

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

**ENERGIA INCORPORADA DE FACHADAS VENTILADAS.  
ESTUDO DE CASO PARA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL EM  
BRASÍLIA-DF**

**ANA CAROLINA FERNANDES MACIEL**

**ORIENTADORA: DSc. ROSA MARIA SPOSTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM-18A/13  
BRASÍLIA-DF: DEZEMBRO/2013**

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

**ENERGIA INCORPORADA DE FACHADAS VENTILADAS. ESTUDO DE CASO**  
**PARA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL EM BRASÍLIA-DF**

**ARQ. ANA CAROLINA FERNANDES MACIEL**

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

**APROVADA POR:**

---

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

---

**MICHELE TEREZA MARQUES CARVALHO, Dsc. (PECC-UnB)**  
(Examinador Interno)

---

**EDUARDO L. KRÜGER, DSc. (UTFPR)**  
(Examinador Externo)

**BRASÍLIA/DF, 06 DE DEZEMBRO DE 2013**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MACIEL, ANA CAROLINA FERNANDES

Energia Incorporada de Fachadas Ventiladas. Estudo de Caso para Edificação Habitacional em Brasília-DF.

Realizado em Brasília [Distrito Federal, 2013].

xx, 146p. 210x297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção civil, 2013).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Fachadas Ventiladas

3. Avaliação de desempenho térmico

2. Energia Incorporada

4. Análise Energético-Ambiental

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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, Brasília, DF, 146p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Ana Carolina Fernandes Maciel

TITULO: Energia Incorporada de Fachadas Ventiladas. Estudo de Caso para Edificação Habitacional em Brasília-DF.

GRAU: Mestre

ANO: 2013

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

---

Ana Carolina Fernandes Maciel  
CCSW 04, LOTE 04, BLOCO B, APTO 209  
70680-474 Brasília-DF – Brasil  
[carolinafmaciел@yahoo.com.br](mailto:carolinafmaciел@yahoo.com.br)

*Ao meu pai, pelo exemplo profissional e por ser minha eterna fonte de inspiração.*

*A minha mãe, pelo exemplo de força, mulher e mãe.*

*Aos meus irmãos, pelo carinho, apoio e incentivo.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar forças, serenidade e condições de sempre continuar.

A minha orientadora Rosa Maria Sposto pelo apoio, compreensão, disponibilidade e conhecimentos compartilhados.

Aos meus pais pelo apoio incondicional na busca por meus sonhos, mesmo quando isso significou a distância física dos mesmos.

Aos meus irmãos pelo carinho, suporte e incentivo. A minha princesinha Isabela Catarina, que mesmo sem compreender o porque, entendeu minha ausência.

Aos meus primos Daniel e Janaina por todos os momentos juntos, suporte e amizade, principalmente nestes últimos dois anos.

Ao professor Evangelos Cristakou pelo incentivo ao mestrado. Aos professores do PECC pelos conhecimentos compartilhados e apoio durante todo o decorrer deste processo. Aos professores do Lacam Claudia Amorim e Caio pelos conhecimentos compartilhados para o desenvolvimento desta pesquisa.

A secretaria do PECC, Eva Veloso, nosso anjo, por todo apoio e auxílio prestado. A Universidade de Brasília e seu Programa de Pós-Graduação em Construção Civil pela oportunidade.

Aos amigos do PECC pela amizade e horas compartilhadas. Especialmente ao Gilson Pedroso pelo companherismo, risadas e conversas regadas a chimarrão. A Marília Marcy pelas lições de amizade e presença constante. Ao David Uribe pelos ensinamentos de vida e momentos de descontração.

Ao amigo Andre Leyser por me resgatar dos livros em momentos necessários.

Aos amigos de infância, de adolescência, de faculdade e do trabalho, que de uma forma ou de outra fazem parte dessa conquista. Especialmente Evelyn, Jiva, Palmira, Patrícia, Thais, Saulo, Aline, Larissa, Monge, Maria, Geléia, Letícia, Fátima e Maria Annita.

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

## RESUMO

A arquitetura atual brasileira de edificações de múltiplos pavimentos vem se modificando nos últimos anos, sobretudo em relação às fachadas ou vedações verticais externas. Estas modificações tem se dado por meio da introdução de novos materiais de revestimento. Várias vantagens são apontadas em relação ao uso da fachada ventilada – nova tipologia deslocada do substrato formando uma camada de ar ventilada - tais como a rapidez de execução, a manutenção e a facilidade de desconstrução. Ressalta-se a importância de estudos da energia gasta durante o ciclo de vida das fachadas, além da quantidade de material (massa), para que se possam gerar especificações mais sustentáveis. Neste estudo foram quantificadas e analisadas a Energia Incorporada Inicial (E<sub>Ii</sub>), a Energia Incorporada Operacional (E<sub>Io</sub>) e a Energia Incorporada Recorrente (E<sub>Ir</sub>) de três tipologias de Fachadas Ventiladas: Fachada Ventilada de Placas Pétreas - FVPP, Fachada Ventilada de Porcelanato - FVPo e Fachada Ventilada de Alumínio Composto - FVACM para uma Edificação Habitacional Modelo (EHM) típica do Plano Piloto de Brasília-DF, além de uma análise comparativa de desempenho térmico das tipologias. O estudo apontou que a E<sub>Io</sub> foi a mais significativa em todas as tipologias, confirmando resultados de outros estudos realizados, nacionais e internacionais. A E<sub>Ir</sub> foi a de menor valor, pelas tipologias estudadas terem materiais com vida útil de Projeto (VUP) igual ou superior a vida útil da edificação. A FVACM apresentou a menor Energia Total e a maior E<sub>Ii</sub> e E<sub>Ir</sub>. A FVPo e FVACM apresentaram valores similares de E<sub>Ii</sub>, porém a FVACM apresentou massa muito inferior as demais tipologias, enquanto a FVPP apresentou a maior massa e menor E<sub>Ii</sub>. Em relação a E<sub>Io</sub> a FVACM se mostrou a mais eficiente, ou seja, com o menor valor, porém em relação às horas de desconforto por calor a FVPo teve os melhores resultados.

## **ABSTRACT**

The current Brazilian architecture of multiple floors buildings has been changing in recent years, especially towards façades or vertical external sealing. These changes have been happening by means of the introduction of new coating materials. Several advantages are pointed regarding the use of ventilated façades – new typology detached from substrate forming a ventilated air layer - such as installation speed, the maintenance and easiness of deconstruction. It emphasizes the importance of studies of the consumed energy during the life cycle of facades, and the amount of material (mass), so it can generate more sustainable specifications. In this work it was analyzed and quantified Initial Embodied Energy (IEE), Operating Embodied Energy (OEE) and Recurring Embodied Energy (EIR) or Maintenance Embodied Energy of three typologies of Ventilating Facades: Ventilating Facade of Stones - FVS, Ventilating Facade of Porcelain - FVPo and Ventilating Facade of Aluminum Composite Material - FVACM for a typical Pilot Plan of Brasília-DF Residential Building Model (RBM), including a comparative analysis of the typologies thermal performance. The study pointed out that the OEE has been the most significant in all typologies, confirming results of other studies, national and international. The EIR was the lowest value, because the typologies studied have the project lifetime (PLF) equal or superior to the building lifetime. The FVACM presented the lowest total energy and biggest EII and EIR. The FVPo and FVACM produced similar values of EII, however FVACM presented much lower mass than other typologies, while FVPP showed the highest mass and lowest EII. Regarding the EIO FVACM proved the most efficient, in other word, with the lowest value, however in relation to the hours of heat discomfort the FVPo had the best results.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Oferta Interna de Energia do Brasil .....	25
Figura 2.2 - Consumo de Energia no Brasil em 2012 .....	26
Figura 2.3 - Consumo final de energia no Brasil em 2012 .....	26
Figura 2.4 - Uso da Energia no Brasil em 2012 .....	27
Figura 2.5 – EI no ciclo de vida de uma edificação .....	28
Figura 2.6 - Estrutura Geral do Balanço Energético Nacional .....	28
Figura 2.7 - Esquema da metodologia utilizada para cálculo do Fator de Conversão .....	30
Figura 2.8 - Exemplo de sistema de produção para ACV .....	32
Figura 2.9 - Consumo de energia elétrica no Brasil 2012 .....	36
Figura 2.10 - Consumo no Setor Residencial .....	36
Figura 2.11 - Consumo no Setor Comercial .....	37
Figura 2.12 - Trocas de calor em edificações .....	39
Figura 2.13 - Troca de Calor em fechamentos opacos e em fechamentos transparentes ou translúcidos .....	40
Figura 2.14 - Exemplo de cálculo de U .....	41
Figura 3.1 - Ilustração esquemática de Desempenho das Fachadas .....	44
Figura 3.2 - Desempenho ao longo do tempo .....	47
Figura 3.3 - Figura ilustrativa do funcionamento de uma FV .....	49
Figura 3.4 – Diferença no processo de transferência de calor entre fachada cortina e fachada ventilada .....	50
Figura 3.5 - Mecanismo de funcionamento da renovação de ar para sistemas de Fachadas ventiladas em climas quentes e climas frios .....	51
Figura 3.6 - Exemplo de FV com Mármore Travertino Bruto .....	53
Figura 3.7 - FVPP em corte esquemático – unidades em mm.....	54
Figura 3.8 (a, b, c, d, e, f) - Passo a passo da montagem de uma FVPP .....	55
Figura 3.9 - Componentes da Subestrutura da FVPP .....	56
Figura 3.10 - Exemplo de FV com porcelanato ecuro.....	57
Figura 3.11 - FVPo em corte esquemático – unidades em mm.....	57
Figura 3.12 - Componentes da Subestrutura da FVPo .....	58
Figura 3.13 - Substituição de peça danificada de porcelanato .....	59
Figura 3.14 -Exemplo de Fachada em ACM.....	59

Figura 3.15 - Composição ACM .....	60
Figura 3.16 - Dobra das chapas de ACM em painéis .....	60
Figura 3.17 - FVACM em corte esquemático – unidades em mm .....	60
Figura 3.18 - Detalhes Técnicos de Fixação – Sistema Gancho e Pino .....	61
Figura 3.19 - Detalhe da fixação do painel de ACM no perfil .....	61
Figura 4.1 - Metodologia Proposta .....	63
Figura 4.2 (a, b, c, d) – Tipologia Arquitetônica Típica de Brasília.....	65
Figura 4.3 – Imagem tridimensional da Edificação Habitacional Modelo.....	65
Figura 4.4 - Planta baixa do pavimento tipo de 03 blocos de apartamentos .....	66
Figura 4.5 - Planta baixa do pavimento tipo de 01 bloco de apartamentos.....	66
Figura 4.6 - Planta baixa do apartamento tipo adotado .....	66
Figura 4.7 - Planta Baixa dos Pilotis .....	67
Figura 4.8 - Detalhe das portarias dos Pilotis.....	67
Figura 4.9 - Planta de Cobertura.....	67
Figura 4.10 - Imagem da quadra SQS 112 .....	68
Figura 4.11 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	69
Figura 4.12 - Localização considerada para EHM .....	70
Figura 4.13 - Identificação da Orientação Solar para EHM.....	70
Figura 4.14 - Metodologia proposta para a Fase de Pré-Use (Ei).....	74
Figura 4.15 – Paginação parcial de placas pétreas da fachada frontal da EHM.....	77
Figura 4.16 - Lançamento da subestrutura de alumínio da fachada frontal da FVPP. a) Lançamento parcial da subestrutura de alumínio; b) Detalhe do lançamento da subestrutura de alumínio .....	78
Figura 4.17 – Quantitativo dos materiais da vedação externa.....	79
Figura 4.18 - Exemplo de componente de aço inoxidável durante pesagem .....	80
Figura 4.19 - Metodologia proposta para a Fase de Uso.....	86
Figura 4.20 - Planta Baixa do Modelo com Zoneamento e Norte.....	93
Figura 4.21 - Exemplo de um dos modelos estudados construído no <i>Design Builder</i> .....	94
Figura 4.22 - Metodologia proposta para a Fase de Manutenção.....	99
Figura 5.1 – Energias Incorporadas das tipologias estudadas .....	103
Figura 5.2 - EI das tipologias estudadas para cada fase da ACVE considerada.....	104
Figura 5.3 - EI das tipologias estudadas para cada fase da ACVE considerada.....	107
Figura 5.4 - Relação Massa x EI da EHM para os revestimentos .....	108

Figura 5.5 - Relação Massa x EI da EHM para os materiais da estrutura.....	108
Figura 5.6 - Comparativo de EIo para as tipologias estudadas .....	110
Figura 5.7 – Comparativo das Horas de Desconforto por TO.....	111
Figura 5.8 - Comparativo EIo resfriamento x Horas Desconforto (TO > 29° C).....	112
Figura A1 - Cálculo para Fator de Conversão .....	123
Figura B1 - Componentes do Sistema Jama 166 .....	124
Figura C1 - Componentes do Sistema Jama 623 .....	125
Figura F1 – Paginação parcial de porcelanato da fachada frontal da EHM .....	129
Figura F2 – Lançamento da subestrutura de alumínio da fachada frontal da FVPo.....	129
Figura F3 – Paginação parcial de ACM da fachada frontal da EHM .....	130
Figura F4 – Lançamento da subestrutura de alumínio da fachada frontal da FVACM....	130
Figura G1 – Planilha de quantificação de peças de placas pétreas para cálculo de aproveitamento de chapas .....	131
Figura G2 – Planilha de quantificação de peças de ACM para cálculo de aproveitamento de chapas .....	132
Figura H1 – Exemplo de configuração de aproveitamento de uma chapa de granito.....	133
Figura H2 – Exemplo de configuração de aproveitamento de uma chapa de ACM.....	133
Figura H3 – Gráfico de aproveitamento das placas pétreas .....	134
Figura H4 – Gráfico de aproveitamento do ACM .....	134
Figura I1 – Pesagem dos parafusos e perfil PA do sistema JAM 623 para FV’s .....	135
Figura I2 – Pesagem das grapas do sistema JAM 623 para FV’s .....	136
Figura L1 – Trajeto fábrica de Blocos de concreto em Paranoá, Brasília-DF, até a Asa Norte, Brasília-DF .....	139
Figura L2 – Trajeto fábrica de Vidros em Caçapava-SP, até a Asa Norte, Brasília-DF ..	139
Figura L3 – Trajeto Alcoa, Tubarão-SC à Belmetal, Sorocaba-SP, fabricante das peças de alumínio (FVPP e FVPo), até a Asa Norte, plano piloto, Brasília-DF .....	140
Figura L4 – Trajeto Alcoa, Tubarão-SC à Rajas, Brasília-DF, fabricante das peças de alumínio (FVACM), até a Asa Norte, plano piloto, Brasília-DF .....	140
Figura L5 – Trajeto Timóteo-MG, local da usina da única produtora nacional de aço inoxidável, até a Asa Norte, plano piloto, Brasília-DF .....	141
Figura L6 – Trajeto Villagres, Santa Gertrudes-SP, fabricante das peças de porcelanato, até a Asa Norte, plano piloto, Brasília-DF .....	141

Figura L7 – Trajeto São Paulo-SP, local de fabricação das peças de ACM até a Asa Norte, plano piloto, Brasília-DF .....	142
Figura N1 – Material utilizado para as paredes internas e externas .....	144
Figura N2 – Material utilizado para as lajes .....	145
Figura N3 – Material utilizado para os pisos .....	145
Figura N4 – Material utilizado para as janelas e porta da varanda .....	146

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Transmitância térmica de paredes externas.....	46
Tabela 3.2 - Capacidade Térmica de paredes externas.....	46
Tabela 3.3 - Vida Útil de Projeto Mínima e Superior para Partes da Edificação – tabela parcia .....	47
Tabela 4.1 - Caracterização das Unidades Funcionais por U e CT .....	71
Tabela 4.2 - Comparativo de U e CT para as UF's .....	73
Tabela 4.3 - Especificações das Tipologias de Fachadas Ventiladas .....	75
Tabela 4.4 - Materiais e Componentes das Tipologias.....	75
Tabela 4.5 - Materiais e Componentes do Substrato comum.....	76
Tabela 4.6 - Quantitativo dos materiais da tipologia FVPP .....	81
Tabela 4.7 - Quantitativo dos materiais da tipologia FVPo .....	81
Tabela 4.8 - Quantitativo dos materiais da tipologia FVACM.....	82
Tabela 4.9 - Distâncias dos locais de produção dos componentes até o destino final.....	83
Tabela 4.10 - Cálculo de EIt para os materiais da vedação externa .....	83
Tabela 4.11 - Cálculo de EIt para os materiais das tipologias estudadas .....	84
Tabela 4.12 - Cálculo de EIi para as vedações externas.....	84
Tabela 4.13 - Cálculo de EIi para as tipologias estudadas .....	85
Tabela 4.14 - Dados de Brasília para realização das simulações .....	88
Tabela 4.15 - Especificação do perfil de atividade “Apartamento Geral” .....	89
Tabela 4.16 – Descrição dos materiais utilizados nas simulações para a EHM.....	90
Tabela 4.17 - Tabela de Iluminância requerida por cômodo.....	91
Tabela 4.18 - Eficiências consideradas para aparelhos de resfriamento dos ambientes.....	92
Tabela 4.19 - Especificação das tipologias modeladas.....	93
Tabela 4.20 - Quantitativo de Horas de Desconforto do Usuário na EHM por ano.....	95
Tabela 4.21 - Quantitativo de Horas de Desconforto do Usuário na EHM por ano/m <sup>2</sup> .....	95
Tabela 4.22 - Consumo Energético Anual da Edificação por m <sup>2</sup> .....	96
Tabela 4.23 - Consumo Energético para VU da EHM por m <sup>2</sup> .....	97
Tabela 4.24 - EI Operacional das tipologias estudadas para EHM .....	98
Tabela 4.25 - EI Operacional das tipologias estudadas para EHM em MJ/VU/m <sup>2</sup> .....	98
Tabela 4.26 - Dados para definir numa estratégia preventiva .....	99
Tabela 4.27 - Exemplos de VUP .....	100

Tabela 4.28 - VU dos materiais das tipologias estudadas .....	100
Tabela 4.29 - EIr das tipologias estudadas para EHM .....	101
Tabela 5.1 - Energias Incorporadas das tipologias estudadas em valores .....	102
Tabela 5.2 - Energias Incorporadas das tipologias estudadas em porcentagem .....	102
Tabela 5.3 - EI da Fase de Uso das tipologias estudadas para EHM .....	110
Tabela 5.4 - Horas de Desconforto para VU da EHM por m <sup>2</sup> .....	111
Tabela D1 – Tabela de Identificação e Quantificação das Tipologias de Cobertura nas Asas Sul e Norte de Brasília-DF, quadras 100 e 300's .....	126
Tabela E1 – Absortância a Radiação Solar ( $\alpha$ ), Condutividade Térmica ( $\lambda$ ), Densidade de massa aparente ( $\rho$ ) e calor específico ( $c$ ) dos materiais constituintes das tipologias estudadas .....	127
Tabela E2 – Resistências utilizadas para o cálculo de U e CT .....	127
Tabela E3 – Seções, espessuras e resistências calculadas do bloco de concreto .....	128
Tabela E4 – Cálculo de U e CT para as tipologias estudadas .....	128
Tabela H1 – Informações gerais do resultado de cálculo de aproveitamento das placas pétreas, realizado através do software Corte Certo© .....	134
Tabela H2 – Informações gerais do resultado de cálculo de aproveitamento do ACM, realizado através do software Corte Certo© .....	134
Tabela J1 – Média das massas de placas pétreas .....	137
Tabela K1 – Local de produção de placas pétreas .....	138
Tabela K2 – Média das distâncias entre Local de Produção e destino final das placas pétreas .....	138
Tabela M1 - Resumo dos Limites das Zonas de Conforto das Metodologias estudadas...	143
Tabela N1 – Temperaturas médias do solo adotadas .....	144
Tabela N2 – Especificação do perfil de ocupação “Apartamento Cooling” .....	144
Tabela N3 – Lâmpadas utilizadas no estudo .....	146

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ABIROCHA	–	Associação Brasileira de Rochas Ornamentais
ACM	–	Alumínio Composto
ACV	–	Análise do Ciclo de Vida
ACVE	–	Análise do Ciclo de Vida Energético
BEN	–	Balanco Energético Nacional
c	–	Calor Específico
CFD	–	Fluidodinâmica Computacional
CGIEE	–	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
CONPET	–	Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural
CO <sub>2</sub>	–	Gás Carbônico
CoP	–	Coefficiente de Desempenho
CT	–	Capacidade Térmica
EHM	–	Edificação Habitacional Modelo
EI	–	Energia Incorporada
E <sub>i</sub>	–	Energia Incorporada Inicial
E <sub>o</sub>	–	Energia Incorporada Operacional
E <sub>r</sub>	–	Energia Incorporada Recorrente
E <sub>t</sub>	–	Energia Incorporada de Transporte
EIT	–	Energia Incorporada Total
EMP	–	Energia de Matéria-prima
ET	–	Energia Total
FC	–	Fator Conversão
FV	–	Fachada Ventilada
FVACM	–	Fachada Ventilada de Alumínio Composto
FV <sub>Po</sub>	–	Fachada Ventilada de Porcelanato
FV <sub>PP</sub>	–	Fachada Ventilada de Placas Pétreas
GJ	–	Gigajoule
K	–	Kelvin
kg	–	Kilograma
KJ	–	Kilojoule

KWh	–	Quilowatt-hora
Labee	–	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
Labaut	–	Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética
Lacam	–	Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética
m <sup>2</sup>	–	metro quadrado
Massa	–	Massa
MCT	–	Ministério da Ciência e Tecnologia
MME	–	Ministério de Minas e Energia
MJ	–	Megajoule
MJ/m <sup>2</sup>	–	Megajoule por metro quadrado
MWh/m <sup>2</sup>	–	Megawatt-hora por metro quadrado
PROCEL	–	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
R	–	Resistência Térmica
RSC	–	Resíduo Sólido de Construção
Rse	–	Resistência superficial externa
Rsi	–	Resistência superficial interna
TA	–	Temperatura Ambiente
TO	–	Temperatura Operativa
TR	–	Temperatura Radiante
U	–	Transmitância Térmica
UF	–	Unidade Funcional
UFSC	–	Universidade Federal de Santa Catarina
UnB	–	Universidade de Brasília
USP	–	Universidade de São Paulo
VU	–	Vida Útil
VUP	–	Vida Útil de Projeto
W	–	watt
$\varepsilon$	–	Emissividade
$\lambda$	–	Condutividade térmica do material
$\alpha$	–	Absortividade
$\rho$	–	Refletividade

# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	20
1.2	OBJETIVO .....	21
1.2.1	Objetivo Geral.....	21
1.2.2	Objetivos Específicos .....	21
1.3	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO .....	22
1.4	LIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	22
<b>2.</b>	<b>ENERGIA.....</b>	<b>25</b>
2.1	ENERGIA NO BRASIL .....	25
2.2	ENERGIA NO CICLO DE VIDA DA EDIFICAÇÃO.....	27
2.2.1	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) .....	31
2.2.2	Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) .....	32
2.3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES.....	33
2.3.1	DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES .....	37
2.3.2	CONFORTO TÉRMICO .....	41
<b>3.</b>	<b>FACHADAS .....</b>	<b>44</b>
3.1	DEFINIÇÕES E EXIGÊNCIAS.....	44
3.2	REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DE FACHADAS .....	45
3.2.1	Desempenho Térmico De Fachadas.....	45
3.2.2	Durabilidade e Manutenibilidade de Fachadas .....	46
3.3	FACHADAS INOVADORAS .....	48
3.3.1	Fachada Ventilada de Placas Pétreas (FVPP).....	53
3.3.2	Fachada Ventilada de Porcelanato (FVPo).....	56
3.3.3	Fachada Ventilada de Alumínio Composto (FVACM).....	59
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>63</b>
4.1	TIPOLOGIA ARQUITETÔNICA .....	64
4.1.1	Análise das Tipologias do Plano Piloto .....	64
4.1.2	Descrição da Edificação Habitacional Modelo.....	65
4.2	ZONA BIOCLIMÁTICA .....	68
4.3	LOCALIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO SOLAR .....	69
4.4	UNIDADE FUNCIONAL .....	71

4.5	ETAPA 01: FASE DE PRÉ-USO.....	73
4.5.1	Definição do Formato das Placas.....	74
4.5.2	Identificação dos materiais e componentes das Tipologias.....	75
4.5.3	Quantificação dos componentes utilizados.....	76
4.5.4	Cálculo da EIt .....	82
4.5.5	Cálculo da EIi .....	84
4.6	ETAPA 02: FASE DE USO .....	85
4.6.1	Escolha do software <i>Design Builder</i> para as simulações.....	86
4.6.2	Zona de Conforto para Brasília.....	87
4.6.3	Dados de Entrada para o Software.....	88
4.6.4	Modelos Estudados .....	92
4.6.5	Rotina de Simulação .....	94
4.6.6	Dados de Horas de Desconforto obtidas.....	95
4.6.7	Dados de Consumo Energético obtidos .....	96
4.6.8	Dados de EIo.....	97
4.7	FASE DE MANUTENÇÃO.....	99
4.7.1	Dados de EIr .....	101
<b>5.</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>102</b>
5.1	ET DAS TIPOLOGIAS ESTUDADAS .....	102
5.2	FASE DE PRÉ-USO.....	106
5.3	FASE DE USO .....	109
5.4	FASE DE MANUTENÇÃO.....	113
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>114</b>
6.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	116
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>117</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>122</b>
	APÊNDICE A – CÁLCULO DO FATOR DE CONVERSÃO .....	123
	APÊNDICE B – COMPONENTES DO SISTEMA JAMA 166.....	124
	APÊNDICE C – COMPONENTES DO SISTEMA JAMA 623.....	125
	APÊNDICE D – IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE TIPOLOGIAS DE COBERTURAS NO PLANO PILOTO.....	126
	APÊNDICE E – CÁLCULO DE U E CT PARA AS TIPOLOGIAS ESTUDADAS ..	127

APÊNDICE F – PAGINAÇÃO DE REVESTIMENTOS PARA FACHADAS VENTILADAS .....	129
APÊNDICE G – PLANILHAS DE QUANTIFICAÇÃO DAS PEÇAS DE REVESTIMENTO PARA CÁLCULO DE APROVEITAMENTO DE CHAPAS .....	131
APÊNDICE H – RESULTADOS OBTIDOS COM O SOFTWARE CORTE CERTO© .....	133
APÊNDICE I – IMAGENS FOTOGRÁFICAS DA PESAGEM DOS COMPONENTES DO SISTEMA JAM 623 PARA FV .....	135
APÊNDICE J – TABELA COM MÉDIA DAS MASSAS DE PLACAS PÉTREAS ..	137
APÊNDICE K – CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS MÉDIAS DOS LOCAIS DE PRODUÇÃO DAS PLACAS PÉTREAS ATÉ O DESTINO FINAL .....	138
APÊNDICE L – TRAJETOS DAS FÁBRICAS DOS MATERIAIS DOS COMPONENTES DAS TIPOLOGIAS ESTUDADAS ATÉ O DESTINO FINAL ....	139
APÊNDICE M – TABELA DOS LIMITES DAS ZONAS DE CONFORTO DAS METODOLOGIAS ESTUDADAS POR LAMBERTS ET AL, 1994.....	143
APÊNDICE N – DADOS DE ENTRADA PARA O <i>SOFTWARE DESIGN BUILDER</i> .....	144

## 1. INTRODUÇÃO

A racionalização ou a economia de recursos no processo de produção de edificações, incluindo o uso responsável dos recursos, vem se tornando cada vez mais forte nos últimos anos, onde a sustentabilidade engloba, além dos aspectos ambientais, os aspectos sociais e econômicos, principalmente nos países em fase de desenvolvimento. A partir deste panorama, várias pesquisas têm sido realizadas, buscando projetos e especificações mais sustentáveis.

Sobre os aspectos econômicos, buscam-se projetos e especificações de elementos industrializados que proporcionem mais rapidez na execução e menor desperdício, aliados aos novos conceitos impostos pela arquitetura atual, frequentemente implantados nos elementos de vedação externa da edificação, por meio de inovações. Nem sempre esses novos conceitos vem de encontro com as melhores condições de uso da edificação pelo ser humano, principalmente no que diz respeito ao desempenho térmico. Estruturas e vedações cada dia mais leves muitas vezes não atendem aos critérios mínimos de desempenho térmico estabelecidos pela norma ABNT NBR 15575:2013. Este trabalho, assim como o de Uribe (2013) traz subsídios para a avaliação de novos elementos de vedação vertical externa em relação ao desempenho térmico e o consumo de energia no seu ciclo de vida.

Sobre os aspectos ambientais, estas especificações podem levar em conta, além de outros fatores, a quantidade de matéria prima e energia consumida, além das emissões geradas nos materiais e componentes constituintes destas fachadas. Entre estes aspectos ambientais, um item importante a ser avaliado é o consumo energético das edificações durante seu ciclo de vida. Uma ferramenta utilizada para isto é a Avaliação de Ciclo de Vida Energético (ACVE), que avalia a energia incorporada durante o ciclo de vida.

De acordo com Sposto, Palacio e Nabut Neto (2012), as inovações mais frequentes ocorridas em fachadas são: fachadas metálicas, de concreto, de pedras, de alumínio composto e fachadas ventiladas (de pedras, cerâmicas, vidro, entre outros).

Este trabalho trata de uma ACVE de fachadas ventiladas, considerando-se as fases de pré-uso, uso e manutenção. Nele são quantificadas a Energia Incorporada Inicial (EIi), a

Energia Incorporada Operacional (EIo) e a Energia Incorporada Recorrente (EIr) ou de manutenção para uma Edificação Habitacional Modelo (EHM) típica do Plano Piloto de Brasília-DF.

Algumas pesquisas têm sido feitas no Brasil buscando levantar estes valores: Bessa (2010) quantificou a energia incorporada (EI) e emissões de CO<sub>2</sub> do ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios, utilizando simulações computacionais para fase de uso; Tavares (2006) desenvolveu uma metodologia de avaliação do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras; Nabut Neto (2011) levantou e analisou dados de energia incorporada e emissões de CO<sub>2</sub> para fachadas em *Light Steel Frame*; Graf (2011) determinou condições de equilíbrio entre transmitância térmica e energia incorporada do invólucro da edificação para uma edificação padrão brasileira para a cidade e clima de Curitiba-PR, Sposto, Palacio e Nabut Neto (2012) analisaram energia incorporada para fachadas de *Light Steel Frame* com diversos tipos de acabamento, considerando-se o desempenho térmico, e Uribe (2013) levantou e analisou a energia incorporada do *Light Steel Frame* na fase de pré-uso para diferentes composições de revestimentos e isolantes térmicos. Observa-se, porém, que ainda não se tem um banco de dados, o que dificulta a ACVE.

Para este trabalho foram consideradas as Fachadas Ventiladas em uma Edificação Habitacional Modelo (EHM) típica da cidade de Brasília-DF. Para a fase pré-uso foi levantada e quantificada a EI dos componentes e materiais das tipologias adotadas (Fachada Ventilada Placas Pétreas – FVPP, Fachada Ventilada Porcelanato – FVPo e Fachada Ventilada de Alumínio Composto – FVACM). Para a fase de uso foram levantados dados de EI provinda da energia elétrica de sistema de resfriamento (ar-condicionado) durante a vida útil - VU (adotada neste trabalho como 50 anos, de acordo com a ABNT NBR 15575-1:2013) da EHM, através de simulações computacionais, para a zona bioclimática de Brasília- DF e, ainda, foram levantados dados de horas de desconforto do usuário para análise de desempenho térmico das tipologias. Para a fase de manutenção foi criado um cenário de substituição de peças conforme a VU da edificação e periodicidade de manutenção, a partir de dados da fase de pré-uso.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Projetistas ao redor de todo o mundo concentram esforços para minimizar o impacto que suas edificações causarão ao meio ambiente. Mesmo que digam que suas edificações são sustentáveis, não é possível determinar o impacto que determinada edificação em particular causará ao meio ambiente, a não ser que uma análise objetiva seja feita. Avaliações de Ciclo de Vida Energético (ACVE) tem sido desenvolvidas baseadas em energia incorporada e energia operacional durante o ciclo de vida da edificação para determinar o impacto energético das mesmas (MITHRARATNE & VALE, 2004).

No Brasil são poucos os dados existentes sobre ACVE das edificações em geral, que considerem todas as fases pertinentes (pré-uso, uso e manutenção e desconstrução), a maior parte dos estudos concentra-se somente em uma das fases, sendo a fase de pré-uso a mais focada.

Todos os dias novas tecnologias e novos sistemas são inseridos no mercado nacional e internacional, e não existe uma preocupação visível com o seu desempenho energético. Este trabalho vem ao encontro da necessidade de se ter maiores informações sobre sistemas inovadores. As Fachadas Ventiladas estão sendo inseridas no mercado brasileiro a cerca de 30 anos<sup>1</sup>, ainda não existem sistemas desse tipo que tenham cumprido com a vida útil da edificação descrita na ABNT NBR 15575-1:2013, de 40 a 60 anos.

Pelo fato das Fachadas Ventiladas serem sistemas relativamente novos no país, os dados relativos ao desempenho desses sistemas são escassos. Não existem muitas pesquisas no Brasil acerca do tema ainda, e não foram encontrados dados sobre EI dos mesmos nas pesquisas realizadas para este trabalho.

Propõem-se levantar e quantificar a EI dos componentes e materiais de três tipologias distintas de fachadas ventiladas para duas fases do ciclo de vida: fase de pré-uso e uso (manutenção e operação da edificação). Verificou-se que poucos trabalhos incorporam a fase de uso, e pela bibliografia estudada e resultados obtidos percebeu-se que esta fase possui a parcela mais significativa de Energia Total.

---

<sup>1</sup> Informação verbal em entrevista com fabricante nacional de fachadas ventiladas de cerâmica extrudada

Optou-se por uma edificação habitacional modelo (EHM)<sup>2</sup>, pois, dentre os setores ligados diretamente à Construção Civil (residencial, comercial, e público) o consumo energético residencial consome o equivalente à soma dos setores comercial e público em todas as fontes de energia (MME, 2005), além da recente implantação da norma de desempenho para edificações residenciais (ABNT NBR 15575:2013), que surgiu para contribuir de forma significativa no desempenho das edificações.

Os resultados deste trabalho podem fornecer subsídios a especificações de edificações mais sustentáveis do ponto de vista energético-ambiental.

## **1.2 OBJETIVO**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem por objetivo levantar, quantificar e comparar a Energia Incorporada de três tipologias de Fachadas Ventiladas (FVPP-Fachada Ventilada de Placas Pétreas, FVPo-Fachada Ventilada de Porcelanato e FVACM-Fachada Ventilada de Alumínio Composto) nas fases de Pré-Uso, Uso e Manutenção para uma Edificação Habitacional Modelo em Brasília-DF.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Quantificar a EI para as fases de Pré-Uso (E<sub>li</sub>), Uso (E<sub>Io</sub>) e Manutenção (E<sub>Ir</sub>) para as três diferentes tipologias: Fachada Ventilada Placas Pétreas (FVPP), Fachada Ventilada Porcelanato (FVPo) e Fachada Ventilada Alumínio Composto (FVACM);
- Analisar comparativamente as tipologias, no que diz respeito a Energia Total (ET);

---

<sup>2</sup> A Edificação Habitacional Modelo refere-se a um projeto arquitetônico de uma edificação habitacional baseada no modelo do Plano Piloto em Brasília-DF, concebido pela autora deste estudo.

- Analisar comparativamente as diferentes energias incorporadas contidas na Energia Total das tipologias adotadas;
- Analisar comparativamente a Massa (M) e a EIi das tipologias adotadas;
- Analisar comparativamente as horas de desconforto e a EIo das tipologias adotadas;
- Analisar comparativamente o desempenho térmico das tipologias adotadas através dos índices de voto médio predito e temperatura operativa.

### **1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO**

O trabalho divide-se em 05 capítulos:

- 1. Introdução: apresentam-se o tema, a sua justificativa, os objetivos gerais e os específicos, a estruturação e as limitações do trabalho;
- 2. Energia: apresentam-se os conceitos e as referências teóricas que embasam o estudo a respeito da Energia no Brasil, a Energia no ciclo de vida da edificação e a eficiência energética de edificações;
- 3. Fachadas: apresentam-se os conceitos e as referências teóricas que embasam o estudo a respeito de vedações externas;
- 4. Metodologia: é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, dividida por etapas de desenvolvimento;
- 5. Apresentação e Análise dos Resultados: são apresentados e analisados os resultados obtidos;
- 6. Conclusões: apresentam-se as conclusões da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.

### **1.4 LIMITAÇÃO DO TRABALHO**

No desenvolvimento desta pesquisa, foram encontradas barreiras que fizeram com que algumas premissas fossem assumidas a fim de concluir o estudo. A seguir listam-se as limitações encontradas, com a ressalva de que estas podem ser foco de futuros trabalhos.

- Uma das intenções iniciais do estudo era a de comparar o desempenho térmico das tipologias de fachadas ventiladas com o sistema convencional para aferir as vantagens energéticas das mesmas, no que tange ao consumo de ar-condicionado, porém, isso não foi possível devido a uma limitação encontrada no software utilizado na fase de uso;
- A fase de pré-uso do estudo abrangeu quantificar a Energia Incorporada Inicial (EIi) através de dados secundários de Energia Incorporada (EI) e Energia Incorporada de Transporte (EIt). A fase de execução não foi considerada;
- Neste estudo foram consideradas as fases de pré-uso, uso e manutenção, não tendo sido considerada a fase de desconstrução;
- Para a Edificação Habitacional Modelo (EHM), utilizada neste estudo, foram consideradas: vedações externas de blocos de concreto com escória expandida de 14 cm de espessura, sem revestimento argamassado externo, e revestimento interno de gesso, com massa desprezível. Lajes entre pavimentos de concreto armado com 15 cm de espessura, esquadrias de alumínio com vidro de 6 mm e telhado de fibrocimento, conforme Apêndice N;
- Para cálculo de EI da vedação externa não foram contabilizados os materiais contidos nos pilotis, pilares, vigas e laje, pois não foi realizado projeto estrutural para a EHM;
- Para cálculo da EIi foram utilizados dados de EI do alumínio e do ACM como 100% novo, sendo que no caso dos mesmos serem reciclados ou terem percentual de material reciclado na sua composição, os resultados podem ser diferentes;
- Para a fase de uso foi utilizado o método prescritivo estabelecido pela ABNT NBR 15575:2013 para cálculo de U (transmitância térmica) e CT (capacidade térmica) das tipologias para aferimento do desempenho térmico das tipologias adotadas. Para o cálculo de EIo foi utilizado o procedimento de simulação computacional, baseado na referida norma para quantificar a energia provinda do sistemas de resfriamento. Não foi utilizado o procedimento de medições in loco;
- Ainda para a fase de uso, nas simulações, foram considerados os revestimentos das tipologias FVPP e FVPo na cor cinza médio e o revestimento da FVACM na cor cinza claro, que eram as cores padrão do *software Design Builder*; outras cores podem trazer resultados diferentes;

- O revestimento ACM utilizado nas simulações foi o metalizado, que possui baixa emissividade, responsável pela melhor eficiência energética do que os demais revestimentos. A escolha de um material opaco modifica os resultados apresentados neste estudo;
- Para o cálculo EIt foram utilizados como referência os locais de produção dos materiais até a Asa Norte, plano piloto, em Brasília-DF, sendo que para as placas pétreas foi realizada média das distâncias das fábricas do Espírito Santo até a Asa Norte, por existirem vários fornecedores no país, e ser este o estado de maior significância. Só foram consideradas as distâncias de ida, por ser este o momento em que o caminhão se encontra carregado, tendo maior relevância.

## 2. ENERGIA

Este capítulo tem o intuito de fornecer embasamento teórico sobre a energia no Brasil, sobre a energia no ciclo de vida da edificação e sobre a eficiência energética de edificações.

### 2.1 ENERGIA NO BRASIL

De acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN 2013 (MME-a, 2013), dentre as diversas formas de oferta de energia dentro do país, estão as Renováveis e as Não-Renováveis. Na Figura 2.1 pode-se verificar a oferta energética no ano de 2012 por tipo de energia disponibilizada. Percebe-se que o Petróleo e derivados são as maiores ofertas de energia no país, seguido pela energia da biomassa de cana e energia hidráulica.

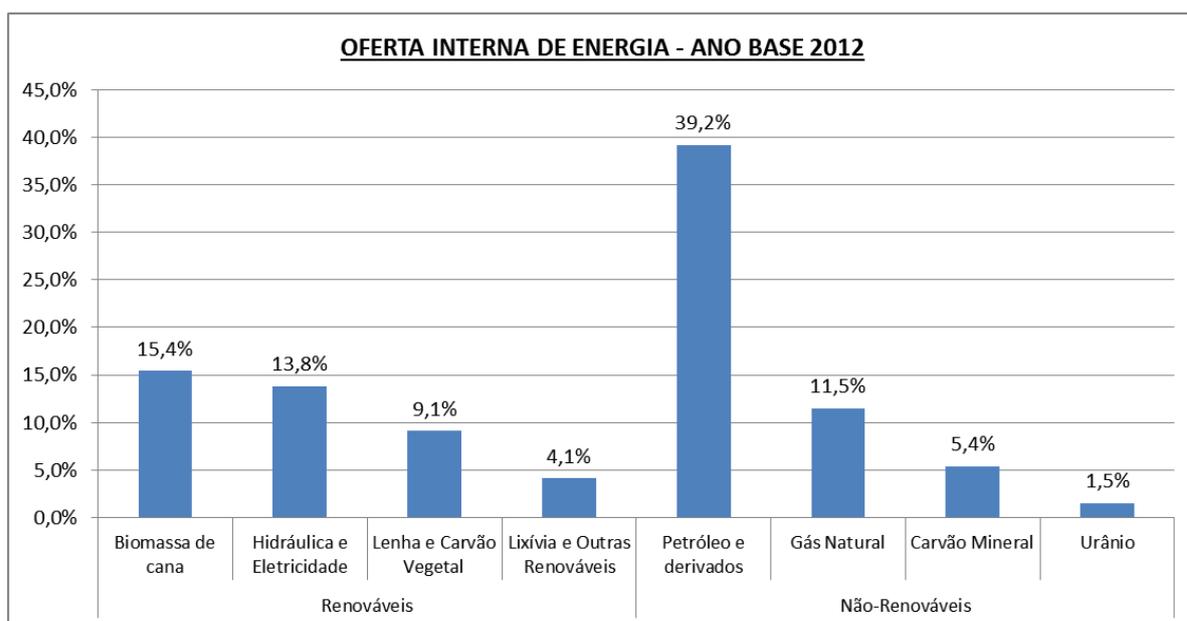


Figura 2.1 - Oferta Interna de Energia do Brasil (adaptado de MME-a, 2013)

No último ano houve um aumento de 4,1% na oferta de energia elétrica, e em contrapartida ocorreu um aumento no consumo final de 3,4% (Figura 2.2), vinculados às famílias e ao setor de serviço. Para atender a demanda aumentou-se a geração térmica convencional, o que acarretou aumento nas perdas de energia na transformação.

Valores em Mtep		2012	2011
Energia disponibilizada <sup>1</sup>	↑	283,6	272,3
Uso energético	↑	236,7	228,9
Uso não energético e perdas <sup>2</sup>	↑	46,9	43,4

<sup>1</sup> Oferta interna de energia  
<sup>2</sup> Inclui perdas na transformação

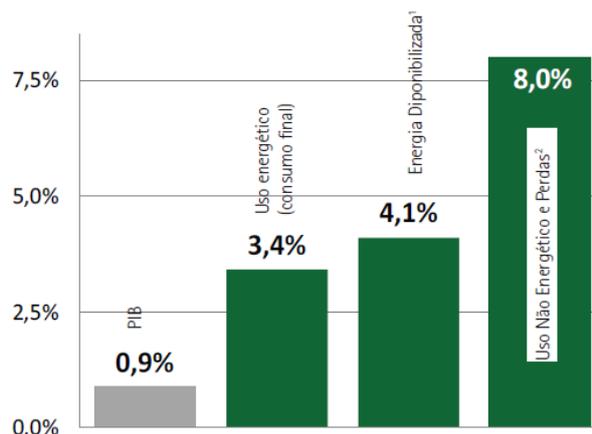


Figura 2.2 - Consumo de Energia no Brasil em 2012 (MME-a, 2013)

Na Figura 2.3 apresenta-se o consumo final de energia no Brasil em 2012, separados por fonte. Pode-se verificar que o maior consumo foi do óleo diesel (provém do petróleo) (18,3%) seguido pela eletricidade (16,9%).

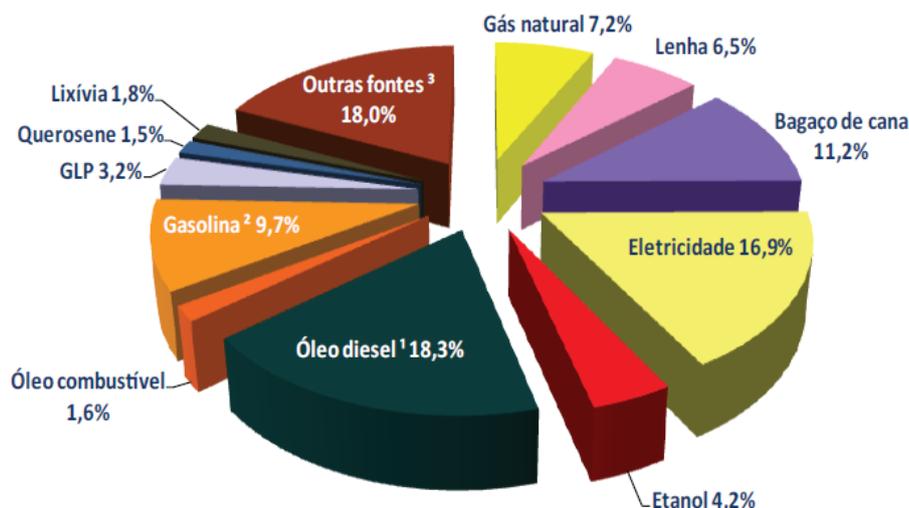


Figura 2.3 - Consumo final de energia no Brasil em 2012 (MME-a, 2013)

Com base na Figura 2.4 têm-se os setores que mais consumiram energia: Setor Indústrias (35,1%) e Transportes (31,3%) totalizando juntos 66% da energia consumida no país. Percebe-se ainda que o setor de residências (9,4%) teve um consumo mais significativo que o setor de serviços (4,5%). No setor de indústrias, que inclui o setor da construção civil, o maior consumo foi de energia elétrica (20,3%), seguido do bagaço da cana (20,1%), do carvão mineral (13,0%) e gás natural (11,1%).

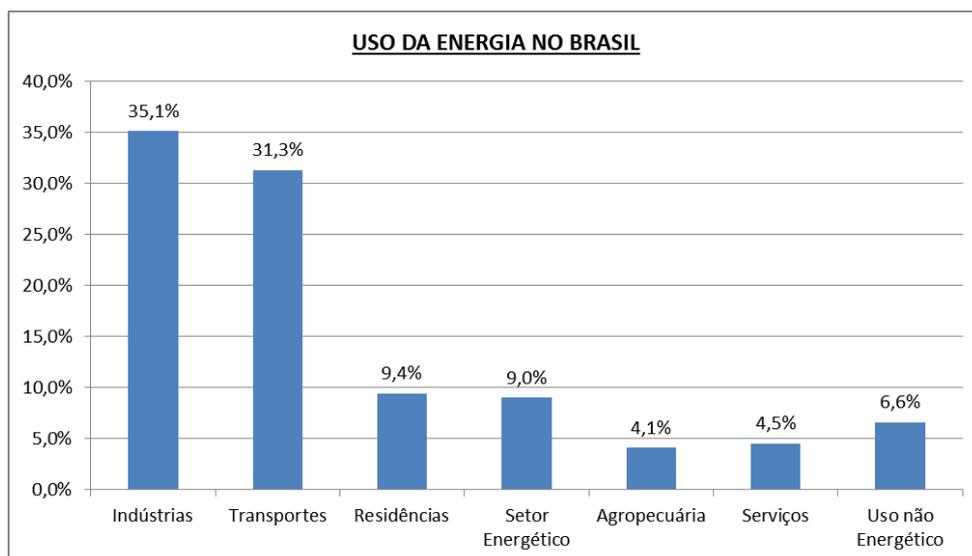


Figura 2.4 - Uso da Energia no Brasil em 2012 (adaptado de MME-a, 2013)

## 2.2 ENERGIA NO CICLO DE VIDA DA EDIFICAÇÃO

Ao se tratar de energia utilizada no ciclo de vida da edificação Sartori e Hestnes (2007) compilaram conceitos importantes que devem ser levados em consideração neste estudo.

- Energia Incorporada (EI): é a soma de todas as energias necessárias para manufaturar um bem, compreende a energia da extração de matéria-prima, transporte do local de extração ao local de produção e produção do material. Geralmente expressa em termos de energia primária.
- Energia Incorporada de Transporte (EIt): energia utilizada para transportar o material do local de produção ao sítio de construção.
- Energia Incorporada Inicial (EIi): é a soma da energia incorporada dos materiais de construção (EI), da energia incorporada de transporte (EIt) e da energia gasta na instalação / construção (Eic).
- Energia Operacional (EIo): energia utilizada na edificação durante a fase de operação, como energia de aquecimento, resfriamento, ventilação, aquecimento de água, iluminação, cocção, dentre outras. Pode ser expressa em termos de energia de uso final ou energia primária.
- Energia Incorporada Recorrente (EIr): é a soma da energia incorporada presente em todos os materiais utilizados em reforma ou manutenção da edificação.

- Energia Incorporada Total (EIT): é a soma da energia incorporada inicial e energia recorrente.
- Energia Total (ET): é a soma de todas as energias utilizadas por uma edificação durante seu ciclo de vida (energia incorporada total somada à energia operacional multiplicada por sua vida útil).

É apresentado na Figura 2.5 um esquema dos tipos de energia contidos durante o ciclo de vida da edificação.

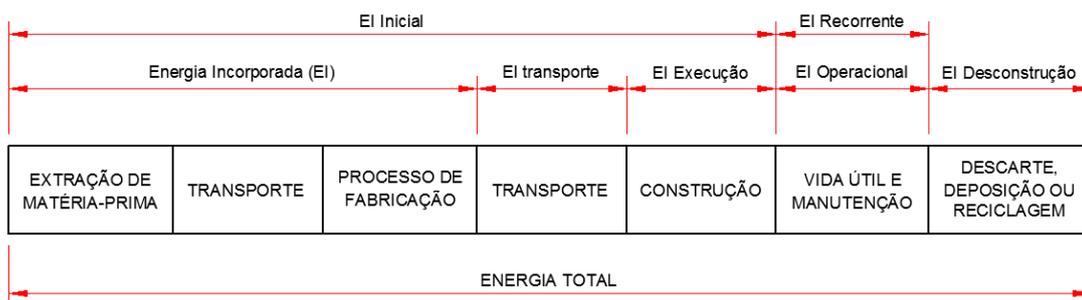


Figura 2.5 – EI no ciclo de vida de uma edificação (a partir de Sartori e Hestnes, 2007)

Quando se trata de energia, ainda se tem mais alguns conceitos a serem apresentados. No BEN 2013 é apresentada (Anexo V do seu relatório final) a estrutura geral de como o mesmo é desenvolvido, segundo metodologia que expressa o balanço das diversas etapas do processo energético: produção, transformação e consumo, conforme Figura 2.6.

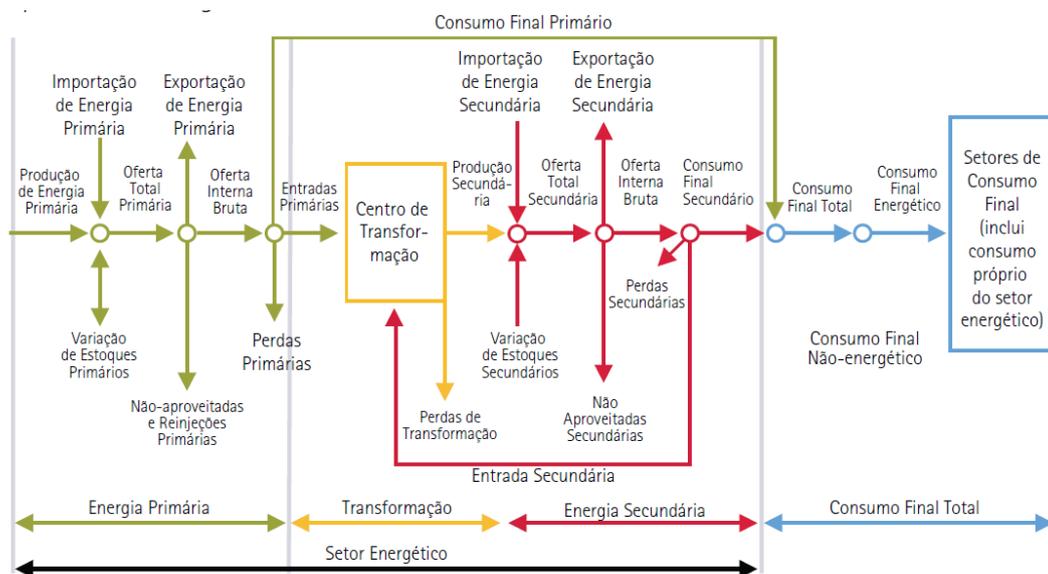


Figura 2.6 - Estrutura Geral do Balanço Energético Nacional (MME-b, 2013)

Pode-se perceber que a estrutura é dividida em 04 etapas:

- Energia Primária: trata-se da energia provinda da natureza na sua forma direta como petróleo, gás natural, carvão mineral, energia hidráulica, energia solar, eólica, entre outras;
- Transformação: trata-se dos centros de transformação onde a energia primária e/ou secundária entra para se transformar em outra forma de energia secundária, com suas correspondentes perdas;
- Energia Secundária: são produtos energéticos resultantes dos diferentes centros de transformação que têm como destino diversos setores de consumo e eventualmente outro centro de transformação;
- Consumo Final: energia primária e secundária que se encontra disponível para ser utilizada pelos diferentes setores consumidores.

Em termos de Energia Incorporada é comum se utilizar somente Energia de Uso Final e Energia Primária:

- Energia de Uso Final (End-Use): é a energia mensurada depois da transformação, ou seja, a energia primária somada a energia gasta no processo de transformação e as perdas na distribuição;
- Energia Primária: é a energia utilizada para produzir a energia de uso final.

As Energias Incorporadas normalmente são calculadas no formato de Energia Primária, porém a Energia Incorporada Operacional normalmente é calculada, inicialmente, em formato de Energia de Uso Final, isso porque os valores calculados tem com base o consumo energético da edificação durante o uso na vida útil, como por exemplo, consumo pela iluminação, equipamentos de resfriamento e equipamentos eletrônicos.

Dessa forma, faz-se necessária a conversão da Energia de Uso Final para Energia Primária, e para isso é necessário saber o valor do Fator de Conversão<sup>3</sup> (FC). No Brasil são disponibilizados dados de Energia Primária e Transformação no BEN (MME-b, 2013) e dados de perdas e consumo de energia elétrica no Anuário Estatístico de Energia Elétrica

---

<sup>3</sup> Fator de Conversão é o coeficiente de multiplicação que deve ser utilizado para converter energia de uso final para energia primária

(EPE, 2013). Com base nesses dados foi realizado o cálculo para FC (1,67). Um esquema da metodologia utilizada é apresentado na Figura 2.7 e o cálculo completo no Apêndice A.

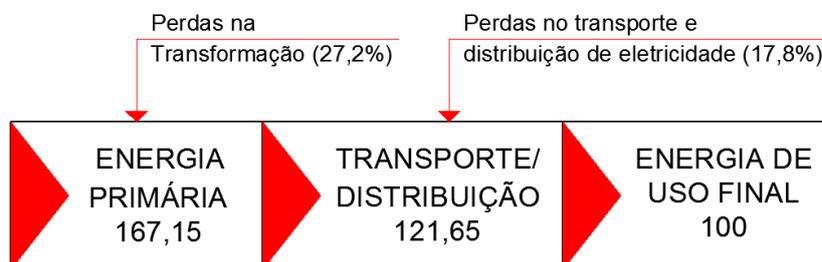


Figura 2.7 - Esquema da metodologia utilizada para cálculo do Fator de Conversão (a partir de dados de MME-b, 2013 e EPE, 2013)

Neste trabalho foram consideradas a Energia Incorporada (EI), Energia Incorporada de transporte (EIt) (transporte pós processo de fabricação), Energia Operacional (EIo) e Energia Recorrente (EIr). Não foi considerada a energia proveniente da execução. Para a quantificação dessas energias, as mesmas foram divididas nos itens:

- Fase de Pré-Usado: quantificação da Energia Incorporada (EI) dos materiais presentes nas diferentes tipologias adotadas e Energia Incorporada de transporte (EIt).
- Fase de Uso<sup>4</sup>: quantificação da Energia Incorporada Operacional (EIo), proveniente do sistema de resfriamento e iluminação.
- Fase de Manutenção: quantificação da Energia Incorporada Recorrente (EIr), proveniente da substituição dos componentes necessários em um cenário de manutenção para a vida útil das tipologias estudadas.

Edificações demandam energia em seu ciclo de vida, seja diretamente ou indiretamente. Diretamente na sua execução, operação, reforma ou eventual demolição, indiretamente através dos materiais de que são constituídas e da instalação desses materiais. Estudos de caso que levam em consideração a fase de execução, demolição e transporte dos materiais mostram que a soma de energia para essas fases gira em torno de 1% da energia total do ciclo de vida da edificação (SARTORI & HESTNES, 2007).

<sup>4</sup> Usualmente a Fase de Uso e Fase de Manutenção são contempladas juntas como Fase Operacional, neste trabalho elas foram trabalhadas separadamente, pois tiveram metodologias distintas.

O estudo de Sartori e Hestnes (2007) analisou 60 estudos de casos e concluiu que a energia operacional representa, com significativa diferença, a maior parte da energia consumida pela edificação em seu ciclo de vida.

### **2.2.1 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**

Uma importante ferramenta de avaliação de impacto ambiental é a chamada Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). De acordo com a ISO 14040 (2009) a ACV considera todo o ciclo de vida de um produto (do “berço ao túmulo”), desde a extração da matéria prima, produção, uso, demolição, reciclagem e disposição final.<sup>5</sup>

Por meio da ACV é possível avaliar os efeitos ambientais, quando e como ocorrem e suas reais consequências, isto é, quando efetivamente o desenvolvimento e uso de um produto ou serviço contribuem para o esgotamento de recurso natural ou geração de resíduos indesejáveis (HEISKANEN, 2002).

De acordo com Tavares (2006) sua abordagem é holística, não se limita somente aos limites industriais do processo de produção dos produtos ou componentes. São verificados os impactos ambientais das matérias-primas e consumos energéticos (diretos e indiretos) de todo o processo e também quanto ao destino dos resíduos finais e subprodutos de cada etapa.

Tavares (2006) ainda afirma que os Selos Verdes (europeus) e os Rótulos Ambientais (brasileiros) são frequentemente baseados em ACVs, levando empresas a um melhor gerenciamento do ciclo de vida de seus produtos.

Uma ACV determinará o ciclo de vida de um produto pelo seu sistema de produção. A propriedade essencial de um sistema de produção é caracterizada pela sua função e não pode ser determinada somente por seu produto final. Na Figura 2.8 é apresentado um exemplo de sistema de produção.

---

<sup>5</sup> Tipicamente a ACV não engloba aspectos econômicos e sociais de um produto.

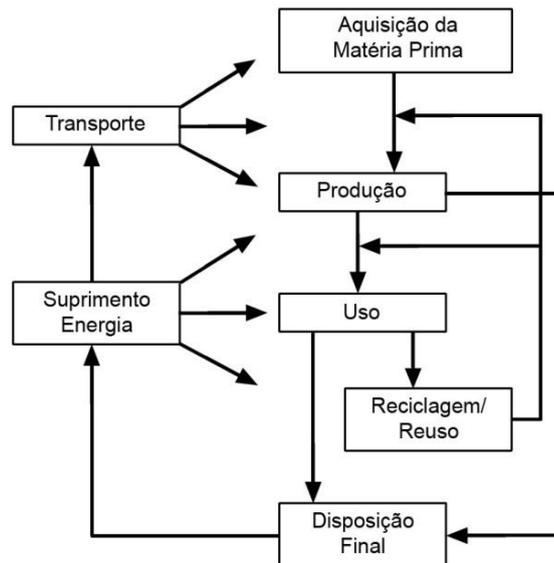


Figura 2.8 - Exemplo de sistema de produção para ACV (adaptado de ISO 14040, 2009)

Na construção civil a ACV pode ser utilizada em um produto, na composição de produtos formando sistemas e em sistemas compondo a própria edificação. O conhecimento das etapas do ciclo de vida e dos impactos ambientais dos produtos que compõe a edificação pode permitir diferentes escolhas de sistemas construtivos. É uma ferramenta que permite auxiliar os profissionais nas decisões projetuais, pois cada escolha gerará impactos distintos no meio ambiente.

### 2.2.2 Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE)

De acordo com Ramesh, Prakash e Shukla (2010), os edifícios utilizam uma grande porção de energia e recursos naturais. Ao redor do mundo de 30 a 40% de toda energia primária produzida é consumida nas edificações, e elas ainda são responsáveis por 40 a 50% das emissões de gases.

Uma edificação envolve vários materiais e elementos, que durante seu ciclo de vida consomem e trocam energia. As formas de obtenção desta energia são variadas como foi apresentado no item 2.1. A importância de se avaliar o consumo de energia se deve ao fato dela estar ligada a vários impactos ambientais provenientes da sua forma de obtenção.

ACVE é uma forma simplificada de ACV, utilizada para quantificar os gastos energéticos envolvidos no ciclo de vida de uma edificação e facilitar uma tomada de decisão acerca de eficiência energética e dos impactos ambientais associados, como a geração de CO<sub>2</sub>. Em uma ACVE são analisados os consumos energéticos nas diferentes fases do ciclo de vida da edificação:

- Fase de Pré-Uso: inclui extração de matéria-prima, transporte, produção, transporte até o canteiro de obras, instalações técnicas na execução;
- Fase Operacional (Uso): engloba todas as atividades relacionadas com o uso da edificação, durante sua vida útil, como equipamentos de climatização, aquecimento de água, iluminação, cocção e alimentação de aparelhos eletrônicos.
- Fase Operacional (Manutenção): Inclui as atividades relacionadas com reformas/manutenções periódicas da edificação, em função da depreciação dos materiais ou por senso estético, com uso de materiais de construção e transporte;
- Fase de Desconstrução: inclui a destruição da edificação e transporte dos materiais para o aterro e/ou central de reciclagem.

Tavares (2006) destaca que na ACVE de edificações costuma-se utilizar referências de unidades energéticas relacionadas a unidades de construção civil, apresentando-se os resultados das avaliações em unidades como KWh/m<sup>2</sup>, MWh/m<sup>2</sup>, GJ/m<sup>2</sup>, MJ/m<sup>2</sup>.

A EIo de uma edificação durante sua vida útil está diretamente ligada ao seu desempenho térmico e ao conforto térmico do usuário. Uma vez que o usuário esteja desconfortável termicamente em uma edificação, ele tenderá ao uso de equipamentos de resfriamento e/ou aquecimento. Para que este seja amenizado é necessário que a edificação mantenha níveis mínimos de desempenho térmico, e a envoltória é uma das grandes responsáveis por isso.

### **2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES**

Em Outubro de 2001 foi promulgada a Lei nº 10.295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, ficando a cargo do Poder Executivo estabelecer níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou

comercializados no país, e ainda desenvolver mecanismos promotores de eficiência energética nas edificações construídas no país.

Em Dezembro deste mesmo ano foi publicado o Decreto nº 4.059 que regulamenta a Lei nº 10.295. O decreto estabelece que os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica, sob coordenação do Ministério de Minas e Energia (MME). Ainda institui Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE. Este Comitê estabelece um Grupo Técnico, composto entre outros por: MME, Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural (CONPET) para a adoção de procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações.

Em relação a edificações, foi instituído o Procel Edifica, que promove o uso racional de energia elétrica em edificações desde a sua fundação, em 2003, visando o incentivo à conservação e uso eficiente dos recursos naturais, para reduzir os desperdícios e impactos sobre o meio ambiente.

De acordo com Procel Info (2012), o consumo de energia elétrica nas edificações corresponde a cerca de 45% do consumo faturado no país. Estima-se um potencial de redução deste consumo em 50% para novas edificações e de 30% para aquelas que promoverem reforma que contemplem conceitos de eficiência energética em edificações.

Desta forma, hoje já se percebe maior preocupação com o uso racional dos recursos primários, mas ainda é muito inferior às exigências que o futuro imporá sobre a sociedade. De acordo com Romero e Reis (2012) as edificações têm cerca de dez mil anos na história da humanidade, sendo que a utilização de eletricidade ocorre há apenas 130 anos no uso final de iluminação artificial e há 110 anos no uso final de condicionamento ambiental. Na história dos edifícios, a eletricidade fez parte de apenas 1% de todo o período, ou seja, o ser humano viveu 99% do tempo histórico habitando edifícios sem utilizar eletricidade.

O Brasil deu um grande passo em 2001 com a Lei nº 10.295 e com o Decreto nº 4.059, mas ainda existe um árduo trabalho pela frente. Diante do alto consumo de energia pelas edificações fazem-se necessários estudos que comprovem a eficiência energética de novos sistemas construtivos lançados no mercado, para que o projetista esteja apto a especificar com base em dados de economia de energia, não somente de custos.

Até poucas décadas atrás era sabido que a energia operacional representava a maior parcela do ciclo de vida energético, com cerca de 90 à 95% do total. Mais recentemente, a crescente preocupação com os problemas ambientais relacionados à energia levou os projetistas a desenvolverem projetos mais eficientes energeticamente. Em adição, interesse crescente e melhores metodologias, como a ACVE, produzem melhor entendimento e melhor estimativa de aspectos energéticos no ciclo de vida de qualquer bem (SARTORI & HESTNES, 2007).

O estudo de Sartori e Hestnes (2007) concluiu que edificações projetadas com princípios de eficiência energética conseguem reduzir o consumo energético durante sua vida útil, apesar de possuírem uma maior energia incorporada inicial. E, ainda, que a redução da energia operacional (EIo) aparenta ser o aspecto mais importante a ser considerado pelos projetistas que desejam criar edificações energeticamente eficientes durante seu ciclo de vida. Dessa forma, a Eli deve ser pensada em segunda instância.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2004), Eficiência Energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

O consumo energético de uma indústria provém, em sua maior parte, dos maquinários, consumo este que independe da arquitetura, dos materiais ou sistemas construtivos. Os setores residencial, comercial e público concentram a parte significativa da atuação do projetista para aumentar a eficiência energética das edificações. Pode-se perceber pela Figura 2.9 que dentre os setores citados, o Residencial (foco deste estudo) representa 26,3% do consumo de energia elétrica do país, seguido do Comercial com 17,7%.

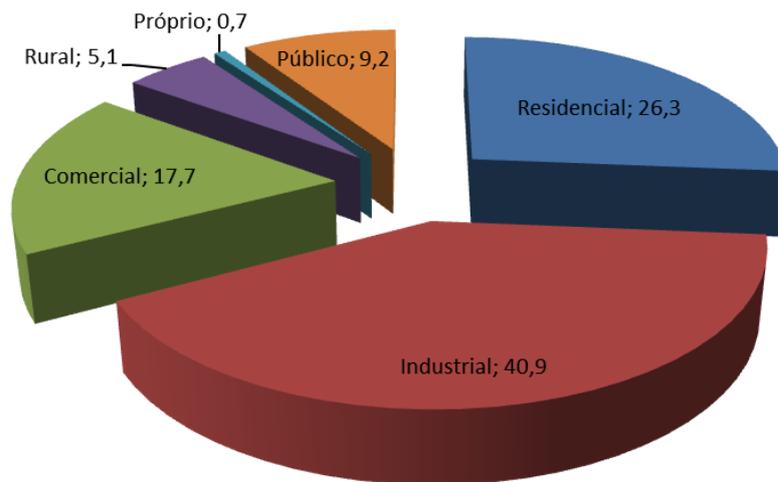


Figura 2.9 - Consumo de energia elétrica no Brasil 2012 (EPE, 2013)

No setor residencial a maior parte da energia consumida concentra-se nas geladeiras, chuveiros e iluminação, seguidos do ar-condicionado e aparelhos televisores (Figura 2.10).

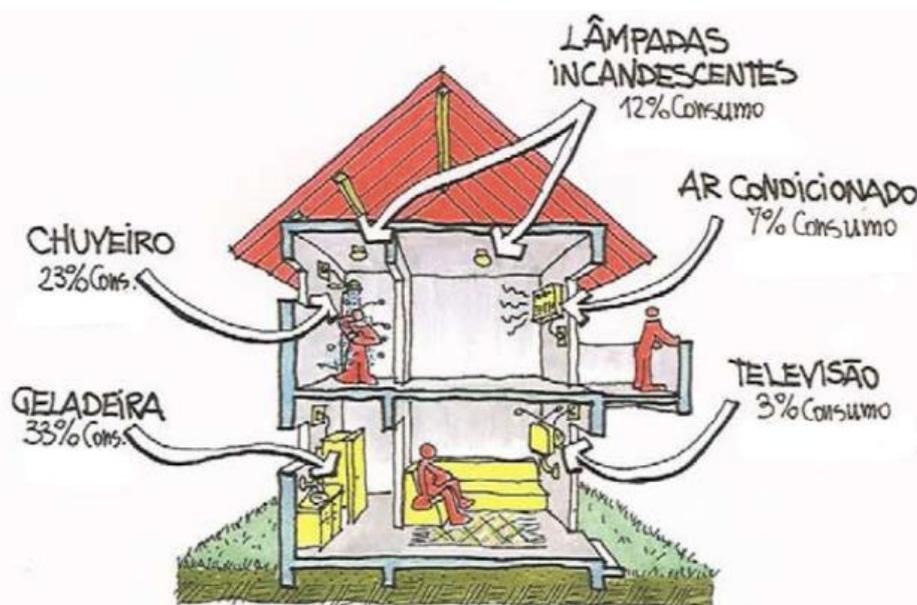


Figura 2.10 - Consumo no Setor Residencial (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 2004)

No setor comercial a maior parte da energia consumida concentra-se no ar-condicionado, seguido pela iluminação artificial, seguidos pelos equipamentos de escritório, elevadores e bombas (Figura 2.11).

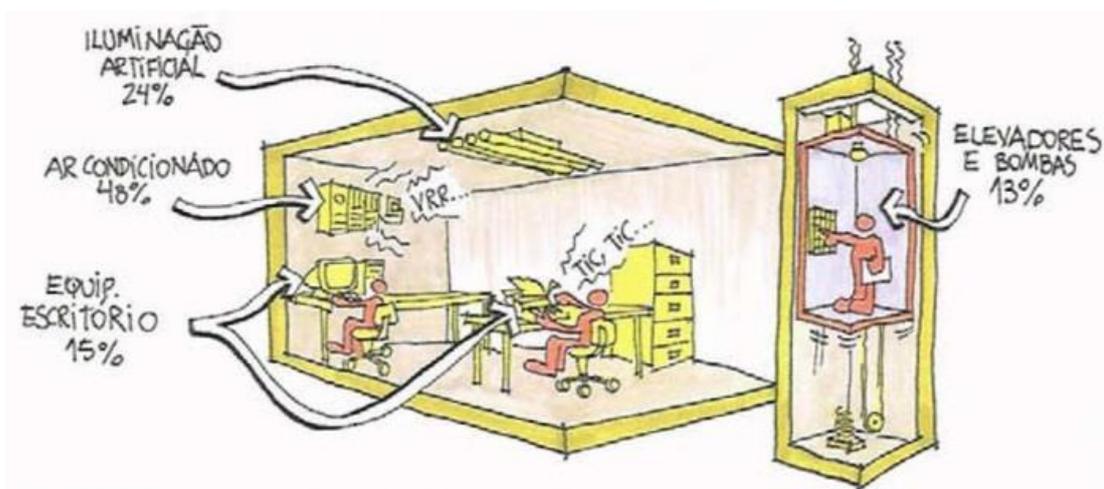


Figura 2.11 - Consumo no Setor Comercial (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 2004)

Para o setor Residencial, Lamberts, Dutra e Pereira (2004) explanam sobre diversas técnicas a serem adotadas, ainda no projeto arquitetônico, para minimizar os efeitos do clima sobre a edificação e melhorar assim o conforto térmico do usuário no interior da mesma. Quando uma edificação é projetada de acordo com princípios do Bioclimatismo<sup>6</sup> é possível bons níveis de desempenho térmico, minimizando a necessidades de aparelhos de resfriamento e/ou aquecimento artificial. Não é foco deste estudo, porém, detalhar estes princípios.

Nos próximos itens serão tratados conceitos de Desempenho Térmico e Conforto Térmico para facilitar o entendimento do leitor do item 4.6 e Capítulo 4 deste estudo.

### 2.3.1 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Muitas edificações apresentam temperaturas internas elevadas no verão e/ou baixas no inverno, proporcionando desconforto térmico aos usuários, por calor e/ou por frio. Nesses casos, verifica-se normalmente má utilização das características climáticas locais na fase de projeto da edificação. O uso favorável da ventilação natural e a seleção adequada de materiais de construção e sistemas construtivos podem determinar que o ambiente

<sup>6</sup> Bioclimatismo, ou arquitetura bioclimática é a técnica de projetar de forma a integrar clima e construção, trazendo o máximo de conforto para o usuário no interior da edificação, sem a necessidade de equipamentos mecânicos.

construído seja termicamente confortável. Para avaliar o desempenho térmico de edificações é necessário verificar a conformidade dos ambientes em função das exigências humanas de conforto térmico. A norma brasileira que rege essa avaliação é a ABNT NBR 15575:2013.

Pesquisas de avaliação de desempenho térmico dos elementos da edificação, como as fachadas, ou da edificação como um todo tem fundamental contribuição para corretas especificações de projeto que permitam o conforto térmico do usuário, de acordo com o mínimo exigido pela norma ABNT NBR 15575:2013.

De acordo com IPT (2013), para situações de verão, quanto menores as cargas térmicas, melhor o desempenho térmico da edificação. A medição do consumo de energia dos sistemas de condicionamento térmico constitui parte da avaliação do desempenho energético da edificação, juntamente com o consumo de energia por outros sistemas, como o de iluminação.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2004), a variação da temperatura na superfície da Terra resulta dos fluxos das grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação do sol de local para local. Por meio dos dados climáticos obtidos nas normais climatológicas pode-se conhecer o comportamento da temperatura do ar para um determinado local ao longo do ano. O tratamento desses dados climáticos pelo projetista o embasará para identificar os períodos de maior probabilidade de desconforto, e onde se faz necessário uma intervenção em nível de projeto. É importante saber que para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico pelo usuário pode ser diferente em função de variáveis como vento e umidade do local.

A radiação solar é a principal fonte de luz natural e um dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico em edificações, e é dividida em cinco tipos: (1) radiação solar direta, (2) radiação solar difusa, (3) radiação solar refletida pelo solo e pelo entorno, (4) radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu e (5) radiação térmica emitida pelo edifício (Figura 2.12).

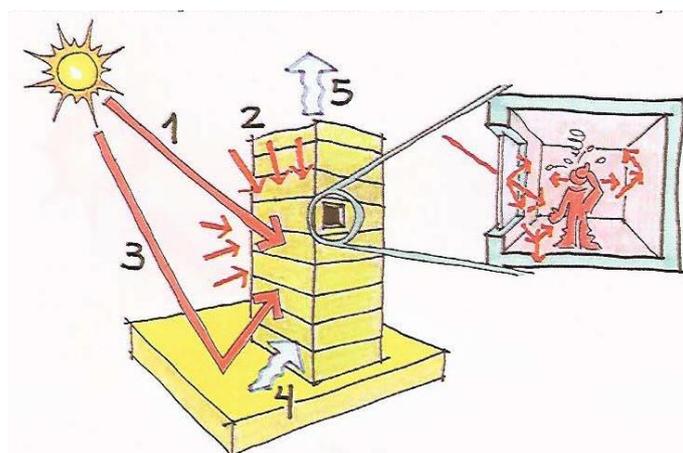


Figura 2.12 - Trocas de calor em edificações (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 2004)

De acordo com Frota e Schiffer (2003), a incidência solar sobre a edificação representa um determinado ganho de calor, dado em função da intensidade da radiação e das características térmicas dos componentes da edificação. Os elementos das fachadas e das edificações em geral podem ser classificados como Opacos - representados pelas paredes - e Transparentes ou Translúcidos - representados pelas janelas ou elementos transparentes.

A principal diferença entre os fechamentos é a capacidade ou incapacidade de transmitir a radiação solar para o ambiente interno. A parcela de radiação transmitida para o interior atuará nas condições de conforto térmico, sendo a principal forma de ganhos térmicos nos ambientes internos.

A superfície do fechamento externo irá receber calor do meio e haverá o aumento da temperatura dessa superfície, em uma proporção dependente de sua resistência superficial externa ( $R_{se}$ ). Parte da radiação incidente será refletida e parte será absorvida (Figura 2.13), sendo esses valores dependentes da refletividade ( $\rho$ ) e da absorvidade<sup>7</sup> ( $\alpha$ ) do material. Com o incremento da temperatura da superfície externa do fechamento, haverá uma troca de calor entre superfície externa e interna do fechamento. A intensidade do fluxo de calor pelo material depende da condutividade térmica<sup>8</sup> do material ( $\lambda$ ), que por sua vez

<sup>7</sup> A absorvidade ( $\alpha$ ) é determinada principalmente pela cor do material. Se a absorvidade de um material for 0,8 significa que 80% da radiação incidente sobre o mesmo será absorvida e 20% será reflectida (Lamberts, Dutra e Pereira, 2004).

<sup>8</sup> Condutividade Térmica ( $\lambda$ ) é a capacidade do material de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo (Lamberts, Dutra e Pereira, 2004).

depende da densidade do mesmo. Quanto maior for o valor de  $\lambda$  maior será a quantidade de calor transferida entre as superfícies. (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 2004)

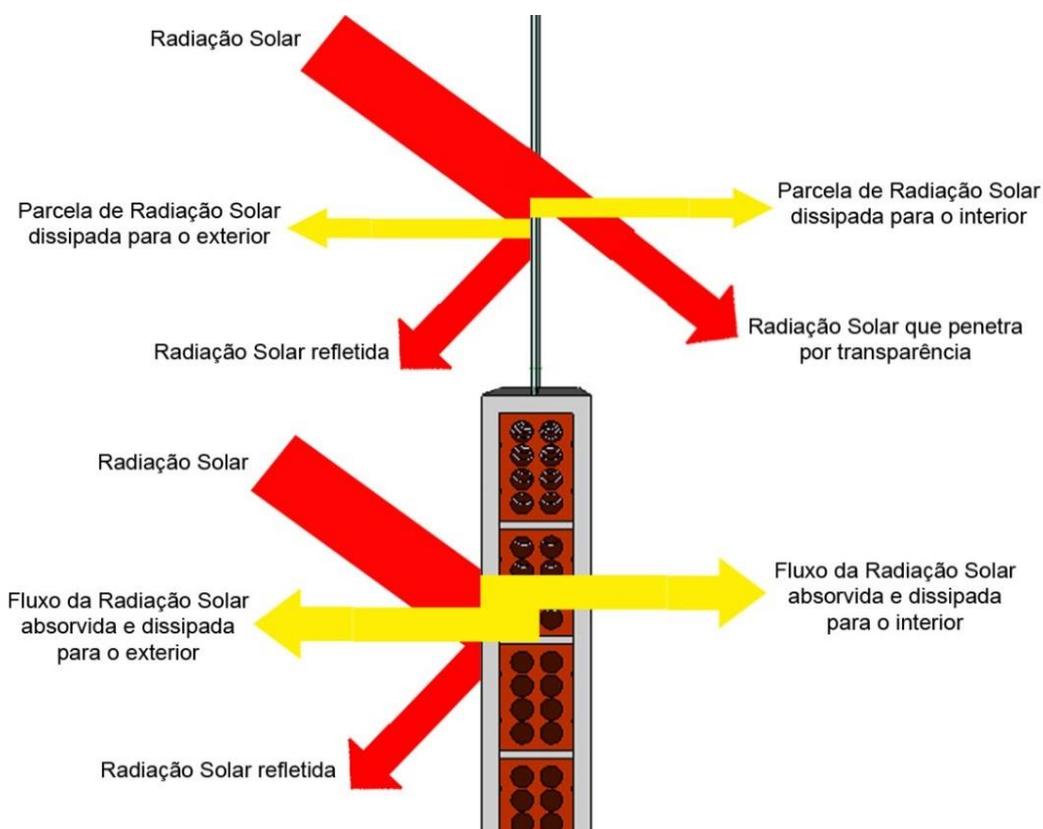


Figura 2.13 - Troca de Calor em fechamentos opacos e em fechamentos transparentes ou translúcidos (adaptado de Frota e Schiffer, 2003)

Uma importante variável no processo é a espessura do fechamento, medida em metros, que permitirá calcular a resistência térmica<sup>9</sup> (R) do material. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2004) é possível reduzir as trocas de calor em fechamentos opacos empregando materiais com baixas condutividades térmicas ou construindo fechamentos com múltiplas camadas, sendo uma delas uma câmara de ar. Este detalhe é muito importante para este estudo, tendo em vista que as fachadas ventiladas possuem câmaras de ar. A troca térmica nas câmaras de ar pode acontecer por radiação que depende da emissividade<sup>10</sup> ( $\epsilon$ ) do material em contato com a camada de ar. Os materiais são divididos entre metálicos ( $\epsilon$  entre 0,5 e 0,3) e não metálicos ( $\epsilon$  entre 0,85 e 0,9).

<sup>9</sup> Resistência Térmica é a capacidade do material em resistir à passagem de calor, medida em  $m^2.K/W$  (Lamberts, Dutra e Pereira, 2004).

<sup>10</sup> Emissividade é a propriedade física dos materiais que diz qual a quantidade de energia térmica é emitida por unidade de tempo (Lamberts, Dutra e Pereira, 2004).

Com a temperatura da superfície interna do fechamento aumentada em relação a temperatura do ar, as perdas de calor dependerão da resistência superficial do fechamento ( $R_{si}$ ) e da emissividade ( $\epsilon$ ) do material. Cada uma das camadas do fechamento possui uma resistência térmica ( $R$ ) distinta, o inverso da resistência térmica total do fechamento (que inclui a resistência das duas superfícies:  $R_{si}$  e  $R_{se}$ ) define sua Transmitância Térmica<sup>11</sup> ( $U$ ). É através dessa variável que se pode avaliar o comportamento de um fechamento frente à transmissão de calor. Na Figura 2.14 é apresentado um exemplo do cálculo de  $U$ .

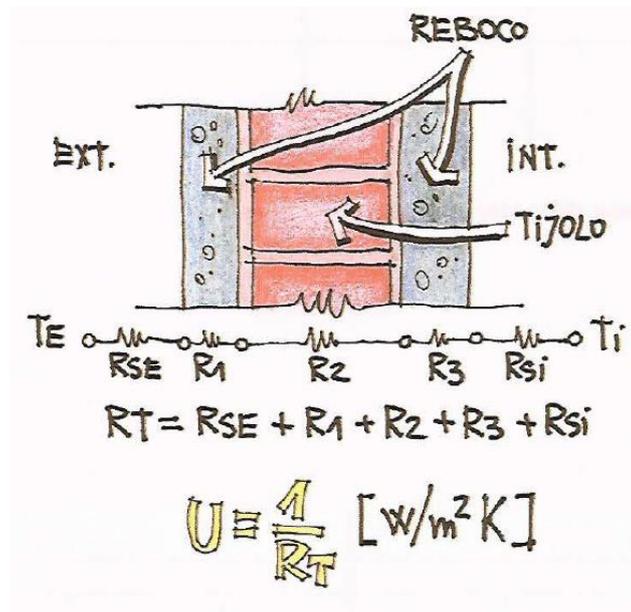


Figura 2.14 - Exemplo de cálculo de  $U$  (LAMBERTS, DUTRA, & PEREIRA, 2004)

Os materiais ainda são avaliados quanto à sua Capacidade Térmica (CT), que representa a capacidade do material de perder ou absorver calor, em função da variação de temperatura sofrida pelo mesmo, medida em  $\text{KJ/m}^2\text{.K}$ .

### 2.3.2 CONFORTO TÉRMICO

A ASHRAE (2009) conceitua Conforto Térmico como o estado da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Afirma, ainda que, é um processo cognitivo influenciado por processos físicos, fisiológicos, psicológicos, dentre outros.

<sup>11</sup> Transmitância Térmica é o inverso de Resistência Térmica, representa a capacidade do material de transmitir calor em unidade de tempo e através de uma determinada área, medida em  $\text{W/m}^2\text{.K}$  (Lamberts, Dutra e Pereira, 2004).

A ISO 7730 (2005) complementa este conceito citando que a insatisfação do usuário pode ser causada pelo desconforto<sup>12</sup> por calor ou frio do corpo como um todo. Devido a diferenças individuais, é impossível especificar um ambiente térmico que satisfaça a todos, sempre haverá uma porcentagem de ocupantes insatisfeitos. Mas é possível especificar ambientes previstos para serem aceitáveis por certa porcentagem de ocupantes.

Lamberts, Dutra e Pereira (2004) afirmam que se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.

Frota e Schiffer (2003) afirmam que as condições de conforto térmico são função da atividade desenvolvida pelo indivíduo, da sua vestimenta e das variáveis do ambiente que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente.

### **Índices de Conforto Térmico**

Os índices de conforto térmico procuram englobar o efeito conjunto das variáveis do ambiente, indivíduos e suas vestimentas. Em geral, esses índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta utilizada pelo indivíduo para, a partir daí, relacionar as variáveis do ambiente e reunir, sob a forma de cartas ou nomogramas, as diversas condições ambientais que proporcionam respostas iguais por parte dos indivíduos. (FROTA & SCHIFFER, 2003). Neste trabalho foi utilizado o índice de conforto térmico de Temperatura Operativa (TO), próprio para edificações passivas.

A edificação foi considerada normalmente passiva por se tratar de edificação habitacional. Os dados de horas de desconforto provenientes do *software Design Builder* são independentes dos dados de consumo energético por sistema de resfriamento e/ou aquecimento, possibilitando assim considerar a edificação desta forma.

---

<sup>12</sup> Para se ter desconforto térmico pelo menos 80% das pessoas devem se sentir desconfortáveis sob as condições ambientais de um determinado espaço (Lamberts, Dutra e Pereira, 2004).

Temperatura Operativa, de acordo com a ISO 7730 (2005), é a temperatura uniforme em um compartimento preto imaginário onde o ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação e convecção, que trocava se estivesse no meio ambiente real, de temperatura não uniforme.

A temperatura operativa (TO) indica a sensação de calor ou frio, sentida pelo corpo de um ser humano. É obtida a partir da temperatura radiante, da temperatura de bulbo seco do ambiente e da velocidade de ar ponderada por coeficientes de radiação e convecção. De acordo com a ASHRAE 55:2004, é normalmente medida com um termômetro de globo colocado ao nível do tronco do corpo humano.

Temperatura Operativa é o valor médio entre temperatura do ar ( $T_a$ ) e temperatura média radiante ( $T_r$ ), sendo que temperatura média radiante (ASHRAE, 2004) é a temperatura uniforme das superfícies envolventes de um compartimento preto imaginário onde o ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação que no ambiente real, de temperatura não uniforme.

Neste trabalho foi realizada uma ACVE de fachadas ventiladas em duas fases: Pré-Uso e Uso, sendo dividido em três etapas: Fase de Pré-Uso, Fase de Uso e Fase de Manutenção. Na Fase de Pré-Uso foram encontrados valores de Energia Incorporada Inicial (E<sub>Ii</sub>) através de dados secundários de Energia Incorporada (EI) e Energia Incorporada de Transporte (E<sub>It</sub>). Para a Fase de Uso foram realizadas simulações computacionais com o *software Design Builder*, que disponibilizou valores dos índices de conforto térmico de TO. Os resultados de Energia Incorporada Operacional (E<sub>Io</sub>) são baseados na energia utilizada para os sistemas de resfriamento, de acordo com agenda pré-determinada, sendo que o primeiro sistema depende da temperatura ambiente (TA) e zona de conforto adotada para acionamento. A Energia Incorporada Recorrente (E<sub>Ir</sub>) depende da E<sub>Ii</sub>.

### 3. FACHADAS

Este capítulo tem o intuito de discorrer sobre as exigências de desempenho, principalmente térmico das fachadas e fornecer embasamento teórico sobre as tipologias de fachadas ventiladas estudadas neste trabalho.

#### 3.1 DEFINIÇÕES E EXIGÊNCIAS

De acordo com Lemeieux e Totten (2010) a função básica da envoltória de um edifício é proteger ou condicionar espaços internos a partir do ambiente envolvente. Sendo a fachada da edificação parte da envoltória, é responsável por propiciar e manter o conforto ambiental interno: acústico, térmico, segurança ou privacidade dos usuários. Os autores explicam que a envoltória de uma edificação deve ter várias funções (Figura 3.1), entre elas:

- Ser capaz de suportar todas as forças internas e externas aplicadas sobre ela, sendo em sua maioria deformações estruturais;
- Ser capaz de controlar massa, energia, e fluxos de partículas dentro e através do sistema. Nisso está incluso calor, ar, umidade, odores, fogo, pássaros e insetos, entre outros;
- Atender a função estética nos quesitos visuais, de textura e outros aspectos que o projetista desejar.

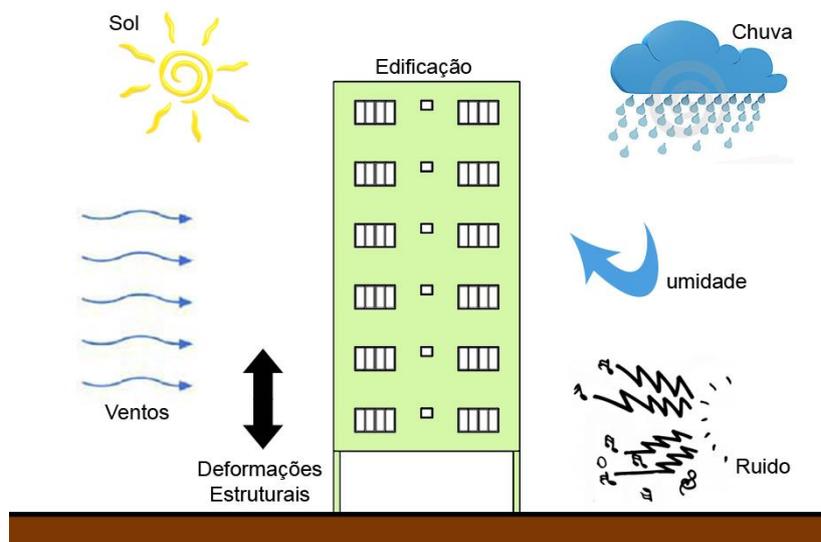


Figura 3.1 - Ilustração esquemática de Desempenho das Fachadas

As fachadas, ou vedações verticais podem ou não ter função estrutural. De acordo com a ABNT NBR 15575-4:2013, além da volumetria e da compartimentação dos espaços da edificação, as fachadas integram-se de forma muito estreita aos demais elementos da construção, recebendo influências e influenciando o desempenho da edificação habitacional.

## 3.2 REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DE FACHADAS

A partir de 2013, toda edificação e seus sistemas devem cumprir requisitos e critérios de desempenho, estabelecidos pela ABNT NBR 15575:2013. As especificações de desempenho são expressão das funções requeridas da edificação ou de seus sistemas e que correspondem ao uso habitacional de edificações (ABNT NBR 15575-1, 2013).<sup>13, 14</sup>

Neste trabalho, somente a função de Desempenho Térmico será detalhada, por ser determinante para a fase de uso, no que diz respeito ao consumo energético.

### 3.2.1 Desempenho Térmico de Fachadas

Para a ABNT NBR 15575-4:2013, os requisitos da fachada se resumem na Transmitância Térmica (U) e na Capacidade Térmica (CT) que proporcionem no mínimo o desempenho térmico estabelecido para cada zona bioclimática estabelecida na ABNT NBR 15220-3:2003, sendo que Brasília-DF se encaixa na zona climática 4. Quanto ao critério, os valores máximos admissíveis são apresentados na Tabela 3.1 e 3.2, sendo que os revestimentos das tipologias adotadas possuem absorvância ( $\alpha$ ) menor ou igual a 0,6.

---

<sup>13</sup> **Requisito de Desempenho:** condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender aos requisitos do usuário. (ABNT NBR 15575-1, 2013).

<sup>14</sup> **Crítérios de Desempenho:** especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados. (ABNT NBR 15575-1, 2013).

Tabela 3.1 - Transmitância térmica de paredes externas (ABNT NBR 15575-4, 2013).

Transmitância térmica U W/m <sup>2</sup> .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
<sup>a</sup> $\alpha$ é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Tabela 3.2 - Capacidade Térmica de paredes externas (ABNT NBR 15575-4, 2013).

Capacidade térmica (CT) kJ/m <sup>2</sup> .K	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem requisito	≥ 130

As fachadas podem ser avaliadas considerando o procedimento simplificado de análise. Caso esta não atenda aos critérios analisados conforme o procedimento simplificado, é necessário aplicar o procedimento de simulação do desempenho térmico ou o procedimento de realização de medições em campo.

Para este trabalho foi realizado o procedimento simplificado de análise para as três tipologias de fachadas ventiladas estudadas, cujos resultados podem ser verificados no Capítulo 4 (Metodologia), Item 4.4 (Unidade Funcional), na Tabela 4.1, e o cálculo completo pode ser verificado no Apêndice E.

### 3.2.2 Durabilidade e Manutenibilidade de Fachadas

A durabilidade de uma edificação está de forma global atrelada à manutenção de seus componentes. Vida Útil (VU) é a medida de durabilidade de um edifício e suas partes, e todos os envolvidos devem atuar para que a edificação alcance a VU, que poderá ser prolongada através de manutenções periódicas. Na Figura 3.2 é apresentado de maneira ilustrativa um exemplo de desempenho ao longo do tempo.

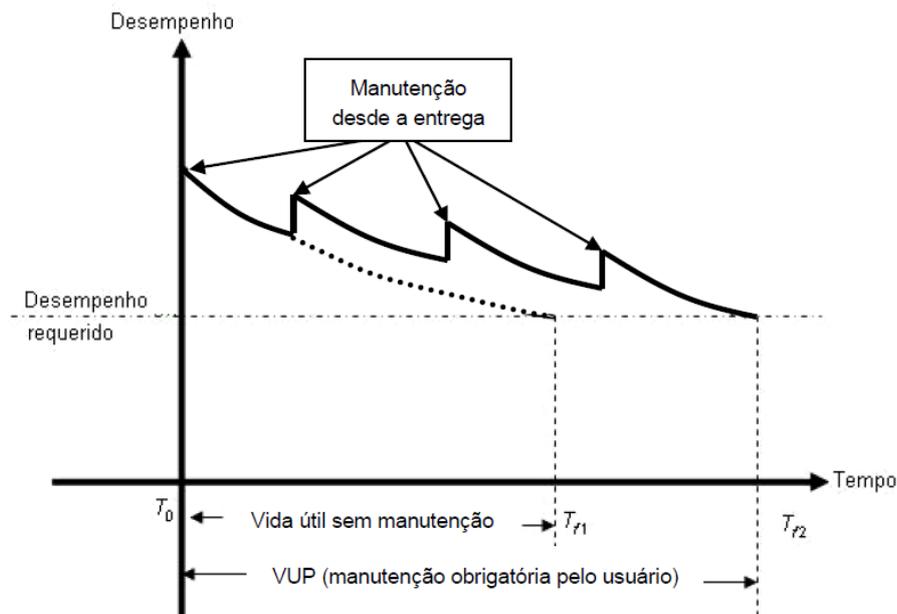


Figura 3.2 - Desempenho ao longo do tempo (ABNT NBR 15575-1:2013)

É o projetista de arquitetura quem deverá especificar a Vida Útil de Projeto (VUP) para cada um dos sistemas, respeitando os períodos de tempo mínimos estabelecidos pela norma, e esse mesmo projetista deve estabelecer as ações de manutenção para garantir a VU da edificação. Aos fabricantes de componentes fica a obrigação de atender a VUP mínima e informar em documentação técnica as recomendações de manutenção. Aos usuários fica incumbida a realização dos programas de manutenção. Na Tabela 3.3 é possível verificar que as vedações externas, foco deste estudo possuem VUP mínima maior ou igual a 40 anos e VUP superior maior ou igual a 60 anos. Foi adotado como VUP para este estudo o valor intermediário de 50 anos.

Tabela 3.3 - Vida Útil de Projeto Mínima e Superior para Partes da Edificação – tabela parcial (ABNT NBR 15575-1:2013).

Parte da edificação	Exemplos	VUP anos	
		Mínimo	Superior
Estrutura principal	Fundações, elementos estruturais (pilares, vigas, lajes e outros), paredes estruturais, estruturas periféricas, contenções e arrimos	≥ 50	≥ 75
Estruturas auxiliares	Muros divisórios, estrutura de escadas externas	> 20	> 30
Vedação externa	Paredes de vedação externas, painéis de fachada, fachadas-cortina	≥ 40	≥ 60
Vedação interna	Paredes e divisórias leves internas, escadas internas, guarda-corpos	≥ 20	≥ 30

### 3.3 FACHADAS INOVADORAS

Diante das mudanças no perfil dos consumidores, mais exigentes, as empresas de construção vêm enfrentando cobranças que as fazem repensar suas formas de produção, para continuar competitivas. Uma das grandes mudanças foi nas vedações verticais, caracterizadas por alvenaria de baixa produtividade e qualidade muitas vezes insatisfatória, hoje, em parte, substituídas por fachadas metálicas, concreto pré-fabricado entre outras.

Além disto, a grande ocorrência de patologias de revestimentos aderidos de fachada (à base ou substrato) faz com que seja frequente a opção por alternativas de elementos industrializados não aderidos e de fácil desconstrução na especificação das fachadas.

Na edição 2012 da Feira de Revestimentos – ExpoRevestir, em São Paulo, vários fabricantes apresentaram sistemas construtivos para fachadas com revestimentos não-aderidos, as chamadas Fachadas Ventiladas. Observa-se que este sistema já é usualmente utilizado em países do hemisfério norte, porém no Brasil ainda é inovador.

São diversas as razões das Fachadas Ventiladas estarem se tornando populares entre arquitetos, uma das principais razões é por permitirem quase qualquer cor ou forma. Adicionalmente às razões estéticas, a instalação do revestimento exterior é muito fácil e rápido, fazendo com que seja um sistema competitivo, especialmente em restauração de edificações (SANJUAN et al., 2011).

Em relação ao conceito de fachada ventilada, Siqueira Junior (2003) investigou a origem das fachadas com revestimento não aderido, e chegou à conclusão de que no meio técnico e acadêmico, bem como nas indústrias fabricantes de componentes e empresas montadoras de fachadas não aderidas, existe uma falta de entendimento nos termos “fachada-cortina” e “fachada ventilada”.

O sistema de fachada ventilada é uma vertente do chamado sistema de Fachada Cortina, que é caracterizado por ser um sistema não aderido, instalado através de *inserts* metálicos ou subestrutura metálica com uma câmara de ar, sendo que, no caso da fachada ventilada, o

ar é renovado constantemente, ou seja, toda fachada ventilada é caracterizada como fachada cortina, mas não o inverso.

Fachada-cortina (curtain-wall em inglês) é definida pela norma americana ASTM E631 (1993) como “parede exterior não aderida, segura e suportada por membros estruturais do edifício”, e pela norma brasileira ABNT NBR 10820:1989 como “caixilhos interligados e estruturados com função de vedação que formam um sistema contínuo, desenvolvendo-se no sentido da altura da fachada da edificação, sem interrupção por pelo menos dois pavimentos”.

Para Kiss (1999), o conceito de fachada-ventilada mais aceito é "sistema de revestimento externo caracterizado pela existência de uma camada isolante sobre a parede de vedação e uma camada externa de revestimento, estanque à água, composta de painéis modulares, fixada ao edifício por uma estrutura metálica. O sistema deve prever um espaço vazio que permita, por efeito chaminé, uma ventilação contínua no sentido". O autor ainda cita “A principal diferença da fachada ventilada para outros sistemas de revestimento com perfis e painéis é a existência - **imperativa** - de orifícios na base da fachada para entrada do ar, assim como de rufos ou outros artifícios que permitam a saída constante do ar na parte superior da fachada” (Figura 3.3).

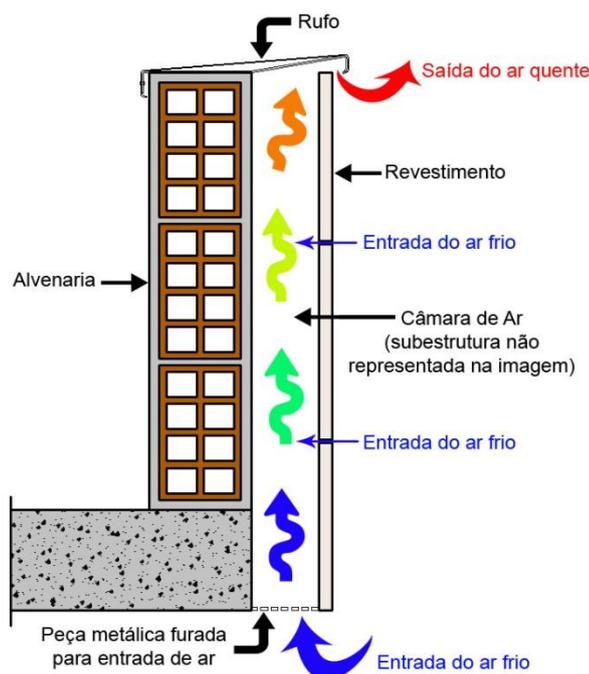


Figura 3.3 - Figura ilustrativa do funcionamento de uma FV

Por meio da Figura 3.4 pode-se compreender melhor a diferença no processo de transferência de calor entre Fachada Cortina e Fachada Ventilada (FV). Nas Fachadas Cortina o ar move-se em um circuito fechado (ciclo de convecção) ganhando calor e elevando a temperatura da parede, liberando ar quente para o ambiente interno ao longo do dia. Nas FV a radiação solar incidente produz efeito chaminé que força o ar externo a circular ao longo da câmara de ar e aumentar a remoção de calor. O fluxo de ar entra na cavidade através de abertura na parte inferior e pelas juntas abertas e sai pela cavidade superior (SANJUAN et al., 2011).

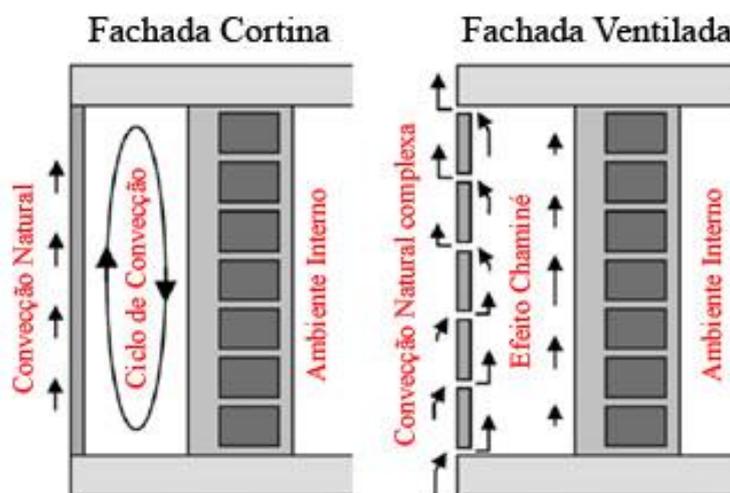


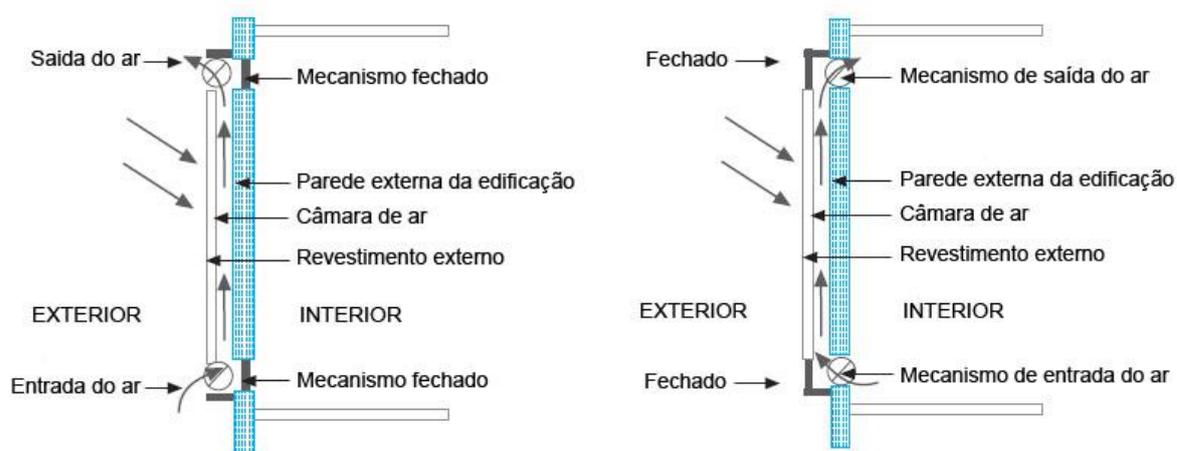
Figura 3.4 – Diferença no processo de transferência de calor entre fachada cortina e fachada ventilada (adaptado de Sanjuan et al, 2011)

Sanjuan et al. (2011) compararam Fachada Ventilada e Fachada Cortina, utilizando simulações computacionais com fluxos CFD<sup>15</sup>, e comprovaram que as FV podem auxiliar a gerar economias de energia em climas com verões quentes e invernos amenos. Os modelos desenvolvidos no estudo facilitaram o melhor entendimento do efeito da ventilação induzido pela radiação solar no interior da camada de ar das FV. Os resultados concluíram que as temperaturas nas camadas de ar das Fachadas Ventiladas expostas à radiação solar são menores do que as temperaturas encontradas em Fachadas Cortina, conseqüentemente menos calor é transferido para o interior da edificação.

De acordo com Ojeda (2012), a Fachada Ventilada pode ser usada em climas quentes desempenhando o papel de proteção solar e regulador térmico da parte interna da

<sup>15</sup> CFD – Computational Fluid Dynamics – Fluidodinâmica computacional. Módulo que leva em consideração os fluxos de ar nas simulações computacionais.

edificação e pode ser usada em climas frios atuando como isolante térmico e acumulador de calor, contribuindo para o aquecimento interno (Figura 3.5).



(a) FV para Climats Quentes

(b) FV para Climats Frios

Figura 3.5 - Mecanismo de funcionamento da renovação de ar para sistemas de Fachadas ventiladas em climats quentes e climats frios (adaptado de OJEDA, 2012)

Giancola et al. (2012) realizaram o monitoramento de uma FV em *Almeria*, no Sul da Espanha. Foram analisadas as condições de radiação solar e o efeito chaminé que ocorre na câmara de ar. No frio, as FV podem atuar positivamente, se os valores de radiação solar forem elevados, porque a temperatura do ar que sai da cavidade é maior do que a temperatura do ar do ambiente interno. Quando a radiação solar e a temperatura do ar externo são baixas, a temperatura do ar que sai da fachada é menor do que a temperatura do ambiente interno. Durante o verão, a câmara de ar promove a saída de parte das cargas de calor, reduzindo o ganho de calor no ambiente interno. Existe uma ressalva quando a temperatura exterior e radiação forem muito elevadas, pois o ganho de calor no ambiente interno pode ser aumentado devido à cavidade.

É importante ressaltar que não importa o material de revestimento utilizado, todo sistema de FV deve passar por cálculos, de forma que o sistema permaneça íntegro e seguro nas condições ambiente em que se encontrará. Os cálculos levam em consideração itens como solicitações de peso próprio do material, vento e deformações higrotérmicas, inclusive as ações do vento que determinarão a espessura do material de revestimento a ser utilizado, e o tipo de sistema de fixação<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> Informação recebimento através de correio electrónico do fabricante Utifirve.

Tanto a Fachada Cortina como a Fachada Ventilada são sistemas construtivos para fachadas, não possuindo restrições de acabamento para os mesmos. Rocha (2011) cita como exemplos de materiais de acabamento: “vidro, granito, mármore, porcelanatos, cerâmica (extrudadas, esmaltadas, grês e cotto) ou placas compósitas de metais ou laminados melamínicos”.

A respeito do desempenho das FV existem duas vantagens principais. Primeiramente reduzem problemas ocorridos devido à umidade, e em segundo lugar, sob exposição à radiação solar, o desempenho energético das FV aumenta em relação às fachadas convencionais. As FV têm sido apontadas como um sistema que pode auxiliar a atingir os níveis de eficiência energética requeridos, especialmente em países que possuem picos de demanda de energia durante o verão (SANJUAN et al., 2011).

De acordo com Rocha (2011) as principais vantagens do sistema de FV são:

- Elevado desempenho higrotérmico em qualquer estação do ano;
- Melhoria dos níveis de isolamento termoacústico;
- Montagem industrial;
- Possibilidade de aplicação em obras de retrofit;
- Método de construção a seco;
- Evita perdas de calor no inverno;
- Redução do consumo de energia com equipamentos de refrigeração ou de aquecimento;
- Facilidade de manutenção e limpeza.

Balocco (2002) publicou um estudo sobre Fachadas Ventiladas, onde analisou por meio de simulações computacionais seu rendimento energético. Simulou diferentes espessuras de câmaras de ar, com fluxo ascendente, com aberturas para o lado exterior (benéficos para climas quentes). Resultados mostraram que é possível ter efeito de resfriamento solar quando a largura da saída de ar é maior do que 7 cm. Obteve-se redução de 27,5% no verão com cavidade de 35 centímetros de largura, e redução de apenas 7% com cavidade de 7 centímetros de largura. Os benefícios de resfriamento obtidos foram percebidos com larguras de saída de ar acima de 5 cm, e efeitos de resfriamento consideráveis com saídas

de ar com espessuras entre 10 e 15 cm, estabilizando os benefícios com larguras superiores.

No mercado atual brasileiro, as FV de forma geral, são comercializadas como um sistema, ou seja, não é vendido somente o material de revestimento, mas toda uma concepção de fachada, desde a elaboração do projeto de fachada, consultoria, material a ser utilizado e instalação. Dessa forma, as empresas que fornecem o sistema conseguem prover garantia do mesmo por um período prolongado.

Para que o sistema se comporte da maneira esperada durante sua VU, deve ser elaborado um projeto executivo de fachada após os ajustes entre arquitetônico e estrutural. Foram escolhidas 03 tipologias de FV para serem analisadas neste estudo, sendo os sistemas mais frequentemente comercializados no Brasil.

### **3.3.1 Fachada Ventilada de Placas Pétreas (FVPP)**

A FVPP (Figura 3.6) é o sistema mais conhecido, por ser amplamente empregado em Fachadas Cortina. Uma fachada ventilada, como mencionado anteriormente, não é simplesmente o revestimento afastado da edificação, é necessário especificações como espessura do colchão de ar e abertura para entrada e circulação do ar.

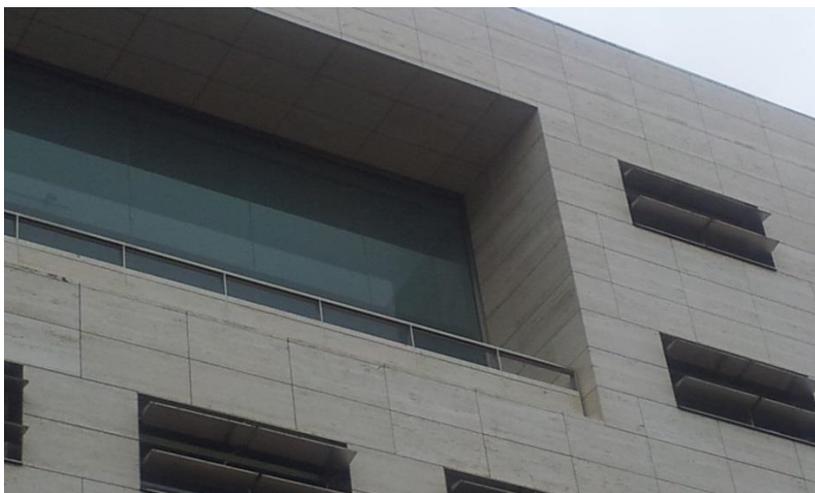


Figura 3.6 - Exemplo de FV com Mármore Travertino Bruto<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Arquivo da empresa Utifirve, edificação comercial na Espanha.

As placas pétreas podem ser fixadas na fachada através de *inserts* metálicos ou por subestrutura de alumínio<sup>18</sup>. É importante que todos os componentes de fixação sejam de um mesmo metal, pois a associação de diferentes tipos pode ocasionar corrosão galvânica. A preferência por aço inoxidável é importante, devido a sua resistência mecânica e inalterabilidade.

A FVPP deste estudo utiliza colchão de ar de 100 mm de espessura, e revestimento de placa pétreo com 30 mm de espessura, conforme Figura 3.7.

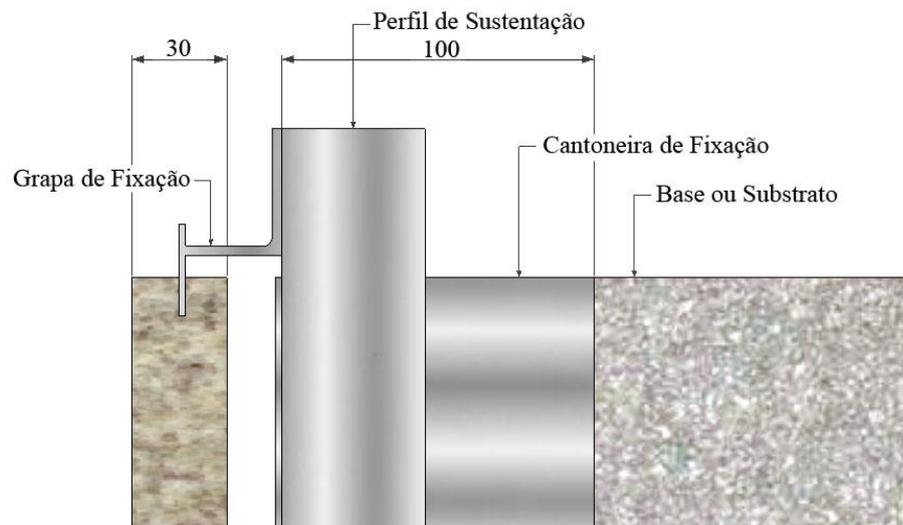


Figura 3.7 - FVPP em corte esquemático – unidades em mm

Todas as tipologias requerem um projeto detalhado das fachadas, tanto no lançamento do revestimento, como dos componentes de fixação e sustentação dos sistemas.

A instalação das FVPP<sup>19</sup> (UTIFIRVE-a., 2012) se inicia com a demarcação dos locais dos perfis de sustentação (perfil PA), depois são fixadas Cantoneiras de Fixação (SG ou SQ) na base ou substrato, para depois serem fixados os perfis nestas cantoneiras. Por último são parafusadas as grapas de fixação nos perfis e encaixadas as placas de revestimento, através de rasgos previamente feitos nas mesmas. Um passo pode ser visualizado nas Figuras 3.8-a, b, c, d, e, f.

<sup>18</sup> A instalação por *inserts* metálicos é uma técnica mais utilizada para as fachadas cortina. Para as fachadas ventiladas utiliza-se mais o sistema com subestrutura metálica, por permitir maior rapidez e facilidade de execução.

<sup>19</sup> Recomenda-se a impermeabilização da base ou substrato para qualquer uma das tipologias.

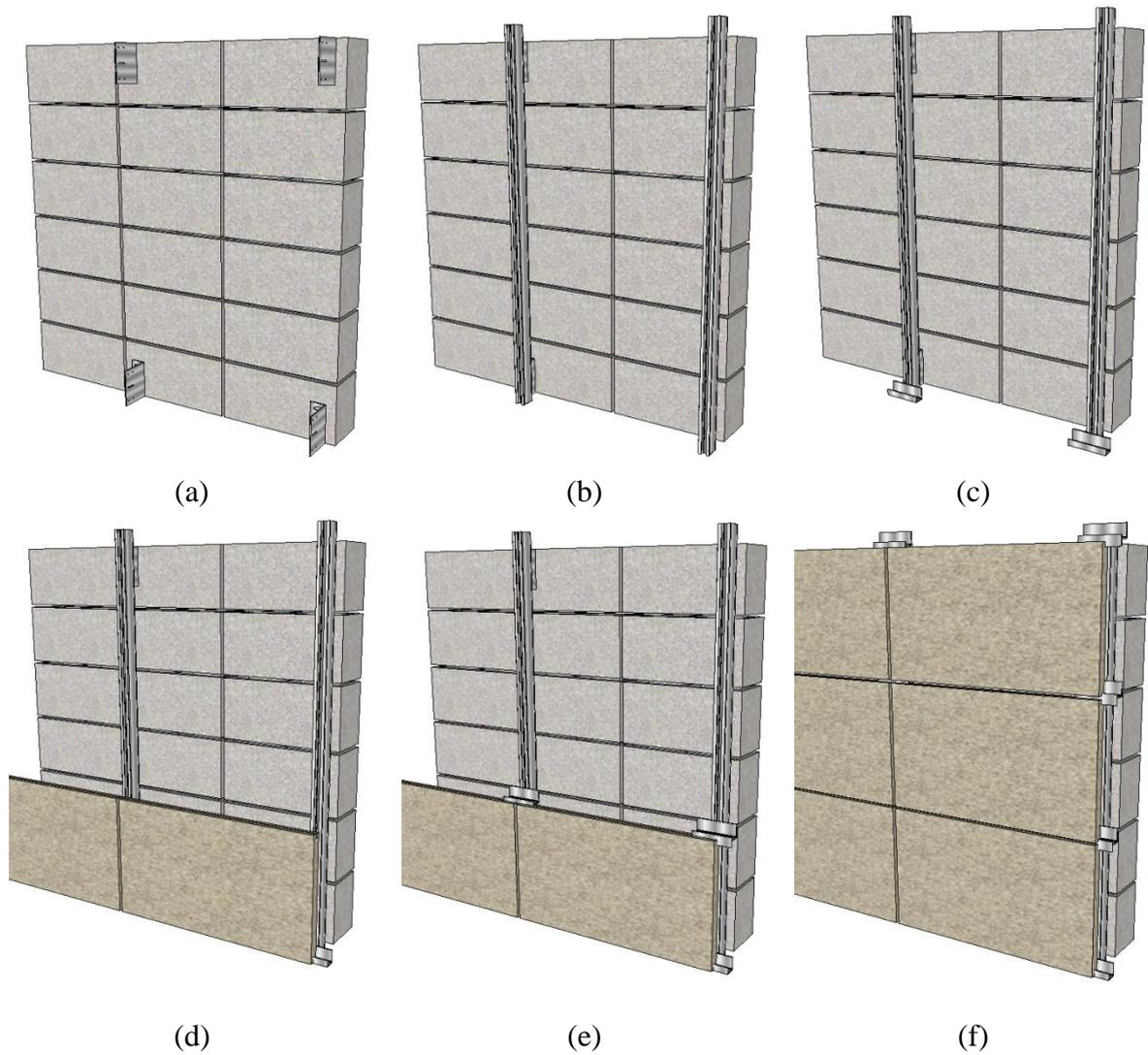


Figura 3.8 (a, b, c, d, e, f) - Passo a passo da montagem de uma FVPP

Todos os componentes para fixação da FVPP são de alumínio, e os parafusos de aço inoxidável. Um esquema da subestrutura pode ser visualizado na Figura 3.9.

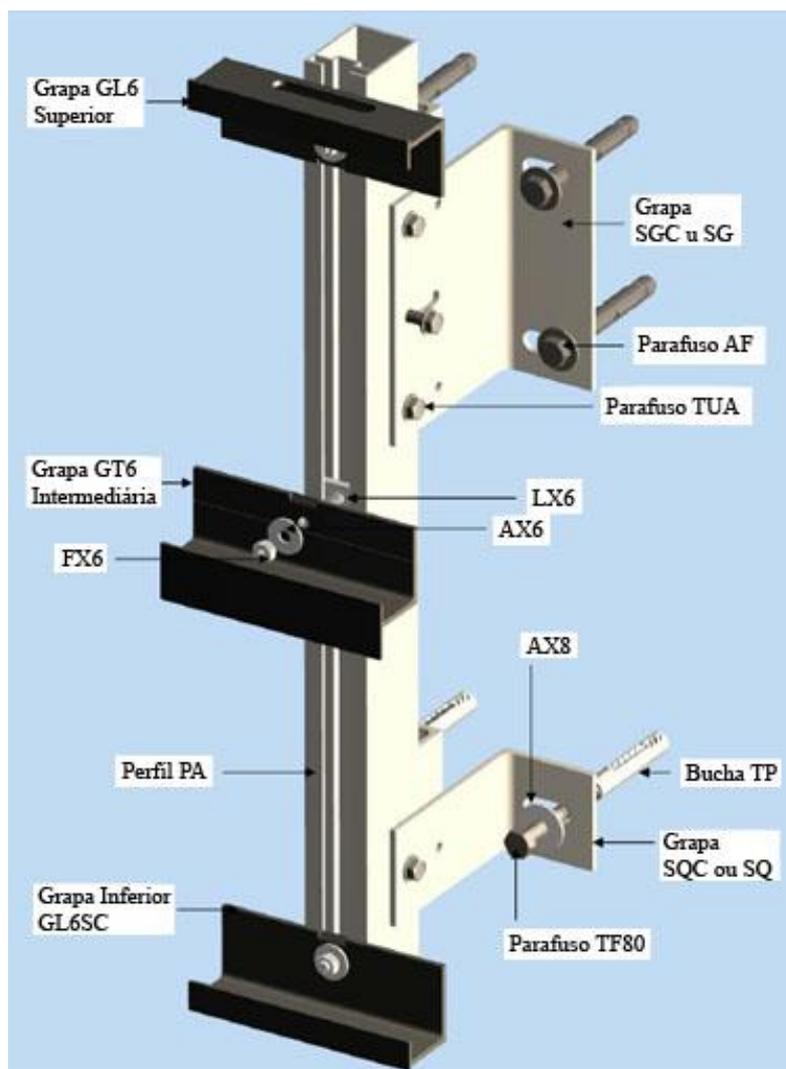


Figura 3.9 - Componentes da Subestrutura da FVPP (UTIFIRVE-a., 2012)

Os componentes do sistema utilizado para instalação da FVPP (JAMA 166) podem ser vistos de forma detalhada no Apêndice C.

### 3.3.2 Fachada Ventilada de Porcelanato (FVPo)

De acordo com PINI (2008), as FVPo são consideradas revestidas com placas cerâmicas aplicadas sobre as paredes externas e estrutura do edifício através de *inserts* metálicos ou subestrutura auxiliar metálica. Assim como para as FVPP, o sistema mais utilizado é da subestrutura auxiliar metálica. Um exemplo de FVPo aplicado pode ser visto na Figura 3.10.



Figura 3.10 - Exemplo de FV com porcelanato escuro<sup>20</sup>

A FVPo utiliza colchão de ar de 100 mm de espessura, e revestimento de porcelanato com 12 mm de espessura, conforme Figura 3.11.

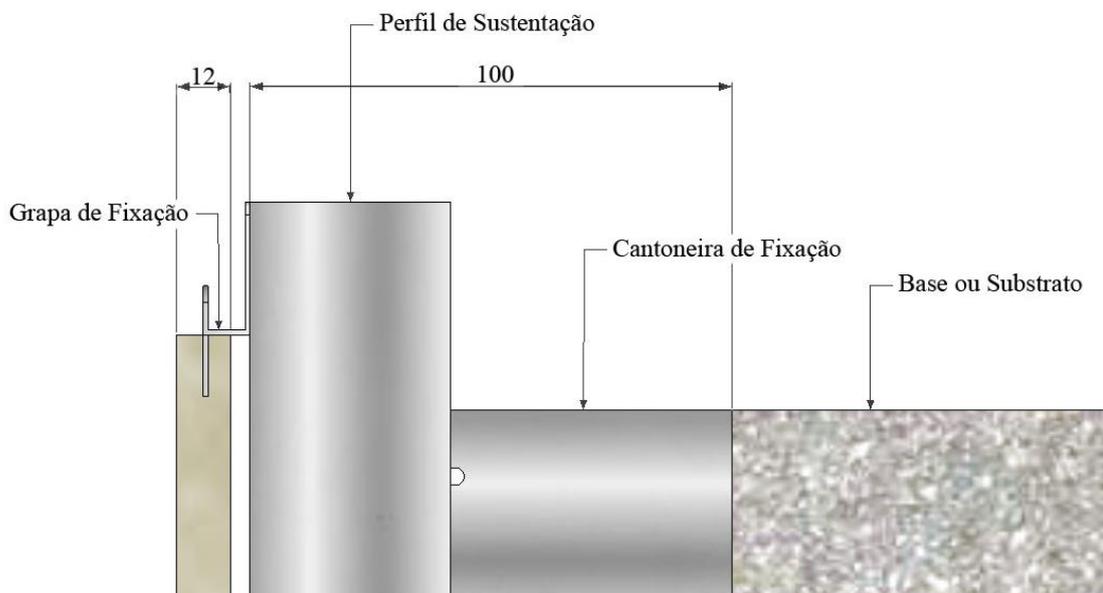


Figura 3.11 - FVPo em corte esquemático – unidades em mm

A instalação<sup>21</sup> das FVPo acontecem como na FVPP, somente os componentes são diferentes. Todos os componentes para fixação da FVPo são de alumínio, e os parafusos de aço inoxidável. Um esquema da subestrutura pode ser visualizado na Figura 3.12.

<sup>20</sup> Arquivo da empresa Utifirve, residência na Espanha

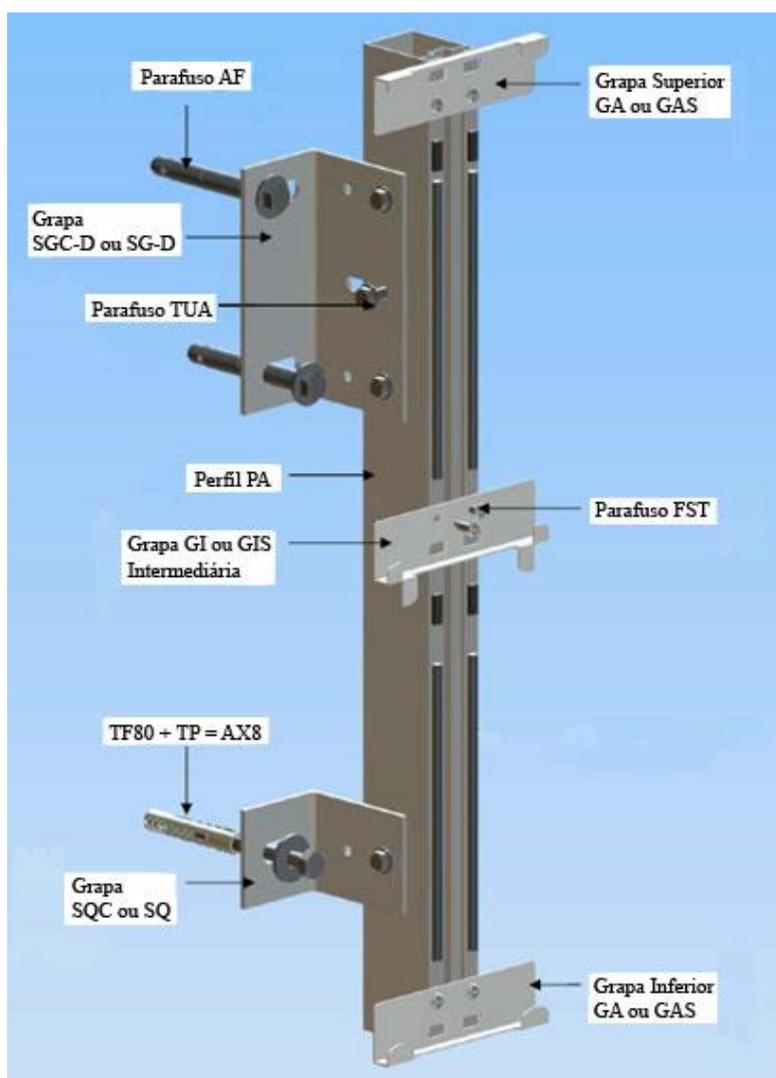


Figura 3.12 - Componentes da Subestrutura da FVPo (UTIFIRVE-b., 2012)

Os componentes do sistema para instalação da FVPo (JAMA 623) podem ser vistos de forma detalhada no Apêndice D.

Caso alguma peça se quebre, o porcelanato possui uma tela no seu verso que deixa a peça intacta, sem cair. Para substituir a peça, primeiramente quebra-se toda a peça danificada, com o auxílio de um martelo (Figura 3.13-a), retira-se a peça estilhaçada (Figura 3.13-b). Cria-se um sulco na parte superior de fixação da peça para facilitar (Figura 3.13-c) o encaixe e por fim, substitui-se a peça de porcelanato com o auxílio de uma ventosa (Figura 3.13-d). A FVPP possui a mesma forma de substituição de peças.

<sup>21</sup> Um vídeo da instalação da FVPo pode ser visto em [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=ZGVu30n9XcU#](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=ZGVu30n9XcU#). Acesso em 20/05/2013.

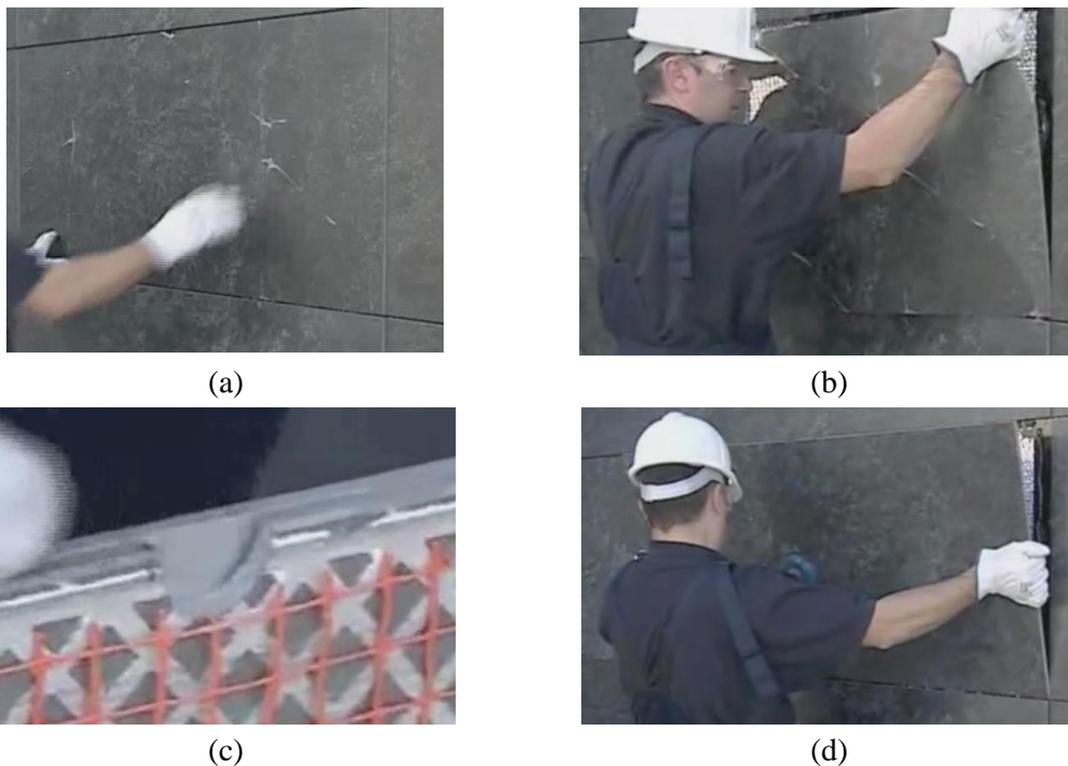


Figura 3.13 - Substituição de peça danificada de porcelanato<sup>22</sup> (SISTEMA FV, 2012)

### 3.3.3 Fachada Ventilada de Alumínio Composto (FVACM)

A FVACM (Figura 3.14) é um sistema já bastante difundido no Brasil, porém, o sistema mais conhecido de ACM<sup>23</sup> é o empregado em Fachadas Cortina seladas.

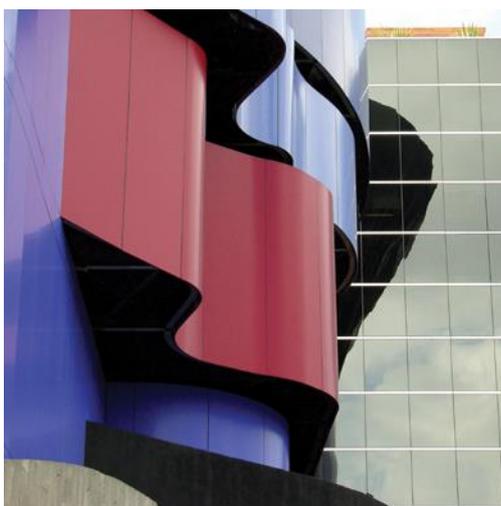


Figura 3.14 -Exemplo de Fachada em ACM<sup>24</sup>

<sup>22</sup> Imagens retiradas de um vídeo disponibilizado pela fabricante Villagres

<sup>23</sup> ACM – Aluminium composite material – alumínio composto

As chapas de ACM são painéis compostos por duas lâminas de alumínio e um núcleo central de polietileno maciço de baixa densidade (Figura 3.15) e as chapas de ACM são dobradas em painéis, conforme Figura 3.16.

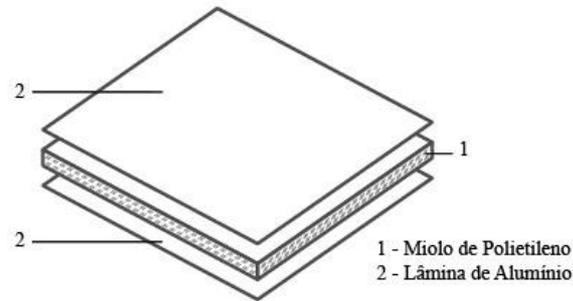


Figura 3.15 - Composição ACM (ALUCOBOND, 2012)

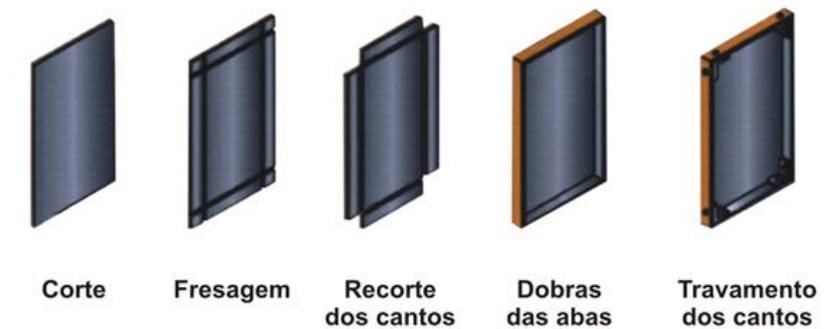


Figura 3.16 - Dobra das chapas de ACM em painéis (ALUCOMAX, 2013)

A FVACM utiliza colchão de ar de 70 mm de espessura, e revestimento de ACM com 4 mm de espessura, conforme Figura 3.17.



Figura 3.17 - FVACM em corte esquemático – unidades em mm

<sup>24</sup> Arquivo disponibilizado pela empresa Alucomax.

Existem diferentes sistemas de instalação de fachadas em ACM, mas somente um deles serve para as fachadas ventiladas, o sistema Gancho e Pino. A instalação das FVACM acontece, de maneira geral, como as demais tipologias, porém, ao invés de grapas de fixação, pinos são instalados nos perfis de sustentação e os painéis de ACM encaixam-se nos mesmos através de ganchos criados nos painéis na fase de dobra dos mesmos. Na Figura 3.18 são apresentados detalhes técnicos da fixação dos painéis nos perfis de sustentação e na Figura 3.19 é apresentada uma imagem tridimensional dessa fixação (ALUCOBOND, 2012).

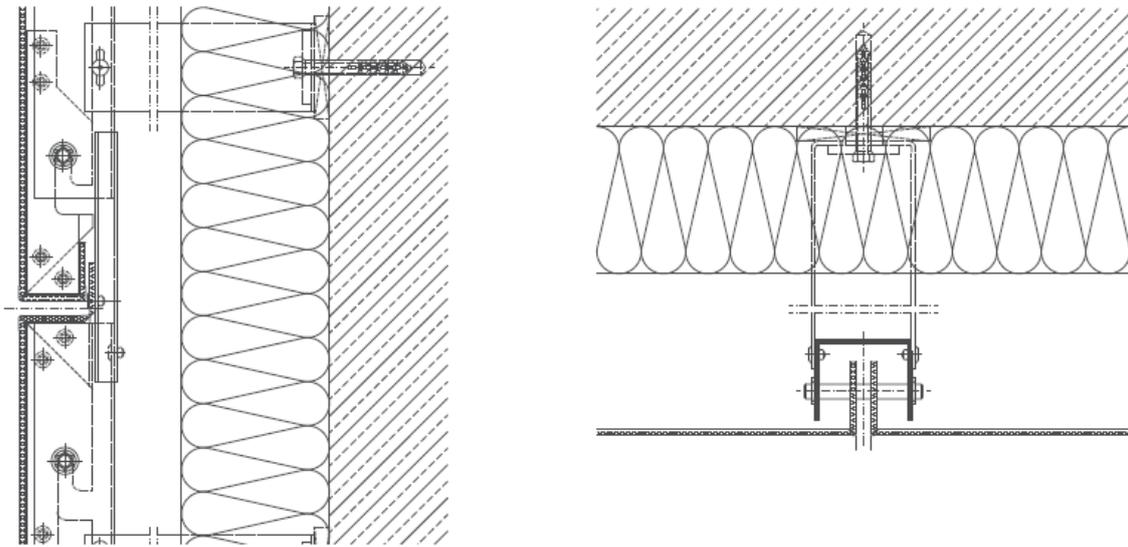


Figura 3.18 - Detalhes Técnicos de Fixação – Sistema Gancho e Pino (ALUCOBOND, 2012)



Figura 3.19 - Detalhe da fixação do painel de ACM no perfil (ALUCOMAX, 2013)

Neste capítulo foram apresentados conceitos importantes para melhor compreensão do que são as fachadas ventiladas e a diferença destas com as fachadas cortina seladas. Também foram detalhados os sistemas utilizados neste estudo (FVPP, FVPo e FVACM) para melhor compreensão da metodologia.

## 4. METODOLOGIA

Este capítulo visa apresentar a metodologia proposta para o alcance do objetivo principal deste trabalho, que é a quantificação da  $E_i$ ,  $E_{Io}$  e  $E_{Ir}$  de fachadas ventiladas. Neste trabalho foram selecionadas três tipologias de fachadas: Fachada Ventilada de Placas Pétreas (FVPP), Fachada Ventilada de Porcelanato (FVPo) e Fachada Ventilada de ACM (FVACM).

Para atingir este objetivo foi realizada uma ACVE das 03 tipologias mencionadas para uma Edificação Habitacional Modelo (EHM) no Plano Piloto em Brasília-DF. De acordo com o Capítulo 2, Item 2.1.1, a ACVE compreende um estudo da energia envolvida no processo produtivo desde a fase de extração até a fase de desconstrução, porém neste trabalho foram consideradas somente a fase de Pré-Usos e Fase Operacional, subdividida em Fase de Usos e Fase de Manutenção. A metodologia proposta é apresentada na Figura 4.1.

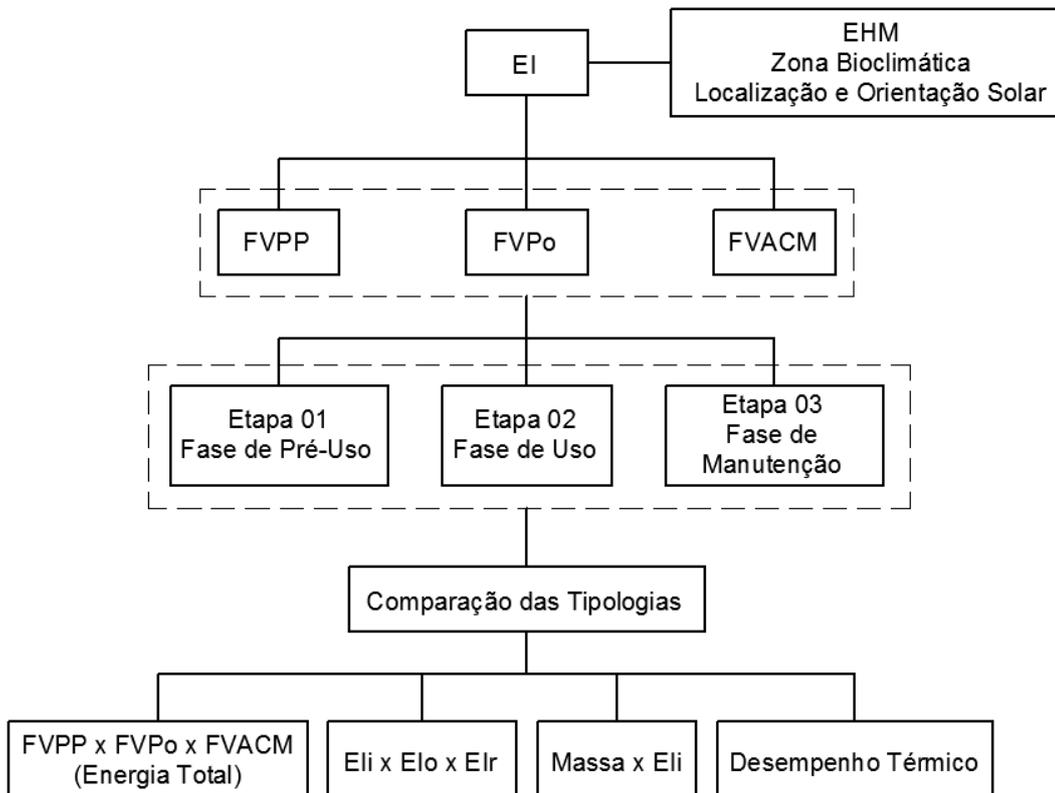


Figura 4.1 - Metodologia Proposta

Este estudo foi dividido em três etapas assim descritas:

Fase de Pré-Uso: quantificação da Energia Incorporada Inicial, dividida em EI (dos materiais e componentes das variáveis) e EI<sub>t</sub> (do local de produção ao sitio do projeto). Nesta fase não foi considerada a Energia Incorporada de Execução.

Fase de Uso: quantificação da Energia Incorporada Operacional (EIo), proveniente do sistema de resfriamento nas horas de desconforto do usuário por calor<sup>25</sup>, durante toda a VU da edificação (50 anos), através de simulações computacionais.

Fase de Manutenção: quantificação da Energia Incorporada Recorrente (EI<sub>r</sub>), proveniente da substituição dos componentes necessários em um cenário de manutenção para a VU das tipologias estudadas.

## 4.1 TIPOLOGIA ARQUITETÔNICA

### 4.1.1 Análise das Tipologias do Plano Piloto

Para elaboração do projeto arquitetônico da EHM utilizada neste estudo, foi observada a Tipologia Arquitetônica do Plano Piloto de Brasília, através da análise de alguns modelos de edificações residenciais dentro da quantidade máxima de pavimentos permitida na região, apresentados nas Figuras 4.3-a, 4.3-b, 4.3-c, e 4.3-d:



(a)



(b)

---

<sup>25</sup> A hipótese utilizada neste estudo, baseada em BESSA (2010) e GRAF (2011) consiste na quantificação de energia elétrica no consumo de ar-condicionado, tendo em vista que, ao simular o desempenho térmico de uma edificação tem-se o resultado em horas de desconforto do usuário. Considerou-se neste estudo que nestas horas de desconforto, o usuário utilize de sistemas de resfriamento e/ou aquecimento para atingir o nível de conforto necessário. Ainda, de acordo com a norma ABNT NBR 15220:2005 aquecimento e resfriamento artificial são necessários para amenizar eventuais sensações de desconforto térmico por frio e/ou calor.



(c)



(d)

Figura 4.2 (a, b, c, d) – Tipologia Arquitetônica Típica de Brasília

A partir desta análise, e com base nas leis e normas pertinentes ao Plano Piloto de Brasília-DF, foi elaborado, pela autora, o projeto arquitetônico embasado na tipologia da Figura 4.2-c (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Imagem tridimensional da Edificação Habitacional Modelo

#### 4.1.2 Descrição da Edificação Habitacional Modelo

A EHM possui 03 blocos geminados idênticos, com 06 pavimentos mais pilotis. A Planta Baixa Tipo é apresentada nas Figuras 4.4 e 4.5. Cada bloco possui 04 apartamentos por andar com 02 elevadores, escada de incêndio<sup>26</sup> e depósito de lixo.

<sup>26</sup> As caixas de elevador e escada, bem como as portas e saídas da edificação obedecem a norma da ABNT NBR 9077:2001, que dispõe sobre as saídas de emergência em edifícios.

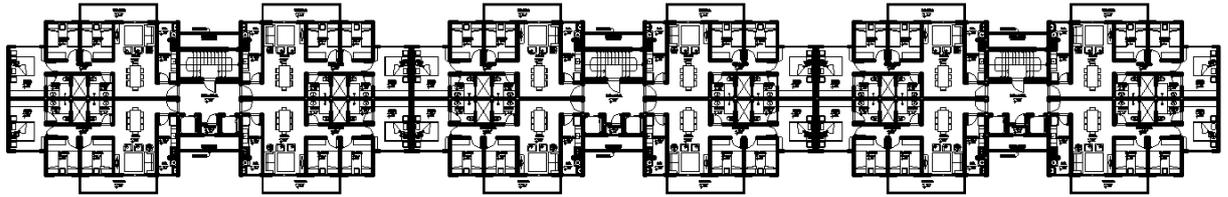


Figura 4.4 - Planta baixa do pavimento tipo de 03 blocos de apartamentos

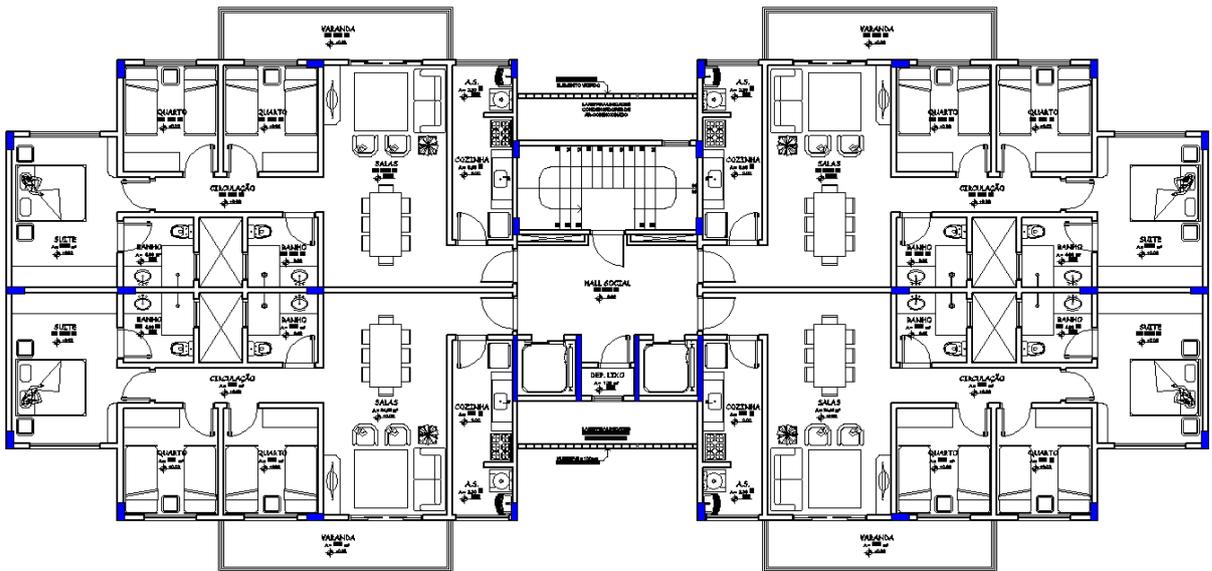


Figura 4.5 - Planta baixa do pavimento tipo de 01 bloco de apartamentos

Cada apartamento<sup>27</sup> tipo possui 93,24m<sup>2</sup>, com 03 quartos (01 suíte), banho social, sala de estar e jantar conjugadas, cozinha e área de serviço (Figura 4.6).

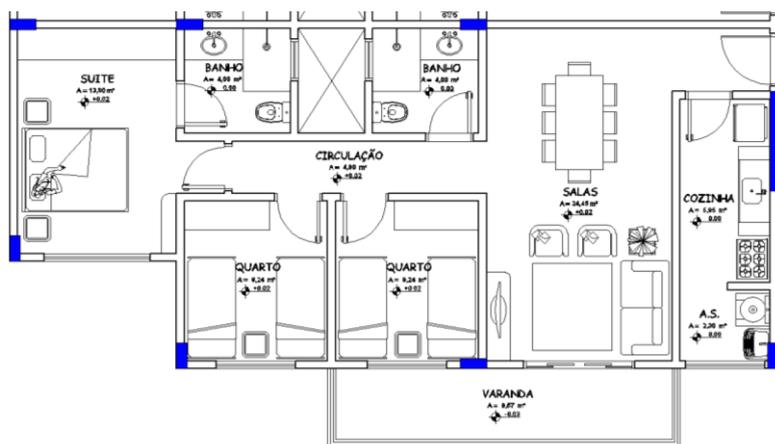


Figura 4.6 - Planta baixa do apartamento tipo

<sup>27</sup> Os apartamentos possuem previsão para ar-condicionado nos 03 quartos e sala e cada bloco possui lajes em balanço para acondicionamento das máquinas condensadora, para modelo Split de ar-condicionado.

Cada bloco possui 445,66m<sup>2</sup> e portaria independente, e a planta baixa tipo da edificação 1.388,84m<sup>2</sup>. Nos pilotis (Figura 4.7) estão dispostos: sala de administração do condomínio, depósito de materiais, vestiários feminino e masculino e copa para os funcionários, conforme Lei 2.105/1998, detalhados conforme Figura 4.8.

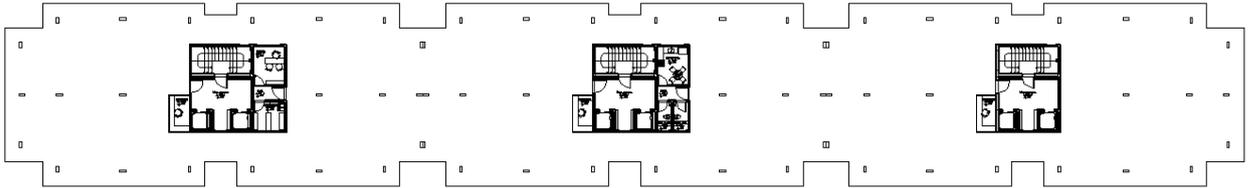


Figura 4.7 - Planta Baixa dos Pilotis

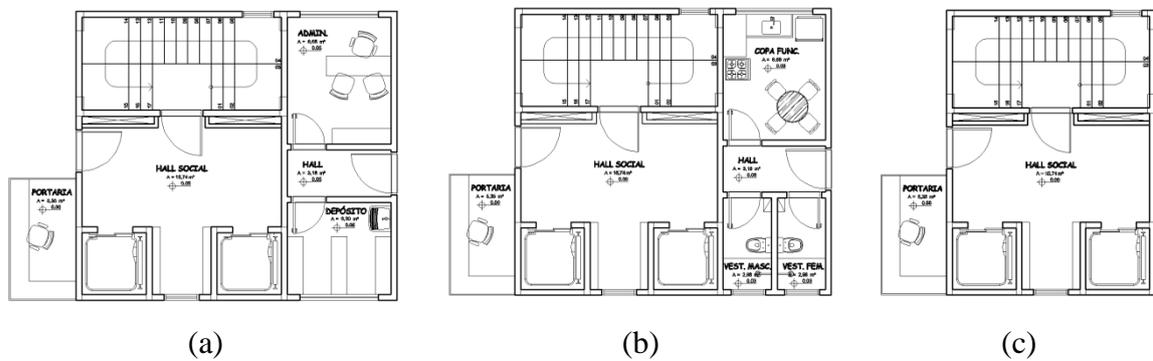


Figura 4.8 - Detalhe das portarias dos Pilotis

Para a Cobertura da edificação optou-se por telhado de fibrocimento, conforme é apresentado na Figura 4.9, identificado pela autora como sendo o tipo de telhado mais comum para a tipologia adotada.

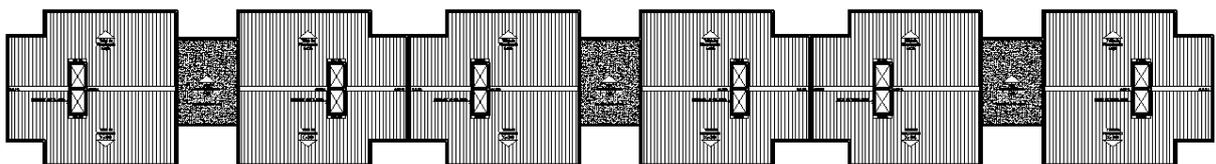


Figura 4.9 - Planta de Cobertura

Para identificar o tipo de cobertura, foram quantificadas três diferentes tipologias de Coberturas nas quadras 100 e 300's da Asa Sul e Asa Norte de Brasília-DF. As tipologias identificadas foram: Cobertura de Telhado Convencional, Cobertura com Área de Lazer do edifício e Cobertura com Apartamentos tipo Duplex ou Cobertura Linear. Foram utilizadas para esta quantificação imagens de satélite do Google Maps, conforme exemplo da Figura

4.10. Na Tabela D1 (Apêndice D) são apresentados os resultados encontrados, com o total de 553 edificações, sendo 495 edificações com Coberturas de Telhado Convencional, justificando assim a adoção da mesma para a Cobertura da EHM deste estudo.



Figura 4.10 - Imagem da quadra SQS 112 (*Google Maps*, 2013)

## 4.2 ZONA BIOCLIMÁTICA

O território brasileiro é muito extenso, e por esta razão a ABNT NBR 15220:2005 propôs dividir o país em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, e formulou para cada uma destas zonas um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

Cada zona bioclimática pode abranger mais de um estado político, e cada estado pode possuir mais de uma zona bioclimática. Brasília-DF, onse está inserido este estudo, encontra-se na Zona Bioclimática 04 (Figura 4.11).

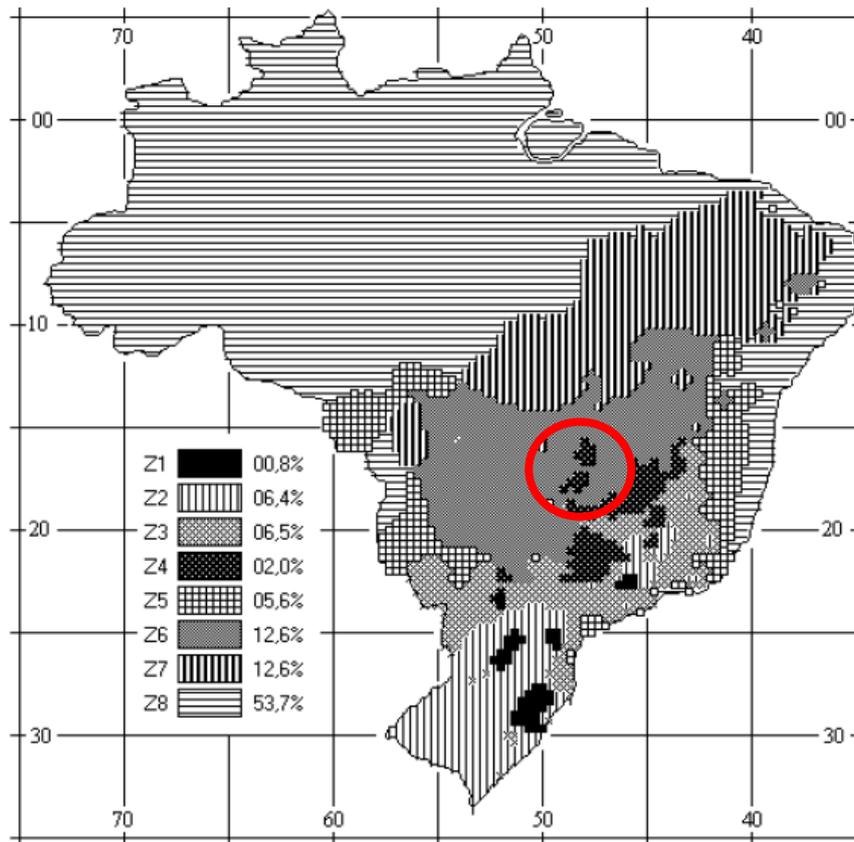


Figura 4.11 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT NBR 15220:2005)

A norma citada recomenda para a Zona Bioclimática 4 aberturas médias com sombreamento destas, vedações externas pesadas, cobertura leve isolada. Define algumas diretrizes de condicionamento térmico passivo e determina os requisitos de desempenho térmico mínimo da edificação conforme item 3.2.1.

### 4.3 LOCALIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO SOLAR

Para este estudo foi considerado como localização para a EHM a Asa Norte, em Brasília-DF, por ter sido este o ponto do Plano Piloto onde foi realizado o levantamento das tipologias, apresentado no item 4.1.1 (Figura 4.12).

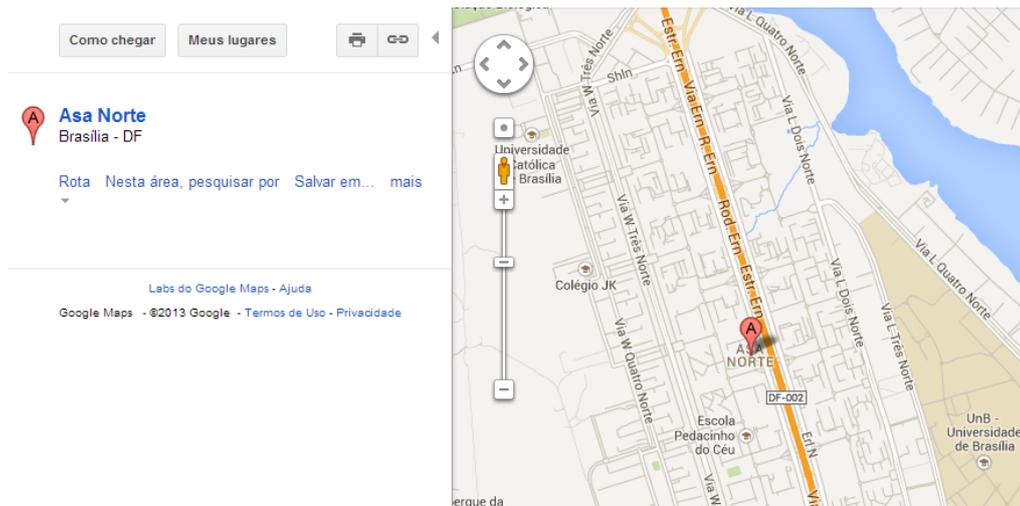


Figura 4.12 - Localização considerada para EHM (Google Maps, 2013)

Foram realizados vários testes, através de simulações computacionais, com diferentes orientações. Definiu-se a orientação cujas aberturas ficassem voltadas para leste a oeste, por se tratar da orientação com a pior condição climática percebida dentre as analisadas. A orientação solar considerada é apresentada na Figura 4.13, através da localização do norte em Planta Baixa.

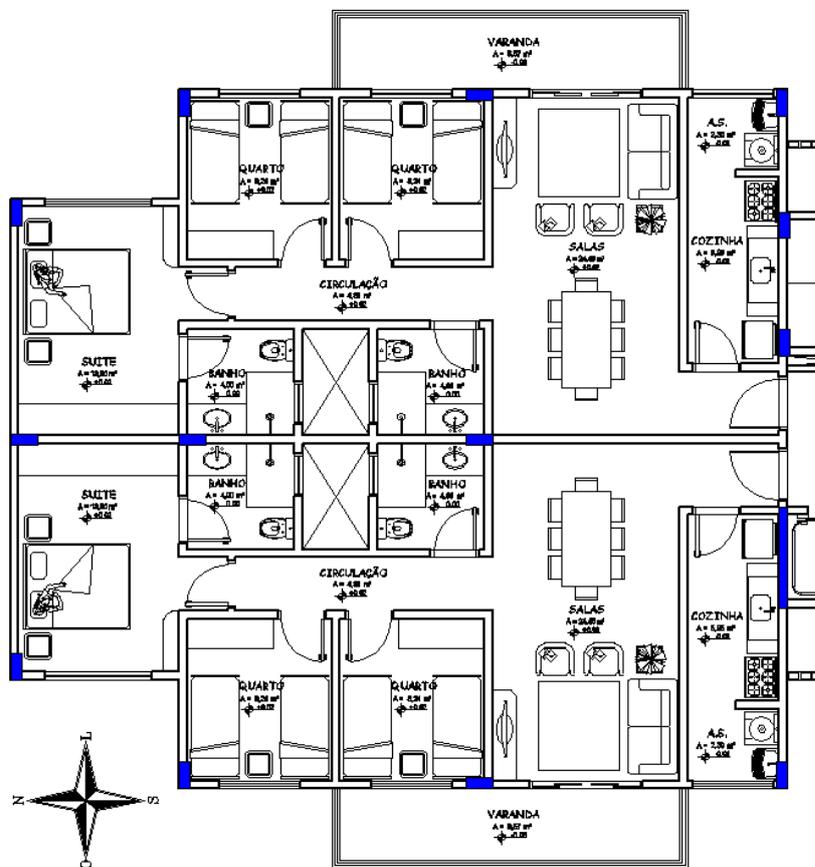


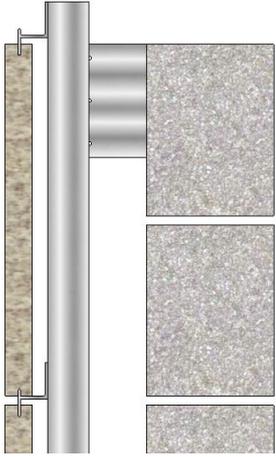
Figura 4.13 - Identificação da Orientação Solar para EHM

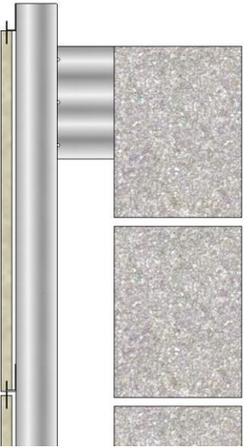
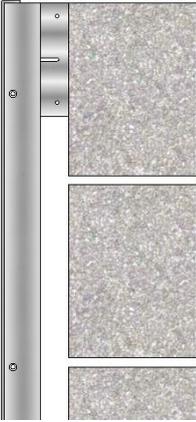
#### 4.4 UNIDADE FUNCIONAL

Unidade Funcional, de acordo com a ISO 14040:2006, é o desempenho quantificado de um sistema de produto para ser utilizado como unidade de referência em um estudo de avaliação do ciclo de vida. O principal 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 comparados, deve-se garantir que tais comparações sejam feitas em uma base comum.

Para a realização da ACVE das tipologias em estudo, foi estabelecida a unidade funcional (UF) de 1m<sup>2</sup> de fachada, tendo-se como base a sua função de desempenho térmico, de acordo com a Tabela 4.1, e vida útil. Os cálculos completos da Transmitância Térmica (U) e da Capacidade Térmica (CT) para a zona bioclimática de Brasília (zona 4) que são apresentados nesta tabela, encontram-se no Apêndice E.

Tabela 4.1 - Caracterização das Unidades Funcionais por U e CT

UF (1m <sup>2</sup> )	Imagem representativa	Transmitância Térmica (U)	Capacidade Térmica (CT)
FVPP		1,74	140,91

FVPo		1,74	86,10
FVACM		1,36	68,51

Com base na Tabela 4.1, observou-se, que em relação a função de desempenho térmico, as três tipologias atendem ao critério de U, conforme valor mínimo estabelecido pela ABNT NBR 15575-4:2013, de  $U \leq 3,7$  para materiais com absorvância à radiação solar  $\alpha \leq 0,6$ ; porém, somente a tipologia FVPP atende ao critério de CT, cujo valor mínimo pela referida norma é  $CT \geq 130$ .

Os valores de U e CT encontrados na Tabela 4.1 e utilizados neste estudo foram calculados considerando-se o sustrato de blocos de concreto com pozolana ou escória expandida, cujos valores de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico (c) foram obtidos do *software Design Builder*.

Como somente a tipologia FVPP atendeu ao critério de CT, foi verificado que se o bloco de concreto com pozolana ou escória expandida fosse substituído por bloco de concreto com agregado de pedra (mais comumente utilizado no Brasil para fabricação de blocos), os valores de U e CT seriam diferentes, fazendo com que todas as tipologias atendessem ao

critério de U e as FVPP e FVPo atendessem ao critério CT, porém a tipologia FVACM continuaria não atendendo ao critério de CT.

É importante ressaltar que, neste estudo, foi utilizada, para todas as tipologias, uma mesma base de análise, para que os resultados encontrados pudessem ser comparáveis (bloco de concreto com pozolana ou escória expandida), mesmo com duas tipologias não atendendo completamente aos critérios de desempenho estabelecidos pela ABNT NBR 15:575:2013. Na Tabela 4.2 são apresentados os resultados dos valores de U e CT com diferentes blocos de concreto para as tipologias analisadas.

Tabela 4.2 - Comparativo de U e CT para as UF's

UF (1m <sup>2</sup> )	Uso de bloco de concreto com pozolana ou escória expandida		Uso de bloco de concreto com agregado de pedra	
	Transmitância Térmica (U)	Capacidade Térmica (CT)	Transmitância Térmica (U)	Capacidade Térmica (CT)
FVPP	1,94	140,91	2,32	185,85
FVPo	1,94	86,10	2,33	131,04
FVACM	1,57	68,51	2,82	117,45

Para que a tipologia FVACM passe a atender ao critério de CT seria necessário além do emprego do substrato de bloco de concreto com agregado de pedra, revestimento argamassado também na face exterior.

Em relação à vida útil, estabeleceu-se o valor de 50 anos, valor intermediário ao estabelecido pela ABNT NBR 15575-1:2013.

#### 4.5 ETAPA 01: FASE DE PRÉ-USO

Para a fase de Pré-Usos foi quantificada a EI, através do levantamento de dados de EI dos principais materiais e componentes<sup>28</sup> das diferentes tipologias estudadas, e da identificação dos trajetos dos locais de produção dos materiais até a localização considerada para EHM

<sup>28</sup> São considerados Materiais: placas pétreas, porcelanato, ACM, alumínio e aço inoxidável. São considerados componentes: placas revestimento, perfis de sustentação, grapas, cantoneiras e ganchos de fixação e parafusos.

para cálculo da EI. Um esquema da metodologia proposta é apresentado na Figura 4.14 e as etapas realizadas são discriminadas na sequência.

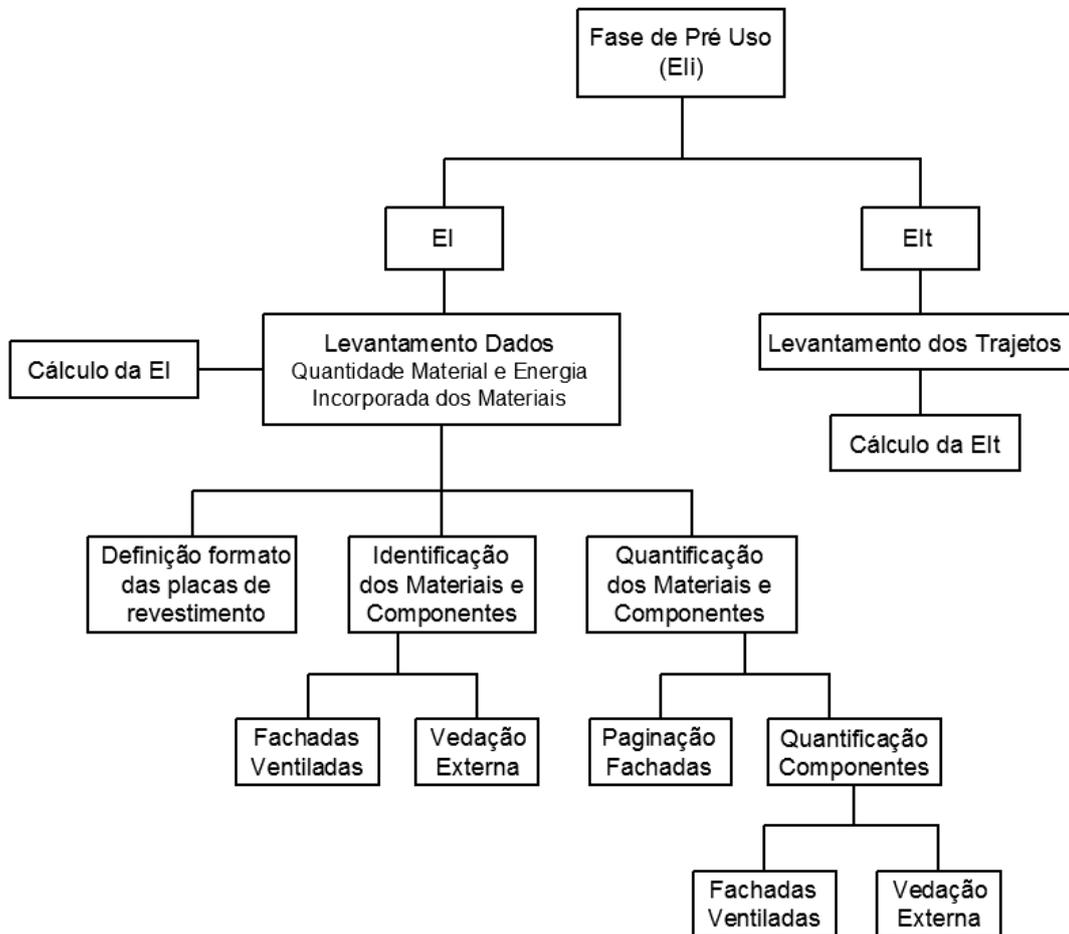


Figura 4.14 - Metodologia proposta para a Fase de Pré-Uso (EI)

#### 4.5.1 Definição do Formato das Placas

Foram definidos os formatos iniciais das placas de revestimento utilizadas, com base em informações coletadas junto aos fabricantes colaboradores da pesquisa para embasar a etapa de paginação de fachadas. Na Tabela 4.3 são apresentadas as especificações utilizadas no presente estudo.

Tabela 4.3 - Especificações das Tipologias de Fachadas Ventiladas

<b>Tipologia</b>	<b>Formato das Placas</b>	<b>Justificativa</b>
FVPP	Chapas de 2000x3000mm cortadas conforme necessidade, 30mm	As chapas devem ser cortadas conforme necessidade do Projeto de Fachada utilizado.
FVPo	50x100cm, 12mm	Formato mais econômico, de acordo com o fabricante. Placas maiores de 100 cm necessitam de barra central de alumínio para suportar o peso e ações do vento, aumentando o gasto de alumínio e consequentemente o gasto energético do sistema.
FVACM	Chapas de 5000x150mm cortadas conforme necessidade, 4mm	As chapas devem ser cortadas conforme necessidade do Projeto de Fachada utilizado.

#### 4.5.2 Identificação dos materiais e componentes das Tipologias

##### Fachadas Ventiladas

Foram identificados os materiais e componentes das tipologias, apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Materiais e Componentes das Tipologias

<b>Tipologias</b>	<b>Materiais e Componentes</b>
<b>FVPP</b>	Estrutura em Alumínio Acessórios em Aço inoxidável Revestimento em Placas Pétreas
<b>FVPo</b>	Estrutura em Alumínio Acessórios em Aço inoxidável Revestimento em Placas de Porcelanato
<b>FVACM</b>	Estrutura em Alumínio Acessórios em Aço inoxidável Revestimento em Placas de Alumínio Composto

## Vedação Externa

Foram identificados os materiais utilizados na vedação externa da EHM, base comum a todas as tipologias, discriminados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Materiais e Componentes do Substrato comum

<b>Tipologias</b>	<b>Materiais e Componentes</b>
<b>Substrato</b>	Vedação em blocos de concreto com escória expandida ou pozolana Pilotis e vigas em concreto armado
<b>Esquadrias</b>	Estrutura em alumínio anodizado Vidro comum 6mm incolor

### 4.5.3 Quantificação dos componentes utilizados

Foi realizado o levantamento do quantitativo dos materiais e componentes utilizados na EHM, para cada tipologia de FV<sup>29</sup>, detalhado a seguir.

### Paginação das Fachadas

Para os diferentes sistemas de fachadas ventiladas, foi realizada a paginação das placas de revestimento nas fachadas da EHM, considerando requadros de esquadrias e pilotis. Um exemplo desta paginação de revestimento é apresentado na Figura 4.15.

---

<sup>29</sup> Foi considerada a aplicação das FV's em todo o corpo do edifício e pilotis, porém foram desconsideradas as portarias presentes nos pilotis e lajes em balanço, onde se propõe utilização de outro tipo de material ou sistema.

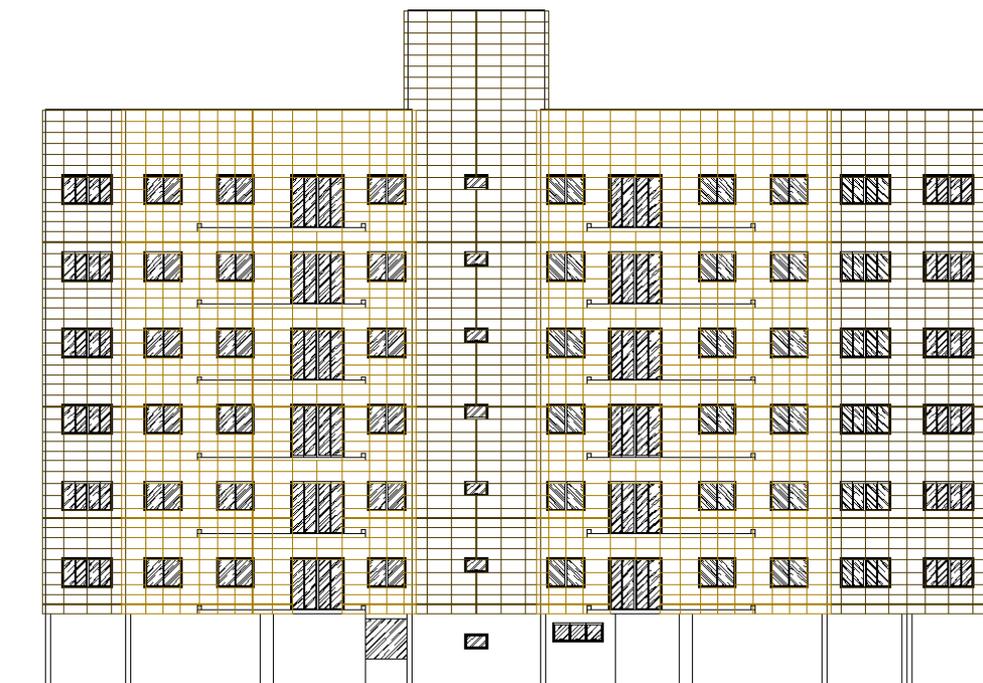


Figura 4.15 – Paginação parcial de placas pétreas da fachada frontal da EHM

Para a FVPo procurou manter-se o tamanho original do revestimento, conforme especificado na Tabela 4.2. A FVPP e FVACM possuem seu revestimento comercializado em chapas de 3000x2000mm e 5000x1500mm respectivamente, permitindo qualquer formato com máximo de aproveitamento das chapas. O fornecedor Utifirve sugeriu que fossem utilizadas alturas próximas de 400 mm para as placas pétreas.

Devido ao revestimento ACM não ser composto de placas simples, e sim por um requadro, foram considerados 20mm a mais para cada lado do tamanho da placa em paginação. Procurou-se utilizar ao máximo a altura de 1100mm (somando-se 20mm abaixo e acima totalizando-se 1500mm, altura da chapa). O fabricante sugere placas maiores do que nos outros sistemas (nas duas proporções), por ser um revestimento muito leve, o que afeta diretamente a quantidade de peças de sustentação de alumínio e aço inoxidável.

Após a paginação das placas de revestimento, e com base nestas, foi realizado o lançamento da subestrutura de alumínio com todos seus componentes para cada tipologia. Um exemplo deste lançamento é apresentado na Figura 4.16. Imagens com as demais paginações de fachadas encontram-se no Apêndice F.

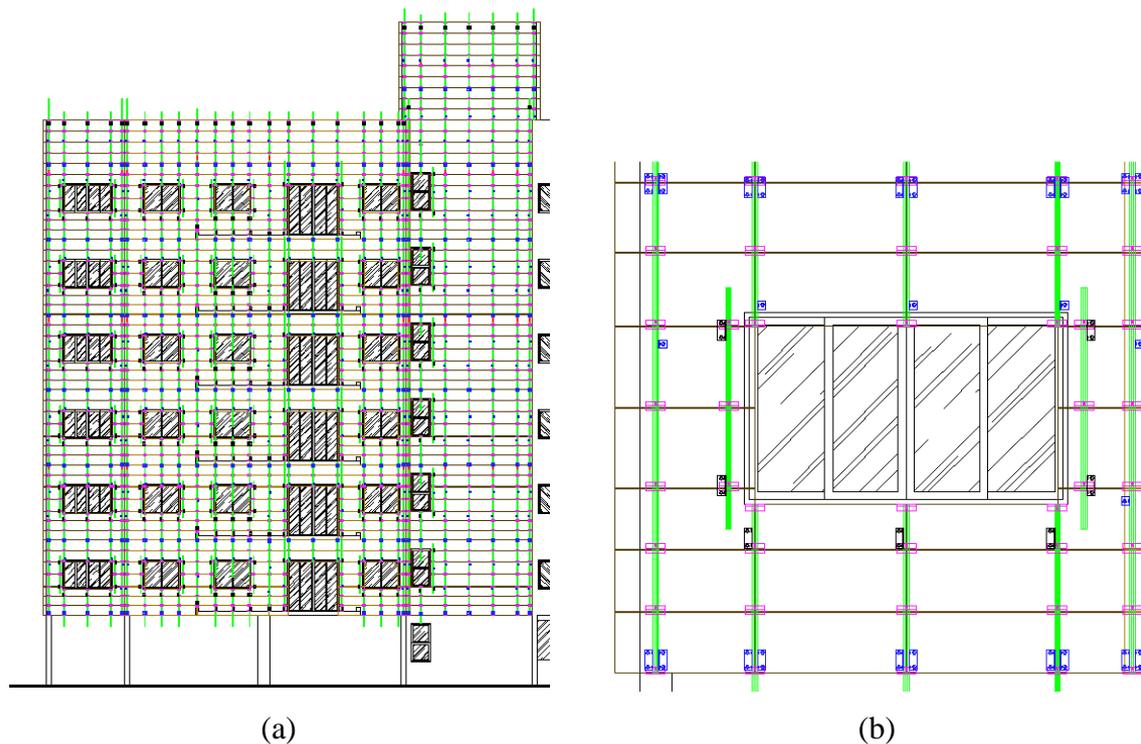


Figura 4.16 - Lançamento da subestrutura de alumínio da fachada frontal da FVPP. a) Lançamento parcial da subestrutura de alumínio; b) Detalhe do lançamento da subestrutura de alumínio

### Quantificação dos componentes

Para a quantificação dos componentes da vedação externa, base comum para todas as tipologias, foi realizado o levantamento dos diferentes materiais, sendo que os blocos de concreto foram contabilizados por metro quadrado considerando perda de 10% do material, e as esquadrias foram contabilizadas inicialmente por unidades. Não foram considerados materiais de pilotis, pilares e vigas, pois não foi realizado projeto estrutural para EHM.

Com base na ABNT NBR 12721: 2003 foi verificado que para o padrão de edificação<sup>30</sup> mais próximo da EHM, a estrutura de alumínio anodizado representa 44,07% do material da esquadria enquanto o vidro liso comum representa 55,93% da esquadria. Desta forma, foi possível quantificar os diferentes materiais contidos nas esquadrias. Na Tabela 4.17 é apresentado o cálculo dos materiais contidos na vedação externa.

<sup>30</sup> A EHM foi identificada como projeto padrão H4, normal.

Figura 4.17 – Quantitativo dos materiais da vedação externa<sup>31</sup>

	(a)	(b)	(c)	(d)
Material	Área na EHM (m <sup>2</sup> )	Área por UF da EHM (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Massa do Material (kg/m <sup>2</sup> )	Massa de Material por UF (kg/m <sup>2</sup> )
Blocos de Concreto	5584,85	0,9306	17,73	16,5031
Alumínio Anodizado	396,44	0,0661	15,53	1,0260
Vidro Comum	503,20	0,0839	15,00	1,2578
<b>Metragem Quadrada da EHM (e)</b>	<b>6001,12</b>			

Legenda:  $b = a / e$ ;  $d = b \times c$

Para as diferentes tipologias de fachadas ventiladas, as fachadas da EHM foram subdivididas e os componentes contabilizados em planilhas parciais para depois somar-se todo o material, por tipo. A metragem quadrada de fachada também foi calculada parcialmente, para depois somar-se o valor total.

Para a quantificação dos revestimentos de Placas Pétreas e ACM foram utilizadas planilhas para contabilizar as diferentes peças de revestimento utilizadas nas paginações das fachadas (Apendice G) e com esses resultados, utilizou-se o *software* (versão trial) Corte Certo© para cálculo de aproveitamento de chapas<sup>32</sup>. Exemplos dos resultados obtidos com este *software* são apresentados no Apêndice H.

Todas as tipologias possuem componentes em alumínio e aço inoxidável para a subestrutura, tendo como diferença principal o revestimento externo. No entanto, cada subestrutura possui diferentes tipos e quantidades de componentes devido a massa do material de revestimento.

Para determinar a massa dos componentes de inox e alumínio da FVPP e FVPo, estes foram pesados pelo fabricante Villagres©, em laboratório próprio. Imagens das pesagens podem ser visualizadas no Apêndice I e um exemplo é apresentado na Figura 4.18. Os componentes que não puderam ser pesados tiveram suas massas informadas pelos

<sup>31</sup> A massa do alumínio anodizado calculada através da massa do perfil PA, também utilizado nas FV's, a massa dos blocos de concreto calculada através dos dados de densidade deste (1400 kg/m<sup>3</sup>) e a massa do vidro comum 6 mm calculada a partir dos dados de densidade da ABNT NBR 15220:2003 (2500 kg/m<sup>3</sup>).

<sup>32</sup> Para cálculo de aproveitamento de chapas pelo *software* é necessário fornecer os seguintes dados: dimensão da chapa de revestimento, quantidade e dimensão de cada peça diferente utilizada na fachada.

fabricantes. Os componentes de inox e alumínio da FVACM tiveram suas massas informadas pelo fabricante<sup>33</sup>.



Figura 4.18 - Exemplo de componente de aço inoxidável durante pesagem<sup>34</sup>

As massas dos revestimentos porcelanato e ACM foram informadas pelos seus fabricantes<sup>35</sup>. Para se determinar a massa das placas pétreas utilizou-se a média das massas conseguidas através do site da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHA), dentre 51 tipos diferentes, extraídos do Espírito Santo, por ser o maior produtor nacional de pedras, compilados na Tabela J1 do Apêndice J.

De acordo com ABIROCHAS (2013) granitos e materiais similares representam quase 50% do total da produção brasileira, seguindo-se os mármore e travertinos, com pouco mais de 18%. Mais de 60% do total dessa produção concentra-se na Região Sudeste, destacando-se Espírito Santo e Minas Gerais.

Nas Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8 são apresentados os quantitativos de materiais e componentes em kg/m<sup>2</sup> das tipologias estudadas.

---

<sup>33</sup> O fabricante das peças de alumínio e inox da FVACM consultado foi a empresa Rajas, parceira da empresa Alucomax, representante da Alucobond em Brasília-DF.

<sup>34</sup> Imagem cedida pelo fabricante Villagres, assim como as demais contidas no Apêndice referenciado.

<sup>35</sup> O fabricante do porcelanato utilizado neste estudo é a empresa Villagres e do ACM a empresa Alucobond, através do representante de Brasília-DF Alucomax.

Tabela 4.6 - Quantitativo dos materiais da tipologia FVPP

(a)									
Metragem Quadrada das Fachadas		6578,59	m <sup>2</sup>						
Massa Revestimento	massa / peça (kg)	Quant. Peças	peças/ m <sup>2</sup>						
(Chapas 3x2x0,03m)	482,89	976	0,15						
<b>Massa Placas Pétreas (kg/m<sup>2</sup>)</b>			<b>71,64</b>						
				(b)	(c)	(d)	(e)		
<b>Aço Inox FVPP</b>	<b>massa / peça (kg)</b>	<b>Quant. Peças</b>	<b>peças/ m<sup>2</sup></b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>					
Parafuso AF	0,049	11728	1,78	0,0874					
Parafuso TUA	0,006	50362	7,66	0,0459					
Parafuso FX6+AX6+LX6	0,022	29660	4,51	0,0992					
Parafuso TF80+AX8 (s/ TP)	0,033	15508	2,36	0,0778					
<b>Massa Aço Inoxidável (Kg/m<sup>2</sup>)</b>			<b>0,3103</b>						
					(f)	(g)	(h)	(i)	
					<b>Alumínio FVPP</b>	<b>massa / peça (kg)</b>	<b>Quant. Peças</b>	<b>peças/ m<sup>2</sup></b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>
					Grapa GL6	0,076	913	0,14	0,0105
					Grapa GT6	0,085	6740	1,02	0,0871
					Grapa GL6SC	0,076	925	0,14	0,0107
					Grapa SG (utilizando AF)	0,103	1166	0,18	0,0183
					Grapa SG (utilizando TF80)	0,103	1508	0,23	0,0236
					Grapa SQ	0,041	1935	0,29	0,0121
					Grapa SG para janelas (TUA)	0,103	204	0,03	0,0032
					Grapa SQ para janelas (TUA)	0,041	372	0,06	0,0023
					Perfil PA (massa p/ 100cm)	0,699	3505,5	0,53	0,3725
					Peça UA p/ junção perfis PA	0,199	630	0,10	0,0191
					<b>Massa total Alumínio (kg/m<sup>2</sup>)</b>			<b>0,5593</b>	

Legenda: d = c / a; e = b x d; h = g / a; i = f x h

Tabela 4.7 - Quantitativo dos materiais da tipologia FVPo

(a)									
Metragem Quadrada das Fachadas		6517,82	m <sup>2</sup>						
Massa Revestimento	massa / peça (kg)	Quant. Peças	peças/ m <sup>2</sup>						
	15	16468	2,53						
<b>Massa Porcelanato (kg/m<sup>2</sup>)</b>			<b>37,8992</b>						
				(b)	(c)	(d)	(e)		
<b>Aço Inox FVPo</b>	<b>massa / peça (kg)</b>	<b>Quant. Peças</b>	<b>peças/ m<sup>2</sup></b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>					
Parafuso AF	0,049	7872	1,21	0,0592					
Parafuso TUA	0,006	33042	5,07	0,0304					
Parafuso FST	0,002	58572	8,99	0,0180					
Parafuso TF80+AX8 (s/ TP)	0,033	11004	1,69	0,0557					
Grapa GA	0,032	5572	0,85	0,0274					
Grapa GAS	0,013	1420	0,22	0,0028					
Grapa GI	0,033	12886	1,98	0,0652					
Grapa GIS	0,014	9408	1,44	0,0202					
<b>Massa Aço Inoxidável (kg/m<sup>2</sup>)</b>			<b>0,2789</b>						
					(f)	(g)	(h)	(i)	
					<b>Alumínio FVPo</b>	<b>massa / peça (kg)</b>	<b>Quant. Peças</b>	<b>peças/ m<sup>2</sup></b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
					Grapa SG (utilizando AF)	0,103	3936	0,60	0,0622
					Grapa SG (utilizando TF80)	0,103	1896	0,29	0,0300
					Grapa SQ	0,041	7212	1,11	0,0454
					Grapa SG para janelas (TUA)	0,103	972	0,15	0,0154
					Grapa SQ para janelas (TUA)	0,041	1908	0,29	0,0120
					Perfil PA (massa p/ 100cm)	0,699	3352,5	0,51	0,3595
					Peça UA p/ junção perfis PA	0,199	630	0,10	0,0192
					<b>Massa total Alumínio (kg/m<sup>2</sup>)</b>			<b>0,5437</b>	

Legenda: d = c / a; e = b x d; h = g / a; i = f x h

Tabela 4.8 - Quantitativo dos materiais da tipologia FVACM

(a)									
Metragem Quadrada das Fachadas	6296,08	m <sup>2</sup>							
Massa Revestimento	massa / peça (kg)	Quant. Peças	Peças/ m <sup>2</sup>						
	41,25	924	0,15						
<b>Massa ACM (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>6,0538</b>								
	(b)	(c)	(d)	(e)					
<b>Aço Inox FVACM</b>	<b>massa / peça (kg)</b>	<b>Quant. Peças</b>	<b>peças/ m<sup>2</sup></b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>					
Parafuso Autobrocante	0,049	4228	0,67	0,0332					
Parafuso Parabol	0,033	23094	3,67	0,1219					
Parafuso TUA	0,006	12760	2,03	0,0124					
<b>Massa Aço Inoxidável (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,1675</b>								
	(f)	(g)	(h)	(i)					
<b>Alumínio FVACM</b>	<b>massa / peça (kg)</b>	<b>Quant. Peças</b>	<b>peças/ m<sup>2</sup></b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>					
Grapa SQC (autobrocante)	0,041	2114	0,34	0,0138					
Grapa SQC (parabol)	0,041	6638	1,05	0,0434					
Grapa SQ para janelas (TUA)	0,041	3420	0,54	0,0224					
Perfil PU (massa p/ 100cm)	0,400	2724	0,43	0,1731					
Peça UA p/ junção perfis PA	0,199	372	0,06	0,0118					
<b>Massa Alumínio (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,2644</b>								

Legenda: d = c / a; e = b x d; h = g / a; i = f x h

#### 4.5.4 Cálculo da EI<sub>t</sub>

Foi realizado levantamento dos locais de produção<sup>36</sup> dos materiais constituintes da vedação externa e das tipologias, depois calculadas as distâncias com auxílio do *Google Maps*. Foi considerado ponto de chegada (construção do edifício modelo) a Asa Norte, plano piloto, em Brasília-DF.

Não foi determinado um tipo específico de placa pétrea para o estudo, por isso, foi verificado o local de produção de cada um dos tipos de pedras coletados em Abirochas (2013) e listados na Tabela K1 do Apêndice K. Depois foi realizado o levantamento das distâncias das diferentes cidades do Espírito Santo até o destino final com o auxílio do *Google Maps*, e calculada a média dessas distâncias (Tabela K2, Apêndice K). Na Tabela 4.9 são apresentadas as distâncias levantadas.

<sup>36</sup> Para cálculo da EI<sub>t</sub> foram considerados somente os locais de produção dos materiais, não sendo considerados os trajetos dos locais de extração da matéria-prima até o local de produção dos materiais, pois os dados secundários de EI já contemplam este trajeto.

Tabela 4.9 - Distâncias dos locais de produção dos componentes até o destino final

<b>Material</b>	<b>Local de Produção</b>	<b>Distância até o destino</b>
Blocos de Concreto	Paranoá, Brasília-DF <sup>37</sup>	26,7 km
Alumínio esquadrias	Tubarão-SC	1784 km
Vidro esquadrias	Caçapava-SP <sup>38</sup>	1090 km
Alumínio (FVPP e FVPo)	Tubarão-SC / Sorocaba-SP	1781 km
Alumínio (FVACM)	Tubarão-SC	1784 km
Aço Inoxidável	Timóteo-MG	935 km
Placas Pétreas	Espírito Santo (média)	1223,55 km
Porcelanato	Santa Gertrudes-SP	872 km
ACM	São Paulo-SP	1012 km

As Figuras dos trajetos das fábricas dos componentes das tipologias estudadas até o local de implantação da EHM são apresentadas no Apêndice L.

Posteriormente foi realizado o cálculo de EIt, demonstrado na Tabela 4.10 e 4.11, para os materiais dos componentes das tipologias estudadas. Para este, foi utilizado o dado secundário de EIt, a partir da média de 0,0137 l/t/km do consumo de caminhões cheios (NABUT, 2011), convertido a partir de tabela de conversão do autor<sup>39</sup>, equivalente a **0,4864 MJ/t/km**.

Tabela 4.10 - Cálculo de EIt para os materiais da vedação externa

<b>Materiais</b>	<b>Energia Incorporada de Transporte (EIt) da Vedação Externa</b>					
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
	<b>Cidade Produção</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>EIt p/ km (MJ/kg/km)</b>	<b>Massa material p/ m<sup>2</sup> da EHM (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>EIt / m<sup>2</sup> da EHM (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>EIt / m<sup>2</sup> da vedação externa (MJ/m<sup>2</sup>)</b>
Blocos Concreto	Paranoá, Brasília-DF	26,70		16,503	0,21	
Alumínio Anodizado	Tubarão-SC	1784,00	0,0005	1,026	0,89	1,78
Vidro comum	Caçapava-SP	1090,00		1,258	0,67	

Legenda: d = a x b x c; e = (soma dos valores) d

<sup>37</sup> Foram considerados blocos de concreto fabricados pela empresa Alegrelar®

<sup>38</sup> Foi desconsiderado o trajeto até a beneficiadora de vidros, Central Vidros®, pois esta localiza-se na Asa Norte, Brasília-DF

<sup>39</sup> 1L diesel = 35,58 MJ (NABUT, 2011)

Tabela 4.11 - Cálculo de EI<sub>t</sub> para os materiais das tipologias estudadas

Tipologia Adotada	Materiais	Energia Incorporada de Transporte (EI <sub>t</sub> )			
		(a)	(b)	(c)	(d)
		Cidade Produção	Distância (km)	EI <sub>t</sub> p/ km (MJ/kg/km)	Massa material p/ m <sup>2</sup> da EHM (Kg/m <sup>2</sup> )
FVPP	Vedação Externa	-	-	-	1,78
	Placas Pétreas	Espírito Santo (média)	1223,55	0,0005	71,6422
	Alumínio	Tubarão-SC / Sorocaba-SP	1781,00		0,5593
	Aço Inox	Timóteo-MG	935,00		0,3103
FVPo	Vedação Externa	-	-	-	1,78
	Porcelanato	Santa Gertrudes-SP	872,00	0,0005	37,8992
	Alumínio	Tubarão-SC / Sorocaba-SP	1781,00		0,5437
	Aço Inox	Timóteo-MG	935,00		0,2789
FVACM	Vedação Externa	-	-	-	1,78
	ACM	São Paulo-SP	1006,00	0,0005	6,0538
	Alumínio	Tubarão-SC	1784,00		0,2644
	Aço Inox	Timóteo-MG	935,00		0,1675

Legenda: d = a x b x c, exceto para vedação externa, proveniente da Tabela 4.10

#### 4.5.5 Cálculo da EI<sub>i</sub>

Foi quantificada a EI dos materiais das tipologias estudadas por m<sup>2</sup>, somada a estas a EI<sub>t</sub> para se chegar ao resultado de EI<sub>i</sub> da EHM por m<sup>2</sup>, por material e por tipologia (Tabela 4.12 e 4.13).

Tabela 4.12 - Cálculo de EI<sub>i</sub> para as vedações externas

Materiais	Energia Incorporada Inicial (EI <sub>i</sub> ) para EHM					
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	Massa material p/ m <sup>2</sup> da EHM (Kg/m <sup>2</sup> )	EI do Material (MJ/kg)	EI / m <sup>2</sup> da EHM (MJ/m <sup>2</sup> )	EI <sub>t</sub> / m <sup>2</sup> da EHM (MJ/m <sup>2</sup> )	EI <sub>i</sub> / m <sup>2</sup> da EHM por material (MJ/m <sup>2</sup> )	EI <sub>i</sub> / m <sup>2</sup> da EHM (MJ/m <sup>2</sup> )
Blocos Concreto	16,50	1,00	16,50	0,21	16,72	
Alumínio Anodizado	1,03	210,00	215,47	0,89	216,36	240,30
Vidro comum	1,26	18,50	23,27	0,67	23,94	

Legenda: c = a x b; d = Tabela 4.10; e = c + d; f = (soma dos valores) e

Tabela 4.13 - Cálculo de Eli para as tipologias estudadas

Tipologia Adotada	Materiais	Energia Incorporada Inicial (Eli) para EHM					
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
		Massa material p/ m <sup>2</sup> da EHM (Kg/m <sup>2</sup> )	EI do Material (MJ/kg)	EI / m <sup>2</sup> da EHM (MJ/m <sup>2</sup> )	EIt / m <sup>2</sup> da EHM (MJ/m <sup>2</sup> )	Eli / m <sup>2</sup> da EHM por material (MJ/m <sup>2</sup> )	Eli / m <sup>2</sup> da EHM (MJ/m <sup>2</sup> )
<b>FVPP</b>	Vedação Externa	-	-	-	-	240,30	560,83
	Placas Pétreas	71,64	2,00	143,28	42,73	186,01	
	Alumínio	0,56	210,00	117,45	0,49	117,94	
	Aço Inox	0,31	53,00	16,44	0,14	16,59	
<b>FVPo</b>	Vedação Externa	-	-	-	-	240,30	878,65
	Porcelanato	37,90	13,00	492,69	16,11	508,80	
	Alumínio	0,54	210,00	114,17	0,47	114,64	
	Aço Inox	0,28	53,00	14,78	0,13	14,91	
<b>FVACM</b>	Vedação Externa	-	-	-	-	240,30	905,44
	ACM	6,05	98,69	597,46	2,97	600,43	
	Alumínio	0,26	210,00	55,52	0,23	55,75	
	Aço Inox	0,17	53,00	8,88	0,08	8,95	

Legenda: c = a x b; d = Tabela 11; e = c + d (exceto para vedação externa, proveniente da Tabela 4.12); f = (soma dos valores)

Os dados de EIt foram baseados em informações de Nabut (2011). Os dados de EI dos materiais foram baseados em Johnson et al (2007) para EI do aço inoxidável, Gouveia (2012) para EI do ACM, Graf e Tavares (2010) para os demais materiais.

#### 4.6 ETAPA 02: FASE DE USO

Para a fase de Uso foram realizadas simulações computacionais com o *software Design Builder*, que é uma ferramenta integrada com o *Energy Plus*, para se levantar o consumo energético proveniente do possível uso de equipamentos de ar-condicionado para as horas de desconforto dos usuários, nas unidades habitacionais autônomas da edificação habitacional modelo.

Ao se pensar em consumo energético na fase de uso das edificações existem diferentes tipos de consumo, como o consumo energético através de equipamentos de cocção, iluminação, ventilação forçada (comumente presente em banheiros), equipamentos eletrônicos, equipamentos de ar-condicionado, entre outros.

Para este estudo foi considerado somente o consumo energético proveniente de aparelhos de ar-condicionado tipo *split* em ambientes comumente condicionados como quartos e sala.

Os demais tipos de energia não foram considerados, pois permanecem iguais para as diferentes tipologias. Um esquema da metodologia proposta para a Fase de Uso é apresentado na Figura 4.19 e as etapas realizadas são discriminadas na sequência.

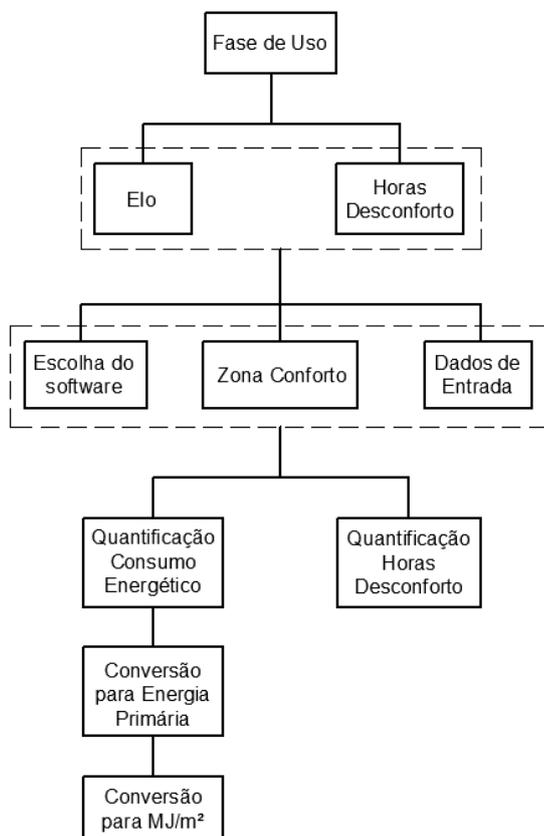


Figura 4.19 - Metodologia proposta para a Fase de Uso

#### 4.6.1 Escolha do software *Design Builder* para as simulações

Existem diversos *softwares* de simulação de desempenho térmico no mercado atual tais como *DOE 2*, *ENERGY PLUS*, *Building Design Advisor* e *SPARK*<sup>40</sup>. O *Design Builder* foi escolhido por possuir integração com o software *Energy Plus*, ferramenta desenvolvida pelo Departamento de Energia dos EUA para quantificar o consumo energético de sistemas de resfriamento e aquecimento. Também é o *software* utilizado pelo Procel Edifica e por laboratórios credenciados no Brasil.

<sup>40</sup> *Softwares* reconhecidos pelo departamento de Energia norte-americano (*U.S. Department of Energy*).

É um *software* que trabalha com modelagem de edifícios e simulação de desempenho ambiental combinando rápida modelagem e interface amigável. É a primeira interface de modelagem amigável a ser combinada com as ferramentas de simulação térmica do *Energy Plus* (DESIGNBUILDER, 2012).

Já o *Energy Plus* é um *software* de simulação para engenheiros, arquitetos e pesquisadores, que necessitam modelar o uso de energia e água em edificações. Modela o desempenho de uma edificação para que o profissional possa melhorar o design de forma a gastar menos água e energia. Permite modelar sistemas de aquecimento, refrigeração, ventilação, outros fluxos de energia e uso da água nas edificações. Não possui interface amigável, mas atua em conjunto com outros softwares. O próprio *software* já possui os dados climáticos de Brasília (ENERGYPLUS, 2012).

Neste trabalho as simulações foram realizadas no Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética (Lacam), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília - UnB.

#### **4.6.2 Zona de Conforto para Brasília**

A zona de conforto adotada para este estudo baseou-se nos dados apresentados por Lamberts et al (1994), com faixa de 18°C a 29°C, definida por Givoni (1992) para países em desenvolvimento.

Lamberts et al (1994) mostram um estudo acerca da Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico, publicado pelo Núcleo de Pesquisa em Construção na UFSC, e apresenta diversos métodos para determinação da zona de conforto, incluindo a norma AHSRAE de 74, 85 e 1992, os métodos de Olgyay (1963 e 1968), Givoni (1969), Givoni e Milne (1979), Watson e Labs (1983), Gonzalez (1986), Szokolay (1987) e Givoni (1992). Ao final do estudo é apresentada uma tabela resumo dos métodos analisados (Tabela M1 – Apêndice M).

Neste mesmo documento, foi proposta uma zona de conforto para o Brasil com a adoção da Carta Bioclimática para Edifícios de Givoni (GIVONI, 1992) com suas estratégias de projeto por apresentar melhores condições de aplicação para o país, pois Givoni desenvolveu um trabalho voltado para países quentes e em desenvolvimento, baseado na aclimação das pessoas.

As normas ASHRAE 55:2004 e ISO 7730:2005 foram reanalisadas pela pesquisadora e percebeu-se que as mesmas permanecem sem considerar a aclimação das pessoas.

### 4.6.3 Dados de Entrada para o Software

Para o desenvolvimento dos modelos é necessário antes configurar diversos itens no arquivo, que serão apresentados neste item.

#### Localização

Foram utilizados os dados de Brasília do próprio software, com dados descritos na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Dados de Brasília para realização das simulações (*Design Builder*, 2013)

<b>Requisito</b>	<b>Padrão adotado</b>
Latitude	- 15,87°
Longitude	- 47,93°
Nível do mar	1061 m
Exposição ao vento	Normal
Orientação solar	90°
Dados meteorológicos de simulação	BRA_BRASILIA_IWEC

A temperatura média do solo foi considerada 2°C abaixo da temperatura média mensal compensada do ar. Estes dados foram inseridos com base nos dados das normais climatológicas do Brasil de 1961-1990, disponibilizadas pelo INMET - Instituto de Nacional de Meteorologia. As temperaturas médias adotadas para o solo são descritas na Tabela N1 (Apêndice N).

## Atividade/Ocupação

Foi criado um perfil de atividade para o apartamento determinado “Apartamento Geral”, onde foram especificados os itens descritos na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 - Especificação do perfil de atividade “Apartamento Geral”

<b>Requisito</b>	<b>Padrão adotado</b>
Categoria	Espaço residencial
Região	Brasil
Carga calor (W/m <sup>2</sup> )	3,58 (padrão do software)
Densidade (pessoa/m <sup>2</sup> ) <sup>41</sup>	0,0717
Fator metabólico	0,90 (padrão software)

Para a programação de ocupação da edificação, foi criado o perfil “Apartamento Cooling”, para representar a ocupação do edifício para cálculo de ganhos térmicos, horas de conforto/desconforto e consumo energético por sistema de resfriamento (ar-condicionado). Esta ocupação foi determinada conforme perfil apresentado na Tabela N2 (Apêndice N).

## Materiais e componentes

Os materiais e componentes são descritos conforme a Tabela 4.16, considerando o seu local de aplicação, espessura e as propriedades de condutividade térmica ( $\lambda$ ), calor específico (c) e densidade. Os dados apresentados foram retirados do *software Design Builder*. Os materiais são descritos com mais detalhes no Apêndice N (Figuras N1 à N4).

---

<sup>41</sup> Foram consideradas 6 pessoas por apartamento e esse total foi dividido pela metragem quadrada do apartamento.

Tabela 4.16 – Descrição dos materiais utilizados nas simulações para a EHM

Local	Material	Espessura (mm)	$\lambda$ (W/m.k)	c (kJ/kg.k)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Vedações Internas e Externas	Blocos de Concreto, sem revestimento externo. Revestimento interno de gesso, com espessura e massa desprezíveis.	140	0,51	1,0	1400
Lajes	Concreto Armado	150	1,13	1,0	2000
	Nivelamento	20	0,72	0,84	1860
Pisos Internos	Cerâmica porcelanato	6	1,30	0,84	2300
	Assentamento com argamassa de cimento e areia <sup>42</sup>	3	0,72	0,84	1860
Piso Pilotis	Laje de Piso	100	1,13	1,0	2000
	Nivelamento	50	0,72	0,84	1860
	Argamassa de cimento e areia para assentamento	3	0,72	0,84	1860
	Cerâmica porcelanato	6	1,30	0,84	2300
Terreno	Terra comum	-	1,28	0,88	1460
Esquadrias Externas e janelas internas	Requadro em alumínio anodizado	5	160	0,88	2800
	Vidro comum incolor	6	0,90	1,0	2500 <sup>43</sup>
Fachadas Ventiladas	Revestimento de Granito	30	2,80	1,0	2600
	Revestimento de cerâmica porcelanato	12	1,30	0,84	2300
	Revestimento de ACM	4	45	0,42	7680

<sup>42</sup> No software *Design Builder* não existe a opção de argamassa de cimento, areia e cal, tipo comum no Brasil, por isso foi utilizada a argamassa de cimento e areia, também muito utilizada no país.

<sup>43</sup> O calor específico e densidade do vidro não foram encontrados no *software*, dessa forma, foram tabelados valores da ABNT NBR 15220:2003.

## **Illuminância e Lâmpadas**

Para determinação de valores de iluminância requeridos para cada ambiente foram consultadas a ABNT NBR 15575-1:2013, a ABNT NBR 5413:1992, cancelada em 21/03/2013 e a ABNT ISO/CIE 8995:2013, que substituiu a norma anterior. A última norma não especifica iluminância para ambientes internos de uma habitação, por isso, para estes ambientes, os valores de iluminância requeridos foram baseados na ABNT NBR 5413:1992. As iluminâncias requeridas foram especificadas conforme Tabela 4.17.

Tabela 4.17 - Tabela de Iluminância requerida por cômodo

<b>Ambiente</b>	<b>Iluminância Requerida (lux)</b>	<b>Norma Adotada</b>
Banheiros	150	ABNT NBR 5413:1992
Cozinha <sup>44</sup>	150	ABNT NBR 5413:1992
Quartos	100	ABNT NBR 5413:1992
Sala	150	ABNT NBR 5413:1992
Shaft's	0	ABNT NBR 5413:1992
Hall Social	100	ABNT ISO/CIE 8995:2013

Foram especificados dois tipos de lâmpadas, as mais econômicas atualmente utilizadas no mercado construtivo, e selecionadas conforme ambientes, apresentadas na Tabela N5.

## **Sistemas Mecânicos**

Foi considerada somente ventilação natural, não sendo considerado nenhum tipo de ventilação mecânica. Não foi considerado consumo energético para aquecimento de água e não foram considerados sistemas de aquecimento dos ambientes.

O sistema de resfriamento de ambientes determinado foi o tipo “*Split no fresh air*”, utilizando o perfil “Apartamento Cooling”, com diferentes eficiências<sup>45</sup> de aparelhos,

---

<sup>44</sup> A ABNT NBR 5413:1992 utiliza valores diferentes para área geral e área local. A ABNT NBR15575-1:2013 utiliza valor intermediário entre as áreas distintas da norma anterior. Para este trabalho utilizou-se o valor intermediário de área geral da norma ABNT NBR 5413:1992, de 150 lux.

conforme descrito na Tabela 4.18. Foram simuladas diferentes eficiências de aparelhos de ar-condicionado, pois no mercado existem diferentes aparelhos para serem adquiridos pelo consumidor final, e ainda, para avaliar a diferença de consumo energético dentre as diferentes eficiências.

Os sistemas de resfriamento só foram considerados para ambientes comumente resfriados em uma habitação unifamiliar, identificados como quartos e sala.

Tabela 4.18 - Eficiências consideradas para aparelhos de resfriamento dos ambientes

<b>Eficiência (CoP)</b>	<b>Selo Procel</b>	<b>Justificativa</b>
1.83	Não possui	Valor padrão do software para <i>Split no fresh air</i> .
2.80	C	Valor mínimo de eficiência para aparelhos com Selo Procel C, eficiência média.
3.20	A	Valor mínimo de eficiência para aparelhos com Selo Procel C, eficiência alta.

#### 4.6.4 Modelos Estudados

Para as simulações foram criados 03 modelos distintos representando as 03 tipologias estudadas (FVPP, FVPo e FVACM). Todos os modelos tiveram as mesmas especificações descritas nos itens anteriores, com zoneamento e norte, demonstrados na Figura 4.20.

<sup>45</sup> Aparelhos de Ar-condicionado possuem diferentes eficiências energéticas, ou seja, existem aparelhos que consomem mais ou menos energia do que outros. O Procel determina esses níveis de eficiência (de A a E, sendo o A mais eficiente e o E menos eficiente) e fornece um selo para cada uma delas, além de avaliar os equipamentos existentes no mercado. Os valores da Tabela 4.15 foram obtidos da Tabela de Eficiência para aparelhos Split Hi-Wall 2013, encontrada no site <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>.

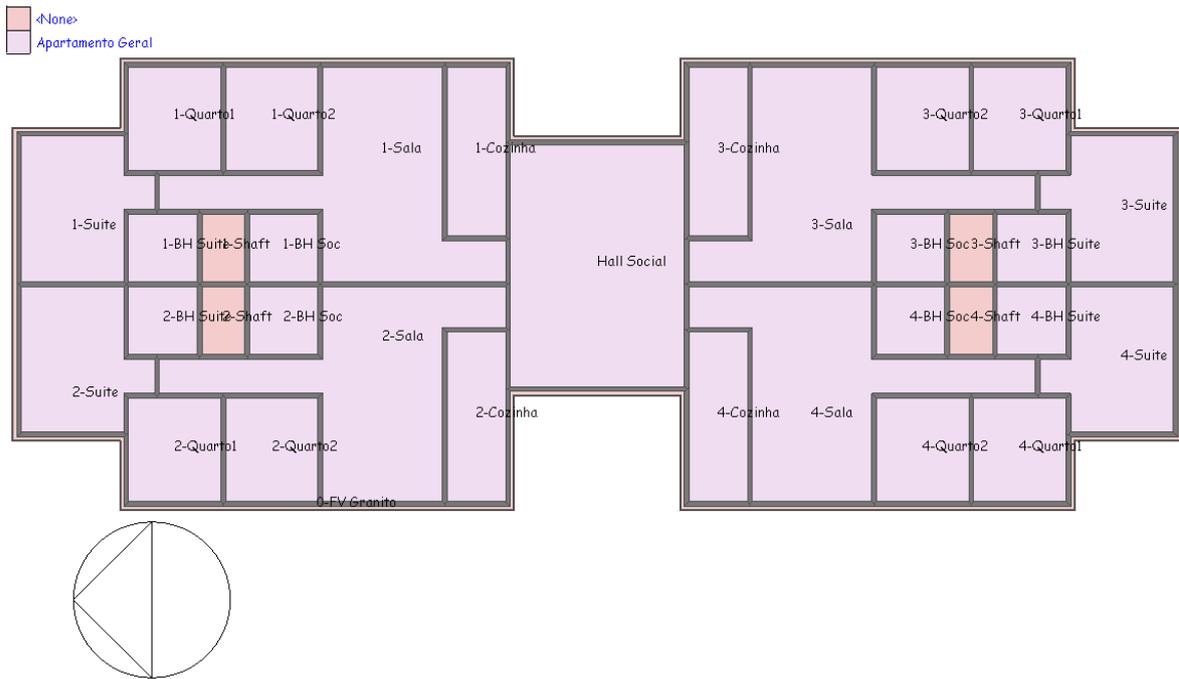


Figura 4.20 - Planta Baixa do Modelo com Zoneamento e Norte

As tipologias modeladas, resumidas na Tabela 4.18, seguiram descrições no Item 3.3 (Fachadas Inovadoras), cujas propriedades encontram-se na Tabela 4.19.

Tabela 4.19 - Especificação das tipologias modeladas

Variável	Imagem Ilustrativa	Espessura da câmara de ar (mm)	Espessura do revestimento (mm)
FVPP		100	30
FVPo		100	12
FVACM		70	4

Os modelos estudados foram colocados sobre pilotis, conforme Figura 4.21.

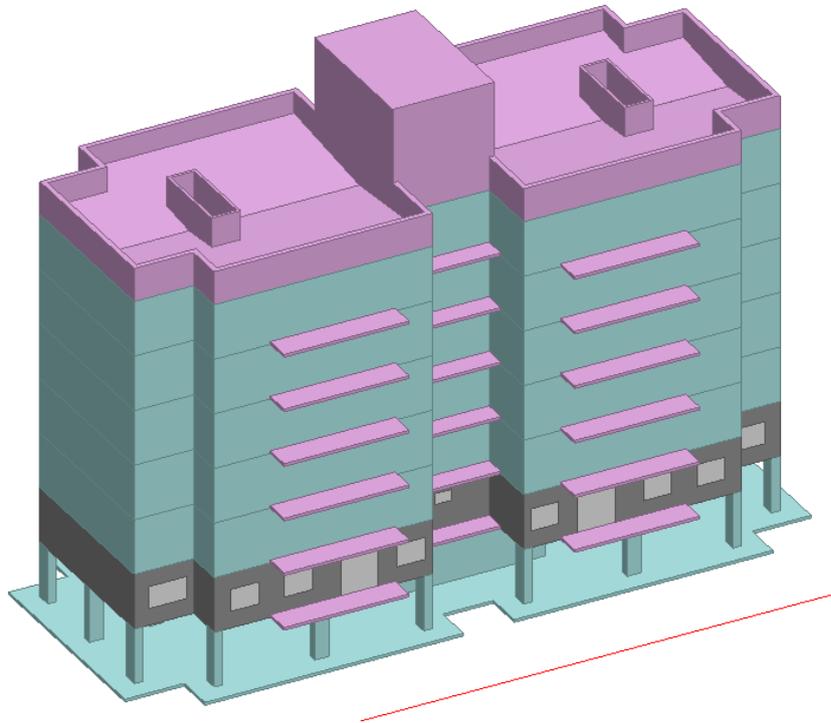


Figura 4.21 - Exemplo de um dos modelos estudados construído no *Design Builder*

#### 4.6.5 Rotina de Simulação

Foram realizadas simulações anuais com os três modelos distintos, para o primeiro pavimento, um pavimento intermediário e pavimento cobertura de um bloco, para cada eficiência de aparelho de ar-condicionado, contabilizando um total de 52.560 horas<sup>46</sup> por tipologia.

Após as simulações realizadas, os resultados foram contabilizados para análise dos mesmos, convertendo-os para uma EHM completa.

---

<sup>46</sup> Em um ano são simuladas 8.760 horas, como são simulados os pavimentos separadamente (seis pavimentos), somam-se 52.560 horas.

#### 4.6.6 Dados de Horas de Desconforto obtidas

Após as simulações, os resultados foram tabelados de acordo com os itens: Quantidade de Horas com valores  $TO < 18^{\circ}C$ , Quantidade de Horas com valores  $TO > 29^{\circ}C$ , Quantidade de Horas com valores  $TA < 18^{\circ}C$ , Quantidade de Horas com valores  $TA > 29^{\circ}C$ .

Desconforto por frio é representado por  $TO < 18^{\circ}C$  e desconforto por calor por  $TO > 29^{\circ}C$ . Os dados de consumo energético são baseados nos dados de Temperatura Ambiente (TA). Na Tabela 4.20 são apresentados os quantitativos de horas de desconforto do usuário na Edificação por TO e a quantidade de horas de TA fora da faixa de conforto, que determina o acionamento dos sistemas artificiais. Na Tabela 4.21 são apresentados os mesmos dados, porém por metro quadrado<sup>47</sup> da EHM.

Tabela 4.20 - Quantitativo de Horas de Desconforto do Usuário na EHM por ano

Tipologia	TO < 18° (hr/ano)	TO > 29° (hr/ano)	TO > 29° (hr/ano) %	TA < 18° (hr/ano)	TA > 29° (hr/ano)	TA > 29° (hr/ano) %
FVPP	0,00	1062,00	2,02%	0,00	671,38	1,28%
FVPo	0,00	895,00	1,70%	0,00	603,03	1,15%
FVACM	0,00	1001,00	1,90%	0,00	694,56	1,32%

Tabela 4.21 - Quantitativo de Horas de Desconforto do Usuário na EHM por ano/m<sup>2</sup>

Tipologia	TO < 18° (hr/ano)	TO > 29° (hr/ano)	TA < 18° (hr/ano/m <sup>2</sup> )	TA > 29° (hr/ano/m <sup>2</sup> )
FVPP	0,00	2,84	0,00	1,80
FVPo	0,00	2,39	0,00	1,61
FVACM	0,00	2,68	0,00	1,86

O sistema de resfriamento somente é ativado quando a TA atinge valor superior a  $29^{\circ}C$ . Não foi registrada nenhuma hora de TA inferior a  $18^{\circ}C$ , o que faz com que nenhum sistema de aquecimento possa ser acionado. Foi verificada porcentagem muito baixa de horas de desconforto anuais para todas as tipologias estudadas (Tabela 4.20).

<sup>47</sup> Os dados de horas de desconforto são apresentados por m<sup>2</sup> da EHM, pois o consumo energético e as energias incorporadas são assim calculados.

De acordo com dados de IPT (1998), nos estudos de avaliação de desempenho térmico de edificações, a faixa de conforto adotada pode ficar de 12 a 29°C, pois as temperaturas entre 12°C e 18°C são normalmente atingidas no período da madrugada, quando o ser humano pode ser aquecido através de roupas mais quentes ou cobertores, sem a necessidade de aquecimento elétrico. Observa-se que, no período considerado, não foi registrada nenhuma hora de TO abaixo de 18°C, para a cidade de Brasília.

#### 4.6.7 Dados de Consumo Energético obtidos

Foram realizadas simulações com três eficiências para ar-condicionado tipo *split*. Os valores de eficiência, também chamados de Coeficientes de Desempenho (CoP – *Coefficient of Performance*), foram de 1,83 - valor *default* (padrão) do software - 2,80 - valor de eficiência mínima para etiqueta C do Procel - e 3,20 - valor de eficiência mínima para etiqueta A do Procel.

Na Tabela 4.22 são apresentados os resultados de consumo energético anual por m<sup>2</sup> da EHM<sup>48</sup> para as três eficiências.

Tabela 4.22 - Consumo Energético Anual da Edificação por m<sup>2</sup>

Tipologia	Eficiência (CoP)	Resfriamento (kWh/ano/m <sup>2</sup> )
FVPP		27,80
FVPo	1,83	24,06
FVACM		22,56
FVPP		18,17
FVPo	2,80	15,73
FVACM		14,74
FVPP		16,83
FVPo	3,20	13,95
FVACM		12,90

<sup>48</sup> Para o consumo energético de iluminação foi considerado o m<sup>2</sup> da edificação total, para o consumo energético do ar-condicionado foi considerado o m<sup>2</sup> das áreas passíveis de condicionamento (quartos e sala).

Com base nos dados de consumo energético anual por m<sup>2</sup> da EHM foram calculados os consumos energéticos para a Vida Útil (VU) de 50 anos da EHM por m<sup>2</sup>. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 4.23.

Tabela 4.23 - Consumo Energético para VU da EHM por m<sup>2</sup>

<b>Tipologia</b>	<b>Eficiência (CoP)</b>	<b>Resfriamento (kWh/VU/m<sup>2</sup>)</b>
FVPP		1389,79
FVPo	1,83	1203,07
FVACM		1127,95
FVPP		908,32
FVPo	2,80	786,31
FVACM		737,20
FVPP		841,39
FVPo	3,20	697,66
FVACM		645,06

Legenda: Resfriamento = (dados da Tabela 4.21) x 50<sup>49</sup>

#### 4.6.8 Dados de EIo

EI é medida em forma de energia primária (Capítulo 2, Item 2.2), portanto, é necessária a conversão destes dados para esta. Para isso foi utilizado o Fator de Conversão de 1.67, apresentado no Item 2.2, e os dados de consumo energético apresentados na Tabela 4.23. Os resultados de EIo em kWh/VU/ano são apresentados na Tabela 4.24.

<sup>49</sup> Os dados apresentados na Tabela 4.21 foram arredondados para apresentação, podendo apresentar alguma diferença nos dados da Tabela 4.22, onde foi utilizado para cálculo valores sem arredondamento.

Tabela 4.24 - EI Operacional das tipologias estudadas para EHM

<b>Tipologia</b>	<b>Eficiência (CoP)</b>	<b>Fator Conversão</b>	<b>Resfriamento (KWh/VU/m<sup>2</sup>)</b>
FVPP			2320,94
FVPo	1,83	1,67	2009,13
FVACM			1883,68
FVPP			1516,90
FVPo	2,80	1,67	1313,14
FVACM			1231,12
FVPP			1405,13
FVPo	3,20	1,67	1165,09
FVACM			1077,24

Legenda: Resfriamento = (dados da Tabela 4.22) x Fator Conversão

Os dados de EI são padronizados em unidade de MJ (megajoule), portanto, os dados de Elo precisaram ser convertidos<sup>50</sup> para esta unidade. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 4.25.

Tabela 4.25 - EI Operacional das tipologias estudadas para EHM em MJ/VU/m<sup>2</sup>

<b>Tipologia</b>	<b>Eficiência (CoP)</b>	<b>Resfriamento (MJ/VU/m<sup>2</sup>)</b>
FVPP		8355,40
FVPo	1,83	7232,88
FVACM		6781,25
FVPP		5460,82
FVPo	2,80	4727,29
FVACM		4432,04
FVPP		5058,46
FVPo	3,20	4194,34
FVACM		3878,08

Legenda: Resfriamento = (dados da Tabela 4.23) x 3,6

<sup>50</sup> 1 kWh = 3,6 MJ

## 4.7 FASE DE MANUTENÇÃO

Para a fase de manutenção utilizaram-se os dados de energia incorporada obtidos na fase de pré-uso para as tipologias desse estudo. Um esquema da metodologia proposta para a Fase de Uso é apresentado na Figura 4.22.

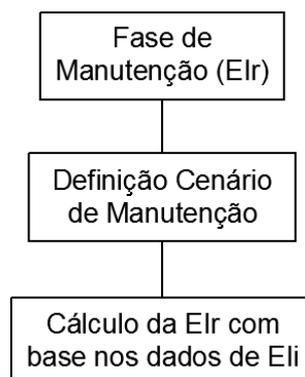


Figura 4.22 - Metodologia proposta para a Fase de Manutenção

Existem dois principais tipos de manutenção: Preventiva e Corretiva, sendo a primeira realizada periodicamente observando os dados descritos por Flores e Brito (2002), na Tabela 4.26, a fim de evitar danos na edificação, e a segunda realizada mediante aparecimento de anomalias na edificação.

Tabela 4.26 - Dados para definir numa estratégia preventiva (FLORES & BRITO, 2002)

- 
- Vida útil de cada elemento;
  - Níveis mínimos de qualidade / exigências;
  - Anomalias relevantes;
  - Causas prováveis;
  - Caracterização dos mecanismos de degradação;
  - Sintomas de pré-patologia;
  - Escolha das operações de manutenção;
  - Análise de registos históricos (periodicidade de intervenções, etc.);
  - Comparação com o comportamento em outros edifícios (antes e após reparações);
  - Recomendações técnicas dos projectistas, fabricantes / fornecedores, etc.;
  - Custos das operações.
-

Tendo em vista que as tipologias estudadas nesta pesquisa ainda são muito recentes, não foram encontrados dados de periodicidade de manutenção com o mercado construtivo. A norma ABNT NBR 15575-1:2013, determina, como anteriormente identificado, a Vida Útil (VU) para fachadas de 40 à 60 anos, conforme é apresentado na Tabela 4.27 e identifica que o revestimento externo da edificação, seja ele aderido ou não aderido Vida Útil de Projeto (VUP) de 20 a 30 anos.

Tabela 4.27 - Exemplos de VUP (adaptado de ABNT NBR 15575-1:2013)

Parte da Edificação	Exemplos	VUP (anos)	
		Mínimo	Superior
Vedação Externa	Paredes de vedação externas, painéis de fachada, fachadas-cortina.	≥ 40	≥ 60
Revestimento de fachada aderido e não aderido	Revestimento, molduras, componentes decorativos e cobre-muros.	≥ 20	≥ 30

Foram identificadas e consultadas as normas ABNT NBR 5674:1999 - Manutenção de Edificações, e ABNT NBR 14037:1998 – Manual de Operação, Uso e Manutenção das Edificações, para identificar a periodicidade de manutenções para as edificações, porém as mesmas possuem esclarecimentos gerais, mas não identificam tal periodicidade.

Para determinar a periodicidade de manutenção das tipologias foi analisada a VU dos materiais destas, a fim de se obter parâmetros mais significativos, em bibliografia nacional e internacional (Tabela 4.28).

Tabela 4.28 - VU dos materiais das tipologias estudadas

Componente	Material	VUP (anos)	Substituições	Referência
Perfis e Grapas	Alumínio	60	0	Bessa (2010)
Grapas e Parafusos	Aço Inox	Vida toda	0	Houska (2008)
	Porcelanato	> 50	Somente em caso de ruptura	Utifirve e Villagres (2012) <sup>51</sup>
Revestimento	Placa Pétreo	Vida toda	Somente em caso de ruptura	NAHB (2007)
	ACM	60	0	Bessa (2010)

<sup>51</sup>Informação coletada através de e-mail.

Nenhum dos materiais das tipologias possui VUP inferior a requisitada pela ABNT NBR 15575-1:2013 e a mesma especifica VU média de 25 anos para os materiais de revestimento de fachadas.

Partiu-se para criar um cenário de manutenção, onde foram consideradas vistorias periódicas de 04 vezes em 50 anos, ou seja, a cada 12,5 anos (metade do valor da VU dos revestimentos), com substituição de 5% de todos os componentes das tipologias. Este cenário pode sofrer alterações, na medida em que mais pesquisas forem realizadas sobre o assunto, onde então será possível a consolidação desses dados.

#### 4.7.1 Dados de EIr

Para o cálculo da Energia Incorporada Recorrente (Tabela 4.29) foram utilizados como base os dados de EIi (Tabela 4.13) e calculada substituição de 5% do material a cada 12,5 anos, ou seja, 4 vezes durante a VU adotada de 50 anos.

Tabela 4.29 - EIr das tipologias estudadas para EHM

Tipologia Adotada	Materiais	Energia Incorporada Recorrente (EIr) para EHM			
		(a)	(b)	(c)	(d)
		EIi / m <sup>2</sup> da EHM por material (MJ/m <sup>2</sup> )	EIr / m <sup>2</sup> da EHM por material (MJ/m <sup>2</sup> )	EIi / m <sup>2</sup> da EHM (MJ/m <sup>2</sup> )	EIr / m <sup>2</sup> da EHM (MJ/m <sup>2</sup> )
FVPP	Vedação Externa	240,30	48,06	560,83	112,17
	Alumínio	186,01	37,20		
	Aço Inox	117,94	23,59		
	Placas Pétreas	16,59	3,32		
FVPo	Vedação Externa	240,30	48,06	878,65	175,73
	Alumínio	508,80	101,76		
	Aço Inox	114,64	22,93		
	Porcelanato	14,91	2,98		
FVACM	Vedação Externa	240,30	48,06	905,44	181,09
	Alumínio	600,43	120,09		
	Aço Inox	55,75	11,15		
	ACM	8,95	1,79		

Legenda: a = dados da coluna e da Tabela 4.13; b = 4 x 0,05 x a; c - dados da coluna f da Tabela 4.13; d = (soma dos valores) b

## 5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas as análises de resultados de Energia Incorporada Total (EIT) e de cada tipo de EI (Eli, EIo e EIr) quantificado.

### 5.1 ET DAS TIPOLOGIAS ESTUDADAS

Neste item serão analisados os resultados gerais obtidos. Pode-se verificar na Tabela 5.1 e 5.2 e na Figura 5.1 que a energia mais significativa nos três sistemas é a EIo, resultado esperado, uma vez que se trata da energia consumida na edificação durante sua VU.

Tabela 5.1 - Energias Incorporadas das tipologias estudadas em valores

<b>Tipologia</b>	<b>Eli (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>EIo - CoP 2,80 (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Eir (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>EIT</b>
FVPP	560,83	5460,82	112,17	6133,82
FVPo	878,65	4727,29	175,73	5781,67
FVACM	905,44	4432,04	181,09	5518,57

Tabela 5.2 - Energias Incorporadas das tipologias estudadas em porcentagem

<b>Tipologia</b>	<b>Eli (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>EIo - CoP 2,80 (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Eir (MJ/m<sup>2</sup>)</b>
FVPP	9,14%	89,03%	1,83%
FVPo	15,20%	81,76%	3,04%
FVACM	16,41%	80,31%	3,28%

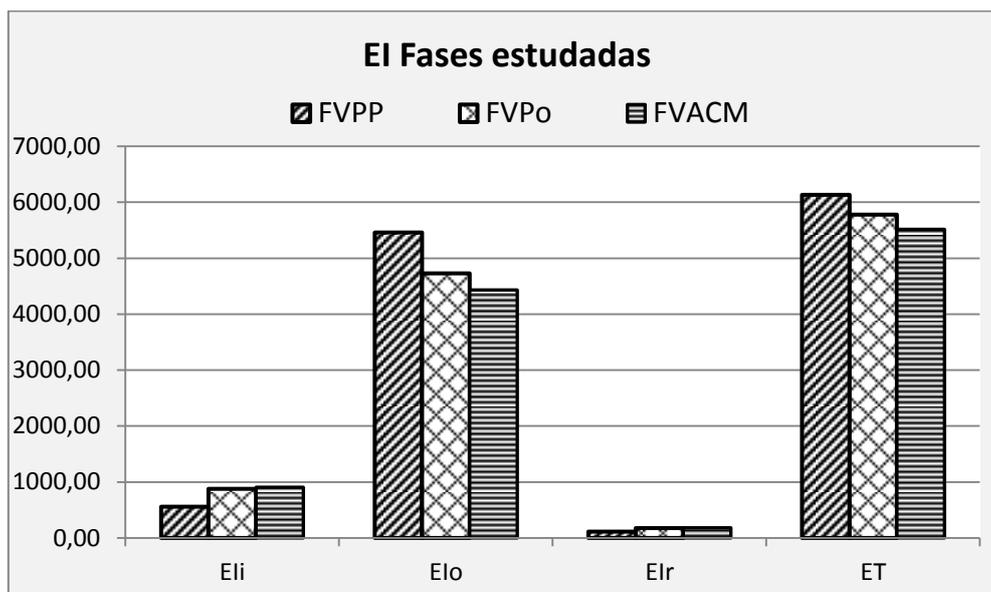


Figura 5.1 – Energias Incorporadas das tipologias estudadas

A EIr foi muito pouco significativa, tendo em vista que as tipologias estudadas tratam-se de sistemas cujos componentes possuem VU igual ou superior a VU da edificação.

A Eli foi significativa, pois reduziu a diferença entre as tipologias no resultado final (ET). Teve-se, portanto, que a tipologia com maior ET (Eli + EIo + EIr) foi a FVPP, seguida pela FVPo e FVACM.

A tipologia FVACM teve a maior Eli e EIr, porém, devido aos resultados de EIo, apresentou ser a tipologia com menor ET. Para a tipologia FVPP é interessante observar que o cenário ocorrido na Eli se inverte na ET, demonstrando que estudos que não levam em consideração a EIo podem não trazer resultados fidedignos quando se trata de ET.

Pode-se verificar nas Figuras 5.2-a, 5.2-b e 5.2-c que para as três tipologias a EI mais representativa foi a EIo, sendo que se mostrou mais significativa na tipologia FVPP. As demais tipologias demonstraram valores similares em todos os tipos de EI.

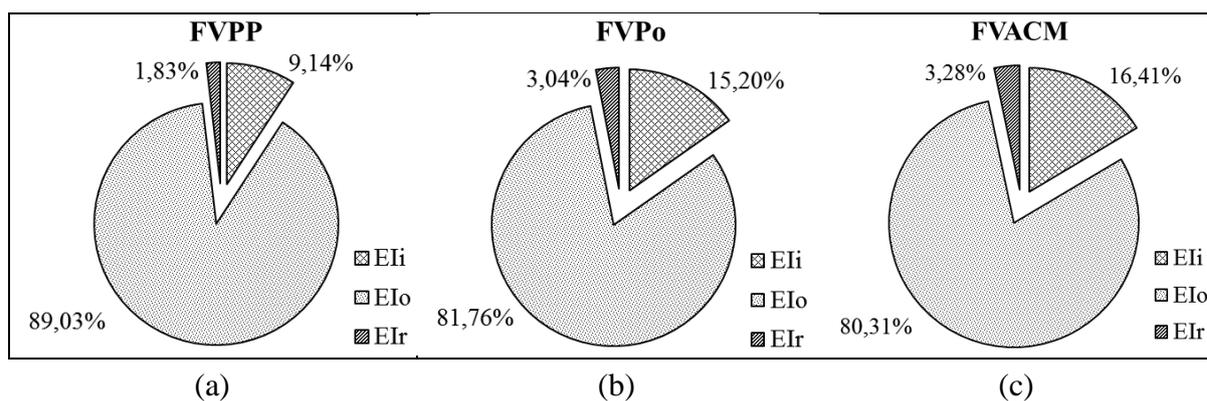


Figura 5.2 - EI das tipologias estudadas para cada fase da ACVE considerada

A EIi da FVPP teve o menor valor entre as tipologias pois o revestimento de placas pétreas possui EIi muito baixa. Quando se trata de EIo esta tipologia teve o maior resultado, devido ao revestimento de placa pétreas possuir os maiores valores de U e CT. Transmitância Térmica (U)   a capacidade do material de transmitir calor, ou seja, a FVPP transmite mais calor do ambiente externo para o ambiente interno, porém a U da FVPP e da FVPo   a mesma. A CT da FVPP   quase o dobro da CT da FVPo, sendo que Capacidade Térmica   a capacidade do material de perder ou absorver calor, e   calculada em fun o do calor específico (c), espessura e densidade do material, como o revestimento de placas pétreas possui maior calor específico (capacidade do material absorver calor) que o porcelanato, a FVPP transmite (U) e absorve (c) mais calor .

Percebe-se com este estudo que a EIo possui a maior parcela da ET analisada. Dentre os estudos brasileiros que quantificam a EIo estão o de Paulsen e Sposto (2013), Graf (2011), Bessa (2010) e Tavares (2006).

Paulsen e Sposto (2013)<sup>52</sup> estudaram habita es convencionais brasileiras para o programa “Minha Casa Minha Vida” do governo federal. Quantificaram a EIi (incluindo a execu o), EIo, EIr e EI de disposi o final. A EIo representou 68,9% do total, enquanto que a EIi e EIr representaram 15% cada. A EI de disposi o final representou somente 1,1% da EIT.

<sup>52</sup> Considerou-se Fator de Conversão de 1,60. A EIo levou em considera o equipamentos eletrônicos e energia de coc o. A VU considerada foi de 50 anos.

No estudo de Graf (2011)<sup>53</sup> foi quantificada a E<sub>li</sub> e E<sub>lo</sub> de habitações usualmente construídas no Brasil, não foi quantificada a E<sub>lr</sub>. Trabalhando os dados apresentados, chegou-se a relação de 95,16% de E<sub>lo</sub> para 4,84% de E<sub>li</sub>, o que vem a confirmar os resultados encontrados nesta pesquisa.

Bessa (2010) trabalhou com EI e emissão de CO<sub>2</sub> para Fachadas de Escritório, com 04 estudos de caso. Levantou dados de E<sub>li</sub> (considerando a fase de execução), E<sub>lo</sub> e EI de disposição final, mas não considerou a E<sub>lr</sub>. Neste estudo a E<sub>lo</sub> representou de 87 a 97% da EIT avaliada<sup>54</sup>.

Tavares (2006)<sup>55</sup> estudou 05 modelos de edificações habitacionais e levantou dados de E<sub>li</sub> (considerando a fase de execução), E<sub>lo</sub> (equipamentos e cocção), E<sub>lr</sub> e EI de disposição final. Neste estudo a E<sub>lo</sub> representou em um modelo 48,5% e nos outros 04 modelos de 62 a 68% da EIT avaliada. Ainda percebe-se que a E<sub>li</sub> (19 a 32%) apresentou-se maior do que a E<sub>lr</sub> (8 a 19%) em todos os modelos.

Os estudos de Tavares (2006), Paulsen e Sposto (2013) não utilizaram simulações computacionais para quantificar a E<sub>lo</sub>, ao contrário dos estudos de Graf (2011) e Bessa (2010). Os estudos que utilizaram de recursos de simulação computacional obtiveram percentuais de E<sub>lo</sub> mais próximos aos encontrados neste estudo. A diferença entre os estudos se tornam maiores para aqueles que trabalharam com estimativas de dados para o cálculo de E<sub>lo</sub>.

Verificou-se ainda que muitos estudos não levam em consideração o Fator de Conversão de Energia de Uso Final para Energia Primária.

Dentre os estudos internacionais analisados estão o de Sharma et al. (2011), Gustavsson e Joelsson (2010) e Huberman e Pearlmutter (2008).

---

<sup>53</sup> No estudo de Graf foi considerada somente a energia proveniente de sistemas de resfriamento/aquecimento para E<sub>lo</sub>, não sendo quantificada a energia proveniente de iluminação. Foi utilizado nas simulações CoP 2,5. A E<sub>lo</sub> encontrada foi quantificada por ano e não por VU e não foi utilizado o Fator de Conversão de Energia de Uso Final para Energia Primária. Para fins de comparação os dados foram convertidos para VU de 50 anos e utilizado o Fator de Conversão de 1,67 como no presente estudo.

<sup>54</sup> Bessa considerou VU de 60 anos e perda de energia na transmissão de 8%, porém não usou Fator de Conversão. O valor de CoP utilizado foi de 3,5.

<sup>55</sup> Tavares quantificou a E<sub>lo</sub> de equipamentos eletrônicos e cocção. Não foram encontrados dados sobre Fator de Conversão neste estudo. Foi considerada VU de 50 anos.

O estudo de Sharma et al. (2011) realizou uma revisão de ACVE em 13 edificações em diferentes países, sendo 04 comerciais e 09 habitacionais. Foi verificado neste estudo que as edificações comerciais são responsáveis por maior consumo energético do que as edificações habitacionais e ainda que a fase operacional é responsável pela maior parcela de EI do ciclo de vida das edificações, com cerca de 80 a 85% da ET.

Gustavsson e Joelsson (2010) fizeram um estudo comparando a EIi e EIo de casas convencionais e casas energeticamente eficientes. Verificaram que as casas convencionais possuem maior EIo do que as energeticamente eficientes, enquanto que as segundas obtiveram acréscimo de EIi. Citam um exemplo onde o acréscimo de isolamento térmico na cobertura e janelas eficientes reduziram a EIo cerca de 10 vezes o valor que foi acrescido em EIi, demonstrando que mesmo tendo aumento de EIi na produção dos materiais eficientes, a EIo apresenta redução significativa. Este estudo demonstra claramente que a escolha de materiais de construção influencia drasticamente a ET das edificações.

Huberman e Pearlmutter (2008) realizaram uma ACVE do uso de diferentes materiais de construção no deserto de Negev. Neste estudo foi demonstrado que em construções no deserto a EIi pode ser tão ou mais significativa que a EIo, e por isso a escolha de materiais de construção que possuam menor EIi irá influenciar significativamente a ET da edificação. No caso analisado a EIi era responsável por cerca de 60% da ET e a substituição de materiais convencionais industrializados por materiais alternativos gerou economia de 30 a 40%, e na vida útil da edificação significou redução de cerca de 15 a 20% da ET.

## **5.2 FASE DE PRÉ-USO**

Observa-se com base na Figura 5.3, que a FVACM possui massa inferior às demais tipologias, em torno de 44,2% da massa da FVPo e de 27,7% da massa da FVPP. Porém, apesar de sua menor massa, possui um valor alto de EIi, quase o mesmo da FVPo.

Enquanto a FVPo e FVACM obtiveram valores similares de EIi, a FVPP teve sua EI quase 40% inferior aos demais sistemas, devido a EI das placas pétreas ser muito baixa (2 MJ/Kg), apesar da maior massa observada.

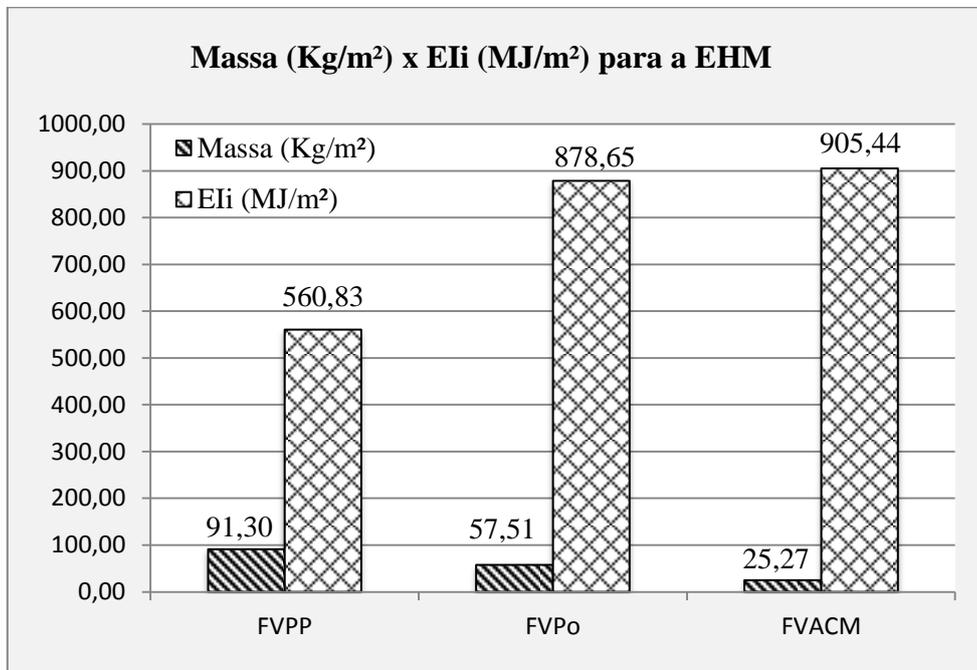


Figura 5.3 - EI das tipologias estudadas para cada fase da ACVE considerada

Os valores de EIi equiparáveis da FVPo e FVACM justificam-se pelo fato do revestimento ACM possuir alta EIi em rela o ao Porcelanato, porém menor EIi quando se trata dos materiais da estrutura (Alumínio e Aço Inox). A maior EIi da estrutura da FVPo em rela o   FVACM justifica-se pelo fato do revestimento Porcelanato ter massa mais de 6 vezes maior do que a do ACM, requisitando a utiliza o de mais componentes de sustenta o na estrutura (Figuras 5.4 e 5.5).

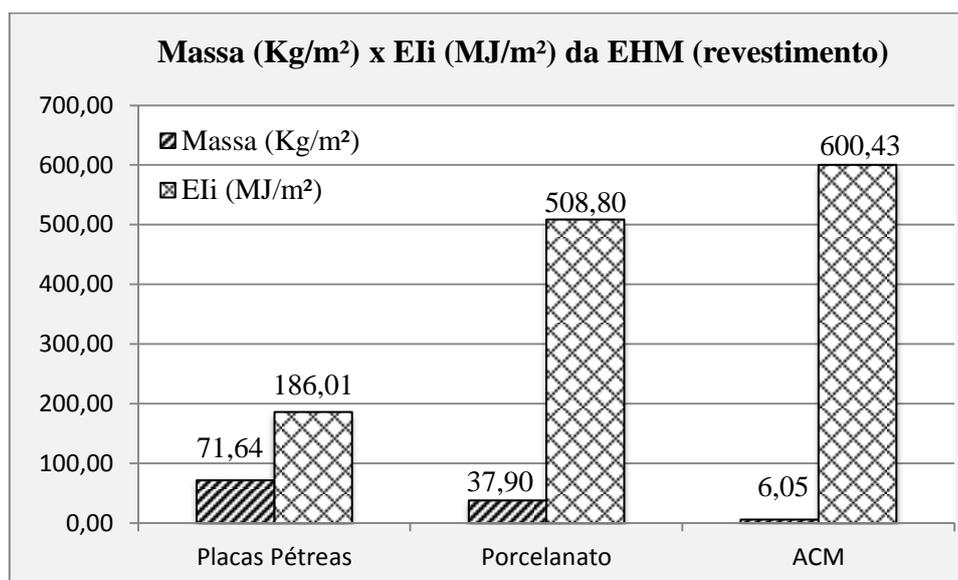


Figura 5.4 - Relação Massa x EI da EHM para os revestimentos

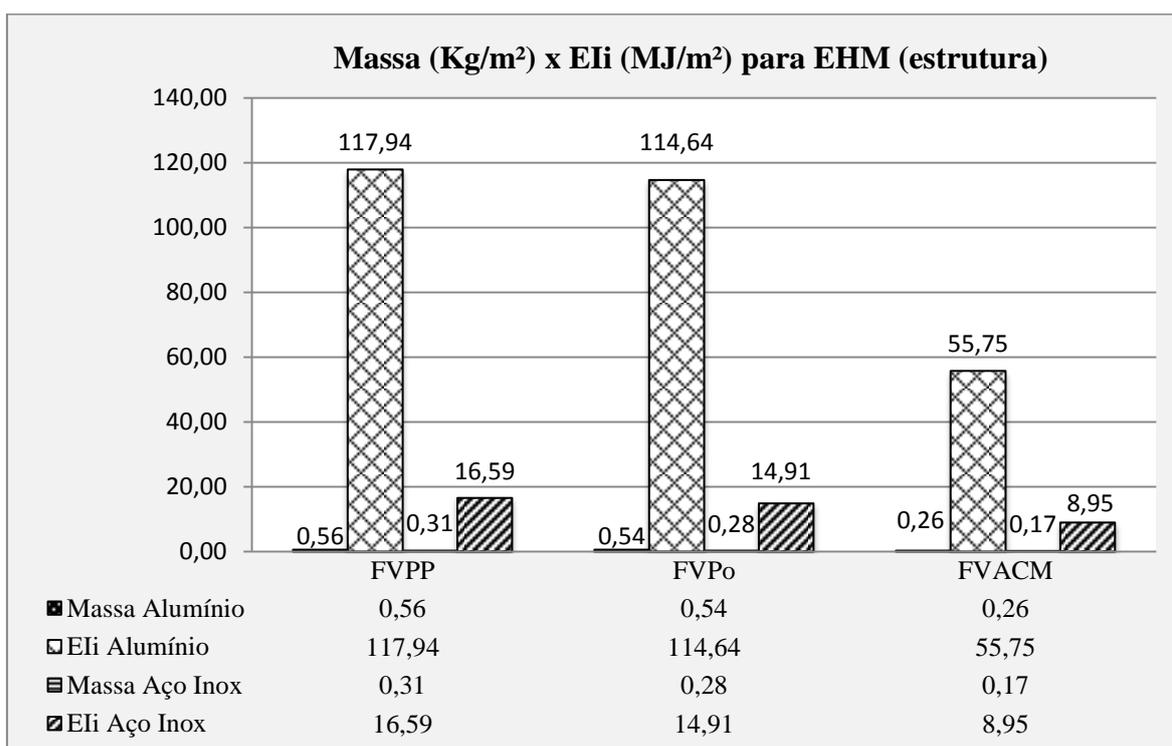


Figura 5.5 - Relação Massa x EI da EHM para os materiais da estrutura

Pode-se perceber pela Figura 5.4 que a EIi das Placas Pétreas representa cerca de 31% do valor da EIi do ACM, e cerca de 36,5% da EIi do Porcelanato, ou seja, possui EIi muito inferior aos demais revestimentos. Em contrapartida sua massa é quase o dobro da massa do Porcelanato e quase doze vezes superior à massa do ACM.

Observa-se na Figura 5.5, que as massas e EI do alumínio e do aço inox não apresentam grandes variações para as tipologias FVPP e FVPo, fato que se justifica por serem subestruturas similares. Verifica-se uma queda na massa e EI na tipologia FVACM, justificado pelo fato deste revestimento possuir massa muito inferior aos demais, exigindo assim menor quantidade de componentes na subestrutura.

Todos os resultados obtidos para o alumínio foram baseados em dados de EI para material 100% novo, que possui EI de 210 MJ/Kg, enquanto que o alumínio anodizado reciclado possui 42,9 MJ/Kg (GRAF E TAVARES, 2010).

O estudo de Gouveia (2012) mostra que o revestimento de ACM também pode ser reciclado, apesar de não ser uma prática corrente no país, e utilizando placas de ACM reciclado pode-se reduzir em até 78,13% a EI. Se estes dados forem levados em consideração a EI de todos os sistemas sofrerá redução, devido ao alumínio reciclado, e a FVACM vai reduzir ainda mais sua EI devido ao ACM reciclado. Sendo assim, a vantagem geral da FVACM no panorama de ET será maior do que a apresentada neste estudo.

### **5.3 FASE DE USO**

Na fase de uso foram quantificadas: horas de desconforto do usuário por TO, quantidade de horas fora da zona de conforto por TA, e energia proveniente de sistema de resfriamento, somente ativado nas horas fora da zona de conforto por TA.

Obteve-se como resultado de EI os dados apresentados na Tabela 5.3, para as três eficiências de ar-condicionado (CoP) simuladas.

Tabela 5.3 - EI da Fase de Uso das tipologias estudadas para EHM

Tipologia	Eficiência (CoP)	Resfriamento (MJ/VU/m <sup>2</sup> )
FVPP		8355,40
FVPo	1,83	7232,88
FVACM		6781,25
FVPP		5460,82
FVPo	2,80	4727,29
FVACM		4432,04
FVPP		5058,46
FVPo	3,20	4194,34
FVACM		3878,08

Analisando os dados da Tabela 5.3 e a Figura 5.6 pode-se verificar que independentemente da eficiência do sistema de resfriamento, a tipologia que se mostrou mais eficiente foi a FVACM seguida da FVPo e FVPP, porém a diferença apresentada por m<sup>2</sup> entre FVACM e FVPo se mostrou menor do que entre a FVPo e FVPP.

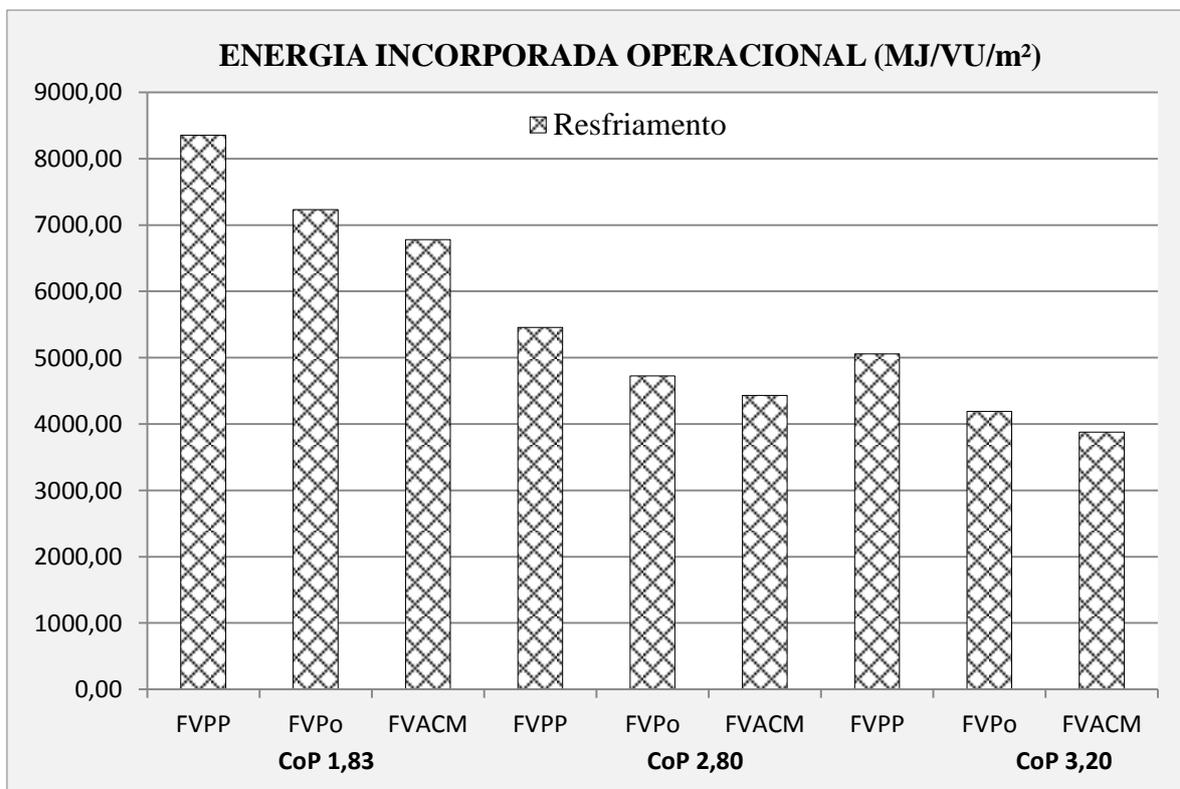


Figura 5.6 - Comparativo de EIo para as tipologias estudadas

O fato da EIo da FVACM ser inferior aos demais sistemas pode ser explicado pela baixa emissividade ( $\epsilon$ ) do revestimento ACM, responsável pelo maior valor da resistência térmica da camada de ar das fachadas ventiladas, provocando maior resultado da resistência térmica (RT), com conseqüente menor transmitância térmica (U) em comparação aos demais revestimentos. É importante observar que no caso do ACM não ter acabamento metálico a emissividade aumenta.

De acordo com o Gráfico das horas de desconforto por TO (Figura 5.7), baseado na Tabela 5.4, o índice TO apresenta de 1,70% a 2,02% de horas de desconforto por calor e nenhuma hora de desconforto por frio para EHM em sua VU, demonstrando não haver a necessidade de sistemas artificiais de aquecimento. A tipologia FVPo demonstrou a menor quantidade de horas de desconforto por calor, seguida da FVACM e FVPP, porém nenhuma das tipologias apresentou um valor significativo de horas de desconforto para o usuário.

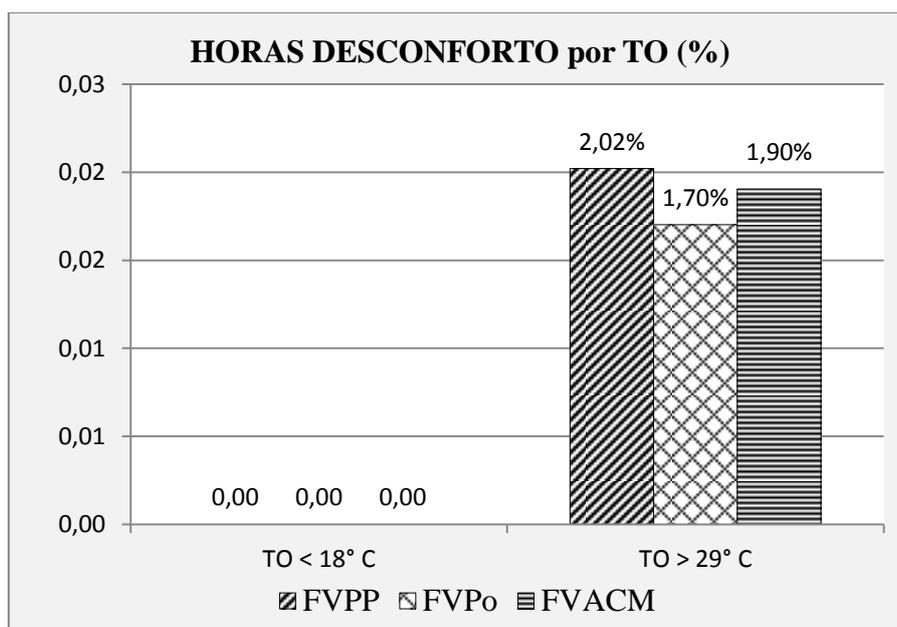


Figura 5.7 – Comparativo das Horas de Desconforto por TO

Tabela 5.4 - Horas de Desconforto para VU da EHM por m<sup>2</sup>

Tipologia	TO < 18° C (Hr/VU/m <sup>2</sup> )	TO > 29° C (Hr/VU/m <sup>2</sup> )	TA < 18° (Hr/VU/m <sup>2</sup> )	TA > 29° (Hr/VU/m <sup>2</sup> )
FVPP	0,00	142,04	0,00	89,79
FVPo	0,00	119,70	0,00	80,65
FVACM	0,00	133,88	0,00	92,89

Sendo o foco deste estudo a EIo, e esta utilizar o índice de TA para calcular o consumo por sistemas de resfriamento e/ou aquecimento, considerou-se valor nulo para sistemas de aquecimento e valores de TA > 29° C para acionamento do sistema de ar-condicionado.

Ao analisar a Figura 5.8, percebe-se que não existe linearidade entre horas de desconforto por calor e EIo por resfriamento. A FVPP é a tipologia com maior quantidade de horas desconfortáveis e maior EIo. A FVACM possui valor intermediário de horas de desconforto e menor EIo, enquanto a FVpo possui a menor quantidade de horas de desconforto e valor intermediário de EIo.

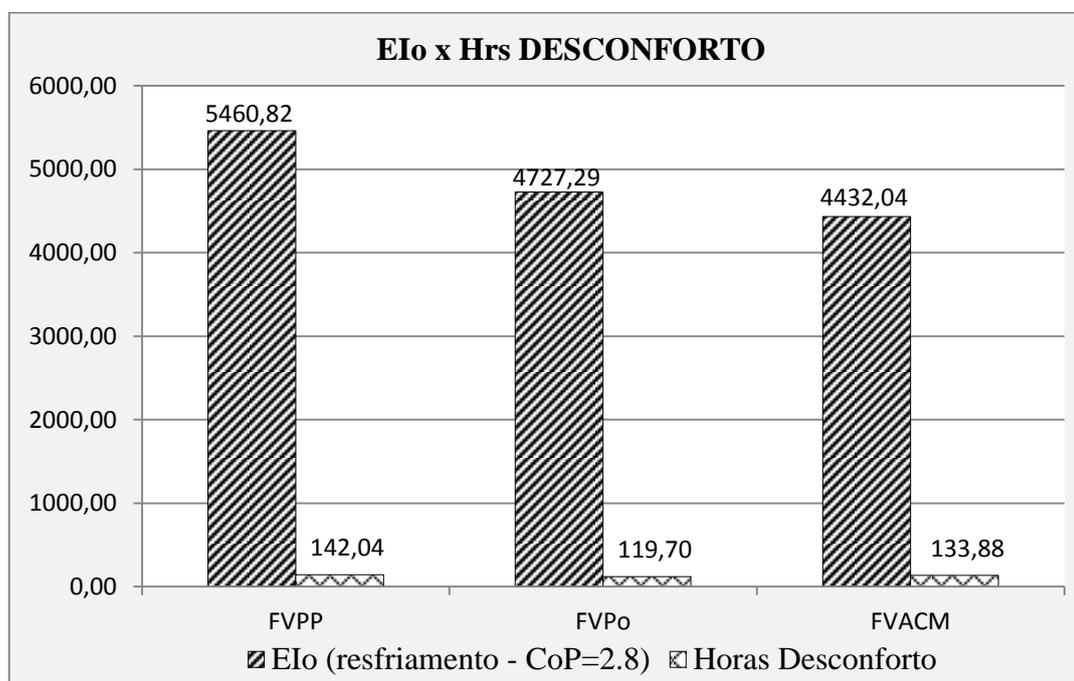


Figura 5.8 - Comparativo EIo resfriamento x Horas Desconforto (TO > 29° C)

A não linearidade apresentada pode ser justificada pelo fato do consumo energético do ar-condicionado não estar vinculado somente à quantidade de horas de desconforto, mas também às temperaturas acima da faixa de conforto estipulada (> 29°C). O ar-condicionado é acionado nas simulações todas as vezes que a TA atinge 29°C e permanecerá ativado para manter a temperatura abaixo de 29°C pelo tempo necessário<sup>56</sup>.

<sup>56</sup> Como exemplo, se existe desconforto a 31°C e desconforto a 35°C, as duas temperaturas são registradas como uma hora de desconforto, porém o consumo energético para trazer a temperatura de 35°C a 29°C é maior do que trazer a temperatura de 31°C a 29°C.

#### **5.4 FASE DE MANUTENÇÃO**

Nesta fase foi criado um cenário de manutenção baseado nas informações de EII, portanto os resultados comparativos desta fase são idênticos aos de EII.

## 6. CONCLUSÕES

O objetivo geral desta pesquisa foi levantar, quantificar e comparar a Energia Incorporada de três tipologias de Fachadas Ventiladas para as fases de Pré-Uso, Uso e Manutenção de uma ACVE.

Para alcançar os objetivos deste estudo foi realizado embasamento teórico a respeito da Energia no Brasil e no ciclo das edificações, incluindo ACV e ACVE para melhor compreensão do tema e da metodologia adotada. Embasamento teórico sobre eficiência energética de edificações para melhor compreensão da metodologia adotada para o levantamento de EIo. E, ainda, embasamento teórico sobre Fachadas Ventiladas e as diferentes tipologias trabalhadas.

Foi desenvolvido um projeto de EHM e projetos das Fachadas Ventiladas. Com base nestes projetos foi realizado o levantamento dos componentes e conseqüentemente massa dos materiais das tipologias para quantificar a EI dos materiais. Foram identificadas as localizações dos locais de produção dos materiais e levantadas as distâncias destes até o sítio de construção da EHM para quantificar a EI<sub>t</sub>. Esses procedimentos foram necessários para o cálculo das EI<sub>i</sub> e EI<sub>r</sub>.

Para o cálculo de EIo foram realizadas simulações computacionais no *software Design Builder* para quantificar o consumo energético proveniente de sistema de resfriamento. As simulações ainda forneceram dados de horas de desconforto para as tipologias. Foi verificado que o desempenho térmico dessas atende ao requisito de Transmissão Térmica da norma ABNT NBR 15575-4:2013, porém, somente a tipologia FVPP atende ao requisito de Capacidade Térmica.

Em relação à análise comparativa entre as diferentes energias incorporadas contidas da ET das tipologias adotadas, conclui-se que a EIo foi a mais significativa, confirmando resultados de outros estudos realizados, nacionais e internacionais. Este resultado era esperado, uma vez que a EIo é a energia consumida durante toda a VU da edificação. A EI<sub>r</sub>, que trata-se da energia provinda da manutenção dos sistemas foi a de menor valor, o

que se explica pelas tipologias adotadas serem baseadas em materiais cuja VU é igual ou superior a VU da edificação.

Na análise comparativa das tipologias em relação a ET, a tipologia FVACM apresentou a melhor eficiência (menor ET), apesar de maior E<sub>li</sub> e E<sub>Ir</sub>, seguida pela FVPo e FVPP. Verificou-se que estudos que não levam em consideração a E<sub>Io</sub> podem não trazer resultados fidedignos quando se trata de ET.

Na análise comparativa de Massa e E<sub>li</sub> das tipologias, conclui-se que a FVACM possui massa inferior as demais tipologias, em torno de 44,2% da massa da FVPo e de 27,7% da massa da FVPP. Porém, apesar de sua menor massa, possui valor alto de E<sub>li</sub>, quase o mesmo da FVPo. A FVPo e FVACM possuem valores similares de E<sub>li</sub>, porém a FVPP teve sua EI quase 40% inferior aos demais sistemas, devido a EI das placas pétreas ser muito menor, mesmo tendo a maior massa dentre as tipologias.

Em relação à análise comparativa de E<sub>Io</sub> a tipologia que se mostrou mais eficiente foi a FVACM seguida da FVPo e FVPP. Em relação às horas de desconforto por calor, a tipologia FVPo teve os melhores resultados, seguida da FVACM e FVPP. Porém, pela não linearidade entre horas de desconforto e E<sub>Io</sub> a FVACM mostrou-se a mais eficiente das tipologias, seguida pela FVPo e FVPP.

Em termos de ET, a tipologia FVACM demonstrou ser a mais eficiente neste estudo, seguida da FVPo e FVPP, porém deve-se perceber que a diferença entre as tipologias foi pequena. Sendo assim, a escolhas para um sistema de fachada ventilada para a cidade de Brasília-DF deve levar em consideração o custo das tipologias e a massa do revestimento, que acarretará em uma estrutura mais robusta da EHM, aumentando conseqüentemente o seu custo.

Este estudo foi baseado no ACM metalizado, que possui baixa emissividade, que faz com que tenha melhor eficiência energética na E<sub>Io</sub> e conseqüentemente na ET, porém no caso do ACM ser de material opaco a emissividade do mesmo torna-se igual aos demais revestimentos analisados modificando o quadro apresentado.

É necessário, ainda, observar que este estudo analisou a EI do alumínio e do ACM como 100% novo, sendo que no caso dos mesmos serem reciclados ou terem percentual de material reciclado na sua composição, os resultados podem ser diferentes levando a escolha de outra tipologia.

## **6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

Visando pesquisas de ACVE sobre diferentes materiais e sistemas construtivos para investigação da redução de impactos ambientais e na melhoria da habitabilidade das edificações são realizadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- ACVE de fachadas ventiladas que considere a fase de execução e desconstrução, tendo em vista se tratar de fases que oferecem benefícios no uso das tipologias estudadas;
- Análise comparativa entre os sistemas de fachada ventilada com fachada convencional de revestimento argamassado, com utilização de módulo CFD na fase de uso, durante as simulações computacionais;
- Analisar as tipologias estudadas considerando diferentes blocos de concreto e o uso de revestimento argamassado, de forma que os sistemas atendam a todos os requisitos de desempenho térmico estabelecido pela ABNT NBR 15575:2013;
- Levantamento e quantificação de outros impactos ambientais das tipologias estudadas, como emissão de CO<sub>2</sub>;
- ACVE de outros sistemas de fachadas ventiladas como cerâmica extrudada;
- Análise comparativa entre economia de energia e custo dos sistemas de fachada ventilada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. **ASHRAE Handbook: Fundamentals**. ASHRAE. Atlanta-GA. 2009. 926 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de Edifício - Requisitos. Rio de Janeiro, 1999. 06 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 5413**. Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro, 1992. 13 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6023**. Informação e Documentação – Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10820**. Caixilho para Edificação. Rio de Janeiro, 1989. 08 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 14037**: Manual de operação, uso e manutenção das edificações - Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro, 1998. 5 p.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14040**. Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. ABNT, 2009. 10 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-1**. Desempenho Térmico de Edificações. Parte 1: Definições, símbolos e Unidades. ABNT, 2003. 07 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-2**. Desempenho Térmico de Edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. ABNT, 2003. 21 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3**. Desempenho Térmico de Edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. ABNT, 2003. 23 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**. Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. ABNT, 2013. 83 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-4**. Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas - SVVIE. ABNT, 2013. 75 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNACIONAL. **ASTM E631-06**. Standard Terminology of Building Constructions. International Standard Worldwide. Philadelphia, 2006.

ALUCOBOND, Fabricante de Alumínio Composto. **Facade Fascination**. Singen, Alemanha. 2012.

ALUCOMAX, representante da Alucobond. **Apresentação de técnicas de instalação do produto para curso interno da empresa**. PPT. 13841kb. 2013.

ABIROCHAS, **Associação Brasileira de Rochas Ornamentais**. Banco de Dados. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br>>. Acesso em 12 de fevereiro 2013.

ASHRAE, Handbook. **Fundamentals**. Inch-Pound Edition. Ashrae. Atlanta-GA. 2009.

BALOCCO, Carla. **A simple model to study ventilated facades energy performance**. Energy and Buildings 34, p. 469–475. Elsevier Science Ltd. 2002.

BESSA, Vanessa Montoro Taborianski. **Contribuição à Metodologia de Avaliação das Emissões de Dióxido de Carbono no Ciclo de Vida das Fachadas de Edifícios de Escritórios**. Tese de Doutorado de Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010.

BRASIL-a. **Lei nº 10.295/01**. Lei da Eficiência Energética. Edição Federal. Brasília-DF. 17/10/2001.

BRASIL-b. **Decreto nº 4.059/01**. Regulamenta a Lei nº 10.295/01, de 17 de Outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília-DF. 10/12/2001.

DESIGNBUILDER. **Site oficial do software Design Builder**. Disponível em: <<http://www.designbuilder.co.uk/content/view/7/13/>>. Acesso em 22/11/2012.

ENERGYPLUS. **Site oficial do software Energy Plus**. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em 22/11/2012.

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

FANGER, P.O.; **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. McGraw-Hill, NewYork-NY. 1972.

FLORES, I.; BRITO, J. Estratégias de Manutenção em Fachadas de Edifícios. UM 13. Engenharia Civil. 2002.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. 6ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GIANCOLA, E. et al. **Experimental assessment and modelling of the performance of an open joint ventilated façade during actual operating conditions in Mediterranean climate**. Energy and Buildings 54, p. 363–375. Elsevier Science Ltd. 2012.

GIVONI, Baruch. **Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines**. Energy and Buildings 18, p. 11-23. 1992.

GOUVEIA, Graziela M. M. Martins. **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.

GUSTAVSSON, L.; JOELSSON, A. **Life cycle primary energy analysis of residential buildings**. Energy and Buildings 42, p. 210–220. Elsevier Science Ltd. 2010.

GRAF, Helena F. **Transmitância Térmica e Energia Incorporada na Arquitetura: sua relação nas superfícies no invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a Norma 12721**. Dissertação de Mestrado em Construção Civil. UFPR – Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR. 2011.

GRAF, Helena. TAVARES, Sérgio F. **Energia Incorporada dos Materiais de uma Edificação Padrão Brasileira Residencial**. In: Unifebe - 1º Congresso de Inovação, Tecnologia e Sustentabilidade. Anais eletrônicos. Brusque-SC. 2010. Disponível em: < <http://sites.unifebe.edu.br/~congressoits2010/artigos/artigos.php>>. Acesso em 04 fevereiro 2013.

HEISKANEN, E. **The institutional logic of life cycle thinking**. Journal of Cleaner Production 10, p. 427–437. Elsevier Science Ltd. 2002.

HOUSKA, Catherine. **Wrapped in Stainless Steel, Sustainable curtain walls and roofing**. The Construction Specifier, número 05, Agosto 2008.

HUBERMAN, N.; PEARLMUTTER, D. **A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert**. Energy and Buildings 40, p. 837–848. Elsevier Science Ltd. 2008.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 14040**. Environmental Management: Life Cycle Assessment: Principles and Framework. ISO copyright office. Geneva, Switzerland, 2006. 28 p.

\_\_\_\_\_. **ISO 7730**. Ergonomics of the thermal environment: Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. ISO copyright office. Geneva, Switzerland, 2005. 60 p.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Avaliação do desempenho térmico e energético de edificações e projetos**. Disponível em: < [http://www.ipt.br/solucoes/190-avaliacao\\_do\\_desempenho\\_termico\\_e\\_energetico\\_de\\_edificacoes\\_e\\_projetos.htm](http://www.ipt.br/solucoes/190-avaliacao_do_desempenho_termico_e_energetico_de_edificacoes_e_projetos.htm)>. Acesso em 14 Outubro 2013.

JOHNSON, J., et al., **The energy benefit of stainless steel recycling**. Energy Policy. Elsevier Science Ltd. 2007.

KISS, Paulo. **Pulmões Prediais**. Revista Techne, edição 39, março 1999.

LAMBERTS, R. et al. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações visando o Conforto Térmico**. Relatório Interno 02/94. Universidade Federal de Santa Catarina. Núcleo de Pesquisa em Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis-SC. 1994.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª Edição, revisada. São Paulo: Pro Livros, 2004.

- LEMIEUX, D. J.; TOTTEN, P.E. **Building Envelope Design Guide**. WBDG – Whole Building Design Guide. Washington, DC. 2010.
- MITHRARATNE, N.; VALE, B. **Life cycle analysis model for New Zealand houses**. Energy and Buildings 39, p. 483-492. Elsevier Science Ltd. 2004.
- MME, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2005: Ano base 2004**. Brasília-DF. 2005.
- MME-a, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2013: Relatório Síntese ano base 2012**. Brasília-DF, 2013.
- MME-b, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2013: Relatório Final ano base 2012**. Brasília-DF, 2013.
- NABUT NETO, Abdala Carim. **Energia Incorporada e Emissões de CO<sub>2</sub> de Fachadas. Estudo de Caso do Steel Frame para Utilização em Brasília**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. UnB – Universidade de Brasília. 2011.
- NAHB, National Association of Home Builders. **Study of Life Expectancy of Home Components**. Produzido por: Bank of America. Editor Jackie Jackson. Washigton-DC. 2007.
- OJEDA, Javier del Río. **Guia Basica para Fachadas Ventiladas Y Proteccion Solar: envolventes inteligentes**. Santiago, 2012.
- 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, p. 95-102. Elsevier Science Ltd. 2013.
- PINI. **Alternativas Tecnológicas para Edificações – volume I**. São Paulo. Pini: 2008.
- PROCEL INFO, Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B623FE2A5-B1B9-4017-918D-B1611B04FA2B%7D&Team=&params=itemID=%7BC46E0FFD-BD12-4A01-97D2-587926254722%7D%3BLumisAdmin=1%3B&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>>. Acesso em 20/09/2012.
- RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, KK. **Life cycle energy analysis of buildings: An overview**. Energy and Buildings 42, p. 1592-1600. Elsevier Science Ltd. 2010.
- ROCHA, Ana Paula. **Fachada Ventilada**. Revista Techne, edição 176, novembro 2011.
- ROMERO, M. A.; REIS, L. B. **Eficiência Energética em Edifícios**. Série Sustentabilidade, coordenador Arlindo Philippi Jr. Barueri, SP: Manole, 2012.
- SANJUAN, C. et al. **Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade**. Solar Energy 85, p. 1851-1863. Elsevier Science Ltd. 2011.

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

SHARMA, A. et al. **Life Cycle Assessment of Building: A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, p. 871-875. Elsevier Science Ltd. 2011.

SIQUEIRA JUNIOR, Amaury Antunes de. **Tecnologia de Fachada-Cortina com Placas de Grês Porcelanato.** Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil e Urbana. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2003.

SISTEMA FV. **Fachadas Ventiladas de Porcelanato.** Grupo Butech. Disponibilizado por Villagres. Arquivo pessoal. Formato mp4. 119 mb. 2012.

SOARES, Pedro. **Produção Global de Aço Inox crescerá até 12% este ano.** Folha de São Paulo online. Maio 2010. Disponível em:  
<<http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u736367.shtml>>. Acesso em 20/05/2013.

SPOSTO, R. M.; PALACIO, C. D. U.; NABUT NETO, A. C. **Energia Incorporada de Habitações de Interesse Social (HIS) para o programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Estudo de Caso do Light Steel Frame considerando-se critérios de desempenho térmico.** In: IV Congresso Brasileiro Ibero-Americano Habitação Social: ciência e Tecnologia. Área Inovação e Responsabilidade. Florianópolis-SC. Novembro de 2012.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida de Edificações Residenciais Brasileiras.** Tese de Doutorado de Engenharia Civil. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2006.

UTIFIRVE-a. **JAMA 166: Ventilated Facade System.** Documentación técnica. Barcelona-Espanha. 2012.

UTIFIRVE-b. **JAMA 623: Ventilated Facade System.** Documentación técnica. Barcelona-Espanha. 2012.

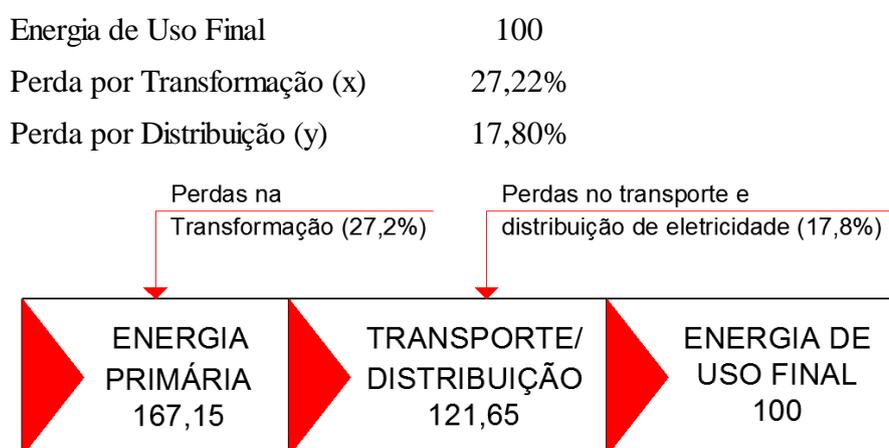
URIBE, P. C. D. **Análise Térmica e Energia Incorporada de Vedações para Habitações de Interesse Social. Estudo de Caso com Utilização do Steel Frame no Entorno do DF.** Dissertação de Mestrado em Construção Civil, UnB - Universidade de Brasília. Brasília- DF. 2013.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – CÁLCULO DO FATOR DE CONVERSÃO

De acordo com o EPE, 2013 a energia elétrica produzida em 2012 tem como fontes primárias o Gás Natural, Derivados de Petróleo, Carvão, Biomassa, e as energias Hidráulica, Nuclear, Eólica, e Outras.

As perdas por transformação fora de 27,21% (MME-b, 2013) e as perdas por distribuição foram de 17,8% (EPE, 2013). Com base nesses dados foi elaborado o cálculo apresentado na Figura A.2.



Cálculo para Fator na Distribuição

$$y - 0,178 y = 100$$
$$0,822 y = 100$$
$$y = 121,65$$

Cálculo para Fator na Energia Primária

$$x - 0,262 x = 121,65$$
$$0,7278 x = 121,65$$
$$x = 167,15$$

$$\text{Fator de Conversão} = 167,15 / 100$$

$$\text{Fator de Conversão} = 1,67$$

Figura A.1 - Cálculo para Fator de Conversão

## APÊNDICE B – COMPONENTES DO SISTEMA JAMA 166

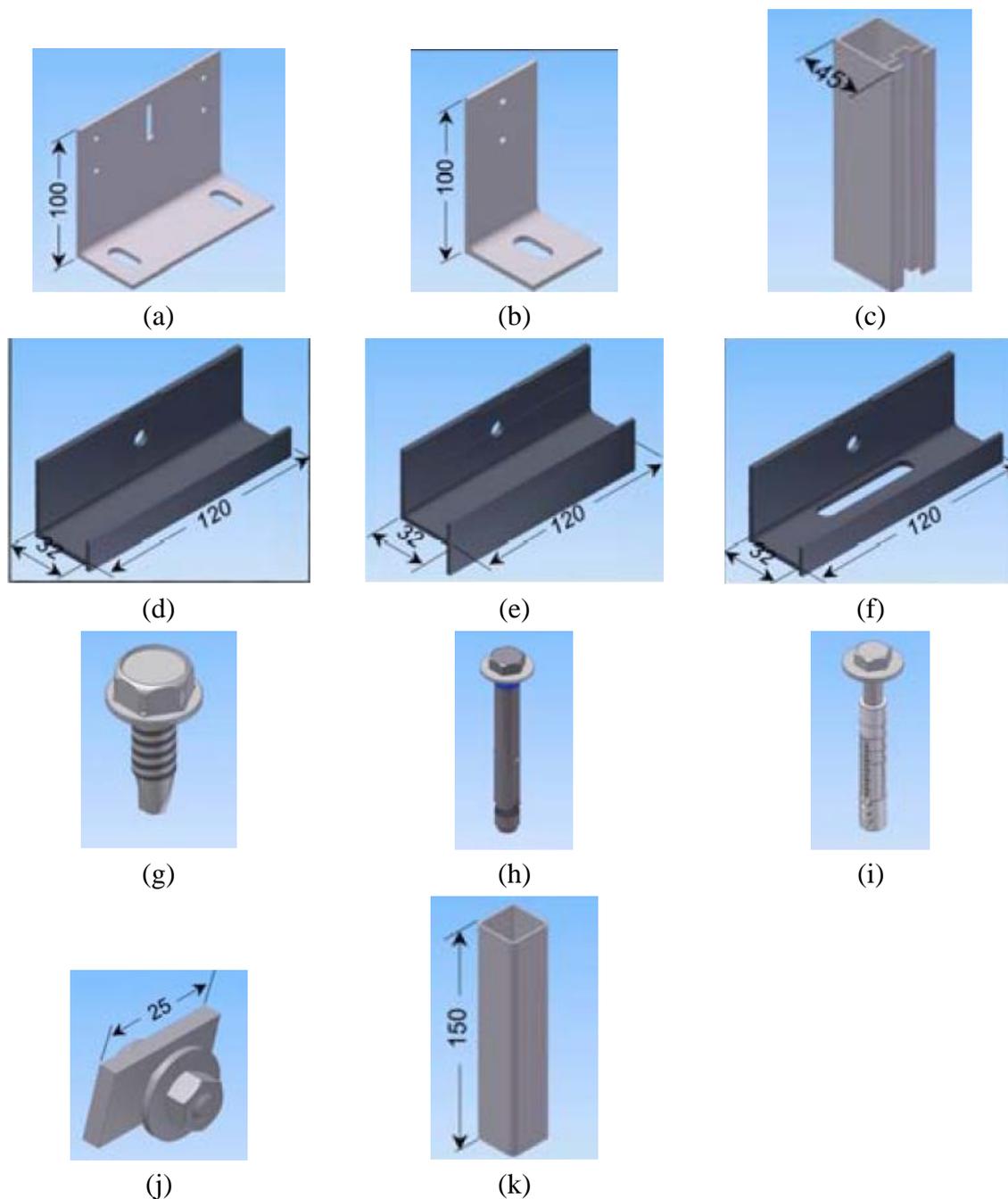


Figura B.1 - Componentes do Sistema Jama 166. a) Cartela SG; b) Cartela SQ; c) Perfil PA; d) Grapa Inferior GL6SC; e) Grapa Intermediária GT6; f) Grapa Superior GL6; g) Parafuso TUA; h) Parafuso AF; i) Parafuso TF80 + AX8 + Bucha TP; j) Parafuso FX6 + AX6 + LX6; k) Conexão UA.

## APÊNDICE C – COMPONENTES DO SISTEMA JAMA 623

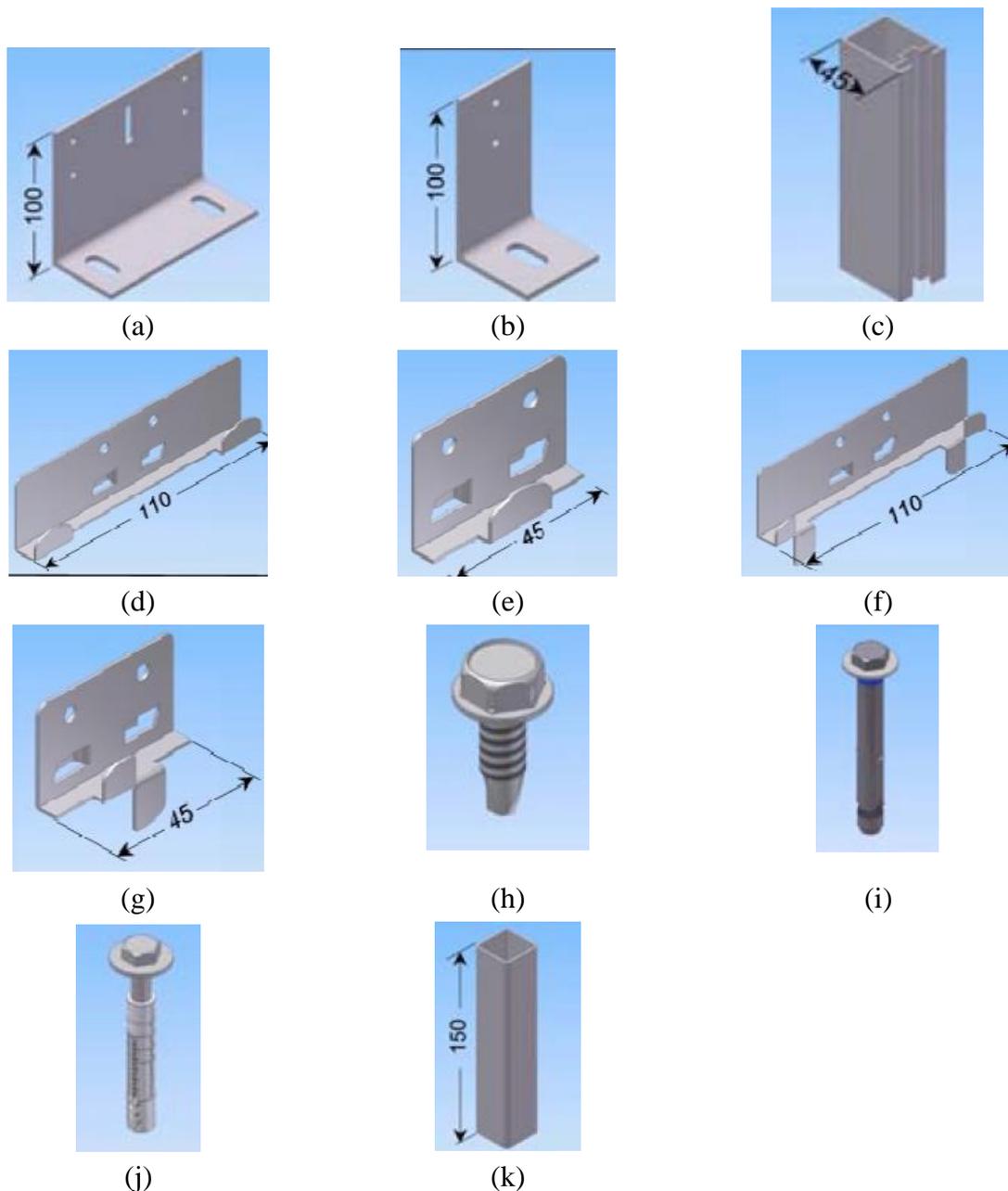


Figura C.1 - Componentes do Sistema Jama 623. a) Cartela SG; b) Cartela SQ; c) Perfil PA; d) Grapa Inferior/Superior GA; e) Grapa Inferior/Superior GAS; f) Grapa Intermediária GI; g) Grapa Intermediária GIS; h) Parafuso TUA; i) Parafuso AF; j) Parafuso TF80 + AX8 + Bucha TP; k) Conexão UA.

## APÊNDICE D – IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE TIPOLOGIAS DE COBERTURAS NO PLANO PILOTO

Tabela D1 – Tabela de Identificação e Quantificação das Tipologias de Cobertura nas Asas Sul e Norte de Brasília-DF, quadras 100 e 300's

Identificação de Tipologia de Coberturas em Brasília-DF (Plano Piloto)					
	Quadra	Total Edificações	Cobertura Telhado Convencional	Cobertura Lazer Edifício	Coberturas Lineares ou Apartamento Duplex
<b>A S A  N O R T E</b>	116 e 316	19	19	0	0
	115 e 315	19	17	1	1
	114 e 314	13	9	3	1
	113 e 313	20	20	0	0
	112 e 312	19	19	0	0
	111 e 311	18	9	2	7
	110 e 310	20	3	1	16
	109 e 309	20	8	4	8
	108 e 308	18	18	0	0
	107 e 307	13	13	0	0
	106 e 306	18	18	0	0
	105 e 305	18	18	0	0
	104 e 304	17	17	0	0
	103 e 303	17	14	2	1
102 e 302	16	16	0	0	
<b>A S A  S U L</b>	102 e 302	18	18	0	0
	103 e 303	19	19	0	0
	104 e 304	18	18	0	0
	105 e 305	22	22	0	0
	106 e 306	18	18	0	0
	107 e 307	20	20	0	0
	108 e 308	20	20	0	0
	109 e 309	15	15	0	0
	110 e 310	20	19	0	1
	111 e 311	19	18	1	0
	112 e 312	17	13	2	2
	113 e 313	22	21	1	0
	114 e 314	20	20	0	0
	115 e 315	21	21	0	0
116 e 316	19	15	2	2	
<b>Total</b>	<b>553</b>	<b>495</b>	<b>19</b>	<b>39</b>	

**Obs.:** Levantamento realizado somente em Edificações das quadras 100 e 300's.

## APÊNDICE E – CÁLCULO DE U E CT PARA AS TIPOLOGIAS ESTUDADAS

Foram considerados para as Unidades Funcionais blocos de concreto de 14x19x39cm, sendo os sistemas compostos por revestimento, câmara de ar ventilada<sup>57</sup> e bloco de concreto sem revestimento argamassado.

Tabela E1 – Absortância a Radiação Solar ( $\alpha$ ), Condutividade Térmica ( $\lambda$ ), Densidade de massa aparente ( $\rho$ ) e calor específico (c) dos materiais constituintes das tipologias estudadas

Material	Absortância ( $\alpha$ )	Condutividade Térmica ( $\lambda$ )	Densidade ( $\rho$ )	Calor Específico (c)
Granito	0,6	2,80	2600	1,00
Porcelanato	0,4	1,30	2300	0,84
ACM	0,6	45,00	7680	0,42
Concreto	0,6	1,75	1400	1,00

Tabela E2 – Resistências utilizadas para o cálculo de U e CT

Resistência térmica câmara de ar fluxo horizontal

Rar ( $\epsilon > 0,8$ )      0,17      superfície não-refletora

Rar ( $\epsilon < 0,2$ )      0,34      superfície refletora

Resistência Térmica ar bloco concreto (fluxo horizontal)

Rar ( $\epsilon > 0,8$ )      0,14       $1 \leq e \leq 2$

Resistência térmica Superficial fluxo horizontal

Rsi      0,13

Rse      0,04

<sup>57</sup> Para componentes com câmara de ar pouco ventilada, a ABNT NBR 15220-2:2003, as Resistências Térmicas das câmaras de ar das mesmas devem ser tratadas como câmaras de ar não ventiladas, e são determinadas de acordo com a emissividade do material do revestimento externo.

Tabela E3 – Seções, espessuras e resistências calculadas do bloco de concreto

Seção A - Espessura Bloco		Espessura Revestimento	
Seção B - Bloco Concreto (con+ar+conc)		E. Bloco	0,14
		E. Bloco 2	0,02
Aa	0,0038	EPP	0,03
Ab	0,03135	Epo	0,012
Ra	0,0800	EACM	0,004
Rb	0,1829		

Tabela E4 – Cálculo de U e CT para as tipologias estudadas

Cálculo U e CT FVPP			
Rt	0,4062	CT revest	78,00
RT	0,5762	CT ar	0,00
<b>U</b>	<b>1,74</b>	CT bloco	62,91
		<b>CT</b>	<b>140,91</b>
Cálculo U e CT FVPo			
Rt	0,4047	CT revest	23,18
RT	0,5747	CT ar	0,00
<b>U</b>	<b>1,74</b>	CT bloco	62,91
		<b>CT</b>	<b>86,10</b>
Cálculo U e CT FVACM			
Rt	0,5656	CT revest	5,60
RT	0,7356	CT ar	0,00
<b>U</b>	<b>1,36</b>	CT bloco	62,91
		<b>CT</b>	<b>68,51</b>

## APÊNDICE F – PAGINAÇÃO DE REVESTIMENTOS PARA FACHADAS VENTILADAS

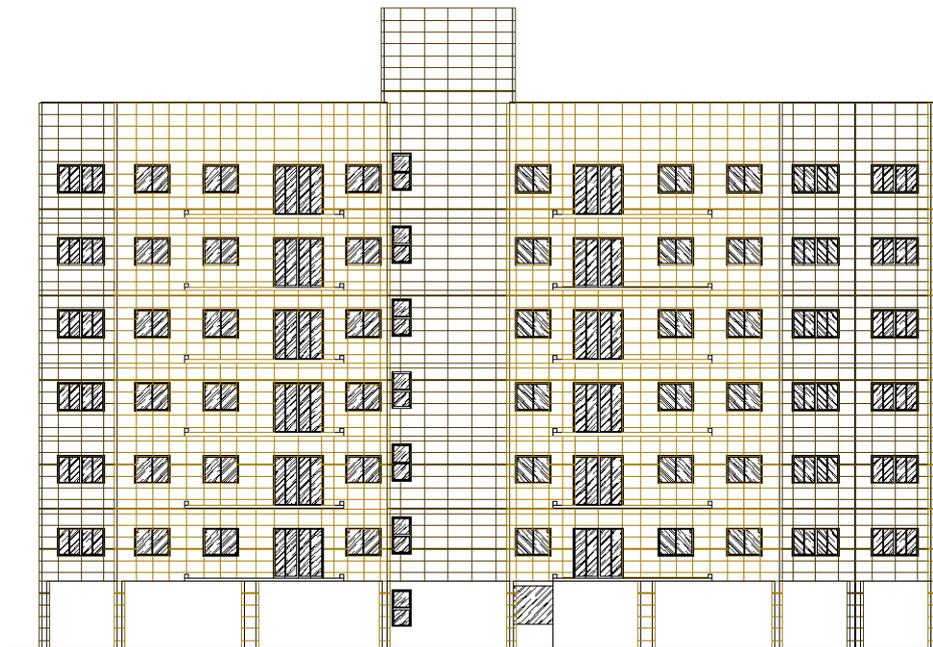


Figura F1 – Paginação parcial de porcelanato da fachada frontal da EHM

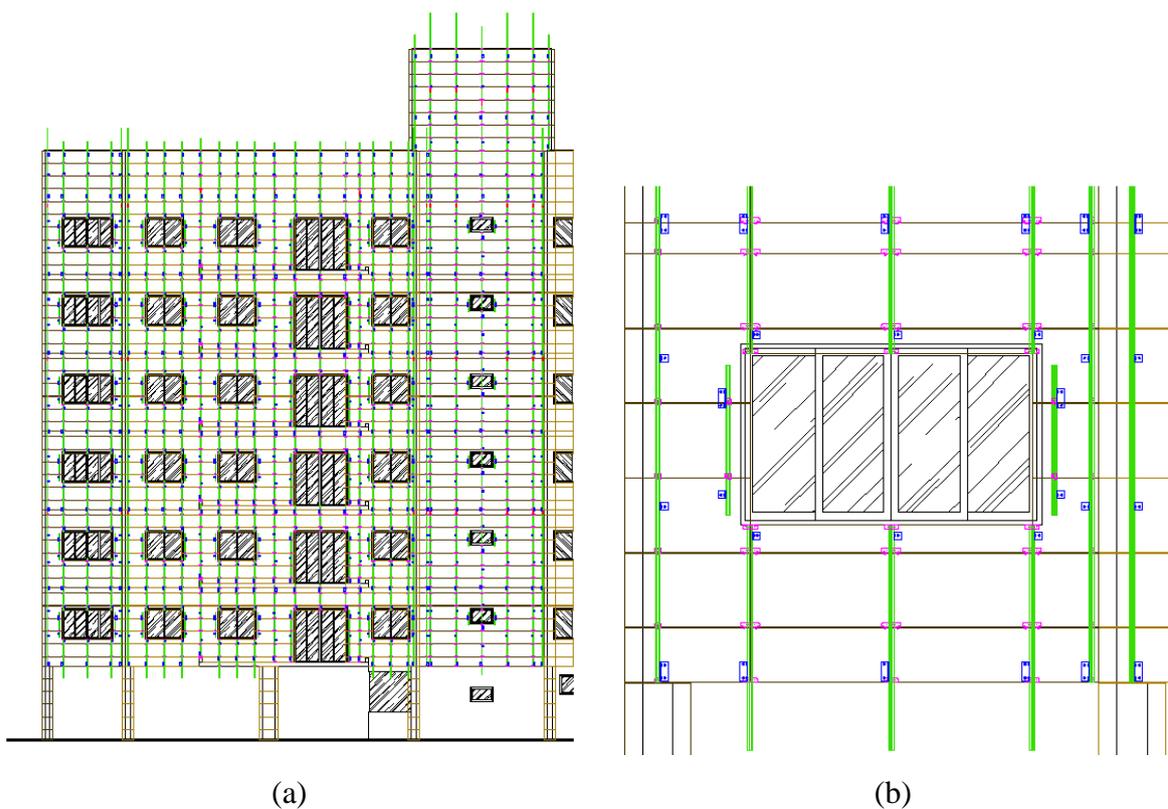


Figura F2 – Lançamento da subestrutura de alumínio da fachada frontal da FVPo. a) Lançamento parcial da subestrutura de alumínio; b) Detalhe do lançamento da subestrutura de alumínio

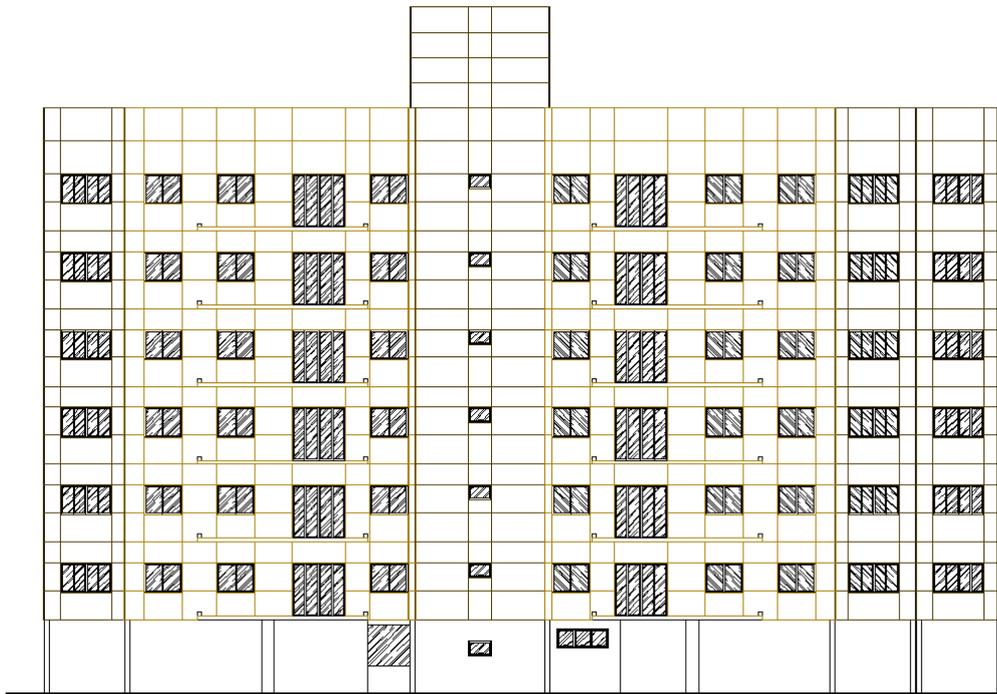


Figura F3 – Paginação parcial de ACM da fachada frontal da EHM

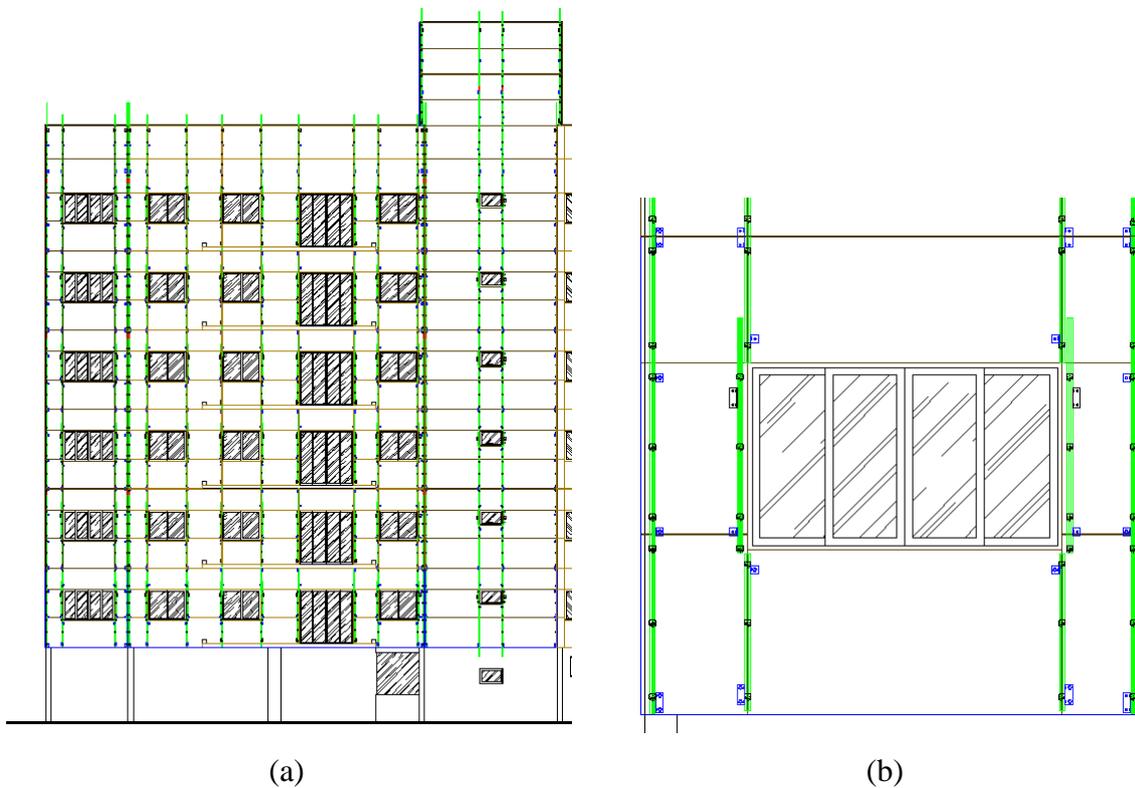


Figura F4 – Lançamento da subestrutura de alumínio da fachada frontal da FVACM. a) Lançamento parcial da subestrutura de alumínio; b) Detalhe do lançamento da subestrutura de alumínio

## APÊNDICE G – PLANILHAS DE QUANTIFICAÇÃO DAS PEÇAS DE REVESTIMENTO PARA CÁLCULO DE APROVEITAMENTO DE CHAPAS

Totais Placas Pétreas por tamanho de peça									
Altura	Largura	Somas	Altura	Largura	Somas	Altura	Largura	Somas	
38	86,15	72	49,5	26,15	6	43,5	68	48	
49,5		24	50,2		6	45,5		6	
50,2		24	45,5		6	43,5	48		
45,5		56,15	28	50,2	58,4	36	45,5	52	6
43,3			20	38	97	144	38	89,5	108
43,5	16		49,5	42		49,5	36		
38	72		50,2	30		50,2	36		
49,5	24		45,5	69		45,5	42		
50,2	24		43,3	24		43,3	30		
45,5	93,1		28	43,5	63,4	192	43,5	88	24
43,3			20	49,5		6	38		324
43,5			16	50,2		6	49,5		108
28			80	45,5		6	50,2		108
38		160	38	72		45,5	126		
45,5	96,15	96	49,5	59,75	18	43,3	82	90	
43,3		120	50,2		18	43,5		72	
43,5		80	45,5		30	38		72	
38		216	43,3		12	49,5		24	
49,5		72	43,5		48	50,2		24	
50,2	68,1	72	43,5	89,75	96	45,5	80	36	
45,5		84	45,5		12	43,3		12	
43,3		60	38		48	43,5		48	
43,5		48	49,5		16	38		36	
28		432	50,2		16	49,5		12	
38	73,4	864	45,5	56,25	24	50,2	50	12	
45,5		504	43,3		8	45,5		18	
43,3		360	43,5		32	43,3		6	
43,5		288	38		48	43,5		24	
38		864	49,5		16	41		318	
49,5	107,3	288	50,2	71,8	16	41,5	35,75	53	
50,2		288	45,5		24	41		48	
45,5		336	43,3		8	41,5		8	
43,3		240	43,5		32	41		24	
43,5		192	38		324	41,5		62,25	4
45,5	98,1	168	49,5	93	108	15	93,1	288	
43,3		120	50,2		108		68,1	432	
43,5		96	45,5		168		98,1	144	
38		216	43,3		90		38,6	72	
49,5		72	43,5		408		33,6	72	
50,2	46,15	72	38	93,5	36	10	15	360	
45,5		84	49,5		12	49,5		540	
43,3		60	50,2		12	50,2		576	
43,5		48	45,5		14	23		144	
38		216	43,3		10	38		288	
49,5	73	72	43,5	73	8	45,5	73	36	
50,2		72	38		504	<b>Total de Peças</b>		<b>16713</b>	
45,5		84	49,5		168				
43,3		60	50,2		168				
43,5		48	45,5		204				
		43,3	132						
		43,5	144						
		41	330						
		41,5	55						

Figura G1 – Planilha de quantificação de peças de placas pétreas para cálculo de aproveitamento de chapas

**Totais Placas ACM por tamanho de peça**

Altura	Largura	Somas	Altura	Largura	Somas
133,1	203,4	24	119	69,85	48
84,7		60	113,4		48
109		72	84,7		40
133,1	72	8	133,1	174	16
84,7		20	119		36
119		24	113,4		36
113,4		24	84,7		30
133,1	54	24	133,1	103,1	12
84,7		60	192		12
119		72	174		12
113,4		72	191,4		12
133,1	214	12	73,4	113,4	18
84,7		30	24		18
119		36	84,7	173,4	15
113,4		36	119		18
133,1	82	24	133,1	234	6
84,7		60	119		24
119		72	113,4		24
113,4		72	84,7		20
133,1	139	24	133,1	229,05	8
84,7		60	119		24
119		72	113,4		24
113,4		72	84,7		20
133,1	149	24	133,1	212	8
84,7		60	119		108
119		72	113,4		108
113,4		72	84,7		90
133,1	99	24	133,1	189,05	36
84,7		60	103,1		48
119		72	194		48
113,4		72	119		36
133,1	32	24	113,4	102	36
84,7		60	84,7		30
119		72	133,1		12
113,4		72	119		12
119	93,4	18	113,4	138,7	72
53,7		18	84,7		60
84,7		15	104		60
133,1		6	133,1		24
103,1	232	12	30	149,35	204
103,1		24	60		204
133,1		72	27,85		40
84,7	153,4	180	57,85	14	32
109		216	123,7		360
213,4		60	203,4		144
		153,4			216
		213,7			144
		213,4			72
		93,4			36
		63,7			36
		83,4			36
		159,7			36
<b>Total Peças</b>					<b>5204</b>

Figura G2 – Planilha de quantificação de peças de ACM para cálculo de aproveitamento de chapas

## APÊNDICE H – RESULTADOS OBTIDOS COM O SOFTWARE CORTE CERTO©



Plano de corte 1 / 3 - Quantidade: 108  
 Material: Granito  
 Chapa(Chapa): 3000 mm x 2000 mm  
 Código(Chapa):1  
 Descrição:

Quantidade de Peças: 20  
 Aproveitamento: 84.41 %  
 Perda: 15.59 %  
 Quantidade de cortes :29  
**Corte Certo** (C) 1991-2010  
 Cutting optimization software - www.cortecerto.com



N	Projeto	Código	Descrição	Observação	Leg	Altura	Largura	Qt
1	3	29		---	A	380	734	8
2	3	25		---	B	380	681	8
3	3	24		---	C	280	681	4

Figura H1 – Exemplo de configuração de aproveitamento de uma chapa de granito (software Corte Certo©)



Plano de corte 1 / 3 - Quantidade: 8  
 Material: ACM Prata metálica  
 Chapa(Chapa): 5000 mm x 1500 mm  
 Código(Chapa):2  
 Descrição:Placa ACM

Quantidade de Peças: 6  
 Aproveitamento: 97,02 %  
 Perda: 2,98 %  
 Quantidade de cortes :8  
**Corte Certo** (C) 1991-2010  
 Cutting optimization software - www.cortecerto.com



N	Projeto	Código	Descrição	Observação	Leg	Largura	Altura	Qt
1	1	58		---	A	2340	1331	1
2	1	62		---	B	2290,5	1331	1
3	1	46		---	C	320	1331	1
4	1	85		---	D	140	2137	2
5	1	88		---	E	637	140	1

Figura H2 – Exemplo de configuração de aproveitamento de uma chapa de ACM (software Corte Certo©)

Tabela H1 – Informações gerais do resultado de cálculo de aproveitamento das placas pétreas, realizado através do software Corte Certo©

Informação	Valores
Aproveitamento Total	81,48%
Lista das Chapas Utilizadas	976 chapas de 2000x3000mm
Área das Chapas Utilizadas	5856,00 m <sup>2</sup>
Total de Planos de Corte	146
Média de Peças por Chapa	17,12
Total de Peças Posicionadas	16713
Quantidade de Peças posicionadas de códigos diferentes	147
Total de Retalhos Criados	4896 (4,63%)

Tabela H2 – Informações gerais do resultado de cálculo de aproveitamento do ACM, realizado através do software Corte Certo©

Informação	Valores
Aproveitamento Total	82,07%
Lista das Chapas Utilizadas	924 chapas de 5000x1500mm
Área das Chapas Utilizadas	6930,00 m <sup>2</sup>
Total de Planos de Corte	101
Média de Peças por Chapa	5,48
Total de Peças Posicionadas	5060
Quantidade de Peças posicionadas de códigos diferentes	90
Total de Retalhos Criados	222 (6,39%)



Figura H3 – Gráfico de aproveitamento das placas pétreas (software Corte Certo©)

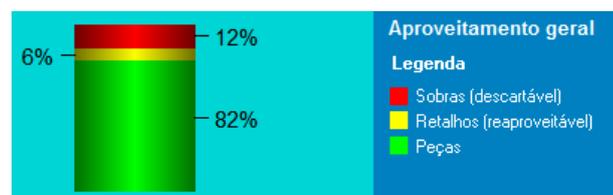


Figura H4 – Gráfico de aproveitamento do ACM (software Corte Certo©)

**APÊNDICE I – IMAGENS FOTOGRÁFICAS DA PESAGEM DOS COMPONENTES DO SISTEMA JAM 623 PARA FV<sup>58</sup>**

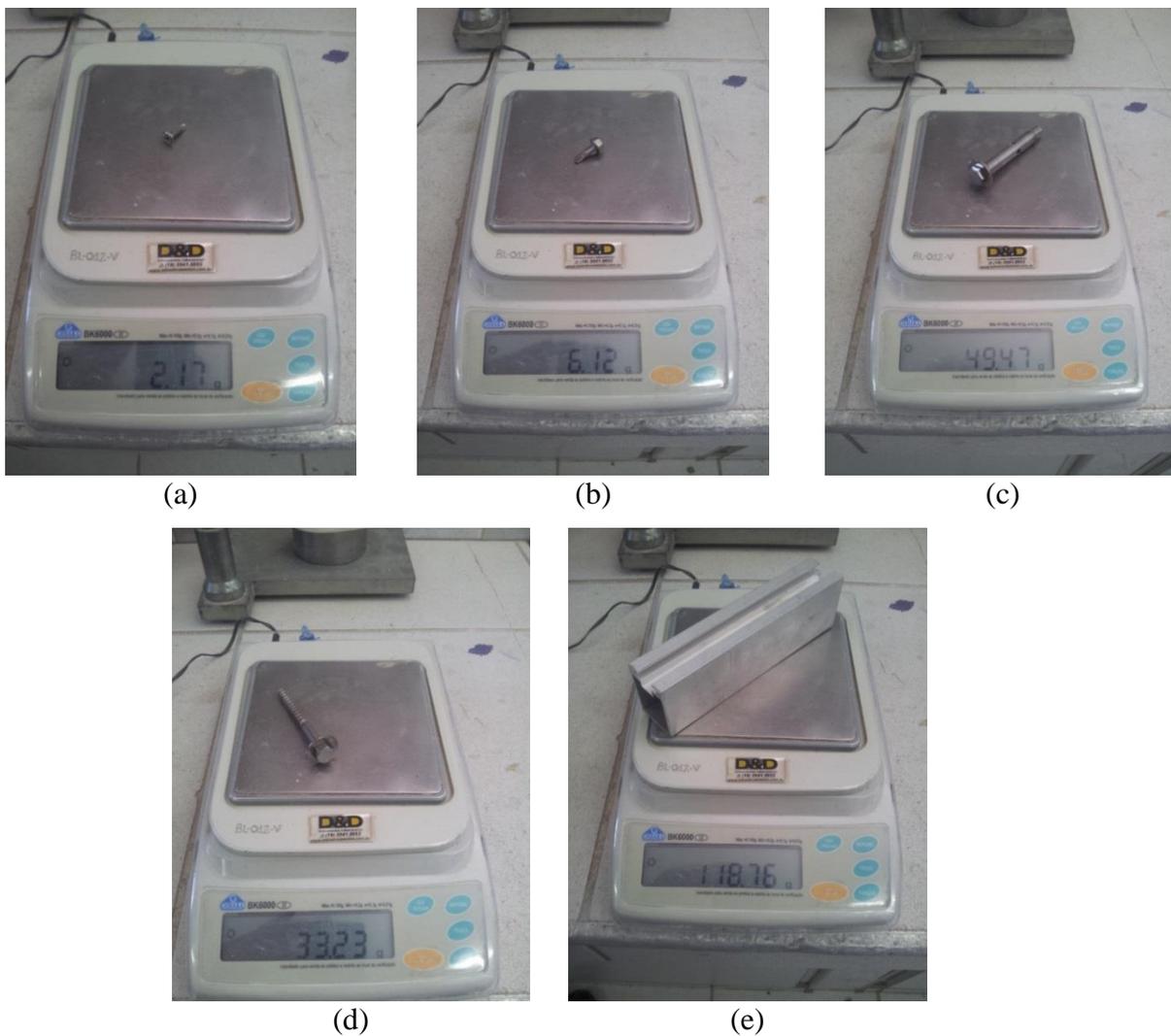


Figura I1 – Pesagem dos parafusos e perfil PA do sistema JAM 623 para FV's. a) ParafusoFST; b) Parafuso TUA; c) Parafuso AF; d) Parafuso TF80+AX8 (sem TP); e) Perfil PA

<sup>58</sup> Imagens fotográficas cedidas pelo fabricante de porcelanato Villagres©.



(a)



(b)



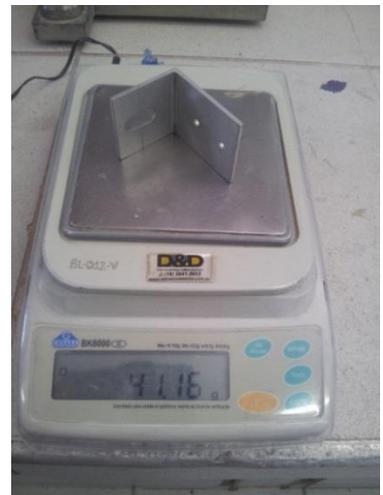
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura I2 – Pesagem das grapas do sistema JAM 623 para FV's. a) Grapa GA; b) Grapa GAS; c) Grapa GI; d) Grapa GIS; e) Grapa SGC; e f) Grapa SQC

## APÊNDICE J – TABELA COM MÉDIA DAS MASSAS DE PLACAS PÉTREAS

Tabela J1 – Média das massas de placas pétreas (a partir de dados de Abirocha, 2013)

Material	Massa (kg/m³)	Material	Massa (kg/m³)
Amarelo Grégrege	2647	Giallo Brasil	2642
Amarelo Golden King	2636	Giallo Napoleone Golden	2636
Amarelo Icarai	2633	Golden Sun	2605
Amarelo Ouro Brasil	2670	Índigo	2678
Amarelo Santa Cecília Clássico	2647	Icarai Light	2637
Amarelo Veneziano	2629	Juparaná Clássico Novo	2629
Amêndoa Jaciguá	2632	Juparaná Rosado Novo	2638
Arabesco	2636	Juparanã Casablanca	2594
Aracruz Black	2969	Juparanã Persa	2605
Azul Sigma	2722	Juparanã Talpic	2616
Bege Ipanema	2637	Marrom Fantasia	2617
Mármore Branco Clássico	2850	Marrom Graphite	2710
Branco Desiree	2630	Ouro do Deserto	2633
Branco Gaivota	2625	Ouro Negro	2859
Branco Marfim	2628	Prata Imperial	2727
Branco Moon Light	2636	Preto Águia Branca	2987
Branco Primata	2655	Preto São Gabriel	2960
Branco Romano	2633	Verde Bahia	2696
Branco Saara	2631	Verde Butterfly	2670
Branco Siena	2640	Verde Ecologia	2650
Mármore Candelária White	2866	Verde Eucalipto	2628
Cinza Andorinha	2703	Verde Imperial	2671
Cinza Bressan	2725	Verde Labrador	2690
Cinza Castelo	2657	Verde Monterrey	2639
Cinza Corumbá	2673	Verde Pavão	2713
Creme Marfim	2680		
<b>Média das Massas</b>	<b>2682,75</b>	<b>Média em Kg (conversão) para chapa 2x3x0,03 m</b>	<b>482,89</b>

## APÊNDICE K – CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS MÉDIAS DOS LOCAIS DE PRODUÇÃO DAS PLACAS PÉTREAS ATÉ O DESTINO FINAL

Tabela K1 – Local de produção de placas pétreas (a partir de dados de Abirocha, 2013)

Empresas de Extração do ES			
Material	Local Extração	Material	Local Extração
Amarelo Grégrege	Nova Venécia	Giallo Brasil	
Amarelo Golden King	Ecoporanga	Giallo Napoleone Golden	Vitoria
Amarelo Icarai	Cachoeiro de Itapemerim	Golden Sun	Cachoeiro de Itapemerim
Amarelo Ouro Brasil	Cachoeiro de Itapemerim	Índigo	Cachoeiro de Itapemerim
Amarelo Santa Cecília Clássico	Ecoporanga	Icarai Light	Cachoeiro de Itapemerim
Amarelo Veneziano	Cariacica	Juparaná Clássico Novo	Cachoeiro de Itapemerim
Amêndoa Jaciguá	Cachoeiro de Itapemerim	Juparaná Rosado Novo	Cachoeiro de Itapemerim
Arabesco	Cachoeiro de Itapemerim	Juparaná Casablanca	João Neiva
Aracruz Black	Vitória	Juparaná Persa	Cachoeiro de Itapemerim
Azul Sigma	Atílio Vivácqua	Juparaná Talpic	Conduru
Bege Ipanema	Cachoeiro de Itapemerim	Marrom Fantasia	Nova Venécia
Mármore Branco Clássico	Cachoeiro de Itapemerim	Marrom Graphite	Cachoeiro de Itapemerim
Branco Desiree	Cachoeiro de Itapemerim	Ouro do Deserto	Nova Venécia
Branco Gaivota	Cachoeiro de Itapemerim	Ouro Negro	Rio Novo do Sul
Branco Marfim	Atílio Vivácqua	Prata Imperial	Rio Novo do Sul
Branco Moon Light	Nova Venécia	Preto Água Branca	Cachoeiro de Itapemerim
Branco Primata	Nova Venécia	Preto São Gabriel	Cachoeiro de Itapemerim
Branco Romano	João Neiva	Verde Bahia	-
Branco Saara	Cachoeiro de Itapemerim	Verde Butterfly	Cachoeiro de Itapemerim
Branco Siena	Atílio Vivácqua	Verde Ecologia	Nova Venécia
Mármore Candelária White	Cachoeiro de Itapemerim	Verde Eucalipto	Nova Venécia
Cinza Andorinha	Cachoeiro de Itapemerim	Verde Imperial	Cachoeiro de Itapemerim e Serra
Cinza Bressan	Cachoeiro de Itapemerim	Verde Labrador	Cachoeiro de Itapemerim
Cinza Castelo	Conduru	Verde Monterrey	Água Doce do Norte
Cinza Corumbá	Cachoeiro de Itapemerim	Verde Pavão	Nova Venécia e Atílio Vivácqua
Creme Marfim	Cachoeiro de Itapemerim		

Tabela K2 – Média das distâncias entre Local de Produção e destino final das placas pétreas (a partir de dados de Google Maps, 2013)

Distâncias do Local Produção ao Destino Final	
Local de Produção	Distância até o destino final (km)
Nova Venécia	1205,00
Ecoporanga	1184,00
Cachoeiro de Itapemerim	1209,00
Cariacica	1257,00
Vitória	1259,00
Atílio Vivácqua	1220,00
João Neiva	1251,00
Conduru	1190,00
Rio Novo do Sul	1238,00
Água Doce do Norte	1160,00
Serra	1286,00
<b>Média das Distâncias</b>	<b>1223,55</b>

## APÊNDICE L – TRAJETOS DAS FÁBRICAS DOS MATERIAIS DOS COMPONENTES DAS TIPOLOGIAS ESTUDADAS ATÉ O DESTINO FINAL

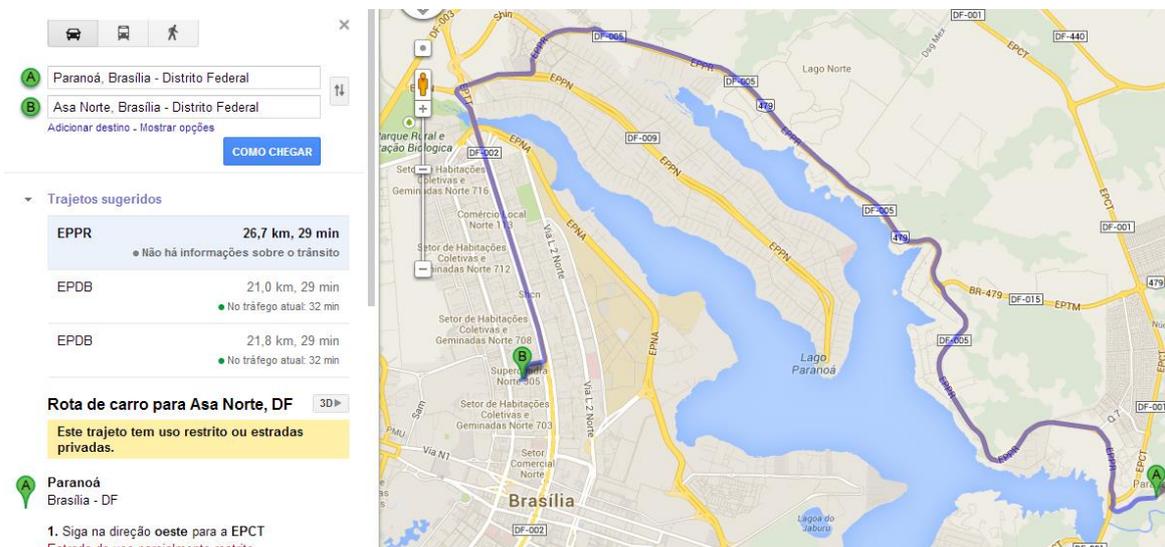


Figura L1 – Trajeto fábrica de Blocos de concreto em Paranoá, Brasília-DF, até a Asa Norte, Brasília-DF (Google Maps, 2014)

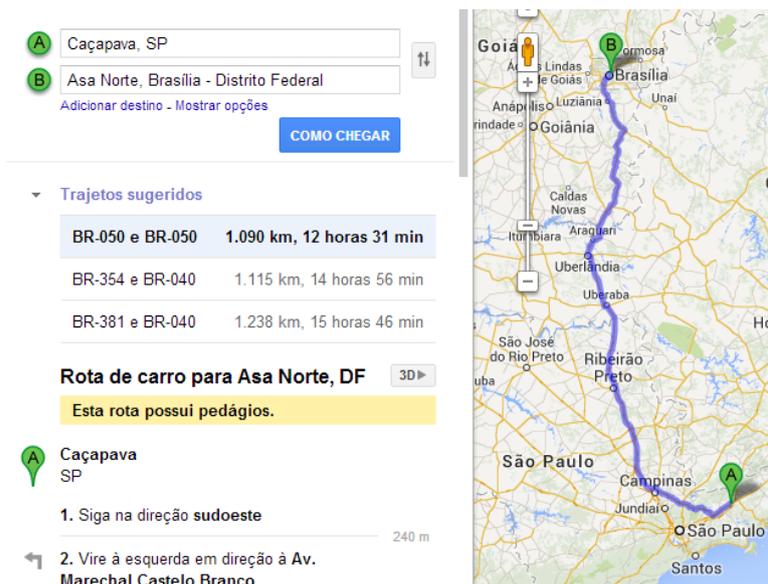


Figura L2 – Trajeto fábrica de Vidros em Caçapava-SP, até a Asa Norte, Brasília-DF (Google Maps, 2014)

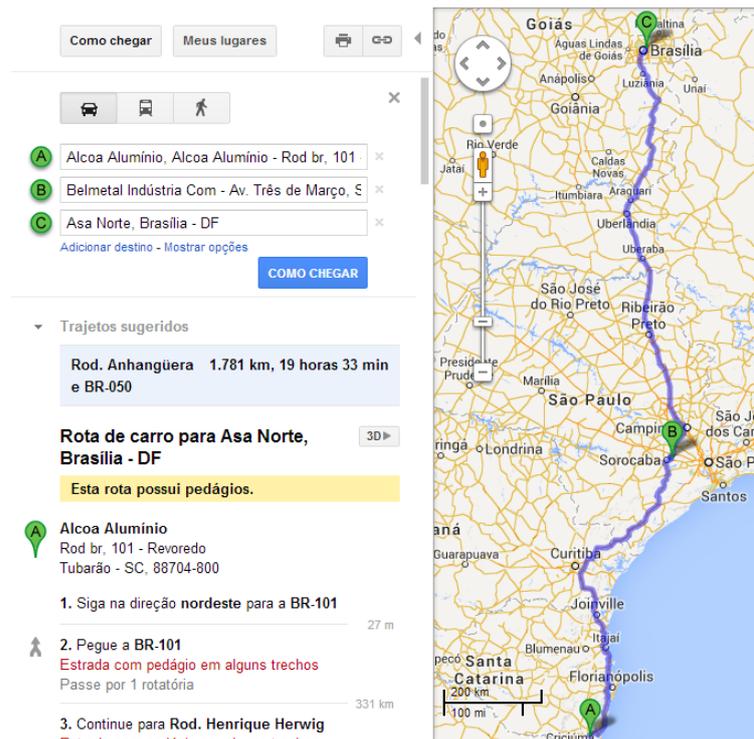


Figura L3 – Trajeto Alcoa, Tubarão-SC à Belmetal, Sorocaba-SP, fabricante das peças de alumínio (FVPP e FVPo), até a Asa Norte, plano piloto, Brasília-DF (Google Maps, 2013)

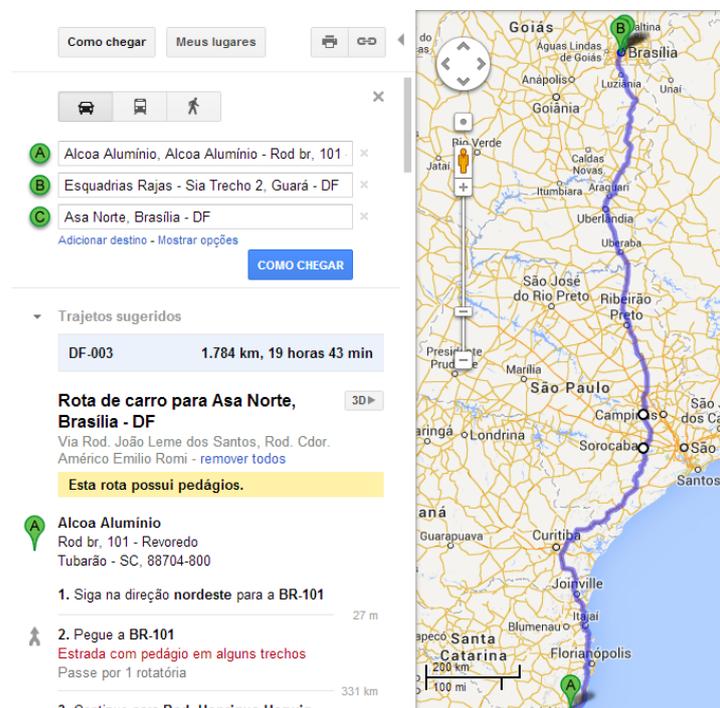


Figura L4 – Trajeto Alcoa, Tubarão-SC à Rajas, Brasília-DF, fabricante das peças de alumínio (FVACM), até a Asa Norte, plano piloto, Brasília-DF (Google Maps, 2013)

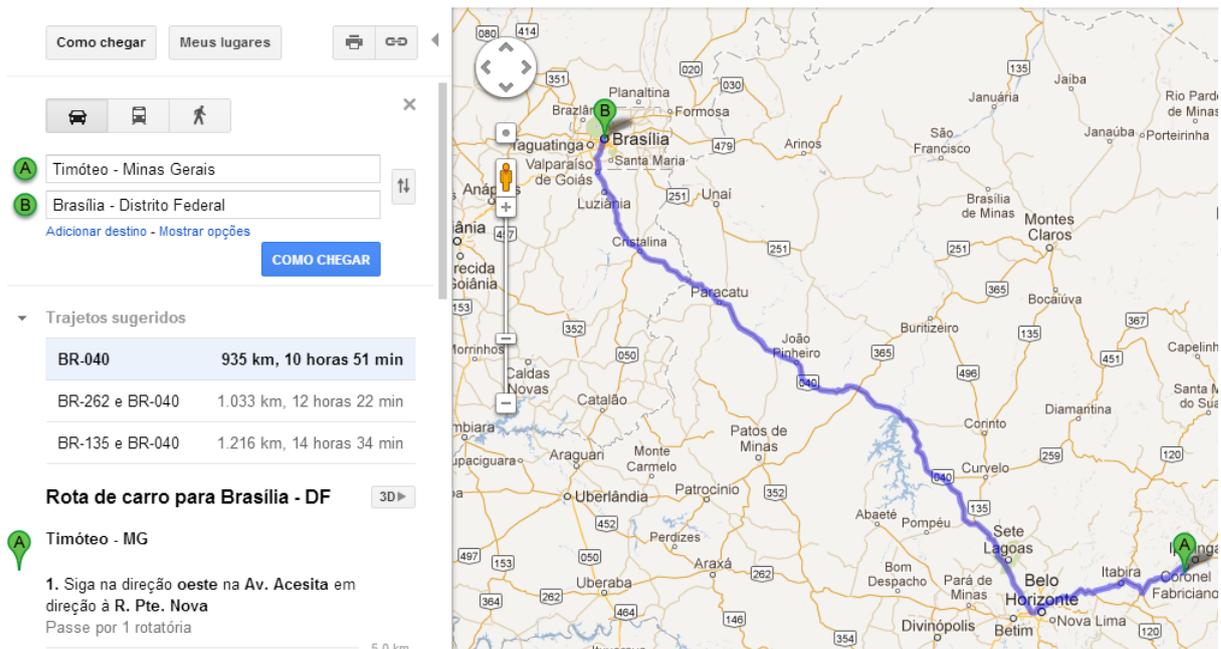


Figura L5 – Trajeto Timóteo-MG, local da usina da única produtora nacional de aço inoxidável, até a Asa Norte, plano piloto, Brasília-DF (Google Maps, 2013)

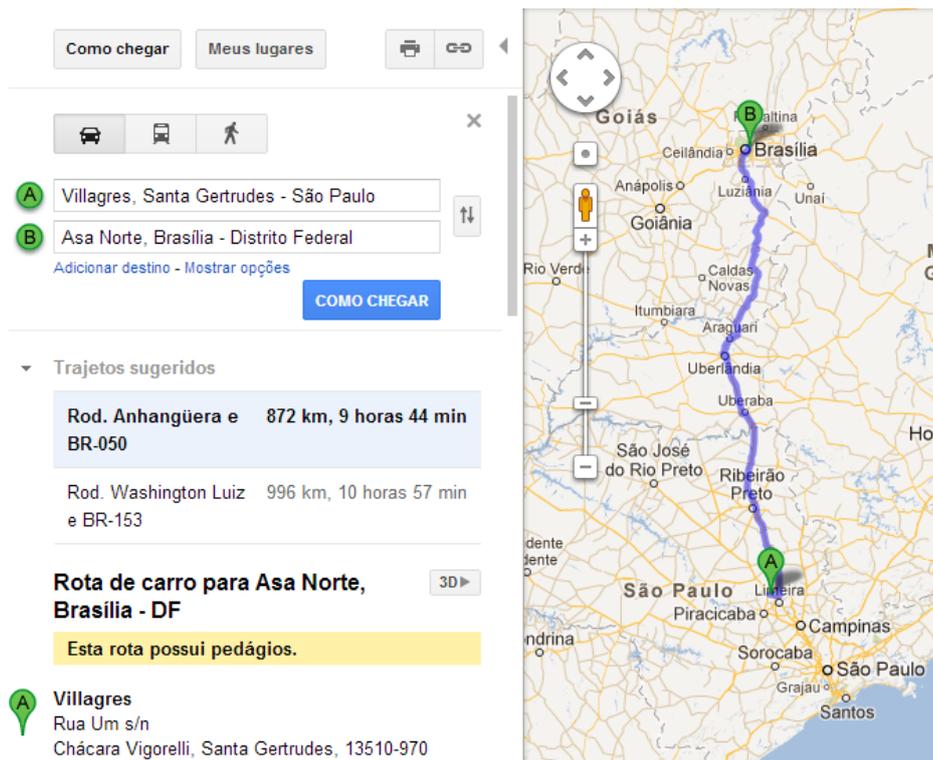


Figura L6 – Trajeto Villagres, Santa Gertrudes-SP, fabricante das peças de porcelanato, até a Asa Norte, plano piloto, Brasília-DF (Google Maps, 2013)

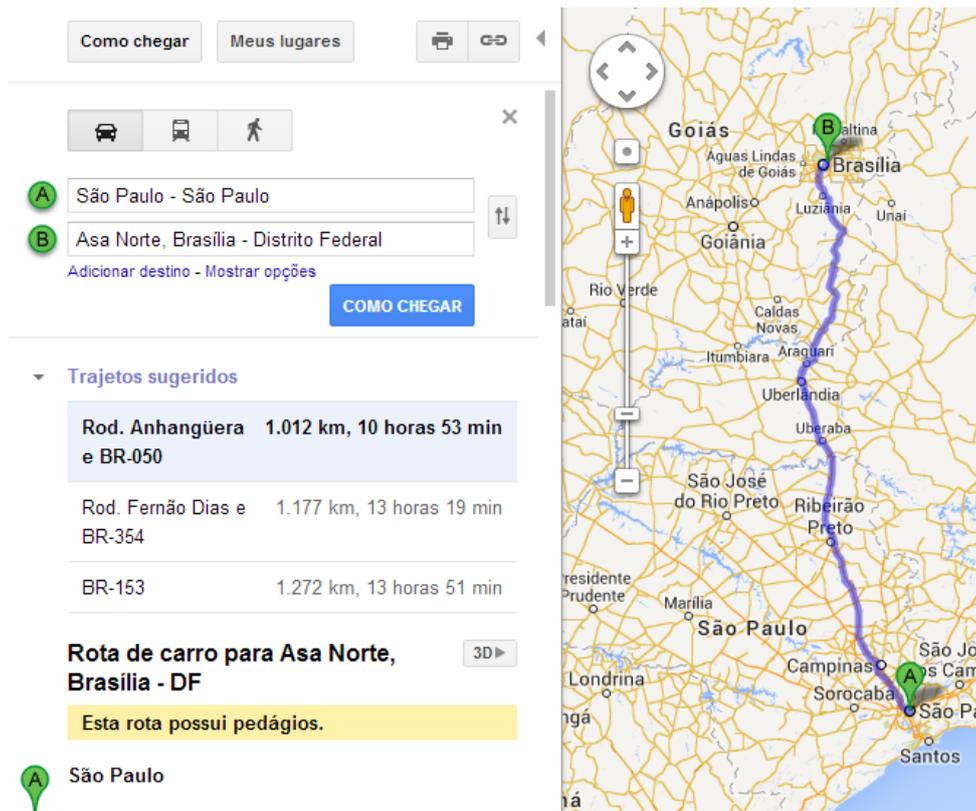


Figura L7 – Trajeto São Paulo-SP, local de fabricação das peças de ACM até a Asa Norte, plano piloto, Brasília-DF.

**APÊNDICE M – TABELA DOS LIMITES DAS ZONAS DE CONFORTO DAS METODOLOGIAS ESTUDADAS POR LAMBERTS ET AL, 1994**

Tabela M1 - Resumo dos Limites das Zonas de Conforto das Metodologias estudadas (adaptada de LAMBERTS et al., 1994)

METODOLOGIA	TEMPERATURA		OBS.
	Limite Mínimo	Limite Máximo	
OLGYAY (EUA)	21,1°C	27,7°C	Verão
	20,0°C	24,4°C	Inverno
OLGYAY (trópicos)	23,9°C	29,5°C	Verão
	18,3°C	23,9°C	Inverno
ASHRAE 55-74	> 22,2°C TE	< 25,6°C TE	
ASHRAE 55-81	> 23,0°C	< 27,0°C	Verão
	> 20,0°C	< 24,0°C	Inverno
ASHRAE 55-92	> 23,0°C	< 26,0°C	Verão
	> 20,0°C	< 23,5°C	Inverno
GIVONI Original	> 21,0°C	< 26,0°C	Baixas Umidades
		< 25,0°C	Altas Umidades
GIVONI & MILNE	> 22,7°C	< 27,0°C	Verão
	> 20,0°C	< 24,0°C	Inverno
GONZALEZ	> 22,0°C	< 29,0°C	Baixas Umidades
		< 26,5°C	Altas Umidades
GIVONI 92 Países Desenvolvidos	> 20,0°C	< 27,0°C	Baixas Umidades
		< 25,0°C	Altas Umidades
GIVONI 92 Países em desenvolvimento	> 25,0°C	< 29,0°C	Baixas e altas
		< 26,0°C	Umid. (Verão)
	> 18,0°C	< 25,0°C	(Inverno)
SZOKOLAY	TMA ± 2K (SET)		Limites variáveis com o clima local
	TMA ± 1,75K (SET)		
WATSON & LAB	> 20,0°C TE	< 25,6°C TE	
Experiência na TAILÂNDIA	> 22,0°C	< 28,0°C	Ar cond.
		< 31,0°C	Ventil. Nat.

## APÊNDICE N – DADOS DE ENTRADA PARA O SOFTWARE DESIGN BUILDER

Tabela N1 – Temperaturas médias do solo adotadas

Mês	Temperatura (°)
Janeiro	19,2
Fevereiro	19,3
Março	19,5
Abril	18,9
Maio	17,6
Junho	16,5
Julho	16,3
Agosto	18,3
Setembro	19,7
Outubro	19,6
Novembro	19,1
Dezembro	19,0

Tabela N2 – Especificação do perfil de ocupação “Apartamento Cooling”

Dia Semana	Horário Ocupado
Segunda-feira	7:00 às 9:00hrs e 16:00 às 7:00hrs
Terça-feira	7:00 às 9:00hrs e 16:00 às 7:00hrs
Quarta-feira	7:00 às 9:00hrs e 16:00 às 7:00hrs
Quinta-feira	7:00 às 9:00hrs e 16:00 às 7:00hrs
Sexta-feira	7:00 às 9:00hrs e 16:00 às 7:00hrs
Sábado	7:00 às 7:00hrs (constante)
Domingo	7:00 às 7:00hrs (constante)

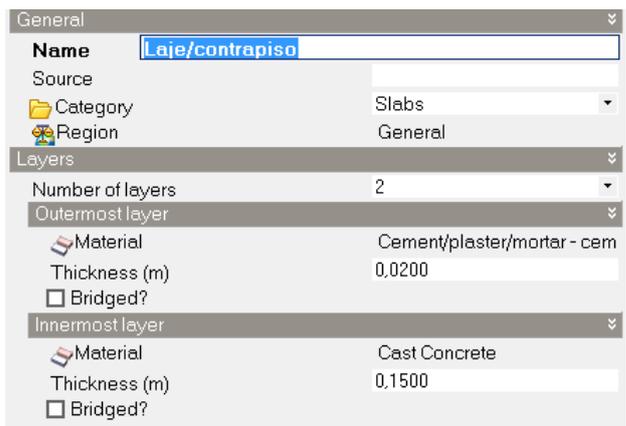


(a)



(b)

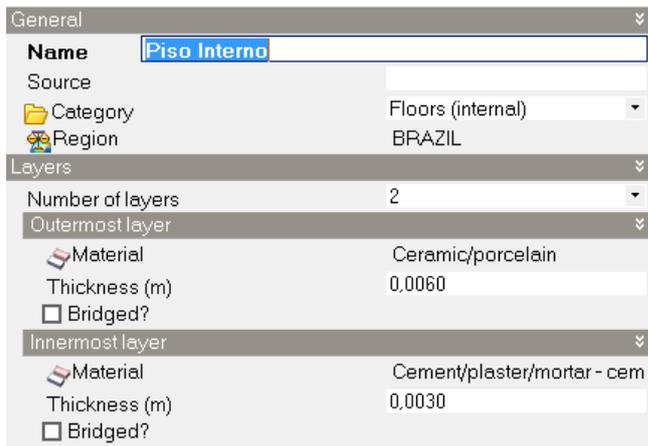
Figura N1 – Material utilizado para as paredes internas e externas. a) Descritivo do material; b) exemplo visual do material



(a)

(b)

Figura N2 – Material utilizado para as lajes. a) Descritivo do material; b) exemplo visual do material



(a)

(b)

Figura N3 – Material utilizado para os pisos. a) Descritivo do material; b) exemplo visual do material



Figura N4 – Material utilizado para as janelas e porta da varanda

Tabela N3 – Lâmpadas utilizadas no estudo

<b>Ambiente</b>	<b>Tipo de lâmpada</b>
Banheiros	Fluorescente Compacta (PL)
Cozinha	Fluorescente T5
Quartos	Fluorescente Compacta (PL)
Sala	Fluorescente Compacta (PL)
Shaft's	Fluorescente Compacta (PL)
Hall Social	Fluorescente T5

ž