentes a um consumo de 180,00 W ou 162000 J ou 0,16 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,16 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,148 m ³ de volume ocupado pela parede construída, considerou-se o mesmo volume construído como volume de resíduos: 0,15 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 11/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 11/07/14	Sistema Construtivo: <i>Steel Frame</i>	Operador: Gilson Pedroso	Nº CP: 03/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 14,8 cm (Estrutura de aço galvanizado formado por guias de piso e teto, juntamente com os montantes. Uma placa de OSB 18 mm em cada face, uma placa cimentícia de 10 mm na face externa e uma placa de gesso acartonado 12 mm na face interna + massa corrida na face interna, selador nas duas faces, PVA na parte interna e textura acrílica rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg):	Peso Total de resíduos da parede: 57,15 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Parafusadeira da marca Dewalt VVR 720 DW 253, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Parafusadeira: 11 min e 0 seg, equivalentes a um consumo de 132,00 W ou 87120 J ou 0,09 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,16 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,148 m ³ de volume ocupado pela parede construída, considerou-se o mesmo volume construído como volume de resíduos: 0,15 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 11/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 11/07/14	Sistema Construtivo: <i>Steel Frame</i>	Operador: Gilson Pedroso	N° CP: 04/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 14,8 cm (Estrutura de aço galvanizado formado por guias de piso e teto, juntamente com os montantes. Uma placa de OSB 18 mm em cada face, uma placa cimentícia de 10 mm na face externa e uma placa de gesso acartonado 12 mm na face interna + massa corrida na face interna, selador nas duas faces, PVA na parte interna e textura acrílica rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg):	Peso Total de resíduos da parede: 59,30 Kg
Equipamentos para desconstrução:	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento:
<ul style="list-style-type: none"> Parafusadeira da marca Dewalt VVR 720 DW 253, elétrico, potência de 720 W/h; 	<ul style="list-style-type: none"> Parafusadeira: 12 min e 0 seg, equivalentes a um consumo de 144,0 W ou 103680 J ou 0,10 MJ (1 W = 1 J/s); Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,10 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,148 m³ de volume ocupado pela parede construída, considerou-se o mesmo volume construído como volume de resíduos: 0,15 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 11/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 11/07/14	Sistema Construtivo: <i>Steel Frame</i>	Operador: Gilson Pedroso	N° CP: 05/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 14,8 cm (Estrutura de aço galvanizado formado por guias de piso e teto, juntamente com os montantes. Uma placa de OSB 18 mm em cada face, uma placa cimentícia de 10 mm na face externa e uma placa de gesso acartonado 12 mm na face interna + massa corrida na face interna, selador nas duas faces, PVA na parte interna e textura acrílica rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg):	<u>Peso Total de resíduos da parede: 58,70 Kg</u>
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Parafusadeira da marca Dewalt VVR 720 DW 253, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Parafusadeira: 18 min e 0 seg, equivalentes a um consumo de 216 W ou 233280 J ou 0,23 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,23 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,148 m³ de volume ocupado pela parede construída, considerou-se o mesmo volume construído como volume de resíduos: 0,15 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 11/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

FICHA DE ENSAIO DE DESCONSTRUÇÃO DE PAREDES

DADOS GERAIS:

Data: 11/07/14	Sistema Construtivo: <i>Steel Frame</i>	Operador: Gilson Pedroso	N° CP: 06/06
Informações sobre o Corpo de Prova	Espessura de 14,8 cm (Estrutura de aço galvanizado formado por guias de piso e teto, juntamente com os montantes. Uma placa de OSB 18 mm em cada face, uma placa cimentícia de 10 mm na face externa e uma placa de gesso acartonado 12 mm na face interna + massa corrida na face interna, selador nas duas faces, PVA na parte interna e textura acrílica rolada na face externa). Altura e Largura de 100 cm.		

DADOS ESPECÍFICOS:

Fotos do CP antes e durante a desconstrução	
	
Soma dos pesos coletados em cada parede desconstruída (kg):	<u>Peso Total de resíduos da parede:</u> 58,55 Kg
Equipamentos para desconstrução: <ul style="list-style-type: none"> • Parafusadeira da marca Dewalt VVR 720 DW 253, elétrico, potência de 720 W/h; 	Tempos consumidos/ Consumos energéticos na desconstrução para cada equipamento: <ul style="list-style-type: none"> • Parafusadeira: 14 min e 0 seg, equivalentes a um consumo de 168 W ou 141120 J ou 0,14 MJ (1 W = 1 J/s); • Soma dos consumos de energia dos equipamentos adotados para desconstrução: 0,14 MJ
Caixa para medição do volume gerado (m³):	Considerando um volume de 0,148 m³ de volume ocupado pela parede construída, considerou-se o mesmo volume construído como volume de resíduos: 0,15 m³ de resíduos.
Obs: Nenhuma.	

Data: 11/07/2014

Responsável: Gilson M. Pedroso

Apêndice K - Planilhas de cálculo de EI

Cálculo da EI para as vedações de concreto, na fase de pré-uso

SVVIE CONC. - PAREDE DE CONCRETO - Área construída: 45,64 m ² / Área de vedações internas e externas na habitação: 125,02 m ²														
PLANILHA NA FASE DE PRÉ-USO														
Insumos utilizados na fase do ciclo de vida	Unidade	A	B	C=(A+(B*A)/100)	D	Referência de dados de consumo de energia do Autor	E=(CxD)	CIDADE DE ORIGEM	F	G	H=(C*G)/1000	I	J=(F*H*I)	K=(E+J)
		Insumos de uma habitação	Desperdício (%)*	Insumos de uma habitação com desperdício	Referência de EI (MJ)/UND		EI (MJ) total de insumo		Distância percorrida (Km)	Massa específica do insumo (kg)	Massa para transportar (Ton)	EI Transp. MJ / (Ton. Km) **	EI Transporte TOTAL	EI (MJ) TOTAL
Fôrmas em painéis de alumínio VIRGEM EXTRUDADO estruturados para uma habitação sem repetição (20 Kg/m ² de fôrma)	kg	5.001,20	-	5001,20	166,00	(Tavares, 2006)	830.199,20	Oriximina, PA + Campo Grande, RJ	4.805	1	5,00	0,48	11.534,77	841.733,97
Areia lavada grossa para concreto 20 MPa	m ³	12,12	45,76	17,67	80,00	(Lobo, 2010)	1.413,29	Pires do Rio, GO	261	1.600	28,27	0,48	3.541,14	4.954,43
Brita 1 para concreto 20 MPa	m ³	13,38	45,76	19,50	247,50	(Lobo, 2010)	4.826,92	Sobradinho, DF	60	1.650	32,18	0,48	926,77	5.753,68
Cimento Portland CP II E-32	kg	5.700,00	84,13	10495,41	4,20	(Lobo, 2010)	44.080,72	Sobradinho II-DF	33	1	10,50	0,48	166,25	44.246,97
Tela Q 61 - Malha 15 x 15 cm - diâmetro 3.4 mm	kg	193,66	19,07	230,59	30,00	(Tavares, 2006)	6.917,73	João Monlevade, MG	1.693	1	0,23	0,48	187,39	7.105,12
Fibra de polipropileno	kg	8,58	20,00	10,30	83,80	(Tavares, 2006)	862,80	Itaquaquecetuba, SP	1.032	1	0,01	0,48	5,10	867,91
Espaçadores para tela soldada em PVC	kg	5,00	20,00	6,00	80,00	(Tavares, 2006)	480,00	Jundiá, SP	943	1	0,01	0,48	2,72	482,72
Desmold. para fôrmas de alumínio (Desmol VG)	l	6,25	10,00	6,88	86,13	(Lobo, 2010)	592,14	São Paulo, SP	997	1	0,01	0,48	2,96	595,10
Líquido preparador superfície para pintura	l	39,58	10,00	43,54	61,00	(Tavares, 2006)	2.655,82	São Paulo, SP	997	1	0,05	0,48	25,00	2.680,82
Tinta látex acrílica	l	56,08	10,00	61,69	61,00	(Tavares, 2006)	3.762,97	São Paulo, SP	997	1	0,07	0,48	35,43	3.798,39
Mão de obra de ajudante	h	543,84	30,00	706,99	1,64	(Bouchard et al., 1983)	1.159,47	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	1.159,47
Mão de obra de profissional	h	311,30	30,00	404,69	1,64	(Bouchard et al., 1983)	663,69	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	663,69
Considerando o uso de fôrmas de alumínio EXTRUDADO, com EI = 17,30 MJ/kg	EI GJ/MF													20,03
	EI GJ/MF considerando a repetição de 100 vezes das fôrmas de alumínio													1,77
	EI GJ/MF considerando a repetição de 500 vezes das fôrmas de alumínio													1,62
	EI GJ/MF considerando a repetição de 1000 vezes das fôrmas de alumínio													1,60

*O % de desperdício foi baseado em estudo de AGOPYAN et al (1998) e Formoso et al. (1998).

** EI transporte = 0,0136 l/t.km (Nabut Neto, 2011) e 1 L diesel = 35,58 MJ (Goldemberg e Villanueva, 2003), assim considerou-se EI transp = 0,48 MJ/t.km

Cálculo da EI para as vedações de concreto, nas fases de uso e manutenção e desconstrução, com cálculo da EI total

SVVIE CONC. - PAREDE DE CONCRETO - Área construída: 45,64 m ² / Área de vedações internas e externas na habitação: 125,02 m ²														
PLANILHA NA FASE DE USO E MANUTENÇÃO (PERÍODO = 50 ANOS)														
Insumos utilizados na fase do ciclo de vida	Unidade	A	B	C=(A+(B*A)/100)	D	Referência de dados de consumo de energia do Autor	E=(CxD)	CIDADE DE ORIGEM	F	G	H=(C*G)/1000	I	J=(F*H*I)	K=(E+J)
		Insumos de uma habitação	Desperdício (%) [*]	Insumos de uma habitação com desperdício	Referência de EI (MJ)/UND		EI (MJ) total do insumo ^{***}		Distância percorrida (km) ^{****}	Massa específica do insumo	Massa para transportar (Ton)	EI Transp. MJ/(Ton Km) ^{**}	EI Transporte TOTAL	EI (MJ) TOTAL
Manutenção -Tinta látex acrílica (período = 3 anos)	l	56,08	10,00	61,69	61,00	(Tavares, 2006)	3.762,97	São Paulo, SP	997	1,20	0,07	0,48	35,43	3.798,39
Manutenção - Mão de obra de ajudante	h	68,77	30,00	89,40	1,64	Bouchard et al. (1983)	146,62	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	146,62
Manutenção -Mão de obra de profissional	h	87,51	30,00	113,76	1,64	Bouchard et al. (1983)	186,57	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	186,57
Consumo dos equipamentos na fase de uso para 50 anos (MJ) x FC=1,62, considerando a transf. de energia de uso final para primária														474.260,57
(EI manutenção em GJ, TOTAL x 17 repetições em função da vida útil de 50 anos e manutenção a cada 3 anos) + (EI em GJ, uso em 50 anos)														544,50
EI GJ TOTAL SEM FATOR DE CORREÇÃO DE ENERGIA DE USO FINAL PARA ENERGIA PRIMÁRIA, JÁ QUE OS DADOS DE EI SÃO SECUNDÁRIOS.														544,50
EI GJ/MF														11,93
PLANILHA NA FASE DE DESCONSTRUÇÃO														
Consumo de energia dos equipamentos para desconstrução com o transporte até a deposição	m ²	125,02	0	125,02	0,37	Ensaio do autor	46,26	São Sebastião - DF	50	224,07	28,01	0,48	672,32	718,57
Mão de obra de ajudante	h	43,76	30	56,89	1,64	Bouchard et al. (1983)	93,30	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	93,30
Mão de obra de profissional	h	43,76	30	56,89	1,64	Bouchard et al. (1983)	93,30	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	93,30
EI MJ TOTAL														905,17
EI GJ TOTAL														0,91
EI GJ TOTAL x FC = 1,62 (Considerando a correção por FC = 1,62, apenas para o item de consumo de energia, que é dado de EI primário, pois o dado de EI da mão de obra é secundário)														1,35
EI GJ/MF														0,030
Considerando o uso de fôrmas de alumínio EXTRUDADO, com EI = 17,30 MJ/kg	CONSUMO TOTAL DE EI (GJ/M²) - ZERO REPETIÇÕES DE FÔRMAS													31,99
	CONSUMO TOTAL DE EI (GJ/M²) - 100 REPETIÇÕES DE FÔRMAS													13,73
	CONSUMO TOTAL DE EI (GJ/M²) - 500 REPETIÇÕES DE FÔRMAS													13,58
	CONSUMO TOTAL DE EI (GJ/M²) - 1000 REPETIÇÕES DE FÔRMAS													13,56
*O % de desperdício foi baseado em estudo de AGOPYAN et al (1998) e Formoso et al. (1998).														
** EI transporte = 0,0136 l.t.km (Nabut Neto, 2011) e 1 L diesel = 35,58 MJ (Goldemberg e Villanueva, 2003), assim considerou-se EI transp = 0,48 MJ/t.km														
*** O consumo de EI para fase de manutenção foi multiplicado por 17 vezes (50 anos/3 anos de periodicidade), conforme prazo para pintura em ABNT NBR 15079, ABNT NBR 12554, ABNT NBR 13245.														
**** A distância percorrida na etapa de desconstrução refere-se ao percurso até a deposição final dos resíduos oriundos da desconstrução														

Cálculo da EI para as vedações convencionais, na fase de pré-uso

SVVIE CONV - PAREDE DE CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL - Área construída: 45,64 m ² / Área de vedações internas e externas na habitação: 125,02 m ²														
PLANILHA NA FASE DE PRÉ-USO														
Insumos utilizados na fase do ciclo de vida	Unidade	A	B	C=(A+(B*A)/100)	D	Referência de dados de consumo de energia do Aluno	E=(CxD)	CIDADE DE ORIGEM	F	G	H=(C*G)/1000	I	J=(F*H*1)	K=(E+J)
		Insumos de uma habitação	Desperdício (%)*	Insumos de uma habitação com desperdício	Referência de EI (MJ/UND)		EI (MJ) total do insumo		Distância percorrida (Km)	Massa específica do insumo (kg)	Massa para transporte (Ton)	EI Transp. MJ/(Ton Km)**	EI Transporte TOTAL	EI(MJ) TOTAL
Desmoldante de formas para concreto	l	1,13	0,00	1,13	86,13	(Lobo, 2010)	97,33	São Paulo-SP	997	0,90	0,00	0,48	0,49	97,81
Pontaletes (seção transversal: 3x3" / altura: 75 mm / largura: 75 mm)	m	341,64	15,00	392,89	2,10	(Lobo, 2010)	825,06	Santarém, PA	2482	4,21	1,65	0,48	1,970,57	2.795,63
Sarrafo (seção transversal: 1x3" / espessura: 25 mm / altura: 75 mm)	m	469,75	15,00	540,21	0,70	(Lobo, 2010)	378,15	Santarém, PA	2482	4,21	2,27	0,48	2.709,50	3.087,65
Tábua de cedrinho (espessura: 25 mm / largura: 200 mm / seção transversal: 1x8")	m	29,61	15,00	34,05	1,20	(Lobo, 2010)	40,86	Santarém, PA	2482	4,21	0,14	0,48	170,79	211,65
Prego com cabeça 17 x 21 (comprimento: 48 mm / diâmetro: 3,00 mm)	kg	11,39	10,00	12,53	31,00	(Lobo, 2010)	388,40	Santa Cruz, RJ	1184	1,00	0,01	0,48	7,12	395,52
Prego com cabeça dupla 17 x 27 (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	2,28	10,00	2,51	31,00	(Lobo, 2010)	77,75	Santa Cruz, RJ	1184	1,00	0,00	0,48	1,43	79,17
Prego com cabeça 15 x 15 (comprimento: 34,5 mm / diâmetro: 2,40 mm)	kg	11,96	10,00	13,16	32,00	(Lobo, 2010)	420,99	Santa Cruz, RJ	1184	1,00	0,01	0,48	7,48	428,47
Chapa de madeira compensada plastificada (comprimento: 2200 mm / espessura: 12 mm / largura: 1100 mm)	m ²	71,17	15,00	81,85	7,50	(Lobo, 2010)	613,84	União da Vitória, PR	1479	78,00	6,38	0,48	4.532,09	5.145,93
Areia lavada grossa para concreto 25 MPa	m ³	1,58	45,76	2,30	0,05	(Lobo, 2010)	0,12	Pires do Rio, GO	261	1.600,00	3,68	0,48	461,63	461,75
Brita 1 para concreto 25 MPa	m ³	1,87	45,76	2,73	247,50	(Lobo, 2010)	674,61	Sobradinho-DF	60	1.650,00	4,50	0,48	129,53	804,14
Cimento Portland CP-32	kg	912,61	84,13	1680,39	4,20	(Lobo, 2010)	7057,63	Sobradinho II-DF	33	1,00	1,68	0,48	26,62	7.084,25
Bloco de vedação cerâmica de 11,5 x 19 x 29 cm fbk mínimo = 1,5 MPa	kg	7530,38	15,00	8659,94	2,90	(Tavares, 2006)	25113,82	Sobradinho, DF	41	1,00	8,66	0,48	170,43	25.284,24
Areia média lavada para assentam. Alvenaria	kg	2204,78	45,76	3213,69	0,05	Lobo (2010) e Tavares (2006)	160,68	Pires do Rio, GO	261	1,00	3,21	0,48	402,61	563,30
Cal Hidratada assentam. Alvenaria	kg	1377,99	84,13	2537,29	4,03	Lobo (2010)	10225,29	Ribeirão Preto, SP	686	1,00	2,54	0,48	835,48	11.060,77
Cimento portland CPII-E assentam. Alv.	kg	274,47	84,13	505,38	4,20	Lobo (2010) e Tavares (2006)	2122,60	Sobradinho-DF	100	1,00	0,51	0,48	24,26	2.146,86
Areia grossa para chapisco	kg	446,15	45,76	650,31	0,05	Lobo (2010) e Tavares (2006)	32,52	Aruanã-GO	514	1,00	0,65	0,48	160,44	192,96
Cimento para chapisco	kg	216,86	84,13	399,30	4,20	Lobo (2010) e Tavares (2006)	1677,08	Sobradinho-DF	100	1,00	0,40	0,48	19,17	1.696,24
Areia média lavada revestim. Int./ext.	kg	6768,32	45,76	9865,50	0,05	Lobo (2010) e Tavares (2006)	493,28	Aruanã-GO	514	1,00	9,87	0,48	2.434,02	2.927,29
Cal Hidratada revestim. Int./ext.	kg	827,84	84,13	1524,30	4,03	Lobo (2010)	6142,94	Ribeirão Preto, SP	686	1,00	1,52	0,48	501,92	6.644,86
Cimento portland CPII-E revestim. Int./ext.	kg	827,84	45,76	1206,66	4,20	Lobo (2010) e Tavares (2006)	5067,97	Sobradinho II-DF	33	1,00	1,21	0,48	19,11	5.087,08
Líquido prep. de superfície para pint. Interna e externa	l	27,29	15,00	31,38	98,00	(Lobo, 2010)	3075,58	São Paulo-SP	997	1,20	0,04	0,48	18,02	3.093,61
Tinta latex acrílica para exterior	l	19,44	15,00	22,36	61,00	(Lobo, 2010)	1363,72	São Paulo-SP	997	1,20	0,03	0,48	12,84	1.376,55
Tinta latex PVA para interior	l	35,14	15,00	40,41	61,00	(Lobo, 2010)	2465,07	São Paulo-SP	997	1,20	0,05	0,48	23,21	2.488,28
Massa corrida PVA	kg	102,50	15,00	117,88	61,00	(Lobo, 2010)	7190,38	São Paulo-SP	997	1,20	0,14	0,48	67,69	7.258,07
Mão de obra de ajudante	h	412,50	30,00	536,25	1,64	Bouchard et al. (1983)	879,45	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	879,45
Mão de obra de profissional	h	500,00	30,00	650,00	1,64	Bouchard et al. (1983)	1066,00	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	1.066,00
EI MJ TOTAL														92.357,55
EI GJ TOTAL														92,36
EI GJ/MF														2,02

*O % de desperdício foi baseado em estudo de AGOPYAN et al (1998) e Formoso et al. (1998).

** EI transporte = 0,0136 l/t.km (Nabut Neto, 2011) e 1 L diesel = 35,58 MJ (Goldemberg e Villanueva, 2003), assim considerou-se EI transp = 0,48 MJ/t.km

Cálculo da EI para as vedações de estrutura convencional, nas fases de uso e manutenção e desconstrução, com cálculo da EI total

SVVIE CONV - PAREDE DE CONCRETO ARMADO CONVENCIONAL - Área construída: 45,64 m ² / Área de vedações internas e externas na habitação: 125,02 m ²														
PLANILHA NA FASE DE USO E MANUTENÇÃO (PERÍODO = 50 ANOS)														
Insumos utilizados na fase do ciclo de vida	Unidade	A	B	C=(A+(B*A)/100)	D	Referência de dados de consumo de energia do Autor	E=(CxD)	CIDADE DE ORIGEM	F	G	H=(C*G)/1000	I	J=(F*I)	K=(E+J)
		Insumos de uma habitação	Desperdício (%)*	Insumos de uma habitação com desperdício	Referência de EI (MJ/UND)		EI (MJ) total do insumo ***		Distância percorrida (Km) ****	Massa específica do insumo	Massa para transportar (Ton)	EI Transp. MJ / (Ton.Km) **	EI Transporte TOTAL	EI (MJ) TOTAL
Tinta látex acrílica e PVA (período = 3 anos)	l	56,08	10,00	61,69	61,00	(Tavares, 2006)	3.762,97	São Paulo, SP	997	1,20	0,07	0,48	35,43	3.798,39
Mão de obra de ajudante	h	68,77	30,00	89,40	1,64	Bouchard et al. (1983)	146,62	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	146,62
Mão de obra de profissional	h	87,51	30,00	113,76	1,64	Bouchard et al. (1983)	186,57	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	186,57
Consumo dos equipamentos na fase de uso para 50 anos (MJ) x FC = 1,62, considerando a transf. de energia de uso final para energia primária														474.260,57
(EI manutenção em GJ, TOTAL x 17 repetições em função da vida útil de 50 anos e manutenção a cada 3 anos) + (EI em GJ, uso em 50 anos)														544,50
EI GJ TOTAL														544,50
EI GJ TOTAL SEM FATOR DE CORREÇÃO DE ENERGIA DE USO FINAL PARA ENERGIA PRIMÁRIA, JÁ QUE OS DADOS DE EI SÃO SECUNDÁRIOS.														544,50
EI GJ/M²														11,93
PLANILHA NA FASE DE DESCONSTRUÇÃO														
Mão de obra de ajudante	h	56,26	0	56,26	1,64	Bouchard et al. (1983)	92,27	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	92,27
Mão de obra de profissional	h	56,26	0	56,26	1,64	Bouchard et al. (1983)	92,27	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	92,27
Consumo de energia dos equipamentos para desconstrução com o transporte até a deposição	m ²	125,02	0	125,02	0,96	Ensaio do autor	120,02	São Sebastião - DF	50	238,46	29,81	0,48	715,49	835,51
EI MJ TOTAL														1.020,05
EI GJ TOTAL														1,02
EI GJ TOTAL x FC = 1,62 (Considerando a correção por FC = 1,62, apenas para o item de consumo de energia, que é dado de EI primário, pois o dado de EI da mão de obra é secundário)														1,65
EI GJ/M²														0,036
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA NAS TRÊS FASES EM GJ/M²														13,99
*O % de desperdício foi baseado em estudo de AGOPYAN et al (1998) e Fomoso et al. (1998).														
** EI transporte = 0,0136 l/t.km (Nabut Neto, 2011) e 1 L diesel = 35,58 MJ (Goldemberg e Villanueva, 2003), assim considerou-se EI transp = 0,48 MJ/t.km														
*** O consumo de EI para fase de manutenção foi multiplicado por 17 vezes (50 anos/3 anos de periodicidade).														
**** A distância percorrida na etapa de desconstrução refere-se ao percurso até a deposição final dos resíduos oriundos da desconstrução														

Cálculo da EI para as vedações em alvenaria estrutural, na fase de pré-uso

SVVIE ALES - ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO - Área construída: 45,64 m ² / Área de vedações internas e externas na habitação: 125,02 m ²														
PLANILHA NA FASE DE PRÉ-USO														
Insumos utilizados na fase do ciclo de vida	Unidade	A	B	C=(A+(B*A)/100)	D	Referência de dados de consumo de energia do Autor	E=(CxD)	CIDADE DE ORIGEM	F	G	H=(C+G)/1000	I	J=(F+H*I)	K=(E+J)
		Insumos de uma habitação	Desperdício (%)	Insumos de uma habitação com desperdício	Referência de EI (MJ/JUNTO)		EI (MJ) total do insumo		Distância Percorrida (Km)	Massa específica do insumo (kg)	Massa para transportar (Ton)	EI Transp. MJ/(Ton . Km) **	EI Transporte TOTAL	EI (MJ) TOTAL
Área lavada grossa para concreto 25 MPa (graute)	m ²	1,44	45,76	2,10	80,00	Lobo (2010)	167,92	Pires do Rio, GO	261	1.600	3,36	0,48	420,73	588,64
Brita 1 para concreto 25 MPa (graute)	m ³	1,35	45,76	1,97	247,50	Lobo (2010)	487,02	Sobradinho-DF	60	1.650	3,25	0,48	93,51	580,53
Cimento Portland CP-32 (graute)	kg	448,00	84,13	824,90	4,20	Lobo (2010)	3464,59	Sobradinho II-DF	33	1	0,82	0,48	13,07	3.477,66
Área lavada grossa para concreto 15 MPa (bloocos)	m ²	5,10	45,76	7,43	80,00	Lobo (2010)	594,70	Pires do Rio, GO	261	1.600	11,89	0,48	1.490,08	2.084,78
Brita 1 para concreto 15 MPa (bloocos)	m ³	4,80	45,76	7,00	247,50	Lobo (2010)	1731,63	Sobradinho-DF	60	1.650	11,54	0,48	332,47	2.064,10
Cimento Portland CP-32 (bloocos)	kg	1582,00	84,13	2912,94	4,20	Lobo (2010)	12234,33	Sobradinho II-DF	33	1	2,91	0,48	46,14	12.280,47
Área média lavada para assentam. Alvenaria	m ²	0,80	45,76	1,17	80,00	Lobo (2010) e Tavares (2006)	93,29	Pires do Rio, GO	261	1.600	1,87	0,48	233,74	327,02
Cal Hidratada assentam. Alvenaria	kg	80,00	84,13	147,30	4,03	Lobo (2010)	593,64	Ribeirão Preto, SP	686	1	0,15	0,48	48,50	642,14
Cimento portland CPII-E assentam. Alvenaria	kg	160,00	84,13	294,61	4,20	Lobo (2010) e Tavares (2006)	1237,35	Sobradinho II-DF	33	1	0,29	0,48	4,67	1.242,02
Área grossa para chapisco	kg	446,15	45,76	650,31	0,05	Lobo (2010) e Tavares (2006)	32,52	Pires do Rio, GO	261	1	0,65	0,48	81,47	113,99
Cimento para chapisco	kg	216,86	84,13	399,30	4,20	Lobo (2010) e Tavares (2006)	1677,08	Sobradinho II-DF	33	1	0,40	0,48	6,32	1.683,40
Área média lavada revestim. Int./ext.	kg	6768,32	45,76	9865,50	0,05	Lobo (2010) e Tavares (2006)	493,28	Pires do Rio, GO	261	1	9,87	0,48	1.235,95	1.729,23
Cal Hidratada revestim. Int./ext.	kg	827,84	84,13	1524,30	4,03	Lobo (2010)	6142,94	Ribeirão Preto, SP	686	1	1,52	0,48	501,92	6.644,86
Cimento portland CPII-E revestim. Int./ext.	kg	827,84	84,13	1524,30	4,20	Lobo (2010) e Tavares (2006)	6402,07	Sobradinho II-DF	33	1	1,52	0,48	24,14	6.426,21
Líquido preparador de superfície para pint. Interna e externa	l	27,29	15,00	31,38	98,00	Lobo (2010)	3075,58	São Paulo-SP	997	1,20	0,04	0,48	18,02	3.093,61
Tinta latex acrílica para exterior	l	19,44	15,00	22,36	61,00	Lobo (2010)	1363,72	São Paulo-SP	997	1,20	0,03	0,48	12,84	1.376,55
Tinta latex PVA para interior	l	35,14	15,00	40,41	61,00	Lobo (2010)	2465,07	São Paulo-SP	997	1,20	0,05	0,48	23,21	2.488,28
Massa corrida PVA	kg	102,50	15,00	117,88	61,00	Lobo (2010)	7190,38	São Paulo-SP	997	1	0,12	0,48	56,41	7.246,79
Mão de obra de ajudante	h	276,29	30,00	359,18	1,64	Bouchard et al. (1983)	589,05	Sobradinho, DF	-	-	-	0,48	-	589,05
Mão de obra de profissional	h	300,00	30,00	390,00	1,64	Bouchard et al. (1983)	639,60	Sobradinho, DF	-	-	-	0,48	-	639,60
EI MJ TOTAL													55.318,93	
EI GJ TOTAL													55,32	
EI GJ/M*													1,21	

*O % de desperdício foi baseado em estudo de AGOPYAN et al (1998) e Formoso et al. (1998).
 ** EI transporte = 0,0136 lit.km (Nabut Neto, 2011) e 1L diesel = 35,58 MJ (Goldemberg e Villanueva, 2003), assim considerou-se EI transp = 0,48 MJ/l.km

Cálculo da EI para as vedações de alvenaria estrutural, nas fases de uso e manutenção e desconstrução, com cálculo da EI total

SVVIE ALES - ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO - Área construída: 45,64 m ² / Área de vedações internas e externas na habitação: 125,02 m ²														
PLANILHA NA FASE DE USO E MANUTENÇÃO (PERÍODO = 50 ANOS)														
Insumos utilizados na fase do ciclo de vida	Unidade	A	B	C=(A+(B*A)/100)	D	Referência de dados de consumo de energia do Autor	E=(CxD)	CIDADE DE ORIGEM	F	G	H=(C*G)/1000	I	J=(F*H*I)	K=(E+J)
		Insumos de uma habitação	Desperdício (%)*	Insumos de uma habitação com desperdício	Referência de EI (MJ)/UND		EI (MJ) total do insumo		Distância percorrida (Km)	Massa específica do insumo (kg)	Massa para transportar (Ton)	EI Transp. MJ / (Ton . Km) ***	EI Transporte TOTAL	EI (MJ) TOTAL
Tinta látex acrílica e PVA (período = 3 anos)	l	56,08	10,00	61,69	61,00	(Tavares, 2006)	3.762,97	São Paulo-SP	997	1,20	0,07	0,48	35,43	3.798,39
Mão de obra de ajudante	h	68,75	30,00	89,38	1,64	Bouchard et al. (1983)	146,58	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	146,58
Mão de obra de profissional	h	87,50	30,00	113,75	1,64	Bouchard et al. (1983)	186,55	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	186,55
Consumo dos equipamentos na fase de uso para 50 anos (MJ) x FC = 1,62, considerando a transf. de energia de uso final para primária														474.260,57
(EI manutenção em GJ, TOTAL x 17 repetições em função da vida útil de 50 anos e manutenção a cada 3 anos) + (EI em GJ, uso em 50 anos)														544.496,39
EI GJ TOTAL														544,50
EI GJ TOTAL SEM FATOR DE CORREÇÃO DE ENERGIA DE USO FINAL PARA ENERGIA PRIMÁRIA, JÁ QUE OS DADOS DE EI SÃO SECUNDÁRIOS.														544,50
EI GJAF														11,93
PLANILHA NA FASE DE DESCONSTRUÇÃO														
Mão de obra de ajudante	h	28,75	0	28,75	1,64	Bouchard et al. (1983)	47,15	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	47,15
Mão de obra de profissional	h	28,75	0	28,75	1,64	Bouchard et al. (1983)	47,15	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	47,15
Consumo de energia dos equipamentos para desconstrução com o transporte até a deposição	m ²	125,02	0	125,02	0,29	Ensaio do autor	36,26	São Sebastião - DF	50	262,230	32,78	0,48	786,82	823,07
EI MJ TOTAL														917,37
EI GJ TOTAL														0,92
EI GJ TOTAL x FC = 1,62 (Considerando a correção por FC = 1,62, apenas para o item de consumo de energia, que é dado de EI primário, pois o dado de EI da mão de obra é secundário)														1,49
EI GJAF														0,033
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA NAS TRES FASES EM GJ/AF														13,17
*O % de desperdício foi baseado em estudo de AGOPYAN et al (1998) e Formoso et al. (1998).														
** EI transporte = 0,0136 1/t.km (Nabut Neto, 2011) e 1 L diesel = 35,58 MJ (Goldemberg e Villanueva, 2003), assim considerou-se EI transp = 0,48 MJ/t.km														
*** O consumo de EI para fase de manutenção foi multiplicado por 17 vezes (50 anos/3 anos de periodicidade).														
**** A distância percorrida na etapa de desconstrução refere-se ao percurso até a deposição final dos resíduos oriundos da desconstrução														

Cálculo da EI para as vedações em *steel frame*, na fase de pré-uso

SISTEMA CONSTRUTIVO: STEEL FRAME - Área construída: 45,64 m² / Área de vedações internas e externas na habitação: 125,02 m²

PLANILHA NA FASE DE PRÉ-USO

Insumos utilizados na fase do ciclo de vida	Unidade	A	B	C=(A+(B*A)/100)	D	Referência de dados de consumo de energia do Autor	E=(CxD)	CIDADE DE ORIGEM	F	G	H=(C*G)/1000	I	J=(F*H*I)	K=(E+J)
		Insumos de uma habitação	Desperdício (%)*	Insumos de uma habitação com desperdício	Referência de EI (MJ)/UND		EI (MJ) total do insumo		Distância percorrida (Km)	Massa específica do insumo (kg)	Massa para transportar (Ton)	EI Transp. MJ/(Ton.Km) **	EI Transporte TOTAL	EI (MJ) TOTAL
Placa OSB 2440x1220x18 mm	kg	5185,40	15,00	5963,21	7,50	Tavares (2006)	44724,08	Ponta Grossa - PR	1.272	1	5,96	0,48	3.640,90	48.364,97
Guia estrutural 90x40x3000 mm + Montante estrutural 90x40x3000 mm ambos em Aço Galvanizado	kg	636,80	10,00	700,48	33,80	Tavares (2006)	23676,22	São Paulo-SP	997	1	0,70	1,48	1.033,60	24.709,82
Placa cimentícia CRFS 2400x 1200x10 mm	kg	3889,05	9,00	4239,06	6,00	Tavares (2006)	25434,39	São Paulo-SP	997	1	4,24	2,48	10.481,34	35.915,73
Placa gesso acartonado 2400x1200x12,5 mm	kg	1887,67	9,00	2057,56	6,10	Tavares (2006)	12551,12	São Paulo-SP	997	1	2,06	3,48	7.138,83	19.689,95
Lã de rocha 1350x600x50 mm	kg	1319,09	0,00	1319,09	19,00	Tavares (2006)	25062,71	São Paulo-SP	997	1	1,32	4,48	5.891,79	30.954,50
Parafusos autobrocantes	kg	45,40	10,00	49,94	30,00	Tavares (2006)	1498,20	São Paulo-SP	997	1	0,05	5,48	272,85	1.771,05
Líquido preparador de superfície para pint. Interna e externa	l	27,29	10,00	30,02	98,00	Lobo (2010)	2941,86	São Paulo-SP	997	1,20	0,04	6,48	232,73	3.174,59
Textura acrílica para exterior	l	19,44	15,00	22,36	61,00	Lobo (2010)	1363,72	São Paulo-SP	997	1,20	0,03	7,48	200,07	1.563,78
Tinta latex PVA para interior	l	35,14	15,00	40,41	61,00	Lobo (2010)	2465,07	São Paulo-SP	997	1,20	0,05	8,48	409,99	2.875,06
Mão de obra de ajudante	h	187,53	30,00	243,79	1,64	Bouchard et al. (1983)	399,81	Sobradinho, DF	-	1	-	-	-	399,81
Mão de obra de profissional	h	143,77	30,00	186,90	1,64	Bouchard et al. (1983)	306,52	Sobradinho, DF	-	1	-	-	-	306,52
Massa corrida PVA para interior	kg	102,50	30,00	133,25	61,00	Lobo (2010)	8128,25	São Paulo-SP	997	1,00	0,13	0,48	63,77	8.192,02
EIMJ TOTAL													177.917,81	
EIGJ TOTAL													177,92	
EIGJ/M²													3,90	

*O % de desperdício foi baseado em estudo de AGOPYAN et al (1998).

** EI transporte = 0,0136 l/t.km (Nabut Neto, 2011) e 1 L diesel = 35,58 MJ (Goldemberg e Villanueva, 2003), assim considerou-se EI transp = 0,48 MJ/t.km

Cálculo da EI para as vedações de *steel frame*, nas fases de uso e manutenção e desconstrução, com cálculo da EI total

SISTEMA CONSTRUTIVO: <i>STEEL FRAME</i> - Área construída: 45,64 m ² / Área de vedações internas e externas na habitação: 125,02 m ²														
PLANILHA NA FASE DE USO E MANUTENÇÃO (PERÍODO = 50 ANOS)														
Insumos utilizados na fase do ciclo de vida	Unidade	A	B	C=(A+(B*A)/100)	D	Referência de dados de consumo de energia do Autor	E=(CxD)	CIDADE DE ORIGEM	F	G	H=(C*G)/1000	I	J=(F*H*I)	K=(E+J)
		Insumos de uma habitação	Desperdício (%)*	Insumos de uma habitação com desperdício	Referência de EI (MJ/UND)		EI (MJ) total do insumo		Distância percorrida (Km)	Massa específica do insumo (kg)	Massa para transportar (Ton)	EI Transp. MJ/(Ton.Km) **	EI Transporte TOTAL	EI (MJ) TOTAL
Parafusos autobrocantes	kg	45,40	10,00	49,94	30,00	Tavares (2006)	1498,20	São Paulo-SP	997	1	0,05	0,48	23,90	1.522,10
Placa gesso acartonado 2400x1200x12,5 mm	kg	1887,67	9,00	2057,56	6,10	Tavares (2006)	12551,12	São Paulo-SP	997	1	2,06	0,48	984,67	13.535,78
Mão de obra de ajudante para troca gesso acartonado	h	16,00	30,00	20,80	1,64	Bouchard et al. (1983)	34,11	Sobradinho, DF	-	-	-	0,48	-	34,11
Mão de obra de profissional para troca gesso acartonado	h	16,00	30,00	20,80	1,64	Bouchard et al. (1983)	34,11	Sobradinho, DF	-	-	-	0,48	-	34,11
Mão de obra de ajudante pintura	h	15,00	30,00	19,50	1,64	Bouchard et al. (1983)	31,98	Sobradinho, DF	-	-	-	0,48	-	31,98
Mão de obra de profissional pintura	h	15,00	30,00	19,50	1,64	Bouchard et al. (1983)	31,98	Sobradinho, DF	-	-	-	0,48	-	31,98
Tinta látex acrílica (período = 3 anos)	l	56,08	15,00	64,49	61,00	(Tavares, 2006)	3934,01	São Paulo-SP	997	1,20	0,08	0,48	37,04	3.971,05
Consumo dos equipamentos na fase de uso para 50 anos (MJ) x FC = 1,62, considerando a transf. de energia de uso final para primária														474.260,57
EI GJ TOTAL sem repetições para a troca do gesso acartonado pois uma manutenção já atinge o limite de 25 anos, mas com repetição de 17 vezes para a pintura.														557.981,82
EI GJ TOTAL														557,98
EI GJ TOTAL SEM FATOR DE CORREÇÃO DE ENERGIA DE USO FINAL PARA ENERGIA PRIMÁRIA, JÁ QUE OS DADOS DE EI SÃO SECUNDÁRIOS.														557,98
EI GJ/M ²														12,23
PLANILHA NA FASE DE DESCONSTRUÇÃO														
Mão de obra de ajudante	h	31,25	0	31,25	1,64	Bouchard et al. (1983)	51,25	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	51,25
Mão de obra de profissional	h	31,25	0	31,25	1,64	Bouchard et al. (1983)	51,25	Sobradinho, DF	-	-	-	-	-	51,25
Consumo de energia dos equipamentos para desconstrução com o transporte até a deposição	m ²	125,02	0	125,02	0,15	Ensaio do autor	18,75	São Sebastião - DF	50	58,33	7,29	0,48	175,02	193,77
EI MJ TOTAL														296,27
EI GJ TOTAL														0,30
EI GJ TOTAL x FATOR DE CORREÇÃO DE ENERGIA DE USO FINAL PARA ENERGIA PRIMÁRIA = 1,67														0,49
EI GJ/M ²														0,011
*O % de desperdício foi baseado em estudo de AGOPYAN et al (1998) e Fomoso et al. (1998).														
** EI transporte = 0,0136 l/t.km (Nabut Neto, 2011) e 1 L diesel = 35,58 MJ (Goldemberg e Villanueva, 2003), assim considerou-se EI transp = 0,48 MJ/t.km														
*** O consumo de EI para fase de manutenção foi multiplicado por 17 vezes (50 anos/3 anos de periodicidade).														
**** A distância percorrida na etapa de desconstrução refere-se ao percurso até a deposição final dos resíduos oriundos da desconstrução														
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA NAS TRES FASES EM GJ/M²														16,13

Apêndice L - Dados de consumo energético dos equipamentos na fase de uso.

Consumo mensal da habitação de 45,64 m²				
Local	Equipamento	Potência (Whats x hora)	Uso (h/dia)	KWh/mês
Cozinha	Lâmpada fluorescente	9	3	0,81
	Geladeira 310 l Selo Procel A	43,6	24	31,39
	Fogão GLP 4 B	14,8	3	1,33
Sala estar/TV	Lâmpada fluorescente	9	4	1,08
	TV 39 Pol	106	4	12,72
	Computador desktop	300	4	36,00
Quarto 1	Lâmpada fluorescente	9	1	0,27
Quarto 2	Lâmpada fluorescente	9	7	1,89
Banheiro	Lâmpada fluorescente	9	2	0,54
	Secador cabelo	3000	0,5	45,00
	Chapa cabelo	1500	0,1	4,50
Total (KWh/mês)				135,53
Total (KJ/mês) (Considerando 1 KWh = 3600 KJ)				487922,40
Total (MJ/mês)				487,92
Total (MJ/ano)				5855,07
Total (MJ/ 50 anos)				292753,44
Total (MJ/ 50 anos) x Fator de correção de energia de uso final para energia primária - FC = 1,62				474260,57
Obs: A fonte de pesquisa para os consumo dos equipamentos foi www.electrolux.com.br , acesso em 13/05/15.				

Apêndice M - Requisitos de desempenho para os SVVIE, segundo ABNT NBR 15575-4:2013.

Requisitos	SVVIE
Desempenho térmico	<ul style="list-style-type: none"> • Inicialmente devem ser avaliados pelo procedimento simplificado de análise. Caso o SVVE não atenda, parte-se para o sistema de simulação; • Os valores máximos de Transmitância térmica (U), deve ser $\leq 2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e $\leq 3,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para as zonas bioclimáticas de 1 a 8, devendo classificar segundo a região e a absorvância (α) à radiação solar da superfície externa da parede (considerado método simplificado); • Para a capacidade térmica (CT), o valor mínimo é de $130 \text{ KJ/m}^2\cdot\text{K}$ (também considerado como método simplificado); • Deve apresentar aberturas, nas fachadas das habitações, com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes, aplicando-se somente aos ambientes de longa permanência, no caso as salas e os dormitórios. O critério para atendimento são as legislações locais e quando não houver, deve ser adotada uma área mínima de 7 % da área de piso para as zonas bioclimáticas de 1 a 7, sendo para a zona 8, no mínimo 8 % para as regiões nordeste e sudeste e no mínimo 12 % para a região norte; • Para todos os requisitos de desempenho térmico, a nível mínimo para a aceitação é o M (mínimo).
Desempenho acústico	<ul style="list-style-type: none"> • A norma determina três métodos para verificação do isolamento acústico entre os meios externo e interno, entre unidades autônomas e entre dependências de uma unidade e áreas comuns: Método de precisão realizado em laboratório, Método de engenharia realizado em campo e Método simplificado de campo; • Parâmetros de verificação: Determinação do R_w (Índice de redução sonora ponderado) para componentes em laboratório, Determinação da $D_{nT,w}$ (Diferença padronizada de nível ponderada) para as vedações verticais e horizontais internas, Determinação da $D_{2m,nT,w}$ (Diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada) para as fachadas e coberturas; • Como requisito de níveis de ruído permitidos na habitação para fachada de um dormitório, os valores mínimos são classificados para cada uma das três classes de ruído (I, II e III): Classe I, longe de fontes de ruído intenso - $\geq 20 \text{ dB}$; Classe II - $\geq 25 \text{ dB}$ e Classe III - $\geq 30 \text{ dB}$; • Outros requisitos de desempenho acústico encontram-se na ABNT NBR 15575-4:2013.
VUP	<ul style="list-style-type: none"> • Como requisito geral para VUP, os SVVIE devem manter a capacidade funcional e as características estéticas, ambas compatíveis com o envelhecimento natural dos materiais durante a vida útil de projeto, de acordo com a ABNT NBR 15575-1:2013.; • Os SVVIE devem apresentar VUP \geq aos períodos especificados na ABNT NBR 15571-1:2013, e ser submetidos a manutenções preventivas, corretivas e de conservação previstas no manual de uso, operação e manutenção. • Segundo a ABNT NBR 15571-1:2013, Anexo C, a VUP considerada mínima (M) para as vedações verticais externas deve ser \geq a 40 anos e para as vedações verticais internas deve ser \geq 20 anos.

**Apêndice N - Ferramentas utilizadas para as operações de
desconstrução.**

Na Figura N.1, ilustra-se o modelo de esmerilhadeira utilizado para seccionar os vergalhões de aço das bases de concreto, o qual segundo o fabricante apresenta as seguintes características: Mini Esmerilhadeira Angular 4 ½” GWS 7-115 ET com potência de 720 W e peso de 1,5 Kg.

Figura N.1 - Mini Esmerilhadeira *Bosch GWS 7-115 ET*.



Fonte:

(<http://www.boschferramentas.com.br/br/pt/professional/ferramentaselétricas/c101278/mini-esmerilhadeira-angular.html>, acesso em 12/06/2014).

Na Figura N.2, ilustra-se o modelo de parafusadeira utilizada para desmontar as vedações de *steel frame*, o qual segundo o fabricante apresenta as seguintes características: Parafusadeira Drywall VVR 720 DW253 com potência de 720 W e peso de 1,5 Kg.

Figura N.2 - Parafusadeira Drywall VVR 720 DW253.



Fonte:

(<http://www.dewalt.com.br/products/Prod/listProdDeta.asp?prodID=DW253>, acesso em 12/06/2014).

Na Figura N.3 ilustra-se o modelo de martelo rompedor, com a finalidade de desconstruir as vedações de alvenaria estrutural, concreto armado e painel de concreto, o qual segundo o

fabricante apresenta as seguintes características: Martelo Rompedor *Bosch* GSH 11 E *Professional* com potência de 1500 W e peso de 10,1 Kg.

Figura N.3 - Martelo Rompedor *Bosch* GSH 11 E *Professional*.



Fonte:

(<http://www.boschferramentas.com.br/br/pt/professional/ferramentas/elétricas/c101345/p5704/martelo-demolidor/gsh-11-e.html>, acesso em 12/06/2014).

Na Figura N.4, apresenta-se o modelo de balança do tipo mecânica, com a finalidade de determinar a massa dos resíduos oriundos da desconstrução das vedações, o qual, segundo o fabricante, apresenta as seguintes características: Balança mecânica da marca “Brião” modelo RC150, capacidade máxima de 150 Kg, mínima de 4 Kg, precisão de 200 gr.

Figura N.4 - Balança mecânica. (a) Vista; (b) Detalhe.



(a)



(b)

Fonte: Autor.

Anexo A - Especificações mínimas para HIS.

EMPREENDIMENTOS FAIXA 1 - CASAS

PROponente :	
CONSTRUTORA :	
EMPREENDIMENTO :	
ENDEREÇO :	

* Deverá ser definido previamente com o proponente a especificação a ser adotada para os itens em que há mais de uma opção.

Projeto	Casa com sala / 1 dormitório para casal e 1 dormitório para duas pessoas / cozinha / área de serviço (externa) / circulação / banheiro.
DIMENSÕES DOS CÔMODOS	
Dormitório casal	Quantidade mínima de móveis: 1 cama (1,40mx1,90m); 1 criado-mudo (0,50mx0,50m); 1 guarda-roupa (1,60mx0,50m). Circulação de 0,50m.
Dormitório duas pessoas	Quantidade mínima de móveis: 2 camas (0,80mx1,90m); 1 criado (0,50mx0,50m); 1 guarda-roupa (1,50mx0,50m). Circulação de 0,80 m entre as camas e restante com 0,50 m.
Cozinha	Largura mínima da cozinha: 1,80m. Quantidade mínima de móveis: pia (1,20mx0,50m), fogão (0,55mx0,60m) e geladeira (0,70mx0,70m). Previsão para armário sob a pia e gabinete.
Sala de estar/refeições	Largura mínima sala de estar/refeições: 2,40m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos, mesa para 4 pessoas e Estante/Armário TV.
Banheiro	Largura mínima do banheiro: 1,50m. Lavatório sem coluna, vaso sanitário com caixa de descarga acoplada, chuveiro. Box para chuveiro – 90 cm x 95 cm com previsão para instalação de barras de apoio e de banco articulado, desnível máx. 15mm; Assegurar a área para transferência ao vaso sanitário e ao box.
Área de Serviço	Quantidade mínima: 1 tanque (0,52mx0,53m) e 1 máquina (0,60mx0,65m).
Em Todos os Cômodos	Espaço livre de obstáculos em frente às portas de no mínimo 1,20m. Deve ser possível inscrever em todos os cômodos o módulo de manobra sem deslocamento de 180° definido pela NBR 9050 (1,20mx1,50m) livre de obstáculos.
CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Área útil (área interna sem contar áreas de paredes)	36,00 m ² (não computada área de serviço).
Pé direito mínimo	2,30m nos banheiros e 2,50m nos demais cômodos.
Cobertura	Cobertura em telha cerâmica/concreto com forro ou de fibrocimento (espessura mínima de 5mm) com laje, sobre estrutura de madeira ou metálica.
Revestimento Interno	Massa única, gesso (exceto banheiros, cozinhas ou áreas de serviço) ou concreto regularizado para pintura.
Revestimento Externo	Massa única ou concreto regularizado para pintura.
Revestimento Áreas Molhadas	Azulejo com altura mínima de 1,50m em todas as paredes do banheiro, cozinha e área de serviço.
Revestimento áreas comuns	Massa única, gesso ou concreto regularizado para pintura.
Portas e Ferragens	Portas internas em madeira. Admite-se porta metálica no acesso à unidade. Batente em aço ou madeira desde que possibilite a inversão do sentido de abertura das portas. Vão livre de 0,80m x 2,10m em todas as portas. Previsão de área de aproximação para abertura das portas (60cm interno e 30cm externo), maçanetas de alavanca a 1,00m do piso.
Janelas	Completa, de alumínio para regiões litorâneas (ou meios agressivos) e de aço para demais regiões. Vão de 1,5m ² nos quartos e 2,0m ² na sala (admissível variação em até 5%).
Pisos	Cerâmica em toda a unidade, com rodapé, e desnível máximo de 15mm.
Ampliação da UH	Os projetos deverão prever a ampliação das casas.
PINTURAS	
Paredes internas	Tinta PVA.
Paredes áreas molhadas	Tinta acrílica.
Paredes externas	Tinta acrílica ou textura impermeável.
Tetos	Tinta PVA.
Esquadrias	Em esquadrias de aço, esmalte sobre fundo preparador. Em esquadrias de madeira, esmalte ou verniz.
LOUÇAS E METAIS	
Lavatório	Louça sem coluna e torneira metálica cromada com acionamento por alavanca ou cruzeta. Acabamento de registro de alavanca ou cruzeta.
Vaso Sanitário	Louça com caixa de descarga acoplada.
Tanque	Capacidade mínima de 20 litros, de concreto pré-moldado, PVC, granilite ou mármore sintético com torneira metálica cromada com acionamento por alavanca ou cruzeta. Acabamento de registro de alavanca ou cruzeta.
Pia cozinha	Bancada de 1,20x0,50m com cuba de granilite ou mármore sintético, torneira metálica cromada. Torneira e acabamento de registro de alavanca ou cruzeta.
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS / TELEFÔNICAS	
Número de pontos de tomadas elétricas	2 na sala, 4 na cozinha, 1 na área de serviço, 2 em cada dormitório, 1 tomada no banheiro e mais 1 tomada para chuveiro elétrico (mesmo em caso de aquecimento solar).
Número de pontos diversos	1 ponto de telefone, 1 ponto de antena e 1 ponto de interfone (em condomínios).
Número de circuitos	Prever circuitos independentes para chuveiro (dimensionado para a potência usual do mercado local), tomadas e iluminação.
Interfone	Instalar sistema de porteiro eletrônico (em condomínios).
Geral	Tomadas baixas a 40cm do piso acabado, interruptores, interfones, campainha e outros a 1,00m do piso acabado.

EMPREENDIMENTOS FAIXA 1 - CASAS

PROPONENTE : _____
 CONSTRUTORA : _____
 EMPREENDIMENTO : _____
 ENDEREÇO : _____

* Deverá ser definido previamente com o proponente a especificação a ser adotada para os itens em que há mais de uma opção.

Projeto	Casa com sala / 1 dormitório para casal e 1 dormitório para duas pessoas / cozinha / área de serviço (externa) / circulação / banheiro.
DIVERSOS	
Reservatório	Caixa d'água de 500 litros ou de maior capacidade quando exigido pela concessionária local. Para reservatório elevado de água potável, em condomínio, prever instalação de no mínimo 2 bombas de recalque com manobra simultânea.
Vagas	Vagas de garagem conforme definido na legislação municipal.
Cercamento do condomínio	Alambrado com baldrame e altura mínima de 1,80m no entorno do condomínio.
Proteção da alvenaria externa	Em concreto de 0,50 m de largura ao redor da edificação.
Calçadas para circulação interna no condomínio	Largura mínima de 0,90m.
Máquina Lavar	Prever solução para máquina de lavar roupas (ponto elétrico, hidráulica e de esgoto).
Equipamento de lazer / uso comunitário	Para empreendimentos em condomínio com 60UH ou mais, obrigatório prever recursos, de no mínimo 1% da soma dos custos de Infraestrutura e Edificações. Considerado o valor destinado para esse item serão produzidos os equipamentos a seguir especificados, obrigatoriamente nessa ordem: centro comunitário, espaço descoberto para lazer/recreação infantil e quadra de esportes. Obrigatória a execução de depósito de lixo e local para armazenamento de correspondência.
TECNOLOGIAS INOVADORAS	
	Aceitáveis as tecnologias inovadoras testadas e aprovadas conforme a Norma de Desempenho - NBR-15.575 e homologadas pelo SINAT ou que comprovarem desempenho satisfatório junto à CAIXA.
SUSTENTABILIDADE	
	Aquecimento solar nas unidades (item obrigatório em todas as regiões). Sistema aprovado pelo INMETRO. Medição individualizada de água e gás (ou sistema de botijão individualizado).
INFRAESTRUTURA	
	Pavimentação, calçadas, guias, sarjetas e sistema de drenagem. Sistema de abastecimento de água. Solução de esgotamento sanitário. Energia elétrica e iluminação pública.
ACESSIBILIDADE E ADAPTAÇÃO	
Áreas de uso comum	Deverá ser garantida a rota acessível em todas as áreas públicas e de uso comum no empreendimento (recomendações na Cartilha de Acessibilidade a Edificações, Espaços e Equipamentos Urbanos CAIXA).
Unidades adaptadas	Disponibilizar unidades adaptadas ao uso por pessoas com deficiência, com mobilidade reduzida e idosos, de acordo com a demanda, com kits específicos devidamente definidos. Na ausência de legislação municipal ou estadual que estabeleça regra específica, disponibilizar no mínimo 3% das UH.