

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA/ELETROTÉCNICA

ANDREWS DELABONA MARQUES  
EDUARDO FELIPE ANASTACIO SOARES

**ESTUDO COMPARATIVO DA APLICAÇÃO DO SELO PROCEL EDIFICA  
PARA RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES FRENTE AOS PRINCIPAIS SELOS  
DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA UTILIZADOS NO BRASIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2013

ANDREWS DELABONA MARQUES  
EDUARDO FELIPE ANASTACIO SOARES

**ESTUDO COMPARATIVO DA APLICAÇÃO DO SELO PROCEL EDIFICA  
PARA RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES FRENTE AOS PRINCIPAIS SELOS  
DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA UTILIZADOS NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à disciplina de TCC 2, do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista

Orientador: Prof. Luiz Amilton  
Peplow, M. Eng.

CURITIBA

2013

Andrews Delabona Marques  
Eduardo Felipe Anastácio Soares

## Estudo comparativo da aplicação do selo Procel Edifica para residências unifamiliares frente aos principais selos de certificação energética utilizados no Brasil

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Industrial Elétrica ênfase Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 12 de novembro de 2013.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Industrial Elétrica ênfase Eletrotécnica

---

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Dra.  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Industrial Elétrica ênfase Eletrotécnica do DAELT

### **ORIENTAÇÃO**

---

Prof. Luiz Amilton Peplow, Mestre  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Dra.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Profa. Maria de Fátima Ribeiro Raia, Dra.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Luiz Amilton Peplow, Mestre  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e ao Professor Luiz Amilton Peplow por seu tempo, paciência e auxílio prestado no decorrer do trabalho.

Agradecimento especial à família, amigos e companheiras que souberam compreender e dar suporte quando mais precisamos.

Pedras no caminho? Guardo todas.  
Um dia vou construir um castelo  
(Autor desconhecido).

## RESUMO

MARQUES, Andrews D.; SOARES, Eduardo F. A. Estudo comparativo da aplicação do selo Procel Edifica para residências unifamiliares frente aos principais selos de certificação energética utilizados no Brasil. 2013. 153f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica), Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

Este trabalho apresenta uma abordagem teórica e prática para um estudo comparativo do programa de etiquetagem de residências do Procel Edifica. Apresenta os principais conceitos utilizados em análises construtivas e energéticas de residências. Demonstra também as principais características análogas à certificação Procel Edifica em duas outras certificações de renome internacional: a certificação AQUA e a certificação LEED. Propõe uma análise teórica comparativa entre a certificação Procel Edifica e as certificações AQUA e LEED, além da aplicação destas três certificações em um caso de estudo em Curitiba. Os resultados evidenciam a clara diferença metodológica entre as três certificações, comprovando as divergências pelos resultados encontrados no caso de estudo. Além disto, discutem-se pontualmente as diferenças e convergências teóricas e práticas das metodologias das certificações supracitadas, com um posicionamento final da certificação Procel Edifica nos parâmetros atuais de mercado.

**Palavras-chave:** Eficiência energética; Certificação energética; Procel Edifica; Certificação AQUA; Certificação LEED.

## ABSTRACT

MARQUES, Andrews D.; SOARES, Eduardo F. A. Comparison study of the application of Procel Edifica's energy label for single family residences with the main energy certification programs used in Brazil. 2013. 153f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica), Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

This paper presents a theoretical and practical approach towards a comparison study of Procel Edifica's certification program for existing homes. It presents the main concepts used for home constructive and energy analysis. It also demonstrates the main analogue characteristics of Procel Edifica's certification program in two other world known energy certification programs: AQUA certification and LEED certification. It proposes a theoretical comparison between Procel Edifica's certification and AQUA and LEED certifications. A study case is also led with the application of said three certifications in a home in Curitiba. The results found demonstrate the clear methodological differences between the three certification programs, confirmed by the results found on the study case. This paper punctually discusses the theoretical and practical divergences and convergences of the methodologies for the already mentioned certification programs, with a final positioning of Procel Edifica's certification program on the current market parameters.

**Keywords:** Energy efficiency; Energy certification; Procel Edifica; AQUA certification; LEED certification.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Qualidade de um edifício verde.....	20
Figura 2: Fluxograma de procedimentos.....	24
Figura 3: Valores de resistência e capacitância térmica .....	27
Figura 4: Programa Procel Edifica.....	28
Figura 5: Selo Procel Edifica – UHA.....	39
Figura 6: Importância percentual de cada item - Procel Edifica .....	41
Figura 7: Processo AQUA .....	42
Figura 8: 14 categorias do processo AQUA .....	45
Figura 9: Exigência mínima para certificação no processo AQUA .....	46
Figura 10: Certificação LEED .....	54
Figura 11: Caminhos para avaliação da energia e atmosfera – <i>LEED for Homes</i> .....	61
Figura 12: Tipologias de sistema de água quente.....	64
Figura 13: Residência utilizada no caso de estudo .....	74
Figura 14: Medição das janelas no caso de estudo .....	77
Figura 15: Janela “J2” .....	78
Figura 16: Tipologia de janela utilizada para a janela “J2” .....	78
Figura 17: Representação final da janela “J2” e suas medidas.....	78
Figura 18: Valores de resistência e capacitância térmica da parede do caso de estudo .....	79
Figura 19: Detalhe da coloração externa da residência .....	80
Figura 20: Detalhe da coloração externa da sala .....	80
Figura 21: Detalhe da cobertura da residência .....	82
Figura 22: Valores de resistência e capacitância térmica da cobertura do caso de estudo.....	82
Figura 23: Lâmpada fluorescente compacta de 25 W .....	83
Figura 24: Sistema de aquecimento de água .....	85
Figura 25: Isolamento das tubulações de água quente - Elumaflex .....	85
Figura 26: Arejador de torneira no WC2.....	86
Figura 27: Detalhes do aquecedor de água .....	95
Figura 28: Quadro do processo AQUA – caso de estudo 1 .....	104
Figura 29: Dados climáticos de Curitiba no <i>software</i> Energy Gauge .....	110

Figura 30: Dados dos ambientes no <i>software</i> Energy Gauge .....	110
Figura 31: Dados dos pisos no <i>software</i> Energy Gauge .....	111
Figura 32: Paredes no <i>software</i> Energy Gauge .....	112
Figura 33: Iluminação artificial no <i>software</i> Energy Gauge .....	113
Figura 34: Aquecedor de água no <i>software</i> Energy Gauge .....	113
Figura 35: Resultado final do <i>software</i> Energy Gauge .....	114
Figura 36: Descrição da parede no caso de estudo hipotético.....	117
Figura 37: Janela tipo cortina de vidro .....	118
Figura 38: Tabela de descontos da esquadria .....	118
Figura 39 - Quadro do processo AQUA – caso de estudo 2 .....	123
Figura 40: Novas paredes no <i>software</i> Energy Gauge.....	125
Figura 41: Resultado no <i>software</i> Energy Gauge após alterações .....	126
Figura 42: Evolução de desempenhos dos resultados.....	129

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Histórico de certificações ambientais .....	21
Tabela 2: Valores de resistência e capacitância térmica – NBR 15220-2 .....	26
Tabela 3: Níveis de eficiência - Procel Edifica.....	30
Tabela 4: Pontuação e níveis de eficiência respectivos - Procel Edifica .....	31
Tabela 5: Resultado e nível de eficiência - resfriamento .....	34
Tabela 6: Resultado e nível de eficiência - consumo para aquecimento.....	34
Tabela 7: Custo médio certificação AQUA .....	53
Tabela 8: Pontos disponíveis para cada item do LEED for Homes .....	59
Tabela 9: Níveis de certificação - LEED for Homes .....	59
Tabela 10: Pontuação do desempenho energético otimizado.....	63
Tabela 11: Custo médio certificação LEED .....	65
Tabela 12: Comparação metodológica das certificações Procel Edifica, AQUA e LEED .....	70
Tabela 13: Abrangência e foco das certificações Procel Edifica, AQUA e LEED .....	71
Tabela 14: Abrangência dos métodos Procel Edifica, AQUA e LEED no âmbito energético.....	73
Tabela 15: Dados iniciais da residência .....	75
Tabela 16: Ambientes da residência do caso de estudo .....	76
Tabela 17: Tipos de superfície e suas absorções respectivas .....	81
Tabela 18: Sistemas de iluminação artificial do caso de estudo .....	83
Tabela 19: Variáveis da envoltória da residência .....	90
Tabela 20: Resultado numérico do $G_{H_R}$ e do $C_A$ para cada ambiente .....	92
Tabela 21: Resultado final dos equivalentes numéricos da envoltória .....	92
Tabela 22: Bonificações em ventilação natural .....	97
Tabela 23: Bonificações em iluminação natural .....	99
Tabela 24: Bonificações em uso racional de água .....	101
Tabela 25: Bonificações em iluminação artificial .....	102
Tabela 26: Resultados AQUA do caso de estudo .....	108
Tabela 27: Variáveis da envoltória da residência modificada.....	120
Tabela 28: Resultado numérico do $G_{H_R}$ e do $C_A$ para os ambientes modificados .....	121

Tabela 29: Resultados AQUA com a residência modificada .....	124
Tabela 30: Resultados dos casos de estudo.....	129

## LISTA DE SIGLAS

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerant and Air-Conditioning Engineers
ASTM	American Society of Testing and Materials
BEN	Balanço Energético Nacional
CDRN	Conselho de Defesa de Recursos Naturais
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
FCAV	Fundação Carlos Alberto Vanzolini
GBCB	Green Building Council Brasil
HERS	Home Energy Rating System
HQE	Haute Qualité Environnementale
IEA	International Energy Agency
IECC	International Energy Conservation Code
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
OI3E	Organismo de Inspeção em Eficiência Energética de Edificações
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
QAE	Qualidade Ambiental do Edifício
SGE	Sistema de Gestão do Empreendimento
UHA	Unidade Habitacional Autônoma
USGBC	United States Green Building Council

## LISTA DE ACRÔNIMOS

ANSI	American National Standards Institute
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
CERQUAL	Certification Qualité Logement
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ONU	Organização das Nações Unidas
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$	Absortância
$C_T$	Capacitância térmica
$C_A$	Consumo relativo para aquecimento
$C_R$	Consumo relativo para refrigeração
$U$	Transmitância térmica
$R_{se}$	Resistência superficial externa
$R_T$	Resistência térmica total do sistema
FCS	Fator de calor solar
EqNum	Equivalente numérico de desempenho energético da edificação
PT	Pontuação total na certificação Procel Edifica
EqNumAA	Equivalente numérico de desempenho em aquecimento d'água
EqNumEnv	Equivalente numérico de desempenho da envoltória
EqNumEnv <sub>R</sub>	Equivalente numérico de desempenho para resfriamento
EqNumEnv <sub>A</sub>	Equivalente numérico de desempenho para aquecimento
EqNumAmb	Equivalente numérico de desempenho do ambiente
EqNumAmb <sub>R</sub>	Equivalente numérico de desempenho do ambiente para resfriamento
EqNumAmb <sub>A</sub>	Equivalente numérico de desempenho do ambiente para aquecimento
EqNumEq	Equivalente numérico de desempenho dos equipamentos
EqNumIllum	Equivalente numérico de desempenho do sistema de iluminação
GH <sub>R</sub>	Indicador de graus-hora para resfriamento

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
1.1 Introdução ao tema .....	18
1.2 Problema .....	21
1.3 Objetivo geral.....	22
1.4 Objetivos específicos .....	22
1.5 Justificativa .....	23
1.6 Procedimentos metodológicos .....	23
1.7 Estrutura do trabalho .....	25
2. REVISÃO TEÓRICA .....	26
2.1 Medidas padronizadas.....	26
2.2 Certificação Procel Edifica .....	28
2.2.1 Introdução .....	28
2.2.2 RTQ-R.....	29
2.2.3 Conceitos próprios do Procel Edifica.....	31
2.2.4 Método de avaliação .....	32
2.2.4.1 Envoltória.....	32
2.2.4.2 Sistema de aquecimento d'água.....	35
2.2.4.3 Bonificações .....	37
2.2.4.4 Pontuação total.....	39
2.2.5 Custos .....	40
2.2.6 Processo de certificação .....	40
2.2.7 Considerações parciais sobre a certificação Procel Edifica .....	40
2.3 Certificação AQUA.....	42
2.3.1 Introdução .....	42
2.3.1.1 Referencial do Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) .....	44
2.3.1.2 Referencial da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE).....	44

2.3.2 Foco e aplicação para o caso de estudo em questão .....	46
2.3.3 Método de avaliação .....	49
2.3.3.1 Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica .....	49
2.3.3.2 Uso de energias renováveis locais .....	50
2.3.3.3 Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão.....	51
2.3.3.4 Redução do consumo de energia para os sistemas de iluminação .....	51
2.3.3.5 Redução do consumo de energia para os demais equipamentos .....	51
2.3.3.6 Controle da eficiência energética.....	51
2.3.3.7 Desempenho do sistema para produção de água quente .....	52
2.3.3.8 Equipamento para a permanência do desempenho na fase de uso.....	52
2.3.3.9 Conforto higrotérmico .....	52
2.3.4 Custos .....	53
2.3.5 Processo de certificação .....	53
2.3.6 Considerações parciais sobre a certificação AQUA.....	53
2.4 Certificação LEED – <i>Leadership in Energy and Environmental Design</i> ..	54
2.4.1 Introdução .....	54
2.4.2 Método de Avaliação.....	58
2.4.3 Energia e atmosfera .....	60
2.4.3.1 Desempenho energético otimizado – Simulação computacional	61
2.4.3.2 Sistema de distribuição de água quente .....	64
2.4.3.3 Isolamento da tubulação de água quente .....	65
2.4.3.4 Gerenciamento da refrigeração .....	65
2.4.4 Custos .....	65

2.4.5	Processo de certificação .....	66
2.4.6	Considerações parciais sobre a certificação LEED.....	66
3.	DESENVOLVIMENTO .....	68
3.1	Critérios para comparação da metodologia do Procel Edifica .....	68
3.2	Comparação teórica .....	69
3.2.1	Diferenças metodológicas .....	69
3.2.2	Diferenças no nível de abrangência das certificações .....	70
3.2.3	Diferenças quanto à eficiência energética nas certificações .....	72
3.3	Caso de estudo.....	74
3.3.1	Local.....	74
3.3.2	Coleta de dados .....	75
3.3.2.1	Dados gerais da residência .....	75
3.3.2.2	Ambientes da residência .....	75
3.3.2.3	Janelas .....	76
3.3.2.4	Paredes .....	79
3.3.2.5	Cobertura.....	81
3.3.2.6	Sistema de iluminação artificial.....	82
3.3.2.7	Sistema de aquecimento de água .....	84
3.3.2.8	Dispositivos especiais.....	85
3.3.3	Aplicação da certificação Procel Edifica.....	86
3.3.4	Aplicação da certificação AQUA.....	103
3.3.5	Aplicação da certificação LEED .....	109
3.4	Caso de estudo hipotético .....	116
3.4.1	Aplicação da certificação Procel Edifica.....	119
3.4.2	Aplicação da certificação AQUA.....	122
3.4.3	Aplicação da certificação LEED .....	125
4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	127
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	131

REFERÊNCIAS.....	133
GLOSSÁRIO.....	138
ANEXO A – Exemplo de cálculo da NBR 15220-2.....	141
ANEXO B – Variáveis para cálculos da envoltória no Procel Edifica .....	143
APÊNDICE A – Residência do caso de estudo.....	148
APÊNDICE B – Residência após alterações hipotéticas.....	151

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Introdução ao tema

Desde o início da era da eletricidade urbana, na segunda década do século XIX, até o final dos anos 1960, não houve qualquer preocupação significativa no que diz respeito à eficiência energética. Foram aproximadamente 140 anos de crescimento desregrado do uso de energia em edifícios residenciais, comerciais e mesmo na indústria (HERNANDES, 2006, p.24-25).

Porém, pode-se atribuir uma data de surgimento da preocupação mundial com a questão energética: dia 17 de outubro de 1973, data também conhecida como o primeiro choque do petróleo. Nesse período a diminuição da extração de petróleo por parte dos maiores produtores do mundo, fez com que o preço do barril de petróleo quase quadruplicasse. O choque foi tão grande que não atingiu somente o setor de transportes, mas também gerou grandes impactos no setor de edifícios, setores que até então não conheciam essa fragilidade (ROMERO, 2012, p.19-20).

Segundo Romero (2012, p.21), a preocupação com o consumo de energia elétrica não era uma realidade em nenhuma parte do globo. Até então não havia políticas públicas ou governamentais que auxiliassem na boa utilização energética. O choque do petróleo deflagrou um processo totalmente novo a uma escala mundial: o desenvolvimento e aplicação de regulamentos com força de lei e políticas de incentivo que visassem a redução e o bom uso de recursos energéticos em edifícios.

A *International Energy Agency* (IEA), ou Agência Internacional de Energia, surgiu nesse contexto de crise, em 1974, a fim de tratar questões relacionadas ao petróleo, as quais foram expandidas posteriormente a outras fontes de energia. A IEA é uma organização intergovernamental que atua como conselheira de política energética para 28 países membros<sup>1</sup> gerando esforços

---

<sup>1</sup> São membros da IEA: Austrália, República da Coreia, Áustria, Luxemburgo, Bélgica, Países Baixos, Canadá, Nova Zelândia, República Checa, Noruega, Dinamarca, Polônia, Finlândia, Portugal, França, República Eslovaca, Alemanha, Espanha, Grécia, Suécia, Hungria, Suíça, Irlanda, Turquia, Itália, Reino Unido, Japão e Estados Unidos.

para garantir energia confiável e limpa para os cidadãos (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2013).

Segundo Romero (2012, p.29), além da criação da IEA, outro fato foi bastante significativo no âmbito da eficiência em edifícios: o desenvolvimento dos primeiros regulamentos com restrições ao consumo de energia, conhecidos como regulamentos energéticos.

Nos treze anos que seguiram, a energia era tida como a principal preocupação dos países desenvolvidos ou em desenvolvimento, e esta vinha se atrelando a diversos outros fatores ambientais, especificamente nas áreas de gestão e poluição da água, do ar e do solo. Esses fatores, atrelados às políticas de eficiência energética que vinham evoluindo desde 1974 em todo o mundo, deram origem ao conceito “desenvolvimento sustentável” (ROMERO, 2012, p.29). Segundo Hernandez (2006, p.27), o conceito foi utilizado e definido pela primeira vez em 1987:

“Desenvolvimento econômico e social que atenda às necessidades da geração atual sem comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND, 1987).

Apesar das grandes mudanças de caráter econômico no que diz respeito à eficiência energética terem ocorrido a partir 1974, as de caráter ideológico vinham acontecendo há alguns anos por meio de reuniões internacionais, como por exemplo, em Estocolmo em 1972, a “Primeira Conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o Meio Ambiente” onde foram elaborados os 26 princípios para guiar os povos do mundo na preservação e melhoria do meio ambiente (CLARKE; TIMBERLAKE, 2002). Dentre estes pode-se salientar, segundo a ONU (1972):

2. Os recursos naturais devem ser preservados. [...]
5. Os recursos não-renováveis devem ser compartilhados, não esgotados. [...]
13. É necessário estabelecer um planejamento integrado para o desenvolvimento. [...]
18. A ciência e a tecnologia devem ser usadas para melhorar o meio ambiente.
19. A educação ambiental é essencial.

Porém, a conferência mais significativa só viria a ocorrer em 1992, a Conferência das Nações Unidas para o Clima e o Meio Ambiente (conhecida também como Rio'92 ou Eco'92), realizada no Rio de Janeiro. Nesta conferência, acordou-se a implementação de uma série de políticas ambientais e a construção da Agenda 21, que seria desenvolvida por municípios, estados e governos centrais de países signatários (FOLHA DE S. PAULO, 2002).

Diferentemente da questão energética que possui uma data definida como estopim para tomada de decisões, a questão ambiental veio se desenrolando ao longo das décadas de 1970 e 1980 e culminou na Rio'92 (ROMERO, 2012, p.30).

Nessa mesma época, no âmbito da sustentabilidade do ambiente construído e dos edifícios, surgem também as ferramentas de certificação ambiental voluntária, os chamados selos verdes. Atualmente, esses selos majoritariamente não são utilizados por força de lei, mas como opção do mercado e por exigência do cliente. Essa política tem por objetivo incentivar o aumento do desempenho ambiental dos edifícios, de forma que o selo agregue valor ao empreendimento (ROMERO, 2012, p.30-31).

Segundo Romero (2012, p.75), as certificações ambientais tratam basicamente de cinco grupos de assuntos: local, água, energia, materiais e qualidade do ambiente interior. Essas terminologias variam entre as certificações, mas acabam por se enquadrar nesses cinco itens, como mostrado na Figura 1.



**Figura 1: Qualidade de um edifício verde**

**Fonte: Nova Arquitetura (2011)**

De acordo com Romero (2012, p. 32), a partir de 1990 começam a surgir uma série de certificações ao redor do mundo, como exposto na Tabela 1, todas refletindo de certa forma a realidade e especificidades de seu país, sejam elas climáticas, culturais ou construtivas.

**Tabela 1: Histórico de certificações ambientais**

Ano	Local	Certificação
1990	Inglaterra	BREEAM
1998	E.U.A.	LEED
2002	Austrália	Green Star
2002	Japão	Casbee
2002	França	HQE
2003	E.U.A.	Cal-Arch
2004	Austrália	Nabers
2004	E.U.A.	Energy Star

**Fonte: Adaptado de Valente (2009, p.25)**

No Brasil, assim como outros países, são utilizadas tanto certificações nacionais (ex: Procel Edifica, Selo Casa Azul Caixa e processo AQUA), quanto certificações internacionais (ex: LEED) (ROMERO, 2012). Porém, a título de comparação, para se atingir o escopo do trabalho<sup>2</sup>, será considerado o selo Procel Edifica e os dois processos de certificação mais utilizados no país de acordo com Leite (2011, p.19): as certificações AQUA e LEED. Portanto, os processos que serão apresentados na sequência de aparecimento são: Procel Edifica, AQUA e LEED.

## 1.2 Problema

O método Procel Edifica para edifícios residenciais foi lançado recentemente em 2012 (INMETRO, 2012). Por conta disso, até o momento existem poucos empreendimentos que possuem a certificação. Resta saber se esse número crescerá nos próximos anos e impactará no uso de energia elétrica nas residências.

<sup>2</sup> Ver item 1.4 Objetivos específicos, na página 22.

Antes que um sistema de etiquetagem atenda seus objetivos de controle de desperdício é necessária a aceitação de seu método por parte dos profissionais envolvidos. Para tanto, este método deve apresentar fatores que o tornem atraente, como uma formulação que propicie uma avaliação eficiente e adequada dos quesitos que realmente contribuem para o aumento da eficiência energética.

Em função das características anteriormente citadas, questiona-se: O programa de etiquetagem do Procel Edifica possui as características necessárias que tornam sua aplicação atraente frente aos outros sistemas de etiquetagem existentes atualmente?

### **1.3 Objetivo geral**

Realizar um estudo comparativo do programa de etiquetagem do Procel Edifica para edifícios residenciais já existentes frente a duas outras certificações utilizadas atualmente no Brasil.

### **1.4 Objetivos específicos**

- Identificar os conceitos e procedimentos da metodologia específica de etiquetagem do Procel Edifica para residências;
- identificar os conceitos e procedimentos análogos ao Procel Edifica nas metodologias de etiquetagem das principais certificações utilizadas no Brasil no que se refere a consumo e eficiência energética;
- estabelecer critérios que permitam a comparação dos procedimentos de certificação do Procel Edifica frente às outras certificações escolhidas para comparação;
- identificar as principais divergências entre a metodologia de certificação do Procel Edifica frente às principais certificações utilizadas no Brasil;
- aplicar as metodologias das certificações apresentadas em um caso de estudo de uma residência com área inferior a 500 m<sup>2</sup> sem condicionamento artificial de ar;

- identificar as divergências e as convergências dos resultados da certificação do Procel Edifica com as outras certificações utilizadas no caso de estudo;

### **1.5 Justificativa**

É primordial a utilização de medidas normativas e classificatórias quando a questão em voga é a eficiência energética. Dentre estas se destacam, como exposto por Romero (2012, p.30), os selos de certificação de eficiência, como o anteriormente citado selo do Procel Edifica. Finalmente, este trabalho vai de encontro com a proposição de Dias e Silva (2010), que sugerem a aplicação do método Procel Edifica em instalações residenciais, com áreas menores que 500 m<sup>2</sup>, avaliando este método e dando continuidade aos estudos acadêmicos por eles já desenvolvidos.

### **1.6 Procedimentos metodológicos**

O trabalho contempla primeiramente uma pesquisa bibliográfica englobando os conceitos do programa Procel Edifica para edificações residenciais já existentes. Destacam-se o histórico do programa, os conceitos envolvidos e um levantamento do material oficial de base para a aplicação do programa de etiquetagem. Estes são utilizados para a identificação dos principais conceitos e dos procedimentos ligados à metodologia do Procel Edifica para residências.

Contempla também uma segunda pesquisa levantando a metodologia base de trabalho dos programas de certificação mais relevantes no país para posicionar e comparar o processo de etiquetagem do Procel Edifica com seus análogos nos parâmetros atuais de mercado.

A identificação dos conceitos e procedimentos específicos de cada certificação permite o estabelecimento de critérios para comparar o processo de etiquetagem do Procel Edifica frente a seus principais concorrentes.

Uma vez definidos os critérios de comparação, avaliam-se as divergências de formulação e aplicação entre a metodologia específica do

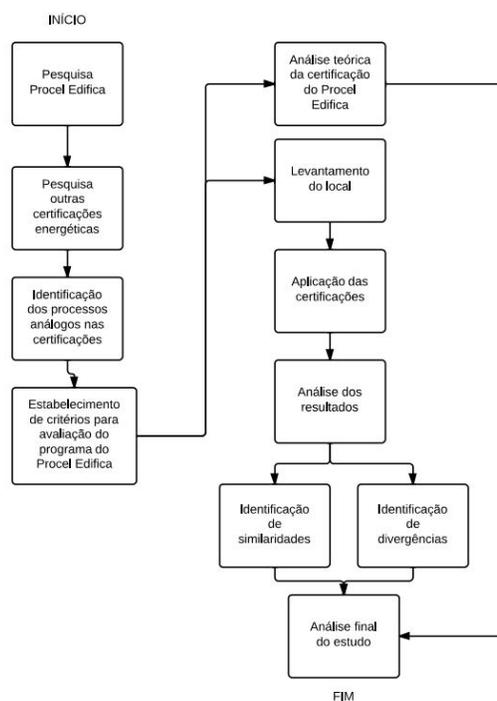
Procel Edifica e as outras certificações estudadas, comparando-as de acordo com sua metodologia base de aplicação.

Em sequência demonstra-se a aplicação das metodologias de etiquetagem apresentadas em uma residência de Curitiba que atenda as premissas do estudo: área inferior a 500 m<sup>2</sup> e sem condicionamento artificial de ar. Após a definição de uma residência que atenda o padrão definido, a metodologia é aplicada, juntamente com as duas principais certificações concorrentes.

Uma vez aplicado o procedimento de certificação energética do Procel Edifica e seus análogos nas certificações concorrentes, os critérios estabelecidos anteriormente são utilizados para comparar e posicionar a metodologia do Procel Edifica.

Por fim, são identificadas as principais divergências e convergências entre os métodos e os resultados encontrados para certificações desenvolvidas no caso de estudo.

O fluxograma mostrado na Figura 2 resume os procedimentos metodológicos.



**Figura 2: Fluxograma de procedimentos**

**Fonte: Autoria própria**

## 1.7 Estrutura do trabalho

O trabalho é constituído de cinco capítulos segundo a forma:

O **Capítulo 01** apresenta uma introdução ao assunto abordado, o problema, os objetivos e os objetivos específicos, a justificativa, os procedimentos metodológicos e a estrutura do trabalho.

O **Capítulo 02** apresenta a revisão bibliográfica, a definição dos diversos conceitos utilizados pelo processo de etiquetagem do programa Procel Edifica, além da apresentação das certificações internacionais que serão utilizadas para comparação no caso de estudo.

O **Capítulo 03** apresenta o estabelecimento dos critérios para comparação do programa de etiquetagem do Procel Edifica neste trabalho. Além disso, apresenta a comparação teórica entre o programa do Procel Edifica e as certificações apresentadas no trabalho. Contempla também o desenvolvimento completo da aplicação do caso de estudo das certificações em uma residência de Curitiba, incluindo o levantamento de dados, as metodologias utilizadas e os resultados encontrados.

O **Capítulo 04** apresenta a análise dos resultados do caso de estudo baseado nos critérios de comparação estabelecidos no terceiro capítulo.

O **Capítulo 05** apresenta as considerações finais obtidas por meio das análises realizadas no capítulo anterior.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

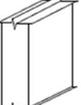
Este capítulo visa apresentar os diferentes conceitos e medidas que tangem as certificações energéticas, relacionados direta ou indiretamente à energia elétrica, e envolvidos no processo de avaliação das certificações analisadas neste estudo. Assim como as metodologias base das certificações Procel Edifica, AQUA e LEED.

### 2.1 Medidas padronizadas

Os valores utilizados no caso de estudo e adotados durante todo o desenvolvimento deste trabalho se baseiam no método de cálculo apresentado na “NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações” (ABNT, 2003). Esta apresenta as diferentes formulações numéricas necessárias para a determinação da capacidade térmica e da resistência térmica de paredes, forros e lajes, juntamente com os valores médios das grandezas supracitadas para cada tipo de material utilizado na construção civil (concreto, tijolos, argamassa,...).

A Tabela 2 mostra um exemplo dos valores normalizados para a resistência térmica e a capacitância térmica de algumas topologias usuais de paredes<sup>3</sup>.

**Tabela 2: Valores de resistência e capacitância térmica – NBR 15220-2**

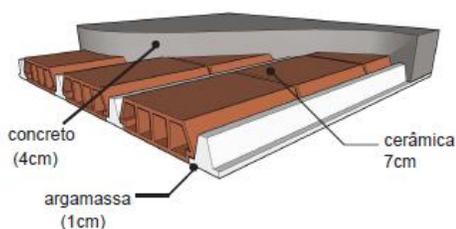
Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>t</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]
	Parede de concreto maciço Espessura total: 5,0 cm	5,04	120
	Parede de concreto maciço Espessura total: 10,0 cm	4,4	240
	Parede de tijolos maciços aparentes Dimensões do tijolo: 10x6x22 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura total da parede: 10,0 cm	3,7	149

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2: Anexo D (ABNT, 2003, p. 18)

<sup>3</sup> Para mais informações das fórmulas de cálculo das diferentes propriedades térmicas presentes na NBR 15220-2, ver Anexo A.

Em adição, o manual do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina – LabEEE (2010) determina as propriedades térmicas de outras topologias de paredes, lajes e forros, não evidenciadas na NBR 15220-2 (ABNT, 2003), porém utilizando a mesma formulação nesta apresentada.

A Figura 3 mostra um exemplo de propriedades térmicas como exposto no manual supracitado (LABEEE, 2010). Verifica-se que além de expor a resistência e a capacitância térmica de diversos sistemas construtivos, são mostrados diferentes valores de fatores de calor solar para diferentes valores de absorptância térmica, evidenciando também o impacto da coloração da pintura externa nos cálculos térmicos desses sistemas. Os valores indicativos de absorptância térmica para diferentes composições e pinturas externas são mostrados na NBR 15220-2 (ABNT, 2003, p.8).



Descrição:

Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm +  
lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm)  
Sem telhamento

U	C <sub>T</sub>	α	FCS
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]
2,95	167	0,2	2,4
		0,4	4,7
		0,8	9,5

**Figura 3: Valores de resistência e capacitância térmica**

**Fonte: LabEEE (2010, p.9)**

Estas propriedades são utilizadas nos cálculos necessários para as diferentes metodologias de certificação energética presentes neste estudo, como exposto nas seções subsequentes.

## 2.2 Certificação Procel Edifica



Figura 4: Programa Procel Edifica

Fonte: Procel Info (2013)

### 2.2.1 Introdução

De acordo com Dias e Silva (2010), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) promove a racionalização do consumo de energia elétrica, para combater o desperdício e reduzir os custos e os investimentos setoriais, aumentando assim a eficiência energética.

O Procel foi criado pelo governo federal em 1985 e atualmente é executado com recursos da Eletrobrás. Em 25 anos de existência, ajudou a economizar 28,5 milhões de MWh: consumo equivalente a 16,3 milhões de residências e à energia gerada por uma hidrelétrica de capacidade instalada de 6.841 MW, que teria um custo aproximado de R\$ 19,9 bilhões (PROCEL, 2008).

No ano de 1993 foi criada e instituída por Decreto Presidencial a utilização do “Selo Procel de Economia de Energia” que indica o desempenho energético de produtos, avaliando-os em uma escala de A à E. A finalidade do Selo é auxiliar o consumidor na hora da compra e estimular a produção de produtos mais eficientes contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a redução de impactos ambientais (INMETRO, 2012).

Em 2003 foi instituído pelo Procel o “Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações” (também conhecido como Procel Edifica). Parte integrante desse programa é o “Selo Procel Edifica”, desenvolvido durante cinco anos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) e pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE). Com um financiamento da Eletrobrás de cerca de um milhão de reais, o Selo Procel Edifica representa um plano de ação para a eficiência energética em edificações e visa construir

as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações no Brasil (PROCEL, 2008).

O programa consiste em promover a etiquetagem de edifícios semelhante ao que ocorre com os produtos eletrodomésticos, demonstrando a forma com que o edifício utiliza a energia elétrica (DIAS; SILVA, 2010).

O selo Procel Edifica possui atualmente duas categorias:

- **RTQ-R:** Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
- **RTQ-C:** Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais de Serviços e Públicos

Neste trabalho foi considerado o RTQ-R do Procel Edifica, ou seja, a categoria voltada à avaliação do nível de eficiência energética de edificações residenciais.

### 2.2.2 RTQ-R

De acordo com o Inmetro (2012, p.15), o método de certificação energética residencial como proposto pelo programa “Procel Edifica para Edificações Residenciais” é aplicável a três tipos distintos de edificações: Unidades Habitacionais Autônomas (UHAs); edificações unifamiliares e; edificações multifamiliares. O método de cálculo e certificação para as três diferentes topologias de edificações segue o mesmo procedimento, excetuando-se que para as edificações multifamiliares são também levados em conta os gastos energéticos e as características específicas das áreas de uso comum do edifício a ser certificado.

O procedimento de avaliação propriamente dito se divide na determinação da eficiência energética em três categorias distintas: envoltória; aquecimento d’água e; bonificações. Cada categoria, por sua vez, possui uma característica singular de avaliação e uma representação parcial diferente no resultado final da certificação, seguindo diferentes equações para cada tipologia de edifício (INMETRO, 2012, p.15).

O nível de eficiência final, como mostrado na Tabela 3, se divide em cinco níveis, variando de A, para o mais eficiente, até E para o menos eficiente.

**Tabela 3: Níveis de eficiência - Procel Edifica**

Nível de Eficiência	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

**Fonte: Adaptado de Inmetro (2012, p.16)**

A pontuação, segundo o Inmetro (2012, p.15), segue um sistema de pré-requisitos juntamente com a avaliação numérica de eficiência de cada categoria supracitada. Por exemplo, para a obtenção dos níveis de eficiência A ou B em edificações multifamiliares, é necessário que estas atendam o pré-requisito de possuir um sistema de medição individualizada de eletricidade e de água. Caso não a possuam, independente da avaliação energética numérica do edifício, seu nível máximo de eficiência será o nível C.

Segundo indicações deste mesmo regulamento técnico do Inmetro (2012), o sistema de pré-requisitos aparece em diversos itens da avaliação e segue as regras mostradas no caso de estudo na sequência deste trabalho.

A Tabela 4 mostra a faixa de valores numéricos de pontuação no sistema de certificação e o correspondente nível de eficiência classificado pelo programa de etiquetagem do Procel Edifica.

O cálculo do valor numérico de pontuação pode ser efetuado através de um método prescritivo ou através de simulações computacionais, como será mostrado na seção 2.2.4 deste trabalho (página 32).

Seguindo as condições citadas nos objetivos específicos do trabalho, o foco das subseções seguintes será o cálculo e a subsequente certificação energética segundo a metodologia do Procel Edifica para tais características.

**Tabela 4: Pontuação e níveis de eficiência respectivos - Procel Edifica**

Pontuação (PT)	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$2,5 \leq PT < 3,5$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

**Fonte: Adaptado de Inmetro (2012, p.17)**

### 2.2.3 Conceitos próprios do Procel Edifica

Esta subseção possui a finalidade de descrever os diversos conceitos e a nomenclatura específica utilizada na metodologia de certificação energética do Procel Edifica. São eles (INMETRO, 2012, p.9-12):

- EqNum – equivalente numérico

Número representativo da eficiência ou do desempenho de um sistema.

- EqNumAA – equivalente numérico do aquecimento de água

Número representativo da eficiência do sistema de aquecimento de água.

- EqNumEnv – equivalente numérico da envoltória

Número representativo do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma. Pode ser desempenho para resfriamento (EqNumEnv<sub>Resfr</sub>) ou para aquecimento (EqNumEnv<sub>A</sub>).

- EqNumEnvAmb – equivalente numérico da envoltória do ambiente

Número representativo do desempenho térmico da envoltória de um ambiente de permanência prolongada. Pode ser desempenho para resfriamento (EqNumEnvAmb<sub>Resfr</sub>) ou para aquecimento (EqNumEnvAmb<sub>A</sub>).

- EqNumEq – equivalente numérico dos equipamentos  
Número representativo da eficiência dos equipamentos.
- EqNumIllum – equivalente numérico do sistema de iluminação artificial  
Número representativo da eficiência do sistema de iluminação artificial.
- Indicador de graus-hora para resfriamento (GHR)

Indicador de desempenho térmico da envoltória da edificação naturalmente ventilada, baseado no método dos graus-hora, que utiliza uma temperatura base, independente de temperaturas de conforto, consistindo em uma temperatura de referência para comparações. Segundo indicações do mesmo regulamento técnico do Inmetro (2012, p.12), este indicador representa o somatório anual de graus-hora, calculado para a temperatura de base de 26°C para resfriamento. O cálculo é realizado através da temperatura operativa do ambiente.

- Pontuação total (PT)

Pontuação total alcançada pela edificação.

Esses conceitos são utilizados durante o método de avaliação da certificação, como mostrado na próxima subseção.

## 2.2.4 Método de avaliação

A certificação energética do Procel Edifica, como supracitado, trata-se da avaliação do desempenho energético de uma edificação em três categorias – envoltória, aquecimento d'água e bonificações – com formas de avaliação distintas para cada. Os pré-requisitos e metodologias de cálculo são:

### 2.2.4.1 Envoltória

De acordo com o Inmetro (2012, p. 22), o cálculo do desempenho energético da envoltória de uma unidade habitacional autônoma, pode ser

efetuado através de um método prescritivo ou através de simulações, e em ambos os casos deve atender uma série de pré-requisitos de índices térmicos, de ventilação natural e de iluminação natural.

- Pré-requisitos

Os pré-requisitos da envoltória são, segundo indicações do regulamento técnico do Inmetro (2012, p.22-28), calculados separadamente para cada ambiente. Para residências localizadas na zona bioclimática 1<sup>4</sup>, são eles:

1. paredes externas de ambientes de permanência prolongada devem possuir transmitância térmica inferior ou igual a  $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  e capacidade térmica superior ou igual a  $130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ .
2. coberturas de ambientes de permanência prolongada devem possuir transmitância térmica inferior ou igual a  $2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
3. o percentual de área de abertura para ventilação sobre a área útil de cada ambiente de permanência prolongada deve ser inferior a 8%.
4. a área de abertura para iluminação natural em cada ambiente de permanência prolongada deve corresponder a no mínimo 12,5% da área útil do ambiente.
5. pelo menos 50% dos banheiros, com exceção dos lavabos, deve possuir ventilação natural.

O não cumprimento de um ou mais dos pré-requisitos supracitados, como mencionado anteriormente, implica em uma avaliação máxima de nível C em índices específicos de desempenho da envoltória.

Uma vez determinado o atendimento ou não desses pré-requisitos, o cálculo do desempenho da envoltória pode ser feito através de dois métodos distintos: o método prescritivo ou o método simulado (INMETRO, 2012, p.28).

- Método prescritivo

Este método baseia-se na utilização de equações analíticas para determinar a pontuação final da envoltória de uma UHA (Unidade Habitacional

---

<sup>4</sup> Onde se encontra a cidade de Curitiba segundo a NBR 15220-2.

Autônoma). O desempenho térmico da envoltória para unidades sem condicionamento artificial de ar, segundo o Inmetro (2012, p.29), é realizado através da determinação do desempenho do edifício em duas categorias – graus-hora para resfriamento e consumo para aquecimento. Ou seja, avalia-se a capacidade de isolamento térmico dos ambientes, assim como o consumo energético necessário para aquecê-los.

Como citado anteriormente, os cálculos realizados nessa parte da certificação são realizados separadamente para cada ambiente. O resultado final é constituído da média ponderada dos índices pela área útil dos ambientes onde estes foram calculados (INMETRO, 2012, p.31).

As equações, as variáveis e as constantes de cálculo utilizadas nessa categoria podem ser encontradas nas páginas 33 a 40 do regulamento técnico do Procel Edifica do Inmetro (2012) e também no desenvolvimento do caso de estudo na sequência do trabalho. As Tabelas 5 e 6 mostram os resultados numéricos finais e o nível relativo de eficiência obtido em cada uma dessas categorias.

**Tabela 5: Resultado e nível de eficiência - resfriamento**

<b>Eficiência</b>	<b>EqNumEnvAmb<sub>Resfr</sub></b>	<b>Condição</b>
A	5	$GH_R \leq 143$
B	4	$143 < GH_R \leq 287$
C	3	$287 < GH_R \leq 430$
D	2	$430 < GH_R \leq 574$
E	1	$GH_R > 574$

**Fonte: Adaptado de Inmetro (2012, p.40)**

**Tabela 6: Resultado e nível de eficiência - consumo para aquecimento**

<b>Eficiência</b>	<b>EqNumEnvAmb<sub>A</sub></b>	<b>Condição (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>
A	5	$C_A \leq 16.700$
B	4	$16.700 < C_A \leq 33.400$
C	3	$33.400 < C_A \leq 50.099$
D	2	$50.099 < C_A \leq 66.799$
E	1	$C_A > 66.799$

**Fonte: Adaptado de Inmetro (2012, p.40)**

Através da média ponderada desses valores pelas áreas úteis de cada ambiente, como supracitado, obtêm-se, respectivamente, os equivalentes numéricos da envoltória para resfriamento e aquecimento –  $EqNumEnv_{Resfr}$  e  $EqNumEnv_A$ . O resultado final de desempenho da envoltória, segundo o referencial do Procel Edifica no Inmetro (2012, p.32) é dado pela Equação 1.

$$EqNumEnv = 0,08 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,92 \times EqNumEnv_A \quad (1)$$

- Método simulado

O segundo método para determinação do desempenho térmico da envoltória de um edifício, segundo a metodologia apresentada no regulamento técnico do Inmetro (2012, p.63), é a simulação computacional da geometria modelada da edificação.

A metodologia de simulação da envoltória do edifício a ser certificado também depende de um rol de pré-requisitos e de tabelas numéricas para avaliação de desempenho e pode ser encontrada no regulamento técnico do Inmetro (2012, p.63-72). No entanto, de acordo com o Inmetro (2013), de todos os selos já emitidos somente o da Casa Eficiente – Eletrosul seguiu o método simulado. Portanto, para seguir a mesma tendência da maior parte dos empreendimentos já avaliados, o estudo da envoltória será realizado através do método prescritivo para o caso de estudo proposto, e não serão mostrados os detalhes desta metodologia simulada.

#### 2.2.4.2 Sistema de aquecimento d'água

Segundo o Inmetro (2012, p. 77), a certificação energética residencial do Procel Edifica avalia o desempenho dos sistemas de aquecimento de água de uma unidade habitacional autônoma de acordo com o tipo de sistema utilizado. A metodologia, como apresentada pelo Inmetro, foi desenvolvida para cinco tipos distintos de sistemas: sistema de aquecimento solar; de aquecimento gás; de bombas de calor; de aquecimento elétrico e; de caldeiras a óleo.

Os pré-requisitos e o método de avaliação são diferentes para cada tipologia de sistema. São apresentados na sequência, os pré-requisitos e a

metodologia de avaliação do sistema de aquecimento de acumulação central a gás.

- Pré-requisitos

De acordo com o regulamento do Procel Edifica do Inmetro (2012, p.88-97), os pré-requisitos para sistemas de aquecimento de água a gás são:

1. possuir selo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nível A ou B para obtenção do nível A neste quesito do Procel Edifica;
2. instalação em locais protegidos e com ventilação adequada conforme a NBR 13103 e;
3. para obtenção de selagem nível A ou B, o dimensionamento do sistema deve estar dentro de uma variação de 20%, para mais ou para menos, do cálculo realizado na metodologia de avaliação.

- Método de avaliação

Segundo o Inmetro (2012, p. 88-97), a metodologia de avaliação de sistemas de aquecimento de água a gás propõe primeiramente o cálculo de dimensionamento do sistema ideal de aquecimento para o edifício certificado. Caso o sistema real do edifício seja significativamente discrepante – variação de 20% para mais ou para menos na potência e no volume de armazenamento – do sistema ideal calculado, o sistema só poderá receber um nível máximo de certificação de nível C<sup>5</sup>.

Uma vez calculado o sistema ideal, definem-se, como explicita o Inmetro (2012, p. 95), duas possibilidades: aquecedores a gás classificados pelo PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem) e aquecedores a gás não classificados no PBE.

---

<sup>5</sup> Uma nota interessante se mostra no mesmo regulamento técnico do Inmetro (2012, p. 96-99), de que a pior classificação de sistemas de aquecimento d'água a gás é o nível D, nunca atingindo o nível E. Em paralelo é exposto na seção de aquecedores a óleo, de que qualquer aquecedor a óleo diesel, por exemplo, recebe automaticamente a classificação de nível E para o sistema de aquecimento d'água.

De acordo com o regulamento técnico do Procel Edifica do Inmetro (2012, p.95), os aquecedores classificados no Programa Brasileiro de Etiquetagem recebem automaticamente, caso atendidos os pré-requisitos supracitados, a mesma classificação alfabética do PBE, tendo sua pontuação numérica (equivalente numérico) dada pela Tabela 3. Já os aquecedores que ainda não possuem classificação neste programa, devem atender aos níveis de eficiência mínima, segundo as tabelas e métodos de cálculo propostos na página 96 do regulamento técnico do Procel Edifica (INMETRO, 2012).

Uma vez determinados os equivalentes numéricos (pontuações) da envoltória e do sistema de aquecimento de água, a metodologia do Procel Edifica propõe uma série de bonificações de acordo com características específicas da edificação, como mostrado na subseção seguinte (INMETRO, 2012, p.99).

#### 2.2.4.3 Bonificações

As oito bonificações propostas pela metodologia do Procel Edifica no regulamento do Inmetro (2012, p.10), correspondem a um total de 1,5 pontos, com um limite máximo de um ponto extra na classificação do edifício somando todas as bonificações alcançadas – sendo estas justificadas e comprovadas.

A pontuação é, portanto, dada pela soma, parcial e independente, de todas as bonificações tendo como limite um ponto de bonificação. Segundo o Inmetro (2012, p.100-105), os itens aplicáveis para o caso de estudo a ser desenvolvido neste trabalho são:

- ventilação natural (máximo de 0,36 pontos)

Comprovação de porosidade mínima de 20% em duas fachadas de orientação distintas, além de possuir em todos os ambientes de permanência prolongada a existência de dispositivos especiais para a ventilação natural (como venezianas móveis, torres de vento e outros), e/ou a existência de aberturas externas cuja altura relativa ao piso facilite a circulação natural do ar pelo ambiente;

- iluminação natural (máximo de 0,3 pontos)

Comprovação de alta penetração de iluminação natural em termos de profundidade do ambiente, além de altos índices de refletância dos tetos de ambientes de permanência prolongada<sup>6</sup>;

- uso racional d'água (máximo de 0,2 pontos)

Comprovação da utilização de equipamentos economizadores e/ou de sistemas de uso d'água da chuva, estendendo-se à:

- a. bacias sanitárias de água pluvial;
- b. sistemas de descarga com duplo acionamento;
- c. chuveiros com restritor de vazão;
- d. torneiras com arejadores, restritores ou reguladores de vazão, e;
- e. quaisquer outros pontos d'água atendidos por água pluvial;

- iluminação artificial (máximo de 0,1 pontos)

Comprovação de uso de fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com selo Procel. Um total de 0,05 pontos e 0,1 pontos serão obtidos caso este quesito seja alcançado para 50% ou para 100% das fontes de iluminação de ambientes de permanência prolongada, respectivamente;

- refrigeradores (0,1 pontos)

Comprovação de uso de refrigeradores com ENCE nível A ou selo Procel, com condições adequadas de instalação;

A somatória de todas as bonificações alcançadas, como citado anteriormente, constitui o total de pontos em bonificações a ser utilizado no cálculo final da certificação, ressaltando-se sempre que caso esta soma seja

---

<sup>6</sup> Os valores numéricos de referência para determinação destes itens encontram-se no regulamento técnico do Procel Edifica (INMETRO, 2012, p.102-103) e são mostrados com mais detalhes no desenvolvimento do caso de estudo.

superior a um ponto, será adotado para o cálculo, o limite máximo de bonificações de um ponto.

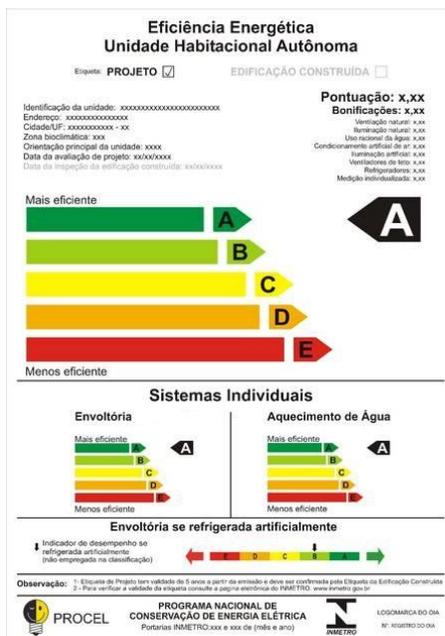
#### 2.2.4.4 Pontuação total

De acordo com o regulamento técnico do Inmetro (2012, p. 17), uma vez determinadas as pontuações equivalentes da edificação a ser certificada nos três itens expostos anteriormente (envoltória, aquecimento e bonificações), a pontuação final da UHA segundo as premissas do caso de estudo em questão é dada pela Equação 2.

$$PT = 0,65 \times EqNumEnv + 0,35 \times EqNumAA + Bonificações \quad (2)$$

Ou seja, a pontuação total da unidade habitacional autônoma depende, 65% do desempenho da envoltória da edificação e 35% do desempenho do sistema de aquecimento d'água.

Uma vez determinada a pontuação total, utiliza-se a Tabela 4, para determinar o nível de eficiência da edificação (variando de E até A). O selo que resulta dessa certificação é semelhante ao exposto na Figura 5.



**Figura 5: Selo Procel Edifica – UHA**  
**Fonte: Adaptado de Nogueira (2011)**

### 2.2.5 Custos

Segundo Nogueira (2012), engenheira civil e gerente da divisão de eficiência energética em edificações da Eletrobrás, não é possível estipular um custo médio por metro quadrado da certificação do Procel Edifica para unidades habitacionais autônomas, no entanto, afirma que o custo médio da certificação se situa na faixa de 15 a 20 mil reais por projeto.

### 2.2.6 Processo de certificação

Segundo o Procel Info (2013), o processo de certificação e selagem do Procel Edifica é hoje realizado somente através do organismo OI3E da Fundação Certi – Organismo de inspeção em eficiência energética de edificações, resultado da parceria entre o Procel e o laboratório LabEEE da Universidade Federal de Santa Catarina – único devidamente acreditado pelo Inmetro para realizar este processo.

### 2.2.7 Considerações parciais sobre a certificação Procel Edifica

Por fim, com essas informações em mãos, é possível realizar a certificação em caráter não oficial conforme a metodologia proposta pelo Procel Edifica (INMETRO, 2012).

Em adição, cita-se um item importante e específico desta metodologia: o peso, e a subsequente importância de cada item avaliado para a construção da pontuação final da certificação. A Figura 6 mostra em percentual, a importância de cada item segundo a metodologia do Procel Edifica para unidades habitacionais autônomas que sigam as mesmas premissas que àquelas propostas para o caso de estudo deste trabalho.

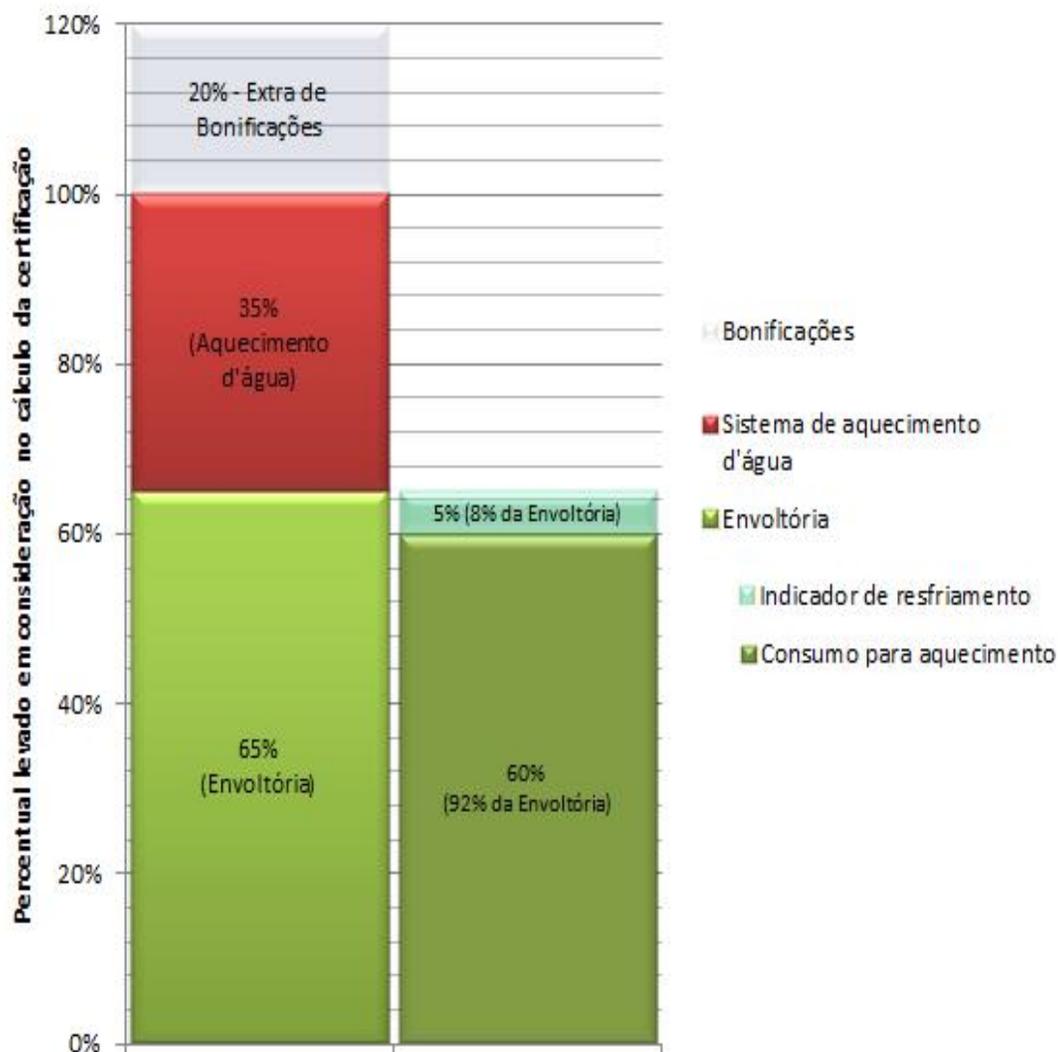


Figura 6: Importância percentual de cada item - Procel Edifica

Fonte: Autoria própria

Como proposto para este estudo são apresentados os métodos de certificação e cálculo das duas outras certificações de renome no Brasil que também serão aplicadas ao mesmo caso de estudo a ser proposto na sequência deste documento: a certificação AQUA e a certificação LEED.

## 2.3 Certificação AQUA



**Figura 7: Processo AQUA**

**Fonte: FCAV (2013)**

### 2.3.1 Introdução

Em meados de 2007, a Fundação Carlos Alberto Vanzolini<sup>7</sup> (FCAV) juntamente com o *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB) e com o Certivéa, ambos franceses, assinaram um contrato de cooperação para adaptar para o Brasil o referencial técnico francês “*Démarche HQE*” e realizar uma certificação correspondente de construção sustentável. Foi dessa forma que surgiu o processo AQUA (Alta Qualidade Ambiental). O documento fruto dessa adaptação recebeu o nome de “Referencial Técnico de Certificação – edifícios do setor de serviços – Processo AQUA” (FCAV, 2013, p.2).

Um ano mais tarde, em 2008, a FCAV assinou um contrato de cooperação com o *Certification Qualité Logement* (CERQUAL)<sup>8</sup> – organismo

---

<sup>7</sup> A Fundação Vanzolini é uma instituição privada sem fins lucrativos ligada ao Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e tem por objetivo a difusão de conhecimentos na área de Engenharia de Produção.

Em 1990, a Fundação Vanzolini foi a primeira entidade acreditada pelo Inmetro - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial para a certificação de sistemas de garantia da qualidade (FCAV, 2013, p.2).

<sup>8</sup> A CERQUAL é a filial da Qualitel que opera como organismo certificador da qualidade técnica e ambiental de edifícios habitacionais (habitação coletiva e moradias agrupadas), sendo o organismo mandatado pela AFNOR Certification para o desenvolvimento e operação da certificação HQE para o sector residencial (nomeadamente com a marca de certificação *NF Logement* e sua opção *Démarche HQE* (FCAV, 2013, p.2).

francês certificador da qualidade da habitação e filial da Associação Qualitel<sup>9</sup> – a fim de criar uma adaptação do processo francês HQE que possibilitasse a realização de uma certificação correspondente de construção sustentável habitacional.

De acordo com a FCAV (2013, p.2), a primeira versão do chamado “Referencial Técnico de Certificação – edifícios habitacionais – Processo AQUA”, lançada em 1º de fevereiro de 2010, foi adaptada da certificação francesa *NF Logement & Démarche* HQE e do “Referencial Técnico de Certificação – edifícios do setor de serviços – Processo AQUA”. Este manual foi revisado e com a experiência acumulada pela equipe técnica da Fundação Vanzolini foi lançada em 2013 a versão 2 do Referencial Técnico.

A Alta Qualidade Ambiental (AQUA) é definida como sendo um processo de gestão de projeto que visa obter a qualidade ambiental de um empreendimento novo ou envolvendo uma reabilitação, tanto de empreendimentos residenciais quanto de empreendimentos do setor de serviços (FCAV, 2013, p.109).

Segundo a FCAV (2013, p.7), o processo AQUA estrutura-se em torno dos seguintes aspectos:

- implementação de um sistema de gestão ambiental pelos empreendedores;
- adaptação do edifício habitacional a sua envolvente e ambiente imediato, o que se traduz pela obrigação de responder aos principais contextos e prioridades ambientais de proximidade, identificados na análise do local do empreendimento e;
- informação transmitida pelo empreendedor aos compradores e usuários das habitações, estimulando a adoção de práticas mais eficientes em termos de respeito ao meio ambiente.

A qualidade ambiental de uma construção envolve tanto a gestão ambiental como a natureza arquitetônica e técnica, e são nessas duas vertentes que o processo de certificação AQUA se estrutura. A avaliação dos

---

<sup>9</sup> A Associação Qualitel é um organismo sem fins lucrativos, cuja missão é a promoção da qualidade técnica e ambiental da Habitação através da certificação e da informação do Grande Público (FCAV, 2013, p.2).

desempenhos alcançados relacionados a tais vertentes no processo AQUA, segundo a FCAV (2013, p.7) é feita através dos seguintes instrumentos:

1. referencial do Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e;
2. referencial da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE)

#### 2.3.1.1 Referencial do Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE)

Utilizado para avaliar o sistema de gestão ambiental implementado pelo empreendedor, o SGE permite o acompanhamento e desenvolvimento da qualidade ambiental do empreendimento ao longo de três fases distintas da construção, classificadas como Programa, Concepção e Realização (FCAV, 2013, p.8).

Na fase do Programa é elaborada a lista de necessidades e são estudadas as características do local e do tipo de construção. Esse documento é destinado aos projetistas para a concepção arquitetônica e técnica do empreendimento.

Na fase de Concepção, os projetistas, baseados nas informações do programa desenvolvem a concepção arquitetônica e técnica do empreendimento.

Já na Realização, ocorre a construção do projeto. Nesta fase também ocorrerá a avaliação que indicará se o prédio foi construído dentro dos parâmetros anteriormente estipulados.

#### 2.3.1.2 Referencial da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE)

De acordo com FCAV (2013, p.8), este referencial é utilizado para avaliar o desempenho arquitetônico e técnico da construção. A avaliação da QAE é dividida em 14 categorias que delimitam os conjuntos de preocupações, estas por sua vez estão agrupadas em quatro famílias, como mostrado na Figura 8.



**Figura 8: 14 categorias do processo AQUA**

Fonte: FCAV (2013, p.9)

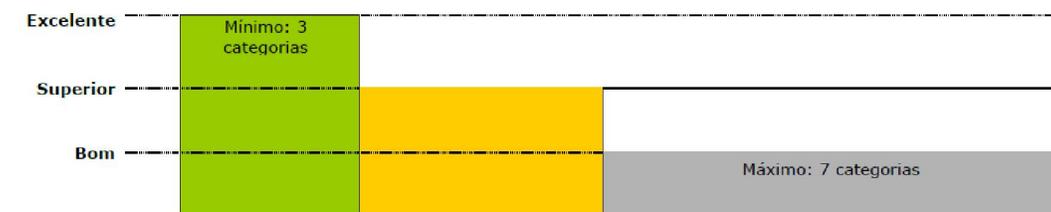
De acordo com a FCAV (2013, p.12), a certificação é concedida ou não ao empreendimento, não havendo níveis intermediários de classificação. Cada uma das 14 categorias possui diversos itens de verificação de desempenho que podem atingir três níveis de classificação, são eles:

- bom – nível correspondendo ao desempenho mínimo aceitável para um empreendimento de Alta Qualidade Ambiental;
- superior – nível correspondendo ao das boas práticas e;
- excelente – nível calibrado em função dos desempenhos máximos constatados em empreendimentos de Alta Qualidade Ambiental, mas se assegurando que estes possam ser atingíveis.

Os perfis de desempenho desejados para cada item são estipulados anteriormente na fase do Programa do SGE. Caso seja necessária alguma alteração de projeto, a mesma deve ser justificada e deverá atender um nível de qualidade ambiental igual ou superior para que a certificação seja garantida (FCAV, 2013, p.13).

Para que a certificação seja concedida, o empreendimento deve possuir o número mínimo de três itens classificados no nível Excelente, enquanto que não poderá haver mais de sete itens classificados como Bom. A Figura 9 mostra tais exigências, ressaltando que, segundo a FCAV (2013, p.13), cada

um dos 14 itens deve atender a pelo menos uma das três classificações para que o empreendimento seja certificado.



**Figura 9: Exigência mínima para certificação no processo AQUA**

Fonte: FCAV (2013, p.13)

As informações apresentadas anteriormente evidenciam um caráter de avaliação mais amplo por parte do método de certificação AQUA em relação aos conceitos abordados pelo método Procel Edifica. Portanto, na subseção seguinte serão identificados apenas os itens pertinentes à aplicação no caso de estudo, visando uma forma de comparação dos itens equiparáveis de ambas as certificações.

### 2.3.2 Foco e aplicação para o caso de estudo em questão

O método AQUA abrange desde a concepção até a entrega de um empreendimento ao cliente, verificando o nível de sustentabilidade ao longo de todos os processos.

Entretanto, o caso de estudo será realizado em uma residência já existente da cidade de Curitiba de até 500 m<sup>2</sup>, sem condicionamento artificial de ar. Portanto, serão desconsideradas todas as etapas e avaliações do SGE realizadas nas fases de planejamento e construção do empreendimento. Serão considerados somente os itens da QAE pertinentes de comparação com o método Procel Edifica que estejam fortemente ligados à eficiência energética, referenciados no Quadro 1.

**Quadro 1: Influência dos tópicos do processo AQUA na eficiência energética****(Continua)**

<b>Tópicos do Processo de Certificação AQUA</b>		<b>Influência significativa na eficiência energética</b>
<b>Sítio e Construção</b>		
<b>Categoria 1: Relação do edifício com o seu entorno</b>		
1.1	Consideração das vantagens e desvantagens do entorno e justificativa dos objetivos e soluções adotadas para o empreendimento	Não
1.2	Ordenamento da gleba para criar um ambiente exterior agradável	Não
1.3	Redução dos impactos relacionados ao transporte	Não
<b>Categoria 2: Escolha integrada produtos, sistemas e processos construtivos</b>		
2.1	Escolha de produtos, sistemas e processos construtivos que garantam a durabilidade da construção	Não
2.2	Escolha de produtos, sistemas e processos construtivos a fim de limitar os impactos socioambientais do empreendimento e de sua construção	Não
2.3	Escolhas construtivas adaptadas à vida útil desejada da construção	Não
2.4	Escolhas construtivas considerando a facilidade de conservação da construção	Não
2.5	Revestimentos de piso (condomínios verticais)	Não
2.6	Revestimentos de piso (casas)	Não
2.7	Escolha de fabricantes de produtos que não pratiquem a informalidade na cadeia produtiva	Não
2.8	Flexibilidade da unidade habitacional após a entrega	Não
2.9	Acessibilidade e adaptabilidade da unidade habitacional ao envelhecimento	Não
2.10	Organização e planejamento da cozinha	Não
<b>Categoria 3: Canteiro de obras com baixo impacto ambiental</b>		
3.1	Disposições contratuais para a obtenção de um canteiro de obras com baixo impacto ambiental	Não
3.2	Limitação dos incômodos	Não
3.3	Limitação dos riscos sanitários e de poluição podendo afetar o terreno, os trabalhadores e a vizinhança	Não
3.4	Gestão dos resíduos do canteiro de obras	Não
3.5	Controle dos recursos água e energia	Sim
3.6	Balanco do canteiro de obras	Não
<b>Gestão</b>		
<b>Categoria 4: Gestão da energia</b>		
4.1	Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica	Sim
4.2	Uso de energias renováveis locais	Sim
4.3	Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão	Sim
4.4	Redução do consumo de energia para os sistemas de iluminação	Sim
4.5	Redução do consumo de energia para os demais equipamentos	Sim
4.6	Controle da eficiência energética	Sim
4.7	Desempenho do sistema para produção de água quente	Sim
<b>Categoria 5: Gestão da água</b>		
5.1	Redução do consumo de água potável	Não
5.2	Gestão de águas pluviais	Não
5.3	Dimensionamento do sistema de aquecimento de água	Não
<b>Categoria 6: Gestão dos resíduos de uso e operação do edifício</b>		
6.1	Identificar e classificar a produção de resíduos de uso e operação com a finalidade de valorização	Não
6.2	Adequação entre a coleta interna e a coleta externa	Não
6.3	Controle da triagem dos resíduos	Não
6.4	Otimização do sistema de coleta interna considerando os locais de produção, armazenamento, coleta e retirada	Não

**Quadro 1: Influência dos tópicos do processo AQUA na eficiência energética****(Conclusão)**

<b>Tópicos do Processo de Certificação AQUA</b>		<b>Influência significativa na eficiência energética</b>
<b>Categoria 7: Gestão da manutenção</b>		
7.1	Facilidade de acesso para a execução da manutenção e simplicidade das operações	Não
7.2	Equipamento para a permanência do desempenho na fase de uso	Sim
7.3	Informação destinada aos futuros ocupantes e gestores	Não
<b>Conforto</b>		
<b>Categoria 8: Conforto higrotérmico</b>		
8.1	Implementação de medidas arquitetônicas para otimização do conforto higrotérmico de verão e inverno	Não
8.2	Conforto higrotérmico	Sim
<b>Categoria 9: Conforto acústico</b>		
9.1	Conforto acústico entre a unidade habitacional e os outros locais de uma mesma edificação	Não
9.2	Conforto acústico entre os cômodos principais e o exterior de uma construção	Não
<b>Categoria 10: Conforto visual</b>		
10.1	Aproveitar da melhor maneira os benefícios da iluminação natural	Não
10.2	Disponer de uma iluminação artificial confortável	Não
10.3	Disponer de uma iluminação artificial das zonas exteriores (entrada, vias internas, acesso ao estacionamento, ...) confortável e segura	Não
<b>Categoria 11: Conforto olfativo</b>		
11.1	Ventilação eficiente	Não
11.2	Controle das fontes de odores desagradáveis	Não
<b>Saúde</b>		
<b>Categoria 12: Qualidade sanitária dos ambientes</b>		
12.1	Criar boas condições de higiene nos ambientes	Não
12.2	Otimizar as condições sanitárias das áreas de limpeza	Não
12.3	Controle da exposição eletromagnética	Não
<b>Categoria 13: Qualidade sanitária do ar</b>		
13.1	Ventilação eficiente	Não
13.2	Controle das fontes de poluição internas	Não
13.3	Controle das fontes de poluição externas	Não
<b>Categoria 14: Qualidade sanitária da água</b>		
14.1	Assegurar a manutenção da qualidade da água destinada ao consumo humano nas redes internas do edifício	Não
14.2	Risco de queimadura e de legionelose	Não

**Fonte: Adaptado de FCAV (2013, p.117-118)**

Finalmente, os itens do Quadro 1, diretamente relacionados à eficiência energética e aplicáveis às premissas propostas para o caso de estudo deste trabalho, são:

- Categoria 4 – Gestão da energia
  - 4.1 Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica;
  - 4.2 uso de energias renováveis locais;
  - 4.3 redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão;
  - 4.4 redução do consumo de energia para os sistemas de iluminação;
  - 4.5 redução do consumo de energia para os demais equipamentos;
  - 4.6 controle da eficiência energética;
  - 4.7 desempenho do sistema para produção de água quente.
  
- Categoria 7 – Gestão da manutenção
  - 7.2 Equipamento para a permanência do desempenho na fase de uso.
  
- Categoria 8 – Conforto higrotérmico
  - 8.2 Conforto higrotérmico.

### 2.3.3 Método de avaliação

O método AQUA, segundo exposto no referencial técnico do processo AQUA da FCAV (2013) não utiliza avaliação por pontos, mas apresenta diferentes níveis de exigências que devem ser atendidos de acordo com o perfil planejado pelo empreendedor, uma espécie de pré-requisitos, enquadrando-se nos três níveis de classificação (bom, superior ou excelente).

As exigências de cada item que será analisado no caso de estudo são apresentadas a seguir, seguindo o padrão apresentado no “Referencial Técnico do processo AQUA para edifícios habitacionais” (FCAV, 2013).

#### 2.3.3.1 Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica

Um dos pré-requisitos deste item exige que o acesso para iluminação natural nos dormitórios e salas deva ser garantido por uma ou mais aberturas para o exterior, caso o nível visado seja o Superior ou Excelente, a soma

dessas aberturas deve representar, no mínimo, 12,5% da área útil do ambiente<sup>10</sup>.

Além disso, deve, conforme regulamento RTQ-R para o nível de eficiência energética de edificações residenciais, publicado pelo Inmetro (2012):

- prover o atendimento do nível C nos equivalentes numéricos da envoltória para obtenção do nível Bom;
- prover o atendimento do nível B nos equivalentes numéricos da envoltória para obtenção do nível Superior e;
- prover o atendimento do nível A nos equivalentes numéricos da envoltória para obtenção do nível Excelente.

#### 2.3.3.2 Uso de energias renováveis locais

Este quesito visa analisar a viabilidade técnica e econômica de alternativas de obtenção de energia de forma a obter uma parcela superior a 5% de cobertura das necessidades energéticas do empreendimento. O empreendedor delimita o tempo de retorno do investimento que a alternativa energética deve atender (10 ou 15 anos, por exemplo).

Todos os impactos ambientais devem ser previstos, de modo que o impacto ambiental global da solução energética seja sustentável, ou seja, os benefícios devem ser superiores aos impactos.

A energia de origem renovável pode ser utilizada nos sistemas de resfriamento, aquecimento, iluminação e aquecimento de água. Para obtenção do nível Superior é obrigatório o uso de aquecimento de água a partir de energia solar, já para obtenção do nível Excelente, além deste é também necessária a utilização de energia renovável para outros sistemas.

---

<sup>10</sup> Nota-se que o mesmo item também está presente na já apresentada metodologia do Procel Edifica, nos pré-requisitos para envoltórias do edifício, página 33.

### 2.3.3.3 Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão

O empreendedor deve recomendar o sistema de ar condicionado mais eficiente para o edifício sob análise. Caso não haja a necessidade de condicionamento de ar, esse fato deve ser comprovado e detalhado por meio de um estudo de necessidades.

### 2.3.3.4 Redução do consumo de energia para os sistemas de iluminação

Os dispositivos de iluminação devem atender a certos critérios mínimos de eficiência que dependem do nível de avaliação visado e o tipo de equipamento utilizado, tais critérios estão descritos no “Referencial Técnico do processo AQUA para edifícios habitacionais” (FCAV, 2013, p.63).

### 2.3.3.5 Redução do consumo de energia para os demais equipamentos

Segundo a FCAV (2013, p.65), os demais equipamentos elétricos devem ter etiquetagem de eficiência energética do Inmetro<sup>11</sup> ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia).

### 2.3.3.6 Controle da eficiência energética

De acordo com a FCAV (2013, p.65), o monitoramento de consumos pode ser feita de duas maneiras:

1. medição ou sub-medição específica dos sistemas de aquecimento de água (no caso de aquecimento central, elétrico ou a gás) e;

---

<sup>11</sup> A etiquetagem de eficiência energética do Inmetro pertence ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e ao Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). Os produtos etiquetados foram ensaiados pelo Inmetro e apresentam seus respectivos níveis de desempenho (PROCEL, 2008).

2. medição específica de energia para o sistema de aquecimento de água convencional e outro para o sistema solar na saída do reservatório.

#### 2.3.3.7 Desempenho do sistema para produção de água quente

Os reservatórios de água quente e o isolamento térmico das tubulações de transporte de água quente devem atender as dimensões e requisitos descritos detalhadamente no Referencial Técnico do processo AQUA para edifícios habitacionais (FCAV, 2013, p.66).

Ainda segundo o Referencial da FCAV (2013, p.67), avalia-se também a eficiência do sistema de aquecimento de água<sup>12</sup> (à gás, solar, bombas de calor ou elétrico).

#### 2.3.3.8 Equipamento para a permanência do desempenho na fase de uso

Um dos pré-requisitos para a obtenção de uma avaliação de nível Excelente na categoria “gestão da manutenção”, é que deve haver a implementação de sistemas de automação predial que controlem todos ou parte dos seguintes sistemas: iluminação, consumo de água, consumo de energia, funcionamento de equipamentos para aquecimento de água ou proteção contra a incidência direta do sol.

#### 2.3.3.9 Conforto higrotérmico

Os valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica ( $C_T$ ) das paredes externas e cobertura devem atender aos valores descritos no Referencial Técnico do processo AQUA para edifícios habitacionais (FCAV, 2013, p.84). Estes são os mesmos presentes na metodologia do Procel Edifica, apresentados na página 33 deste trabalho.

---

<sup>12</sup> Tanto o aquecimento à gás, quanto o aquecimento solar de água tem como pré-requisitos as características estabelecidas pelo regulamento RTQ-R para o nível de eficiência energética de edificações residenciais publicado pelo Inmetro/Procel (INMETRO, 2012).

### 2.3.4 Custos

Segundo Leite (2010, p. 27), o custo médio de um projeto certificado com o selo AQUA varia de acordo com a metragem do edifício. A Tabela 7 evidencia os valores aproximados.

**Tabela 7: Custo médio certificação AQUA**

<b>Quanto custa o processo AQUA</b>	
Projetos com até 1.500 m <sup>2</sup>	R\$ 17.500,00
Acima de 1.500 m <sup>2</sup>	R\$ 1.609,00/m <sup>2</sup>

Fonte: Adaptado de LEITE (2011, p.34) apud COELHO (2010)

### 2.3.5 Processo de certificação

Para obter a certificação o empreendedor deve solicitar a certificação junto à Fundação Vanzolini no início da fase Programa do empreendimento, enviando uma ficha de informações para proposta preenchida (FCAV, 2012).

Com base nas informações, a Fundação Vanzolini verifica a viabilidade da certificação. Se a certificação não for aplicável ou se os trabalhos de canteiro do empreendimento já tiverem começado o processo é encerrado (FCAV, 2012).

De acordo com a FCAV (2012), o processo de certificação é realizado a partir de auditorias presenciais seguido de análises técnicas por parte da Fundação Vanzolini que verifica a conformidade dos critérios presentes no referencial técnico do processo AQUA. Atendidos todos esses critérios em cada uma das fases (programa, concepção e realização), os certificados são emitidos em até 30 dias.

### 2.3.6 Considerações parciais sobre a certificação AQUA

O processo de certificação AQUA, como exemplificado em seu referencial técnico da FCAV (2013), tem por objetivo reconhecer o caráter sustentável de um empreendimento. Este deve ser: ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável. Com isso a certificação se mostra

bastante abrangente em sua avaliação, com um foco mais amplo se comparado com o anteriormente mostrado Procel Edifica.

Vale também ressaltar que algumas categorias do processo AQUA de certificação utilizam avaliações do método Procel Edifica para basear suas avaliações, mostrando a complementariedade e congruência dos dois métodos em alguns itens.

O processo AQUA avalia as características do empreendimento ao longo de todas as fases anteriores ao seu uso, ou seja, desde a concepção até a entrega da obra. Também auxilia o empreendedor a traçar um plano de ação para que os pré-requisitos sejam atingidos (FCAV, 2013).

Como visto ao longo dessa seção, o resultado da avaliação não é quantitativo e sim qualitativo, ou seja, não há pontuações nas categorias, ao invés disso, ao final do processo a certificação é ou não atribuída, dependendo apenas do atendimento ou não dos pré-requisitos. Por decorrência disso, todas as categorias possuem o mesmo grau de importância, já que cada uma delas deve ser atingida independente de seu foco.

## **2.4 Certificação LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design***



**Figura 10: Certificação LEED**

Fonte: USGBC (2013, p.1)

### **2.4.1 Introdução**

O sistema LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design* – é baseado num programa de adesão voluntária e visa avaliar o desempenho ambiental de um empreendimento, levando em consideração o ciclo de vida e

podendo ser aplicado em qualquer tipo de empreendimento. O selo é uma confirmação de que os critérios de desempenho em termos de energia, água, redução de emissão de CO<sub>2</sub>, qualidade do interior dos ambientes, uso de recursos naturais e impactos ambientais foram atendidos satisfatoriamente (LEITE, 2011, p.24).

Segundo indicações de Hernandes (2006, p.55-56), pode-se dizer que sua história começou nos Estados Unidos durante a década de 1980. Nessa época foram realizadas diversas reuniões com representantes do mercado de construção civil dos Estados Unidos, em associação com órgãos governamentais e associações de classes. Estas reuniões viriam a criar, em 1993, o *United States Green Building Council* (USGBC).

O USGBC idealizou a criação de um sistema de avaliação da sustentabilidade por meio da *American Society of Testing and Materials* (ASTM). Entretanto, devido ao rigor e demora de elaboração do sistema por meio da ASTM, sua criação acabou sendo inviabilizada. Em 1995 a ideia foi substituída em favor de um desenvolvimento independente. Momento em que Rob Watson, cientista de um Conselho de Defesa de Recursos Naturais (CDRN) se tornou presidente de comitê responsável pela elaboração do LEED (HERNANDES, 2006, p.56).

Finalmente em agosto de 1998, após um longo período de estudos, o USGBC aprovou o LEED em sua versão inicial 1.0. Após suas primeiras implementações, verificou-se que a versão 1.0 precisava ser revisada por não atender ao mercado. Foi então que, em março de 2000, surgiu o LEED 2.0, uma versão totalmente revisada e ampliada (HERNANDES, 2006, p.57).

Em novembro de 2002, foi lançada a versão LEED 2.1 com o nome LEED-NC (*LEED New Construction*), atualizado para a versão 2.2 em novembro de 2005 (HERNANDES, 2006, p.57).

Ainda de acordo com Hernandes (2006, p.57), em 2004 foram lançadas versões específicas do LEED:

- LEED-EB – *Existing Buildings*, para edifícios existentes;
- LEED-CI – *Comercial Interior*, para projetos de interiores comerciais;
- LEED-CS – *Core & Shell*, para projetos de núcleo e casca como grandes edifícios comerciais de escritórios;

- LEED-H – *Homes*, para residências;
- LEED-ND – *Neighborhood Development*, para condomínios e loteamentos

Segundo Hernandez (2006, p.59), LEED é a certificação mais utilizada nos Estados Unidos e acabou se espalhando por diversos países do globo inclusive o Brasil. Romero (2012, p.76) exemplifica a importância do LEED nos Estados Unidos na cidade de Seattle, por exemplo, que exige a certificação LEED para construções ou reformas de edifícios públicos, sendo que regulamentações similares a esta se repetem em vários outros municípios dos Estados Unidos. Ainda de acordo com Romero (2012, p.76), há uma forte tendência de que o conceito da adoção de uma política voluntária como força de lei se espalhe por todo o Estados Unidos e por outras cidades do mundo.

A certificação LEED, portanto, é uma iniciativa do U.S. Green Building Council nos Estados Unidos da América que visa incentivar e promover a transformação da indústria da construção civil em direção à práticas mais sustentáveis, atuando em todos os setores da indústria da construção (USGBC, 2013, p.4).

Segundo o USGBC (2009, p.13), esta se apresenta como uma série de padrões de desempenho e práticas sustentáveis que tangem, dependendo do empreendimento a ser certificado, todos os aspectos desde o projeto e as matérias primas utilizadas na construção do edifício até a sua utilização e manutenção pelo proprietário. Desta forma, a certificação LEED, promove o completo envolvimento dos construtores, projetistas com o certificador e dono do empreendimento durante todas as etapas deste processo (USGBC, 2013, p.5).

A certificação LEED é dividida, segundo o USGBC (2011, p. 4-6), em nove categorias distintas de construção civil, dentro de quatro grandes tópicos, são elas:

#### 1. Construções completas

- a. novas construções e grandes renovações;
- b. escolas;
- c. hospitais;

- d. comércios;
  - e. varejos (novas construções e grandes renovações) e;
  - f. residências.
2. Construção do núcleo do edifício
  3. Construção e reformulação completa de interiores
    - a. comercial;
    - b. varejo;
  4. Edifícios existentes (operação e manutenção)

Para a escolha de qual categoria é a mais adequada para o edifício a ser certificado, o próprio USGBC (U.S. Green Building Council) disponibiliza o documento de guia para escolha do sistema de certificação – o *Rating System Guidance* (USGBC, 2011). Neste documento, mostra-se que para aplicações residenciais unifamiliares – como proposta neste estudo – o sistema de certificação a ser utilizado é o *LEED for Homes*, ou LEED para Residências.

Vale ressaltar que este sistema, como supracitado, é uma avaliação de projeto e construção sustentável que abrange, segundo o USGBC (2013, p. 4), a medição de desempenho de um edifício em oito categorias distintas. São elas:

1. Inovação e projeto

Métodos especiais de projeto, créditos por prioridades regionais e por níveis excepcionais de desempenho;

2. Localização e conectividade

Localização e relação social e ambientalmente responsável do empreendimento com a comunidade;

3. Sítios sustentáveis

Uso da propriedade visando minimizar os impactos do projeto no sítio escolhido;

#### 4. Eficiência no uso d'água

Uso eficiente d'água tanto no interior quanto no exterior do edifício;

#### 5. Energia e atmosfera

Eficiência energética, particularmente no que tange a envoltória do edifício e os projetos de aquecimento e resfriamento do ambiente;

#### 6. Materiais e recursos

Utilização eficiente de materiais, seleção de materiais ecologicamente corretos e minimização de dejetos durante a construção;

#### 7. Qualidade do ambiente interno

Melhorias na qualidade do ar interno através da redução da geração de e exposição a poluentes;

#### 8. Conscientização e educação

A educação do proprietário e/ou do responsável pela manutenção sobre a operação e manutenção das características verdes de uma casa LEED.

### 2.4.2 Método de Avaliação

A avaliação de desempenho energético e sustentável nessas oito categorias, segundo os parâmetros propostos pelo referencial teórico do *LEED for Homes* do USGBC (2013), é realizada pela soma dos pontos obtidos em cada um desses itens. A Tabela 8 mostra os pontos disponíveis em cada um dos quesitos avaliados.

O somatório final implica em quatro níveis possíveis de certificação, como mostrados na Tabela 9. De um total de 136 pontos da certificação, a pontuação mínima para obter o selo é de 45 pontos, recebendo assim a denominação de “Certificado”. Caso o empreendimento obtenha mais de 60 pontos ele recebe o selo “Prata”. Para mais de 75 e mais de 90 pontos, o edifício recebe o selo “Ouro” e “Platina”, respectivamente (USGBC, 2013, p.4-9).

**Tabela 8: Pontos disponíveis para cada item do LEED for Homes**

<b>Categoria</b>	<b>Total de pontos disponíveis</b>	<b>Porcentagem do total</b>
Inovação e projeto	11	8,09%
Localização e conectividade	10	7,35%
Sítios sustentáveis	22	16,18%
Eficiência no uso d'água	15	11,03%
Energia e atmosfera	38	27,94%
Materiais e recursos	16	11,76%
Qualidade do ambiente interno	21	15,44%
Conscientização e educação	3	2,21%
<b>Total</b>	<b>136</b>	<b>100,00%</b>

**Fonte: Adaptado de USGBC (2013, p.9)**

**Tabela 9: Níveis de certificação - LEED for Homes**

<b>Níveis de certificação do <i>LEED for Homes</i></b>	<b>Número de pontos necessários</b>
Certificado	45-59
Prata	60-74
Ouro	75-89
Platina	90-136
Total de pontos disponíveis	136

**Fonte: Adaptado de U.S. Green... (2013, p.4)**

No entanto, como citado anteriormente, a metodologia de certificação *LEED for Homes* deve ser realizada desde o início ou concepção do projeto para uma nova construção ou grande renovação de uma residência. Para tanto, dos oito quesitos de avaliação, salientam-se alguns que são somente aplicáveis quando na etapa de projeto da residência, como por exemplo, os itens 1 e 6, que avaliam a inovação em métodos de projeto e o uso de materiais ecologicamente corretos na construção do edifício.

Dessa forma, nota-se evidentemente, que estes itens não serão aplicáveis para o caso de estudo proposto de uma residência já existente localizada em Curitiba. Assim sendo, dos oito itens apresentados na metodologia da *LEED for Homes*, são analisados somente os quesitos aplicáveis ao caso de estudo, que sejam diretamente ou indiretamente ligados à eficiência energética do edifício, deixando de lado os aspectos sustentáveis do selo. Em outras palavras, será analisado e utilizado para comparação na

sequência deste estudo, somente o item “energia e atmosfera” do referencial técnico proposto pelo USGBC (2013).

### 2.4.3 Energia e atmosfera

Segundo o USGBC (2013), a metodologia de avaliação do desempenho de um edifício nos itens da categoria “energia e atmosfera” é realizada semelhante à metodologia proposta pelo Procel Edifica do Inmetro (2012), trabalhando também com um sistema de pré-requisitos e com dois métodos diferentes para avaliação, um método realizado através de simulações computacionais e um método inteiramente prescritivo. De acordo com este mesmo referencial técnico do USGBC (2013, p. 54) para cada um desses dois métodos são aplicáveis pré-requisitos diferentes. A Figura 11 evidencia os dois caminhos possíveis para avaliação do desempenho energético deste item. O braço direito do fluxograma, corresponde ao método inteiramente prescritivo, enquanto que o braço esquerdo refere-se ao método baseado primordialmente em simulações computacionais.

No entanto, diferentemente das indicações expostas no referencial teórico do Procel Edifica do Inmetro (2012, p. 22 e 65), a escolha de qual método – simulação ou prescritivo – deve ser adotado na certificação de um empreendimento não depende exclusivamente da escolha do certificador.

Segundo o item “EA6” do referencial do LEED for Homes como exposto pelo USGBC (2013, p. 66) – onde são tratados os quesitos de aquecimento e resfriamento dos ambientes –, os edifícios que não possuam sistemas de condicionamento artificial de ar, devem ser modelados e simulados segundo o item “desempenho energético otimizado” baseando os pontos em simulações computacionais da envoltória do edifício e dos equipamentos utilizados em seu interior.

Dessa forma, para o caso de estudo em questão, será adotado o caminho esquerdo da Figura 11, baseando a pontuação nos itens: desempenho energético otimizado; sistema de distribuição de água quente; isolamento da tubulação de água quente e; gerenciamento da refrigeração.

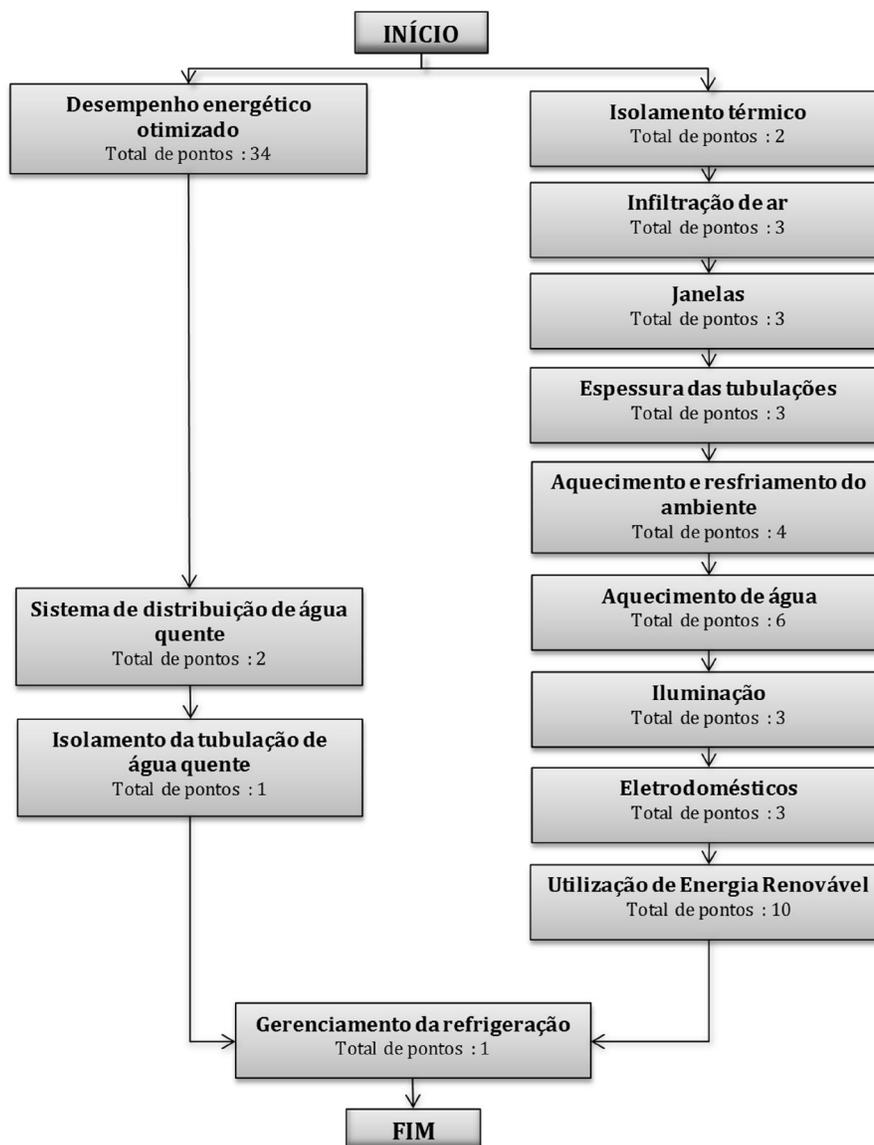


Figura 11: Caminhos para avaliação da energia e atmosfera – *LEED for Homes*

Fonte: Adaptado de USGBC (2013, p.9)

#### 2.4.3.1 Desempenho energético otimizado – Simulação computacional

De acordo com as indicações presentes no referencial técnico do *LEED for Homes* do USGBC (2013, p. 55-56), este quesito avalia o desempenho do edifício a ser certificado segundo o padrão estadunidense do programa *Energy Star*, através da determinação do índice energético do edifício – o índice “*HERS*” (*Home Energy Rating System*) – através de simulações computacionais.

Este índice, por sua vez, é calculado através de *softwares* específicos de modelagem e simulação de envoltórias prediais. Segundo Romero (2012, p. 98-99), os cálculos computacionais devem ser feitos baseados nos itens 2.2.1 e 2.2.4 do apêndice G da norma ANSI; ASHRAE; IESNA 90.1 (2007, p. 173-174), que indicam que o programa deve:

1. ser testado de acordo com a norma ASHRAE 140;
2. conseguir simular 8.760 horas por ano;
3. modelar efeitos de inércia térmica;
4. modelar variações horárias de ocupação de ambiente, e outros.

Uma nota importante é de que segundo as indicações no referencial teórico do Procel Edifica do Inmetro (2012, p. 64), os programas de simulação utilizados na certificação da metodologia Procel devem atender às mesmas normas e pré-requisitos supracitados para a certificação LEED. Ou seja, o mesmo programa de simulação pode ser utilizado em ambas as certificações.

Dentre os diversos *softwares* disponíveis para este tipo de simulação, procurou-se encontrar um com licença gratuita – ou com tempo de teste gratuito – que realizasse as simulações da forma mais rápida e automatizada possível.

Destaca-se para este estudo, o *software Energy Gauge*, que possui um tempo de teste gratuito de 15 dias, e que realiza os cálculos de envoltória, fornecendo automaticamente no final da simulação o índice HERS do edifício (FLORIDA ENERGY CENTER, 2012).

Neste *software*, o usuário deve entrar com todos os dados construtivos do edifício (envelope, janelas, coloração e etc...) separando-o em ambientes individuais, além de inserir os dados climáticos da região onde este se encontra, e uma referência dos equipamentos utilizados em seu interior. Os arquivos de dados climáticos podem ser encontrados no site do Departamento de Energia dos Estados Unidos (INMETRO, 2012, p. 65).

Uma vez calculado o índice HERS para o edifício, necessita-se saber qual a região climática onde se encontra o edifício para utilização adequada das tabelas expostas no referencial do *LEED for Homes*. Segundo Romero (2012, p. 94), o Brasil, no âmbito da ASHRAE 90.1 e do IECC 2009, possui

somente quatro zonas climáticas: 1A, 1B, 2A e 2B. Como o referencial técnico do LEED diferencia somente as regiões em um até cinco e depois entre seis a oito, pode-se dizer que uma residência em Curitiba estará entre as zonas 1 - 5 do IECC 2009, determinando a escolha da tabela adequada.

A Tabela 10 mostra, a partir do índice HERS calculado, qual a pontuação recebida no quesito “desempenho energético otimizado”, do máximo de 34 pontos na categoria, para o caso de estudo proposto.

**Tabela 10: Pontuação do desempenho energético otimizado**

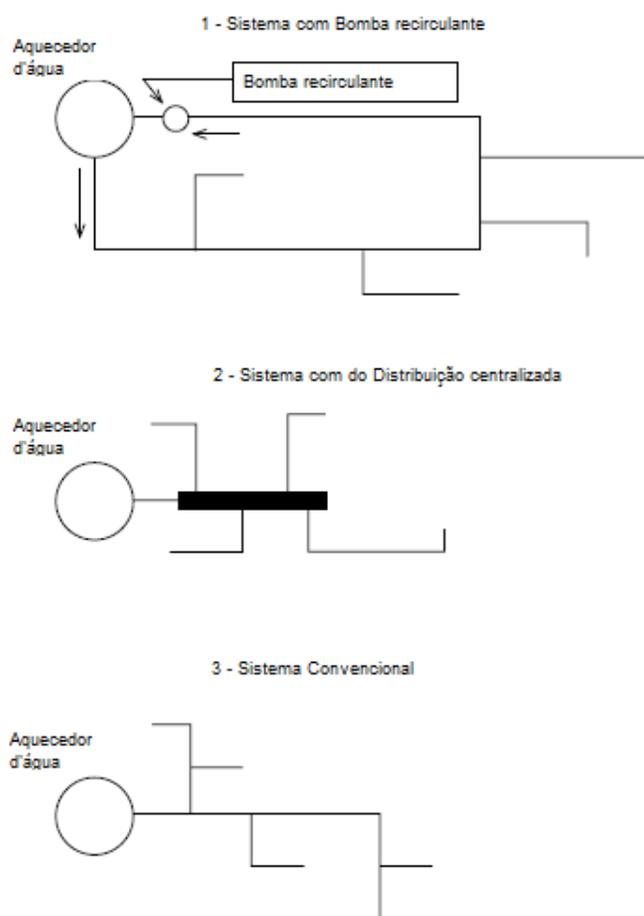
Zona Climática 1 até 5	
Índice HERS	Pontuação no <i>LEED for Homes</i>
100	
95	
90	
85	
84	2.0
83	3.0
82	4.0
81	5.0
80	6.0
79	7.0
78	7.5
77	8.5
76	9.0
75	10.0
74	10.5
73	11.6
72	12.0
71	12.5
70	13.0
69	14.0
68	14.5
67	15.0
66	15.5
65	16.0
64	16.5
63	17.0
62	17.5
61	18.0
60	18.5
55	20.5
50	22.5
45	24.2
40	26.0
35	27.0
30	28.5
25	30.0
20	31.0
15	32.0
10	33.0
5	33.5
0	34.0

Fonte: Adaptado de USGBC (2013, p.56)

### 2.4.3.2 Sistema de distribuição de água quente

Este quesito avalia o desempenho do sistema de distribuição de água quente segundo três tipologias diferentes. Estas podem ser: sistema com bomba recirculante; sistema com distribuição centralizada ou sistema convencional (USGBC, 2013, p. 68).

A Figura 12 evidencia as três tipologias abordadas nesta categoria.



**Figura 12: Tipologias de sistema de água quente**

**Fonte: Adaptado de USGBC (2013, p. 69)**

Em cada tipologia, devem ser atendidos valores específicos de isolamento e tamanho das tubulações, que podem ser encontrados no referencial do USGBC (2013, p. 68) e são abordados no caso de estudo na continuidade deste trabalho. Caso todos os itens sejam atendidos, o edifício recebe dois pontos na certificação.

### 2.4.3.3 Isolamento da tubulação de água quente

Segundo o referencial técnico do *LEED for Homes* do USGBC (2013, p. 68), este item adiciona mais um ponto no total da certificação, caso todas as tubulações de água quente possuam um isolamento superior ao índice R4.

### 2.4.3.4 Gerenciamento da refrigeração

O último quesito levado em conta na categoria “energia e atmosfera” é o gerenciamento da refrigeração do edifício.

No entanto, tendo em vista que uma das premissas deste trabalho é a realização das certificações em uma residência que não possua sistemas de condicionamento artificial de ar, e em concordância com o referencial técnico do *LEED for Homes*, o edifício proposto para o caso de estudo recebe automaticamente um ponto – pontuação máxima – nesta categoria, por não possuir tal sistema (USGBC, 2013, p. 74).

### 2.4.4 Custos

Segundo Leite (2010, p. 27), o custo médio de um projeto certificado com o selo LEED varia de acordo com a metragem do edifício. A Tabela 11 evidencia os valores aproximados.

**Tabela 11: Custo médio certificação LEED**

<b>Quanto custa o LEED</b>	
Taxa de cadastro	US\$ 600,00
<b>Adicionais</b>	
Projetos com até 5 mil m <sup>2</sup>	US\$ 2.250,00
De 5 mil m <sup>2</sup> até 50 mil m <sup>2</sup>	US\$ 0,45/m <sup>2</sup>
Acima de 50 mil m <sup>2</sup>	US\$ 22.500,00
<b>Consultoria</b>	
Aproximadamente 1% do custo da obra	

**Fonte: Adaptado de Leite (2011, p.27) apud Coelho (2010)**

#### 2.4.5 Processo de certificação

Segundo Leite (2010, p. 26), o processo de certificação de uma residência segundo a metodologia LEED, ocorre em uma plataforma on-line, onde o requerente insere os dados do edifício a ser certificado, juntamente com uma declaração de sua intenção. Os dados são então analisados, efetivando a candidatura do construtor. Durante a construção, a documentação de créditos e *checklists* do edifício devem ser retornados à plataforma on-line completamente preenchidos. Uma vez que a construção esteja finalizada o edifício é auditado por certificadores parceiros do U. S. Green Building Council, e o selo final é concedido ao edifício segundo os níveis expostos na Tabela 9, página 59.

#### 2.4.6 Considerações parciais sobre a certificação LEED

Através do envolvimento dos construtores, projetistas com o certificador e dono do empreendimento, a metodologia de certificação *LEED for Homes* como supracitado, funciona como um guia para a construção sustentável, e não somente como medida de avaliação energética – como é o caso do selo Procel Edifica.

Nota-se também, que a certificação exposta neste trabalho é uma iniciativa estadunidense ainda não inteiramente adaptada à realidade brasileira. No entanto, em 2007 foi criado o Green Building Council Brasil (GBCB), órgão não governamental vinculado ao U. S. Green Building Council, que possui o intuito de auxiliar o desenvolvimento da construção sustentável e a promoção do selo LEED no Brasil (LEITE, 2012, p. 23). Este órgão está atualmente desenvolvendo um regulamento técnico para a certificação LEED em residência brasileiras, adaptando o referencial abordado neste trabalho para as especificidades brasileiras – o “Referencial Casa®” (GBCB, 2013).

Embora o referencial ainda não esteja completo, alguns quesitos já estão disponíveis para visualização do consumidor, incluindo a categoria “energia e atmosfera”. Nesta, segundo este documento do GBCB (2013), o pré-requisito mínimo para obtenção de qualquer pontuação na categoria “energia e atmosfera” é de que a edificação tenha sido concebida e construída atendendo

ao nível A da certificação do Procel Edifica. Ou seja, na categoria mais influente da certificação em termos percentuais<sup>13</sup>, é obrigatória a obtenção do nível máximo de eficiência na certificação Procel Edifica.

---

<sup>13</sup> Ver Tabela 8, página 59.

### **3. DESENVOLVIMENTO**

Este capítulo apresenta o desenvolvimento do trabalho, incluindo o estabelecimento de critérios para a comparação da certificação do Procel Edifica, o desenvolvimento do caso de estudo e os resultados encontrados.

#### **3.1 Critérios para comparação da metodologia do Procel Edifica**

Para o posicionamento da certificação Procel Edifica, a definição de critérios que servem como elementos de medida de comparação faz-se necessária. Para tal, propõem-se os seguintes critérios:

1. comparação teórica das características metodológicas;
2. comparação dos resultados práticos das três certificações aplicadas no caso de estudo e;
3. avaliação da variação dos resultados após uma mudança hipotética no edifício do caso de estudo;

Na avaliação da variação dos resultados é possível verificar a convergência e a divergência de itens classificatórios da certificação Procel Edifica, em comparação com as certificações AQUA e LEED, que não são identificadas com a aplicação do primeiro caso de estudo. Para realizar o item 3, é apresentada a alteração de uma característica construtiva do edifício utilizado no caso de estudo e aplica-se novamente as três certificações citadas. Com os novos resultados de cada certificação, avalia-se a divergência dos resultados, possibilitando detectar as diferenças e similaridades dos procedimentos metodológicos de cada certificação analisada.

Para uma avaliação consistente, a característica alterada do edifício é feita visando, ao menos em um dos resultados finais, apresentar alguma mudança significativa. Dessa forma, escolheu-se, após a aplicação inicial das três certificações, alterar de forma proposital uma característica construtiva da residência avaliada, para que o nível final de avaliação desta segundo a metodologia do Procel Edifica, seja alterado. Ou seja, caso a residência seja primeiramente avaliada com nível C de eficiência, segundo a metodologia do Procel Edifica, seria alterada, hipoteticamente, uma característica construtiva

que levasse o resultado final da residência para o nível B – o nível de classificação justo acima do nível constatado na primeira avaliação. A residência hipotética, com a mudança acima, é então avaliada nas duas outras certificações – AQUA e LEED.

### **3.2 Comparação teórica**

Como citado anteriormente, o primeiro passo do estudo do programa de certificação do Procel Edifica, é a comparação teórica entre sua metodologia de etiquetagem frente às metodologias das duas certificações mais utilizadas no Brasil segundo Leite (2011, p.19), as certificações AQUA e LEED.

#### **3.2.1 Diferenças metodológicas**

Apesar de serem exemplos de selos verdes, existem diferenças significativas entre os três métodos de certificação. De acordo com Leite (2011, p.44), o sistema LEED é de origem americana e vem sendo aplicado no Brasil pelo GBCB. O processo AQUA por sua vez é uma adaptação da certificação francesa HQE à realidade brasileira, enquanto que o Procel Edifica foi totalmente desenvolvido no Brasil. Esses pontos, evidentemente, encadeiam diferenças estruturais entre os processos de certificação, que podem ser evidenciados, como o resumo mostrado na Tabela 12.

Tabela 12: Comparação metodológica das certificações Procel Edifica, AQUA e LEED

			
<b>Método</b>	A avaliação segue um sistema de pré-requisitos juntamente com a avaliação numérica de eficiência em três categorias: Envoltória, Aquecimento de água e Bonificações	Avalia-se a adequação do empreendimento a um perfil de desempenho ambiental em 14 categorias a partir de referências técnicas pré-definidas	Avaliação numérica baseada em pontos que verificam a adequação dos itens classificatórios de cada uma das suas oito categorias
<b>Pontuação</b>	A pontuação varia de 0 a 5 pontos, com no máximo 1 ponto extra de bonificações. O resultado é um nível de classificação alfabético de E a A	As categorias são classificadas em nível Bom, Superior ou Excelente, com as suas devidas ponderações. O resultado final é a certificação ou não do empreendimento.	Do total de 136 pontos disponíveis nas oito categorias de avaliação, são atribuídos níveis de classificação de acordo com a pontuação numérica final (certificado, prata, ouro ou platina).
<b>Fases de aplicação</b>	Tanto na fase de projeto como em empreendimentos concluídos	Desde a fase de projeto até a fase de construção e operação do empreendimento	Desde a fase de projeto até a fase de construção e operação do empreendimento
<b>Preço</b>	O custo médio da certificação se situa na faixa de 15 a 20 mil reais por projeto.	O custo médio para empreendimentos de até 1.500m <sup>2</sup> é de R\$17.500, e acima deste limite, adiciona-se R\$1,609 por m <sup>2</sup>	Taxa de cadastro de US\$ 600. Projetos com até 5 mil m <sup>2</sup> , adiciona-se US\$2.250; de 5 mil m <sup>2</sup> até 50 mil m <sup>2</sup> , adiciona-se US\$0,45/m <sup>2</sup> ; e acima de 50 mil m <sup>2</sup> adiciona-se um total de US\$22.500. Incluem-se também consultorias de aproximadamente 1% do custo da obra

Fonte: Adaptado de Leite (2011, p. 36)

### 3.2.2 Diferenças no nível de abrangência das certificações

Após o estudo do método prescritivo de cada um dos três processos, presentes nos referenciais técnicos Procel Edifica (Inmetro, 2012), AQUA (FCAV, 2013) e LEED (USGBC, 2013), foi possível identificar as áreas envolvidas em cada categoria das três certificações. Em sequência, são traçados perfis percentuais de importância para cada um dos itens envolvidos nas certificações ou selos sustentáveis, como expostos na Tabela 13. Esta

apresenta, por conseguinte, o nível de abrangência de cada certificação analisada.

Para a certificação LEED, os percentuais são referenciados na pontuação parcial mostrada na Tabela 8, página 59. Na certificação AQUA, como não existem pontuações percentuais para cada item, e somente a avaliação em níveis “Bom”, “Excelente” ou “Superior”, foram identificadas a quantidade de categorias – dentre as 14 presentes no referencial – em que as áreas de aplicação se enquadram, obtendo-se então, a relação percentual para cada item. O item “conforto acústico e olfativo”, por exemplo, das 14 categorias disponíveis no processo AQUA, está presente em duas, já o item “gestão da água” está presente em apenas uma categoria. Com base no total de categorias, obtém-se um percentual de 14,28% e 7,14%, respectivamente, para esses itens, como mostrado na Tabela 13<sup>14</sup>.

Por fim, na certificação do Procel Edifica, os valores demonstrados na Tabela 13 são calculados a partir das equações da metodologia de avaliação já apresentada na seção 2.2.4, página 32 deste trabalho.

**Tabela 13: Abrangência e foco das certificações Procel Edifica, AQUA e LEED**

Área principal de aplicação	Procel Edifica	AQUA	LEED**
Eficiência energética e conforto térmico	100% + 18%*	13.1%	27.94%
Materiais, recursos e energia utilizados na obra	0%	14.28%	11.76%
Escolha do local e interação com o entorno	0%	17.86%	23.53%
Conscientização e educação do usuário	0%	11.91%	2.21%
Conforto acústico e olfativo	0%	14.28%	0%
Gestão da água	4%*	7.14%	11.03%
Inovação do projeto	0%	0%	8.09%
Qualidade do ambiente interno	0%	21.43%	15.44%

\*Bonificações (extra)

\*\*LEED for homes

**Fonte: Autoria própria**

Nota-se que o programa de etiquetagem do Procel Edifica foca sua avaliação basicamente na eficiência energética e no uso da energia, com uma pequena parcela em gestão da água. Já as outras duas certificações

<sup>14</sup> Ressalta-se que esta mesma metodologia de análise foi também utilizada na avaliação dos resultados no final deste trabalho.

analisadas, possuem uma avaliação mais ampla das características do edifício, envolvendo itens como o conforto do usuário e a adaptação do edifício ao seu entorno.

A próxima seção apresenta uma avaliação semelhante, no entanto, com foco somente nos itens análogos entre as três certificações, ou seja, os itens relacionados à eficiência energética.

### 3.2.3 Diferenças quanto à eficiência energética nas certificações

No que diz respeito à avaliação das características energéticas do edifício, as três certificações possuem abordagens divergentes para definição do resultado de sua avaliação.

A Tabela 14 apresenta a relação percentual da importância que cada certificação dá aos itens relacionados à eficiência energética. Estes são divididos em quatro grupos: envoltória, sistema de aquecimento de água, equipamentos utilizados e utilização de energia renovável.

Ressalta-se que como o *software* escolhido para a simulação do LEED no caso de estudo não possui código fonte aberto, não houve acesso às equações utilizadas pelo programa. Assim sendo, para quesitos de comparação teórica entre as três certificações é utilizada nesta seção a metodologia prescritiva do LEED, como exposto no seu referencial técnico (USGBC, 2013, p. 54 – 75).

Os valores apresentados na Tabela 14 para o AQUA, por sua vez, são baseados na abrangência de cada um dos subitens presentes no referencial técnico do AQUA (FCAV, 2013) e em seu percentual de ação dentro de sua categoria. A categoria “7” do AQUA, por exemplo, possui três subitens. Dentre eles, o subitem “7.2: Equipamentos para a permanência do desempenho na fase de uso”, que representa um terço da importância total da categoria “7”. Este subitem, portanto, possui grande influência percentual, se comparado ao subitem “4.2: Uso de energias renováveis locais”, por exemplo, que representa apenas um dos sete subitens presentes na categoria “4”.

Por fim, os valores mostrados para a certificação do Procel Edifica foram obtidos com base na metodologia de avaliação exposta na seção 2.2.4 deste

trabalho (página 32), incluindo também as bonificações utilizadas nesta metodologia.

**Tabela 14: Abrangência dos métodos Procel Edifica, AQUA e LEED no âmbito energético**

Item	Procel Edifica	AQUA	LEED***
<b>Envoltória</b>	<b>65% + 14%*</b>	<b>49%</b>	<b>34,2%</b>
Consumo p/ aquecimento	59,8%	17,35%	9,21%
Tempo de resfriamento	5,2%	14,3%	9,21%
Iluminação natural	6%*	**	7,89%
Ventilação natural	8%*	17,35%	7,89%
<b>Aquecimento de água</b>	<b>35%</b>	<b>6,12%</b>	<b>23,68%</b>
Equipamento/sistema	35%	4,9%	15,79%
Isolamento das tubulações	****	1,22%	7,89%
<b>Equipamentos</b>	<b>4%*</b>	<b>38,76%</b>	<b>15,8%</b>
Eletrodomésticos	2%*	0%	7,9%
Iluminação	2%*	6,12%	7,9%
Outros equipamentos	0%	32,64%	0%
<b>Uso de energias renováveis</b>	<b>0%</b>	<b>6,12%</b>	<b>26,32%</b>

\*Bonificações (extra)

\*\*Este item é avaliado pela certificação, porém na forma em que é retratado não está relacionado à eficiência energética

\*\*\*Método prescritivo

\*\*\*\* Apresentado como pré-requisito

**Fonte: Autoria própria**

No que tange a eficiência energética, mostra-se que o método de avaliação do processo Procel Edifica é fundamentado basicamente no aquecimento de água e na envoltória do edifício. Concedendo, em caráter de bonificação, até 4% extras na avaliação geral por utilização de equipamentos eficientes. Em contrapartida, as certificações LEED e principalmente a certificação AQUA, destinam boa parte de sua pontuação à utilização de equipamentos energeticamente eficientes.

Nota-se que o foco do Procel Edifica, pode ser atribuído, basicamente ao indicador de consumo para aquecimento do ambiente e para o sistema de aquecimento de água, já que esses dois quesitos somam 94,8% da pontuação final do programa de etiquetagem, diferente da certificação AQUA e LEED que destinam 23,47% e 32,89% da pontuação para estes itens, respectivamente.

Para uma análise mais profunda e complementar das informações expostas anteriormente, os quesitos ligados à eficiência energética, e aqui

comparados em caráter teórico, foram aplicados em um caso de estudo como descrito no próximo subcapítulo.

### 3.3 Caso de estudo

Este subcapítulo expõe o caso de estudo, com a apresentação do local, a demonstração da coleta de dados e por fim a aplicação das três certificações apresentadas.

#### 3.3.1 Local

A escolha do local para aplicação do caso de estudo foi realizada de acordo com as premissas de uma residência de até 500 m<sup>2</sup> localizada na região de Curitiba que não possuísse sistemas de condicionamento artificial de ar. Dessa forma, escolheu-se uma residência de área construída total de 118,29 m<sup>2</sup> (desconsiderando a garagem coberta) e somente um pavimento, localizada no bairro Barreirinha da cidade de Curitiba.

Por motivos de privacidade do proprietário, o endereço da residência não será exposto nesse trabalho.



**Figura 13: Residência utilizada no caso de estudo**

**Fonte: Autoria própria**

### 3.3.2 Coleta de dados

A coleta dos dados necessários para aplicação das três certificações tratadas neste trabalho foi realizada *in loco* no dia 25 de agosto de 2013, e são apresentadas abaixo em diversas seções.

#### 3.3.2.1 Dados gerais da residência

Primeiramente foram identificadas as características gerais do imóvel, como a orientação da fachada, a quantidade de cômodos, a quantidade de quartos, a altura do pé direito, a topologia do sistema de aquecimento de água, o assentamento dos ambientes (piso sobre o solo, sobre vigas ou sobre pilotis), além da medição da área total do terreno. A Tabela 15 mostra o resumo dos dados iniciais.

**Tabela 15: Dados iniciais da residência**

Ambientes da residência	
Número de pessoas na casa	4
Orientação da fachada	Norte
Área total do terreno	403,29 m <sup>2</sup>
Área total construída	118,29 m <sup>2</sup>
Altura do pé direito interno	2,6 m
Número de ambientes	13
Número de quartos	3
Pintura externa*	Verde clara
Tipologia do piso	Piso sobre o solo
Tipologia do sistema de aquecimento de água	Acumulação convencional a gás

\*exceto na fachada Norte da sala de estar

**Fonte: Autoria própria**

#### 3.3.2.2 Ambientes da residência

Em sequência, cada ambiente teve seu perímetro e área medidos, além da identificação da quantidade de janelas e portas e as suas respectivas localizações nos cômodos. A Tabela 16 mostra o resumo de todos os 13

ambientes com suas respectivas áreas úteis e também a quantidade e tipos de janelas encontradas.

**Tabela 16: Ambientes da residência do caso de estudo**

Ambientes da residência	Área útil do ambiente	Janelas
Hall	4,43 m <sup>2</sup>	--
Cozinha	12,3 m <sup>2</sup>	1 x J9
WC1	1,57 m <sup>2</sup>	1 x J4
Sala	21,62 m <sup>2</sup>	3 x J1
Quarto 1	11,82 m <sup>2</sup>	1 x J2
Quarto 2	9,35 m <sup>2</sup>	1 x J2
Corredor	4,23 m <sup>2</sup>	--
WC2	3,3 m <sup>2</sup>	1 x J3
Suíte	16,87 m <sup>2</sup>	1 x J10
WC3 (Suíte)	3,5 m <sup>2</sup>	1 x J11
Escritório	9,61 m <sup>2</sup>	1 x J10
Lavanderia	4,19 m <sup>2</sup>	1 x J5
Churrasqueira	15,5 m <sup>2</sup>	3 x J6 + 1 x J7 + 1 x J8
<b>Total</b>	<b>118,29 m<sup>2</sup></b>	--

**Fonte: Autoria própria**

### 3.3.2.3 Janelas

Cada janela foi medida individualmente, medindo-se as dimensões dos caixilhos e das áreas de vidro, além de verificar o tipo e calcular a área de abertura de cada uma.

Com os dados das janelas e dos ambientes medidos anteriormente foi possível realizar a planta baixa da residência, como mostrado no Apêndice A, além de especificar os 11 tipos de janelas presentes na residência, variando de “J1” até “J11”.

Para a aplicação das certificações fez-se também necessário determinar o percentual de abertura e o percentual de iluminação relativo à área total de cada janela. Seguindo as indicações do referencial do Inmetro (2012, p.27), para tal determinação foi utilizado e adaptado o Anexo II do referencial do Procel Edifica (INMETRO, 2012, p.134-136).



**Figura 14: Medição das janelas no caso de estudo**

**Fonte: Autoria própria**

Para exemplificar, a Figura 15 mostra a foto da janela identificada como “J2” na planta baixa. Em sequência, foi identificado qual o tipo de janela presente no Anexo II do referencial do Inmetro (2012, p.134-136) se adaptava melhor a esta janela. A Figura 16 mostra a tipologia de janela escolhida, com um percentual de 90% da área total tanto para iluminação quanto para abertura. Com esses dados e com a área medida, estabeleceu-se as áreas efetivas em metros quadrados utilizados na certificação para a janela “J2”, como mostrado na Figura 17.

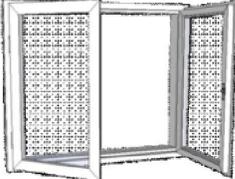
Esta mesma metodologia foi utilizada para todas as janelas da residência em questão e o resultado se encontra no Apêndice A do trabalho.

Para as janelas que não possuíam relações diretas com a tabela do Anexo II do referencial do Inmetro (2012, p.134-136), o mesmo foi adaptado ao máximo para as janelas encontradas na residência do caso de estudo. Onde nenhuma relação foi encontrada, as áreas de abertura e iluminação utilizadas foram as medidas durante a coleta de dados.



**Figura 15: Janela “J2”**

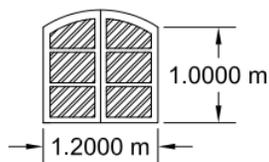
**Fonte: Autoria própria**

Tipo de janela	Ilustração	% abertura para iluminação natural	% abertura para ventilação natural
abrir 90° (ou de giro) 1 ou 2 folhas		90	90

**Figura 16: Tipologia de janela utilizada para a janela “J2”**

**Fonte: Inmetro (2012, p. 134).**

**J2:**



Área total =	1,33 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	1,197 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	1,197 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm translúcido plano
Altura do chão =	1,07 m

**Figura 17: Representação final da janela “J2” e suas medidas**

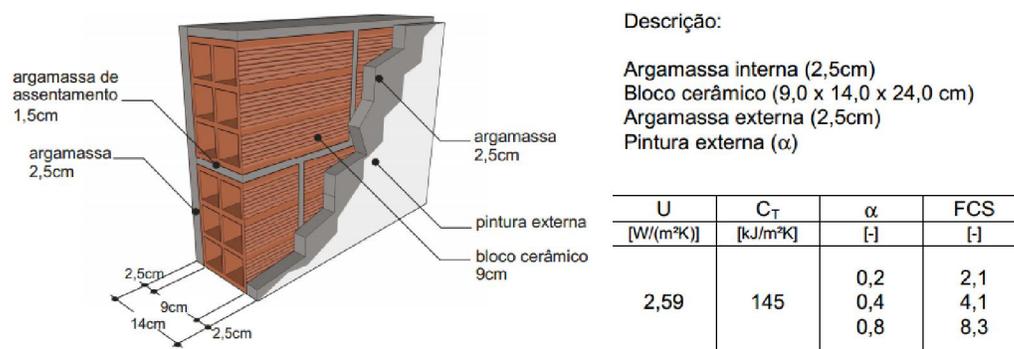
**Fonte: Autoria própria**

### 3.3.2.4 Paredes

Outra característica de grande importância para as certificações está relacionada à tipologia de parede utilizada na residência, estando esta, evidentemente relacionada com a resistência térmica e, portanto diretamente relacionada ao desempenho energético da envoltória do empreendimento tanto em situação de calor externo quanto em de dias de frio.

No caso de estudo foram verificadas que as paredes de toda a residência – tanto as que fazem face ao ambiente externo quanto as que separam os ambientes internos da casa – são de alvenaria comum com reboco em ambos os lados e pintura externa, na maior parte da casa, na coloração verde clara. A espessura média das paredes medidas foi de aproximadamente 14 cm.

Como citado na seção 2.1 deste trabalho (página 26), os valores específicos de transmitância e capacitância térmica a serem utilizados no desenvolvimento do caso de estudo são provenientes da NBR 15220-2 (ABNT, 2003) e do manual do LabEEE (2010). A tipologia de parede que mais se adapta ao encontrado na residência, e que será utilizada na aplicação do caso de estudo está demonstrada na Figura 18.



**Figura 18: Valores de resistência e capacitância térmica da parede do caso de estudo**

Fonte: LabEEE (2010, p.6)

Além da determinação da transmitância térmica ( $U$ ) e da capacitância térmica ( $C_T$ ) das paredes, determina-se a absorvância da face externa das paredes de acordo com a sua coloração, segundo o exposto no Anexo B da

NBR 15220-2 (ABNT, 2003, p.8) e apresentados na Tabela 17. Para uma coloração externa com pintura verde clara, como mostrado na Figura 19, obtêm-se uma absorvância ( $\alpha$ ) igual a 0,40.



**Figura 19: Detalhe da coloração externa da residência**

**Fonte: Autoria própria**

Foi identificado, no entanto, como exposto na Figura 20, que a sala de estar da residência possuía sua face externa com blocos de pedra claros e aparentes. Neste caso a absorvância adotada foi igual a 0,3 (semelhante à coloração amarela).



**Figura 20: Detalhe da coloração externa da sala**

**Fonte: Autoria própria**

**Tabela 17: Tipos de superfície e suas absorções respectivas**

Tipo de superfície		$\alpha$
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25
Caiçãõ nova		0,12 / 0,15
Concreto aparente		0,65 / 0,80
Telha de barro		0,75 / 0,80
Tijolo aparente		0,65 / 0,80
Reboco claro		0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25
Vidro colorido		0,40 / 0,80
Vidro metalizado		0,35 / 0,80
Pintura:	Branca	0,20
	Amarela	0,30
	Verde clara	0,40
	"Alumínio"	0,40
	Verde escura	0,70
	Vermelha	0,74
	Preta	0,97

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2 (ABNT, 2003, p. 8)

### 3.3.2.5 Cobertura

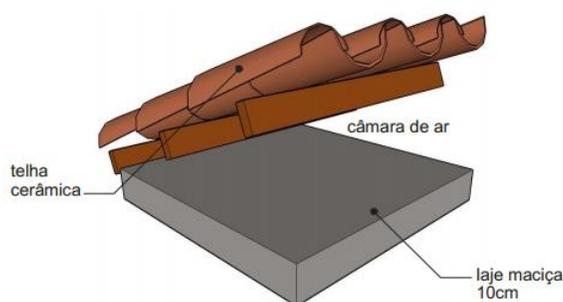
Um procedimento semelhante se fez necessário para a determinação da transmitância térmica, capacidade térmica e absorção da cobertura da residência.

Verificou-se, como evidenciado na Figura 21, que no caso de estudo a cobertura da residência era feita por telhas cerâmicas sobre uma câmara de ar. Seguindo o mesmo procedimento realizado para a determinação das características das paredes, a cobertura que mais se adapta ao encontrado no caso de estudo está demonstrada na Figura 22. O valor de absorção utilizado para a cobertura foi de 0,75, como exposto para telhas de barro na Tabela 17.



**Figura 21: Detalhe da cobertura da residência**

Fonte: Autoria própria



Descrição:

Laje maciça (10,0cm)  
Câmara de ar (> 5,0 cm)  
Telha cerâmica

U	$C_T$	$\alpha$	FCS
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	[-]	[-]
2,05	238,4	0,2	1,6
		0,4	3,3
		0,8	6,6

**Figura 22: Valores de resistência e capacitância térmica da cobertura do caso de estudo**

Fonte: LabEEE (2010, p.6)

### 3.3.2.6 Sistema de iluminação artificial

Foram verificados todos os dispositivos de iluminação artificial – lâmpadas – de cada ambiente da residência. Identificou-se a quantidade, a potência e o fabricante de cada lâmpada de acordo com seu ambiente.

A maior parte da residência era iluminada por lâmpadas fluorescentes compactas de 25 W de potência, como mostrado na Figura 23. No entanto,

foram também encontradas lâmpadas tubulares e lâmpadas dicroicas em certos ambientes. O resultado encontra-se na Tabela 18.



**Figura 23: Lâmpada fluorescente compacta de 25 W**  
**Fonte: A autoria própria**

**Tabela 18: Sistemas de iluminação artificial do caso de estudo**

<b>Ambiente</b>	<b>Qtd</b>	<b>Potência unit.</b>	<b>Tipo</b>	<b>Fabricante</b>
Garagem	1	25 W	Fluorescente comp.	Taschibra
Sala	5	50 W	Dicroica	Osram
Cozinha	3	25 W	Fluorescente comp.	Taschibra
Lavanderia	2	14 W	Fluorescente comp.	Taschibra
WC1	1	25 W	Fluorescente comp.	Taschibra
Salão	4	25 W	Fluorescente comp.	Taschibra
Q1	2	25 W	Fluorescente comp.	Taschibra
Q2	2	25 W	Fluorescente comp.	Taschibra
Escritório	2	40 W	Tubular	Philips
Suíte	2	25 W	Fluorescente comp.	Taschibra
WC2	2	25 W	Fluorescente comp.	Taschibra
WC3	2	25 W	Fluorescente comp.	Taschibra
Corredor	1	25 W	Fluorescente comp.	Taschibra
Hall	1	25 W	Fluorescente comp.	Taschibra
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>	<b>906 W</b>	--	--

**Fonte: A autoria própria**

### 3.3.2.7 Sistema de aquecimento de água

Verificou-se as seguintes características do sistema de aquecimento de água: a fonte energética que alimenta o sistema (aquecedor à gás, elétrico, à diesel...); a sua localização, a tubulação utilizada para condução de água quente e o isolamento desta tubulação.

O sistema encontrado na residência foi o sistema de acumulação com aquecimento a gás. Este está localizado na fachada Leste da residência atrás do WC3 – local mais próximo aos únicos dois pontos de água quente abastecidos pelo sistema na residência, os chuveiros do WC2 e do WC3<sup>15</sup>. Ressalta-se também que o aquecedor possuía selo Procel de nível A, como mostrado na Figura 24.

Já quanto à tubulação e seu isolamento, constatou-se que a tubulação que saía do aquecedor era uma tubulação metálica em cobre e possuía diâmetro de aproximadamente 22 mm, com um isolamento do tipo elumaflex de 10 mm, como mostrado na Figura 25. Como a resistência térmica do cobre é muito baixa se comparada à do isolamento, foi adotado o valor de referência de resistência térmica total da tubulação de 0,035 W/mK (ELUMAFLEX, 2005, p.33).

Para a determinação da continuidade destas mesmas características em todo o ramo de alimentação de água quente, foi necessário questionar o proprietário da residência, que confirmou que estas características da tubulação se mantêm em todo o sistema.

---

<sup>15</sup> Para facilitar a visualização, verificar a planta baixa no Apêndice A.



**Figura 24: Sistema de aquecimento de água**  
**Fonte: Autoria própria**



**Figura 25: Isolamento das tubulações de água quente - Elumaflex**  
**Fonte: Elumaflex (2005)**

### 3.3.2.8 Dispositivos especiais

Por fim, como proposto nas bonificações da certificação do Procel Edifica mostradas na seção 2.2.4.3 (página 37), foi realizada a inspeção de dispositivos especiais, como, por exemplo, arejadores de torneira ou sistemas de uso de água pluvial para alimentação de pontos de água no interior da residência.

No âmbito da gestão e economia da água, arejadores, semelhantes ao mostrado na Figura 26, foram encontrados em todas as torneiras da residência.

Em contra partida, constatou-se que a residência não possuía nenhum sistema de captação e utilização de água da chuva, nem dispositivos de descarga com duplo acionamento nos banheiros.



**Figura 26: Arejador de torneira no WC2**

**Fonte: Autoria própria**

Além deste, no âmbito de dispositivos especiais relacionados às aberturas – janelas –, não foi encontrado nenhum tipo de sistema de brises, nem janelas com vidros duplos em nenhum local da residência.

Com todos esses dados, a residência do caso de estudo foi analisada segundo a metodologia da certificação do Procel Edifica e também dos itens da certificação AQUA e LEED relacionados à eficiência energética.

### 3.3.3 Aplicação da certificação Procel Edifica

Como evidenciado na seção 2.2.4 (página 32), a certificação do Procel Edifica se divide na avaliação energética de um empreendimento em duas categorias (envoltória e sistema de aquecimento de água), além de pontos extras baseados em bonificações pelo atendimento de itens específicos na residência a ser certificada.

No entanto, ressalta-se novamente que além da avaliação propriamente dita, faz-se necessário determinar se a residência avaliada possui características que sejam no mínimo superiores aos pré-requisitos estabelecidos no referencial do Inmetro (2012). Este quesito irá definir qual é a

pontuação máxima permitida para cada item avaliado, independente da sua avaliação numérica.

- Envoltória

De acordo com o referencial técnico do Inmetro (2012, p.31), a avaliação energética da envoltória do edifício restringe-se somente aos ambientes, definidos como ambientes de permanência prolongada<sup>16</sup>.

Para a residência em questão, e segundo o exposto no referencial do Inmetro (2012, p. 5), definem-se como ambientes de permanência prolongada os seguintes:

1. sala;
2. quarto 1;
3. quarto 2;
4. escritório;
5. suíte;

Nestes ambientes, avaliou-se o índice de graus-hora para resfriamento, além do consumo para aquecimento de cada ambiente separadamente pelo seu método prescritivo. Por fim, foi realizada a média ponderada dos resultados de acordo com a área útil de cada ambiente, como já mencionado anteriormente.

A Equação 3, retirada do referencial do Inmetro (2012, p.38), foi utilizada para o cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento ( $GH_R$ ) em cada um dos ambientes separadamente. As constantes da equação são apresentadas no Quadro 2.

As definições das variáveis utilizadas para o cálculo das Equações 3 e 4 foram retiradas do referencial do Inmetro (2012, p. 33-38), e podem ser consultadas no Anexo B deste trabalho.

---

<sup>16</sup> Ver “Ambientes de permanência prolongada” no glossário.

$$\begin{aligned}
GH_R = & (a) + (b * CT_{baixa}) + \left( c * \frac{PD}{AU_{amb}} \right) + (d * U_{cob} * \alpha_{cob} * cob * AU_{amb}) \\
& + \left[ e * \left( U_{cob} * \frac{\alpha_{cob}}{CT_{cob}} \right) * AU_{amb} \right] + (f * somb) + (g * CT_{cob}) + (h * \alpha_{cob}) \\
& + (i * AAb_o * (1 - somb)) + (j * isol) + (k * solo) + (l * Ab_s) \\
& + \left[ m * \left( U_{par} * \frac{\alpha_{par}}{CT_{par}} \right) * SomA_{par} \right] + (n * F_{vent}) + (o * CT_{par}) + (p * pil) \\
& + (q * cob * AU_{amb}) + (r * vid) + (s * cob) + (t * Ab_o) \\
& + (u * AAb_N * somb) + (v * AU_{amb}) + (w * PD) * (x * solo * AU_{amb}) \\
& + (y * AAb_L * F_{vent}) + (z * AP_{ambN} * \alpha_{par}) + (aa * AP_{ambL} * U_{par} * \alpha_{par}) \\
& + (ab * AP_{ambL} * U_{par}) + (ac * AAb_s * somb) + (ad * AAb_o * somb) \\
& + (ae * AP_{ambS} * U_{par} * \alpha_{par}) + (af * \alpha_{par}) + (ag * CT_{alta}) + (ah * U_{par}) \\
& + (ai * AAb_s * F_{vent}) + (aj * AP_{ambo} * U_{par} * \alpha_{pa9r}) + (ak * AP_{ambo} * U_{par}) \\
& + (al * P_{ambN}) + (am * Ab_N)
\end{aligned} \tag{3}$$

a	94,0522	k	-54,3782	u	5,4197	ae	0,4732
b	123,0188	l	-13,7824	v	-0,8241	af	15,3256
c	164,3781	m	0,2637	w	6,9951	ag	16,2345
d	2,6353	n	-35,9380	x	0,4141	ah	-12,2883
e	3,0564	o	-0,0441	y	5,4487	ai	2,6390
f	-66,6721	p	-19,2971	z	-0,1569	aj	1,7745
g	-0,0607	q	-0,9075	aa	2,4596	ak	-0,7678
h	56,9221	r	-16,1623	ab	-1,0187	al	22,1077
i	9,1358	s	50,8387	ac	2,2785	am	-15,7841
j	-32,8413	t	21,8479	ad	2,9537		

**Quadro 2: Constantes para indicador de resfriamento**

**Fonte: Inmetro (2012, p.38)**

Já a Equação 4, retirada do referencial do Inmetro (2012, p.39), foi utilizada para o cálculo do consumo para aquecimento ( $C_A$ ) em cada um dos ambientes. As constantes desta equação são apresentadas no Quadro 3.

$$\begin{aligned}
C_A = & [(a) + (PD * AU_{amb} * b) + (pil * AU_{amb} * c) + (isol * d) \\
& + (A_{parInt} * CT_{par} * e) + (solo * AU_{amb} * f) \\
& + \left( \left( U_{par} * \frac{\alpha_{par}}{CT_{par}} \right) * SomA_{parext} * g \right) + (cob * AU_{amb} * h) \\
& + (AAb_S * U_{vid} * i) + (U_{cob} * \alpha_{cob} * cob * AU_{amb} * j) + (\alpha_{par} * k) \\
& + (AAb_L * U_{vid} * l) + (U_{par} * m) + (AP_{ambS} * n) + (F_{vent} * o) \\
& + (CT_{baixa} * p) + (A_{parInt} * q) + (SomA_{parext} * CT_{par} * r) + (vid * s) \\
& + \left( \left( U_{cob} * \frac{\alpha_{cob}}{CT_{cob}} \right) * AU_{amb} * t \right) + (SomA_{parext} * u) + (AP_{ambN} * \alpha_{par} * v) \\
& + (PD * w) + (somb * x) + (AP_{ambS} * \alpha_{par} * y) + (U_{cob} * z) + (CT_{cob} * aa) \\
& + (CT_{par} * ab) + (AAb_S * ac) + (AAb_N * F_{vent} * ad) + (AP_{ambN} * U_{par} * ae) \\
& + (AP_{ambS} * U_{par} * af) + (AAb_O * F_{vent} * ag) + (cob * ah) + (\alpha_{cob} * ai) \\
& + (AAb_O * U_{vid} * aj) + (AAb_N * U_{vid} * ak) + (AP_{ambO} * \alpha_{par} * al) \\
& + (AP_{ambL} * \alpha_{par} * am) + (AP_{ambN} * an) + (AAb_L * F_{vent} * ao) \\
& + (AAb_S * F_{vent} * ap) + (solo * aq) + (pil * ar) + (AAb_L * as) \\
& + (AAb_O * (1 - somb) * at) + (AP_{ambN} * U_{par} * \alpha_{par} * au) \\
& + (AP_{ambS} * U_{par} * \alpha_{par} * av) + (AAb_O * aw) + (AAb_O * somb * ax) \\
& + (P_{ambS} * ay) + (AAb_N * (1 - somb) * az) + (AAb_N * somb * ba) \\
& + (AAb_N * bb)] / (AU_{amb} * 1000)
\end{aligned} \tag{4}$$

a	298.699,563	o	79.769,314	ac	20.177,453	ap	-47.868,104
b	620,640	p	63.010,576	ad	-43.565,157	aq	30.810,932
c	8.314,496	q	6.372,943	ae	3.414,205	ar	27.238,852
d	-198.260,208	r	-3,505	af	3.099,252	as	16.614,694
e	-1,194	s	3.558,661	ag	-48.984,907	at	-16.143,487
f	5.881,999	t	986,593	ah	147.203,116	au	-3.226,219
g	923,941	u	17.709,262	ai	-136.860,726	av	-2.820,982
h	3.090,563	v	-1.889,736	aj	3.541,891	aw	17.484,409
i	4.325,616	w	-75.954,953	ak	3.326,543	ax	-20.536,510
j	-1,728	x	26.362,996	al	-9.946,801	ay	-17.090,252
k	-86.128,150	y	-1.593,427	am	-9.318,630	az	-14.060,875
l	3.777,324	z	4.000,912	an	-9.418,871	ba	-21.052,274
m	-57.706,666	aa	-44,865	ao	-53.392,697	bb	11.212,923
n	-5.503,373	ab	70,681				

**Quadro 3: Constantes para indicador de aquecimento**

Fonte: Inmetro (2012, p.39)

Finalmente, com os dados coletados na residência avaliada e com a correta definição das variáveis necessárias para os cálculos, foi desenvolvida uma planilha com os todos os dados de cada um dos ambientes, incluindo os dados construtivos de paredes e janelas, separados de acordo com as variáveis necessárias nas Equações 3 e 4. O resultado encontra-se na Tabela 19.

**Tabela 19: Variáveis da envoltória da residência**

Variáveis	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Escritório	Suíte
$AU_{amb}$	21,6225	11,8255	9,3532	9,6074	16,8725
$Ab_L$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$Ab_N$	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
$Ab_O$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$Ab_S$	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000
$AAb_L$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$AAb_N$	2,1240	1,1970	1,1970	0,0000	0,0000
$AAb_O$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$AAb_S$	0,0000	0,0000	0,0000	0,7900	0,7900
$AP_{ambL}$	0,0000	0,0000	6,3180	0,0000	0,0000
$AP_{ambN}$	12,6960	7,9810	7,0190	0,0000	0,0000
$AP_{ambO}$	7,7740	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$AP_{ambS}$	0,0000	0,0000	0,0000	5,5020	10,2600
$A_{parInt}$	28,8340	26,5980	16,9260	26,9360	31,6940
$\alpha_{cob}$	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500	0,7500
$\alpha_{par}$	0,3000	0,4000	0,4000	0,4000	0,4000
$C_{altura}$	0,1202	0,2199	0,2780	0,2706	0,1541
$cob$	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
$CT_{alta}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$CT_{baixa}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$CT_{cob}$	238,4000	238,4000	238,4000	238,4000	238,4000
$CT_{par}$	145,0000	145,0000	145,0000	145,0000	145,0000
$F_{vent}$	0,5198	0,9000	0,9000	0,5118	0,5118
$isol$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$P_{ambL}$	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
$P_{ambN}$	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
$P_{ambO}$	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$P_{ambS}$	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000
$PD$	2,6000	2,6000	2,6000	2,6000	2,6000
$pil$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$solo$	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
$Soma_{parext}$	20,4700	7,9810	13,3370	5,5020	10,2600
$somb$	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
$U_{cob}$	2,0500	2,0500	2,0500	2,0500	2,0500
$U_{par}$	2,5900	2,5900	2,5900	2,5900	2,5900
$U_{vid}$	8,3580	8,3580	8,3580	8,3580	8,3580
$vid$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$Volume$	56,2185	30,7463	24,3183	24,9792	43,8685
Área total de aberturas ( $m^2$ )	2,655	1,33	1,33	1,44	1,44
Área total para ventilação ( $m^2$ )	1,38	1,197	1,197	0,737	0,737
Área total para iluminação ( $m^2$ )	2,124	1,197	1,197	0,79	0,79
Área percentual para ventilação	6,38%	10,12%	12,80%	7,67%	4,91%
Área percentual para iluminação	9,82%	10,12%	12,80%	8,22%	5,27%

**Fonte: Autoria própria**

Em sequência, com esses dados em mãos, foi realizada a verificação de atendimento dos pré-requisitos específicos para a envoltória do edifício, como determinado na seção 2.2.4.1<sup>17</sup>.

1. As paredes externas possuem transmitância térmica ( $U_{par}$ ) igual a 2,59 W/m<sup>2</sup>K e, portanto, superior ao limite máximo de 2,5 W/m<sup>2</sup>K. O não atendimento deste pré-requisito implica automaticamente em uma pontuação máxima de nível C, tanto para o indicador de graus-hora para resfriamento, quanto para o indicador de consumo para aquecimento de todos os ambientes analisados.
2. A cobertura possui transmitância térmica ( $U_{cob}$ ) igual a 2,05 W/m<sup>2</sup>K, abaixo do limite máximo estabelecido de 2,3 W/m<sup>2</sup>K.
3. O percentual mínimo de 12,5% da área útil do ambiente para iluminação só foi atendido no quarto 2. Em todos os outros ambientes analisados este pré-requisito não foi atendido, implicando em uma pontuação máxima de nível C, tanto para o indicador de resfriamento quanto para o indicador de aquecimento.
4. O percentual máximo de 8% da área útil do ambiente para ventilação só foi atendido para a sala, escritório e para a suíte. Nos outros ambientes, este pré-requisito não foi atendido, implicando em uma pontuação máxima de nível C para o indicador de resfriamento.
5. Em todos os banheiros foi verificada a presença de aberturas para ventilação natural, portanto, a quantidade mínima de 50% dos banheiros com esta característica foi atendida neste pré-requisito.

Uma vez determinado o atendimento, ou não, dos pré-requisitos acima, as Equações 3 e 4 foram inseridas na planilha de dados para realizar os cálculos dos índices de graus-hora para resfriamento ( $GH_R$ ) e consumo para aquecimento ( $C_A$ ) para cada um dos ambientes. O resultado destes dois índices para cada um dos ambientes analisado pode ser verificado na Tabela 20.

---

<sup>17</sup> Ver página 32.

**Tabela 20: Resultado numérico do  $GH_R$  e do  $C_A$  para cada ambiente**

	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Escritório	Suíte
$GH_R$	153,15	125,48	127,78	121,18	124,23
$C_A$	33,66971748	39,17940237	48,1418899	45,10999088	36,55468766

**Fonte: Autoria própria**

Utilizando as Tabelas 5 e 6<sup>18</sup>, foram determinados os equivalentes numéricos de aquecimento e de resfriamento de cada ambiente, variando de 1 até 5. Em sequência, foi considerado o não atendimento dos pré-requisitos supracitados, tendo, portanto como limite máximo de pontuação o nível C, ou resultado numérico igual a 3,0 para cada ambiente analisado, como evidenciado na Tabela 21.

**Tabela 21: Resultado final dos equivalentes numéricos da envoltória**

	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Escritório	Suíte
$GH_R$	153,15	125,48	127,78	121,18	124,23
Resultado calculado	4	5	5	5	5
Resultado com pré-requisitos	3	3	3	3	3
$C_A$	33,66971748	39,17940237	48,1418899	45,10999088	36,55468766
Resultado calculado	3	3	3	3	3
Resultado com pré-requisitos	3	3	3	3	3
Área útil do ambiente	21,6225	11,8255	9,3532	9,6074	16,8725

**Fonte: Autoria própria**

Foi realizada a definição final dos equivalentes numéricos de aquecimento e resfriamento ( $EqNumEnvAmb_A$  e  $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ ) para a residência como um todo, através da média ponderada dos resultados pela área útil de cada ambiente. Devido ao não atendimento dos pré-requisitos demonstrados nesta seção, os resultados finais encontrados para o  $GH_R$  (definido como  $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ ) e para o  $C_A$  ( $EqNumEnvAmb_A$ ) foram ambos iguais a 3,0 (equivalente ao nível C).

A pontuação total da envoltória foi obtida pela aplicação da Equação 1 (página 35). O resultado final do desempenho da envoltória ( $EqNumEnv$ ) encontrado foi igual a 3,0, ou seja, nível C no desempenho energético final da envoltória do edifício, como mostrado a seguir:

<sup>18</sup> Presentes na página 34 deste trabalho.

$$EqNumEnv = 0,08 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,92 \times EqNumEnv_A$$

$$EqNumEnv = 0,08 \times 3,00 + 0,92 \times 3,00$$

$$EqNumEnv = 3,0$$

Em sequência foi analisada a eficiência do sistema de aquecimento de água segundo a metodologia do Procel Edifica.

- Sistema de aquecimento de água

Primeiramente foi realizada a verificação de atendimento dos pré-requisitos específicos do sistema de aquecimento de água, como demonstrados na seção 2.2.4.2 (página 35).

Verificou-se que a tubulação de água quente do sistema (incluindo o isolamento térmico) possuía condutividade térmica de aproximadamente 0,035 W/mK, diâmetro de 22 mm e isolamento de 10 mm. Dessa forma, foi atendido o requisito mínimo de 1 cm de isolamento para tubulações de até 40 mm de diâmetro nominal (INMETRO, 2012, p.77).

Já a avaliação do sistema de aquecimento de água a gás segundo a metodologia do Procel Edifica se baseia, também, na definição do sistema ideal de aquecimento para as características construtivas da residência avaliada, levando em consideração os padrões de utilização de água envolvidos (INMETRO, 2012, p.88). Este sistema ideal é então comparado com o sistema existente na residência, e a discrepância entre as potências para aquecimento e volumes de armazenamento dos sistemas não podem ser superiores a 20%.

Portanto, primeiro foi definido o volume de água quente máximo consumido em uma hora no período de maior consumo na residência, segundo a Equação 5.

$$V_{pico} = V_{individual} \times FS_{individual} \quad (5)$$

Onde  $V_{individual}$  é o volume de consumo diário de água quente na residência em litros e  $FS_{individual}$  é o fator de simultaneidade de uso, estabelecido como 0,45.

A definição do volume de consumo diário, seguindo as indicações do Inmetro (2012, p.90) foi feita através da estimativa de consumo per capita de 80 litros de água por pessoa multiplicado pelo número total de 4 pessoas que residem na casa. Assim, obtém-se:

$$V_{\text{pico}} = 80 \times 4 \times 0,45 = 144 \text{ litros}$$

Em seguida, definiu-se o volume de recuperação para o sistema na hora mais crítica (em litros/hora), segundo a Equação 6.

$$V_{\text{recup}} = V_{\text{pico}} - V_{\text{armaz}} \quad (6)$$

Onde  $V_{\text{armaz}}$  é o volume mínimo de água quente que garante uma temperatura mínima de estagnação, estabelecido como 100 litros (INMETRO, 2012, p.91). Logo, obtém-se:

$$V_{\text{recup}} = 144 - 100 = 44 \text{ litros}$$

Finalmente, foi calculada a potência de aquecimento para o sistema ideal (em kW), segundo a Equação 7.

$$Q = \frac{V_{\text{recup}} * c * (T_{\text{armaz}} - T_{\text{água fria}})}{860} \quad (7)$$

Onde:  $c$  é o calor específico da água (igual a 1,00 cal/g°C);  $T_{\text{armaz}}$  é a temperatura mínima de armazenamento, estabelecida como 40°C e;  $T_{\text{água fria}}$  é a temperatura da água fria no local. Para esta última, foi utilizada a temperatura mínima média do mês mais frio do ano na cidade de Curitiba, de 8,2°C<sup>19</sup>.

Obtém-se:

---

<sup>19</sup> Retirado dos dados climáticos disponíveis no site do Departamento de Energia dos EUA, disponível em: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data3.cfm/region=3\\_south\\_america\\_wmo\\_region\\_3/country=BRA/cname=Brazil](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3/country=BRA/cname=Brazil).

$$Q = \frac{44 \cdot 1 \cdot (40 - 8,2)}{860} = 1,6174 \text{ kW}$$

Define-se, portanto, como proposto pelo Inmetro (2012), que o sistema ideal de aquecimento para a residência do caso de estudo deve possuir um volume de armazenamento de 100 litros e uma potência de aquecimento de 1,6174 kW.

Como este mesmo referencial estabelece como critérios aceitáveis uma variação de até 20% para mais ou para menos em ambas as grandezas, definem-se como a faixas de valores aceitáveis os seguintes:

$$80 \text{ litros} \leq V_{\text{armaz- residência}} \leq 120 \text{ litros}$$

$$1,2934 \text{ kW} \leq Q_{\text{residência}} \leq 1,94 \text{ kW}$$

No entanto, os valores encontrados na residência, como mostrado na Figura 27, foram um volume de armazenamento de 130 litros e uma potência de aquecimento de 9,3 kW. Desta forma, como proposto pelo Inmetro (2012), o não atendimento deste quesito implica em uma pontuação máxima de nível C para o sistema de aquecimento de água.



Figura 27: Detalhes do aquecedor de água

Fonte: Autoria própria

Por fim, avalia-se a classificação do selo Procel do equipamento – nível A – como mostrada na Figura 27. Como o nível do selo é superior ao máximo estabelecido pelo não atendimento do pré-requisito de volume de armazenamento e potência do aquecedor, o sistema de aquecimento, recebe, portanto, o nível C, ou seja, um resultado numérico final igual a 3,00.

$$\text{EqNumAA} = 3,00$$

O último quesito avaliado pela certificação do Procel Edifica, são os pontos relativos às bonificações.

- Bonificações

As bonificações propostas pelo referencial do Inmetro (2012) dividem-se nas cinco categorias mostradas na seção 2.2.4.3 deste trabalho (página 37).

1. Ventilação natural (até 0,36 pontos)

Primeiramente, avaliou-se a porosidade total em fachadas opostas, para determinação de ventilação cruzada de alto desempenho. Segundo o referencial do Inmetro (2012, p.101), a residência recebe 0,12 pontos extras caso seja comprovada porosidade mínima de 20% em fachadas opostas.

Verificou-se, como mostrado na planta baixa do Apêndice A, que as fachadas Leste e Oeste possuem porosidades praticamente irrelevantes, pois apresentam basicamente janelas de lavatórios com pequenas aberturas. Já para as fachadas Norte e Sul, foram utilizados os dados de aberturas de cada ambiente e o resultado final de porosidade encontrado foi de 12,82% para a fachada Norte e 7,87% para a fachada Sul. Esta bonificação, portanto, não foi alcançada.

Em sequência, avaliaram-se a presença de dispositivos especiais para ventilação melhorada – como, por exemplo, brises ou torres de vento – com possibilidade de até 0,16 pontos. Como já citado na coleta de dados, não foram encontrados quaisquer dispositivos de auxílio para ventilação na residência do caso de estudo. Assim, esta bonificação também não foi alcançada.

Por fim, são propostos também 0,06 pontos para comprovação de aberturas com centro geométrico baixo (entre 0,4 m e 0,7 m) nos ambientes de permanência prolongada.

O centro geométrico das janelas J1, J2 e J10, dos ambientes de permanência prolongada, foram determinados como iguais a 1,415 m, 1,66 m e 1,27 m, respectivamente. Dessa forma, como não foi atendida a faixa delimitada de 0,4 m até 0,7 m, esta bonificação também não foi alcançada.

A Tabela 22 resume as bonificações relativas aos 0,36 pontos para ventilação natural.

**Tabela 22: Bonificações em ventilação natural**

<b>Ventilação natural (até 0,36 pontos)</b>	
<b>Porosidade mínima de 20% em fachadas opostas ? (0,12 pontos)</b>	<b>Não</b>
Porosidade fachada Norte	12,82%
Porosidade fachada Sul	7,77%
Pontuação parcial	0
<b>Dispositivos especiais para ventilação? (0,16 pontos)</b>	<b>Não</b>
Pontuação parcial	0
<b>Aberturas externas com centro geom. entre 0,4 e 0,7 m? (0,06 pontos)</b>	<b>Não</b>
Centro geométrico abertura (J1)	1,415 m
Centro geométrico abertura (J2)	1,66 m
Centro geométrico (J10)	1,27m
Pontuação parcial	0
<b>Pontuação final para ventilação natural</b>	<b>0</b>

**Fonte: Adaptado de Inmetro (2012)**

## 2. Iluminação natural (até 0,30 pontos)

Inicialmente, foram avaliadas as profundidades de iluminação natural dos ambientes. De acordo com o referencial do Inmetro (2012, p.102), a residência recebe 0,20 pontos extras caso sejam comprovadas profundidades máximas de iluminação natural inferiores ao que dita ao exposto na Equação 8, para todos os ambientes de permanência prolongada, a cozinha e a lavanderia.

$$P \leq 2,4 \times h_a \quad (8)$$

Onde  $P$  é a profundidade do ambiente medida a partir da extremidade da abertura até o ponto mais longe do ambiente analisado e  $h_a$  é a distância medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação.

Para cada ambiente foram avaliados os pontos máximos de profundidade para iluminação natural segundo o proposto no referencial do Inmetro (2012, p. 102).

Verificou-se que em todos os ambientes analisados a profundidade do ambiente era inferior à profundidade máxima permitida para o ambiente. A Tabela 23 mostra os resultados encontrados para cada ambiente. A residência recebeu, portanto, 0,20 pontos de bonificação.

O outro ponto analisado nesta bonificação é a refletância mínima de 0,6 nos tetos dos ambientes de permanência prolongada, na cozinha e na lavanderia, com pontuação máxima de 0,10 pontos.

Verificou-se que em todos estes ambientes o teto possuía coloração branca (em tinta plástica) e, portanto de acordo com o exposto por Castro et al. (2003, p.74), estes possuem refletância igual à 0,85 (considerando somente a radiação visível) ou igual a 0,69 (se considerando também a faixa de ondas infravermelhas). De toda forma, a refletância é superior ao mínimo exigido pelo referencial, recebendo, portanto mais 0,10 pontos extras nesta categoria.

A Tabela 23 mostra o resultado final dos pontos de bonificação referentes à iluminação natural<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> Vale ressaltar aqui que os pré-requisitos de iluminação natural para os ambientes analisados no cálculo de desempenho de envoltória não foram atingidos, e não obstante, segundo a metodologia do Inmetro (2012), foram concedidos pontos de bonificação neste mesmo critério.

**Tabela 23: Bonificações em iluminação natural**

<b>Iluminação natural (até 0,3 pontos)</b>	
<b>Profundidade máxima para iluminação natural atendida ? (0,2 pontos)</b>	
<u>Sala</u>	<b>Sim</b>
Distância do piso ao ponto mais alto da abertura para iluminação	2.23 m
Profundidade máxima permitida	5.35 m
Profundidade máxima do ambiente	4.37 m
<u>Quarto 1</u>	<b>Sim</b>
Distância do piso ao ponto mais alto da abertura para iluminação	2.16 m
Profundidade máxima permitida	5.18 m
Profundidade máxima do ambiente	3.77 m
<u>Quarto 2</u>	<b>Sim</b>
Distância do piso ao ponto mais alto da abertura para iluminação	2.16 m
Profundidade máxima permitida	5.18 m
Profundidade máxima do ambiente	3.66 m
<u>Escritório</u>	<b>Sim</b>
Distância do piso ao ponto mais alto da abertura para iluminação	2.19 m
Profundidade máxima permitida	5.26 m
Profundidade máxima do ambiente	4.16 m
<u>Suíte</u>	<b>Sim</b>
Distância do piso ao ponto mais alto da abertura para iluminação	2.19 m
Profundidade máxima permitida	5.26 m
Profundidade máxima do ambiente	4.38 m
<u>Cozinha</u>	<b>Sim</b>
Distância do piso ao ponto mais alto da abertura para iluminação	2.2 m
Profundidade máxima permitida	5.28 m
Profundidade máxima do ambiente	4.29 m
<u>Lavanderia</u>	<b>Sim</b>
Distância do piso ao ponto mais alto da abertura para iluminação	2.25 m
Profundidade máxima permitida	5.4 m
Profundidade máxima do ambiente	2.54 m
Pontuação parcial	0.2
<b>Refletância do teto acima de 0,60 ? (0,1 pontos)</b>	
<u>Ambientes de permanência prolongada, cozinha e lavanderia?</u>	<b>Sim</b>
Refletância do teto (tinta branca plástica)	0.85
Pontuação parcial	0.1
<b>Pontuação final para iluminação natural</b>	<b>0.3</b>

**Fonte: Adaptado de Inmetro (2012)**

### 3. Uso racional de água (até 0,2 pontos)

A utilização de sistemas e dispositivos especiais para economia no uso de água também é passível do recebimento de bonificações. De um total de 0,20 pontos possíveis, determina-se a quantidade pontos alcançados de acordo com a Equação 9.

$$b3 = 0,07 * \frac{BS_{AP}}{BS} + 0,04 * \frac{BS_E}{BS} + 0,04 * \frac{CH_E}{CH} + 0,02 * \frac{T_E}{T} + 0,03 * \frac{OUTROS_{AP}}{OUTROS} \quad (9)$$

Onde:

*BS<sub>AP</sub>*: número de bacias sanitárias atendidas por água pluvial;

*BS*: número de bacias sanitárias existentes na residência;

*BS<sub>E</sub>*: número de bacias sanitárias com sistema de descarga de duplo acionamento;

*CH<sub>E</sub>*: número de chuveiros com restritor de vazão;

*CH*: número de chuveiros na residência;

*T<sub>E</sub>*: número de torneiras com arejador, regulador ou restritor de vazão;

*T*: número de torneiras na residência;

*OUTROS<sub>AP</sub>*: número de outros pontos atendidos por água pluvial exceto as bacias sanitárias;

*OUTROS*: número possível de pontos para serem atendidos por água pluvial (exemplo: torneiras externas que servirão para a limpeza de calçadas e rega de jardim);

De todos os sistemas acima citados, o único encontrado na residência, como comentado na seção de coleta de dados, foram os arejadores de torneiras, presentes em 100% das torneiras encontradas na residência. Desta forma, nesta bonificação, foram recebidos somente 0,02 pontos.

A Tabela 24 mostra o resultado resumido da bonificação por uso racional de água.

**Tabela 24: Bonificações em uso racional de água**

<b>Uso racional de água (até 0,2 pontos)</b>	
<b>Percentual de equipamentos de uso racional de água (até 0,2 pontos)</b>	
<u>Bacias sanitárias atendidas com água pluvial (0,07 pontos)</u>	0.00%
Pontuação parcial	0
<u>Bacias sanitárias com dispositivo de duplo acionamento de descarga (0,04 pontos)</u>	0.00%
Pontuação parcial	0
<u>Chuveiros com restritor de vazão (0,04 pontos)</u>	0.00%
Pontuação parcial	0
<u>Torneiras com arejador de vazão (0,02 pontos)</u>	100.00%
Pontuação parcial	0.02
<u>Pontos atendidos com água pluvial (0,03 pontos)</u>	0.00%
Pontuação parcial	0
<b>Pontuação final para uso racional de água</b>	<b>0.02</b>

**Fonte: Adaptado de Inmetro (2012)**

#### 4. Iluminação artificial (até 0,1 pontos)

Os pontos de bonificação relativos a desempenho de iluminação artificial são oferecidos pela comprovação de uso de lâmpadas de eficiência mínima de 75 lm/W ou com selo Procel (ENCE) em pelo menos 50% dos pontos de iluminação da residência.

Como mostrado na Tabela 18 (página 83), a grande maioria das lâmpadas da residência são lâmpadas fluorescentes compactas de 25W da marca Taschibra. Tais lâmpadas, assim como as lâmpadas de 14W da mesma marca, possuem eficiência luminosa de somente 55 lm/W, mas, no entanto, possuem selo ENCE (PROCEL, 2011). Nenhuma das outras lâmpadas encontradas na residência possuía selo ENCE, nem eficiência luminosa superior a 75lm/W.

Assim sendo, verificou-se que os requisitos mínimos eram atendidos para 24 dos 31 pontos de iluminação ou para 77,42% deles. Segundo o exposto no referencial do Inmetro (2012, p. 105), a residência recebe, neste caso, 0,05 pontos de bonificação nesta categoria.

A Tabela 25 resume os pontos desta bonificação.

**Tabela 25: Bonificações em iluminação artificial**

<b>Iluminação artificial (até 0,1 pontos)</b>	
<b>Percentual de lâmpadas com eficiência superior à 75lm/W ou Selo Procel (até 0,1 pontos)</b>	
Total de lâmpadas na residência	31
Total de lâmpadas com eficiência superior à 75lm/W	0
Total de lâmpadas com Selo Procel	24
Percentual	77,42%
<b>Pontuação final</b>	<b>0,05</b>

**Fonte: Adaptado de Inmetro (2012)**

#### 5. Refrigeradores eficientes (até 0,1 pontos)

A última bonificação aplicável ao caso de estudo desenvolvido é a de presença de refrigeradores eficientes na residência, comprovados pelo Selo Procel.

Verificou-se, no entanto, que esta bonificação não foi atendida pois o refrigerador encontrado na residência – Air Flow System 47 da marca Brastemp – não possui Selo Procel (PROCEL, 2011).

- Resultado final

O resultado final da certificação Procel Edifica para uma residência na cidade de Curitiba, como já mencionado na seção 2.2.4.4, é dado pela Equação 2 (página 39). Logo, para os parâmetros definidos no caso de estudo, obtém-se:

$$PT = 0,65 \times EqNumEnv + 0,35 \times EqNumAA + Bonificações$$

$$PT = 0,65 \times 3,0 + 0,35 \times 3,0 + 0,3 + 0,02 + 0,05$$

$$PT = 3,37$$

O resultado numérico final encontrado foi de 3,37. Segundo o exposto na Tabela 4 (página 31), esta pontuação implica no recebimento do nível C de eficiência energética calculada para a residência do caso de estudo segundo a metodologia do Procel Edifica.

### 3.3.4 Aplicação da certificação AQUA

Os itens do referencial técnico do AQUA (FCAV, 2013) ligados à eficiência energética considerados no caso de estudo, são os mesmos definidos na seção 2.3.2<sup>21</sup> deste trabalho.

Com os mesmos dados obtidos anteriormente, e utilizados para a certificação do Procel Edifica, pôde-se definir o cumprimento ou não dos pré-requisitos estabelecidos no referencial específico do processo AQUA.

O método AQUA consiste em um sistema de pré-requisitos e, portanto, para facilitar a visualização dos itens analisados nesta seção é apresentado um quadro com todos os itens analisados, os pré-requisitos necessários para obtenção do item e o nível correspondente.

A Figura 28 mostra os itens analisados pelo processo AQUA neste trabalho, identificando as características supracitadas, além da demonstração dos resultados obtidos em cada item para a residência do caso de estudo. A demonstração detalhada dos itens avaliados pode ser verificada na sequência.

---

<sup>21</sup> Ver página 46.

Preocupação	AQUA - 1º ensaio				Resultado
	NA	Bom	Superior	Excelente	
4.1 Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetónica;					Bom
	4.1.1 Melhoria da aptidão da envoltória para limitar desperdícios de energia				
	4.1.2 Iluminação Natural				
	4.1.3 Melhoria da aptidão do edifício para reduzir a demanda instalada (Otimização arquitetónica)				
4.2 Uso de energias locais renováveis					NA
	4.2.1 Análise da viabilidade técnica de energias renováveis				
	4.2.2 Solar para aquec de água				
4.3 Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão					NA
	4.3.1 Etiqueta ENCE nos equip de cond de ar				
	4.3.2 ENCE B				
4.4 Redução do consumo de energia para os sistemas de iluminação					NA
	4.4.1 Equipamentos eficientes				
4.5 Redução do consumo de energia para os demais equipamentos					NA
	4.5.1 ENCE para demais equip => não aplicável à casas				
4.6 Controle da eficiência energética					NA
	4.6.1 Monitoramento de consumos				
	4.6.2 Lâmpadas com selo Procel				
4.7 Desempenho do sistema para produção de água quente					Bom
	4.7.1 Reservatório de água quente				
	4.7.2 Isolamento da tubulação condutora				
7.2 Equipamento para a permanência do desempenho na fase de uso					Excelente
	7.2.1 Automação ou controle de algum sistema			opcional	
8.2 Conforto higrotérmico					NA
8.2.1 Criação de condições de conforto higrotérmico					NA

Figura 28: Quadro do processo AQUA – caso de estudo 1

Fonte: Adaptado de FCAV (2013)

- Melhoria da aptidão da envoltória para limitar desperdícios de energia

O atendimento ao nível C nos equivalentes numéricos da envoltória conforme o RTQ-R do Procel Edifica, mostrados na seção 3.3.3 (página 86), qualificam esse subitem com o nível “Bom” na avaliação do processo AQUA.

- Iluminação Natural

Classificado como “Bom” em função da existência de ao menos uma abertura para iluminação natural em dormitórios e salas na residência do caso de estudo.

- Otimização arquitetônica para reduzir a demanda instalada

Para a obtenção de uma qualificação neste quesito exige-se a utilização de melhorias arquitetônicas que visem reduzir a demanda energética instalada, como, por exemplo, a utilização de toldos ou isolamento térmico nas coberturas. No entanto, na residência analisada neste caso de estudo, não verificou-se quaisquer um dos itens supracitados, portanto esta residência não obtém qualificação nesse subitem.

- Análise da viabilidade técnica de energias renováveis

Exige-se para cumprimento dos pré-requisitos deste subitem, um estudo de viabilidade técnica e econômica da aplicação de fontes alternativas de energia na residência. Contudo, de acordo com o proprietário, tal estudo jamais foi feito, portanto a residência não cumpre com as exigências deste subitem.

- Eficiência de equipamentos de ar condicionado

Não há equipamento de condicionamento artificial de ar na residência analisada no caso de estudo, nem mesmo estudo que comprove a ausência da necessidade deste sistema para uma qualidade térmica satisfatória. Já que esses pontos são requisitos para obtenção do nível mínimo de qualificação nesse subitem, a residência não obtém qualificação neste quesito.

- Equipamentos eficientes

Este subitem exige o cumprimento de níveis mínimos de eficiência em lâmpadas e reatores eletrônicos, todos descritos no referencial técnico AQUA (FCAV, 2013, p.63). Das lâmpadas encontradas na residência do caso de estudo, e mostradas na Tabela 18 (página 83), a maior parte possui selo Procel de eficiência. No entanto, as lâmpadas dicróicas e as tubulares encontradas, além de não possuírem selo Procel de eficiência, não cumprem a relação lumens/watt especificadas no referencial supracitado.

Diferente da certificação do Procel Edifica, para qualificação neste item, é necessário que 100% das lâmpadas atendam aos requisitos mínimos citados no referencial do AQUA (FCAV, 2013, p.63). Dessa forma, a residência analisada não atende os requisitos deste subitem.

- Eficiência dos demais equipamentos

Segundo o referencial técnico do processo AQUA (FCAV, 2013, p.65), demais equipamentos podem ser bombas centrífugas, elevadores e motores elétricos. No entanto, a residência analisada não possui qualquer um desses equipamentos, portanto não foi possível uma avaliação nesse quesito.

- Reservatório de água quente

A exigência do processo AQUA nesse subitem é a mesma presente na certificação do Procel Edifica para isolamento do aquecedor a gás. Como a residência teve os pré-requisitos atendidos para a certificação do Procel Edifica<sup>22</sup>, automaticamente a qualificação atribuída é o nível “Bom”.

- Isolamento da tubulação de água quente

Idem ao item anterior, inclusive pelo cumprimento desse requisito também no Procel Edifica. No entanto, diferentemente do nível atingido no anterior, este subitem recebe avaliação “Excelente”, devido as características amostradas na residência do caso de estudo.

---

<sup>22</sup> Ver página 93.

- Eficiência do sistema de aquecimento utilizado

Como o aparelho de aquecimento utilizado na residência possui a etiqueta Procel de eficiência energética nível A. Este item recebe automaticamente a avaliação “Excelente”.

- Automação ou controle de sistemas

Este subitem exige ao menos um tipo de automação que vise economia de energia elétrica ou controle de consumo de energia. Porém, como não foram encontrados quaisquer um desses sistemas na residência analisada, não foi obtida avaliação alguma nesse subitem.

- Criação de condições de conforto higrotérmico

O processo AQUA (FCAV, 2013), nesse subitem, possui as mesmas exigências de transmitância térmica e capacidade térmica de paredes e coberturas que a certificação do Procel Edifica, mostradas na seção 2.2.4.1 (página 32). Em adição, como mostrado na aplicação do caso de estudo, os pré-requisitos para este item não foram atendidos no Procel Edifica e, portanto, também não foram atendidos no processo AQUA.

- Resultado final

O resultado final resumido das categorias atendidas e o seu respectivo nível de atendimento, como analisadas nesta seção, é evidenciado na Tabela 26.

Como já exposto anteriormente, o processo AQUA não possui classificação em níveis numéricos de pontuação, e sim em atendimento ou não de todos os pré-requisitos estabelecidos em suas categorias de avaliação. Dessa forma, mesmo analisando somente os itens referentes à eficiência energética no processo AQUA, os resultados obtidos, ou seja, a não adequação à algumas das exigências, já implicaria no não recebimento da certificação AQUA para a residência, independente da avaliação dos outros itens não analisados neste trabalho.

**Tabela 26: Resultados AQUA do caso de estudo**

Item	Subitem	Classificação
<b>4.1 Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica</b>	4.1.1 Melhoria da aptidão da envoltória para limitar desperdícios de energia	<b>BOM</b>
	4.1.2 Iluminação Natural	<b>BOM</b>
	4.1.3 Otimização arquitetônica para reduzir a demanda instalada	<b>NA</b>
<b>4.2 Uso de energias locais renováveis</b>	4.2.1 Análise da viabilidade técnica de energias renováveis	<b>NA</b>
<b>4.3 Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão</b>	4.3.1 Eficiência de equipamentos de ar condicionado	<b>NA</b>
<b>4.4 Redução do consumo de energia para os sistemas de iluminação</b>	4.4.1 Equipamentos eficientes	<b>NA</b>
	4.4.2 e 4.4.3 => Não considerados em residências unifamiliares	-
<b>4.5 Redução do consumo de energia para os demais equipamentos</b>	4.5.1 Eficiência dos demais equipamentos	*
<b>4.6 Controle da eficiência energética</b>	4.6.1 Monitoramento de consumos	<b>NA</b>
<b>4.7 Desempenho do sistema para produção de água quente</b>	4.7.1 Reservatório de água quente	<b>BOM</b>
	4.7.2 Isolamento da tubulação condutora	<b>EXCELENTE</b>
	4.7.3 Eficiência do sistema utilizado	<b>EXCELENTE</b>
<b>7.2 Equipamento para a permanência do desempenho na fase de uso</b>	7.2.1 Automação ou controle de sistemas	<b>NA</b>
<b>8.2 Conforto higrotérmico</b>	8.2.1 Criação de condições de conforto higrotérmico	<b>NA</b>

NA – Qualificação não atingida

\*A residência analisada não possui os equipamentos descritos nesse item

**Fonte: Adaptado de FCAV (2013)**

Em adição, como um dos objetivos do trabalho é a comparação de resultados e desempenho das certificações nas categorias ligadas à eficiência energética, foi atribuído um desempenho percentual aos resultados obtidos no processo AQUA, da mesma forma como foi apresentado na seção 3.2.3 deste trabalho<sup>23</sup> (que relaciona a importância de cada item dentro de sua própria categoria).

Finalmente, segundo esta metodologia, o desempenho da residência do caso de estudo nos itens relacionados à eficiência energética equivale a um total de atendimento de **11,9%** dos itens passíveis de qualificação no processo AQUA.

<sup>23</sup> Ver página 72.

### 3.3.5 Aplicação da certificação LEED

Como já mencionado anteriormente a parcela da certificação LEED relativa ao desempenho energético da residência é a categoria “energia e atmosfera”.

Dentre os 38 pontos disponíveis para esta categoria, 34 pontos são relativos à análise de desempenho energético otimizado da envoltória do edifício e dos equipamentos utilizados na residência. Três pontos são relativos ao sistema e tubulação de distribuição de água quente (excetuando o aquecedor) e um ponto é relativo ao sistema de ar condicionado.

- Desempenho energético otimizado

Como proposto anteriormente, neste trabalho foi realizada a simulação da residência através do *software* de simulação Energy Gauge.

Para tal, foi necessário adaptar e inserir todos os dados da residência semelhante ao apresentado na Tabela 19 (página 90), com os dados construtivos e também os dados dos equipamentos utilizados. Além disso, este *software* utiliza também os dados climáticos da região onde está a residência analisada.

Assim, como já mencionado, foram coletados os dados climáticos disponíveis para a cidade de Curitiba no site do Departamento de Energia dos EUA<sup>24</sup>, como sugerido pelo próprio referencial do Inmetro (2012, p.65).

Em adição, todas as medidas construtivas da residência tiveram de ser adaptadas para o sistema métrico estadunidense, utilizando medidas como pés e polegadas.

Primeiramente, como mostrado na Figura 29, foram inseridos os dados climáticos da cidade de Curitiba no *software*. Como este não possuía a cidade de Curitiba, nem permitia a criação de uma nova cidade, foi escolhida uma cidade aleatória do estado da Flórida e os parâmetros climáticos foram alterados de acordo com os expostos para a cidade de Curitiba. Dentre eles,

---

<sup>24</sup> Disponível em: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data3.cfm/region=3\\_south\\_america\\_wmo\\_region\\_3/country=BRA/cname=Brazil](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3/country=BRA/cname=Brazil).

cita-se a média anual de temperatura de 62,93°F, a altitude da cidade de 2979 pés, e os parâmetros específicos de inverno e de verão.

The screenshot shows the 'User Entry Mode' window for Project ID: 5. The 'Design State' is set to Florida and the 'Design Location' is Apalachicola. The 'TMY Site' is FL\_TYNDALL\_AFB. The 'Location Parameters' include Latitude (-25.52), Longitude (310.83), and Altitude (2979 ft). The 'Winter Design Parameters' include 97.5% Design Temp. (44.96), 99% Design Temp. (40.82), MJ8 99% Design T. (48), Int. Design Temp. (65), Heating Degree Days (1152), and Weather Factor (0.75). The 'Summer Design Parameters' include 2.5% Design Temp. (65.48), 1% Design Temp. (71.24), MJ8 1% Design T. (73), Int. Design Temp. (70), Summer Design Moist. (18), and Daily Temp. Range (Medium). The 'Climate Zone' is 2 and the 'Moisture Regime' is moist. A 'Check for Better TMY Site' button is present. The bottom navigation bar shows 'Project', 'Climate', 'Utility Rates', and 'Surroundings' tabs.

**Figura 29: Dados climáticos de Curitiba no software Energy Gauge**  
**Fonte: Adaptado de Energy Gauge (2012)**

Em sequência, foram inseridos todos os ambientes, idêntico ao mostrado na planta baixa do Apêndice A. Os dados inseridos para cada ambiente, como mostrado na Figura 30, foram basicamente a área útil de cada ambiente e o seu pé direito respectivo.

Seguindo as indicações do próprio software, foram também inseridas cargas sensíveis e latentes aproximadas para cada ambiente, determinadas pela presença de equipamentos eletrônicos ou eletrodomésticos como geladeiras e fogões.

The screenshot shows the 'User Entry Mode' window for Project ID: 8. The 'Current Space' is 'Cocinha' (Kitchen) with BlockID 1. The 'Space Size' is 132 sqft and the 'Volume' is 0 cuft. The 'Other specifications for this space' include 0 occupants, 0 bedrooms, and 0 bathrooms. The 'Space Appliance Loads for System Sizing' are Sens (Btu/h) 1200 and Latent (Btu/h) 1200. The 'Whole house data' shows an area of 93 sqft. The 'Overview of Spaces' table is as follows:

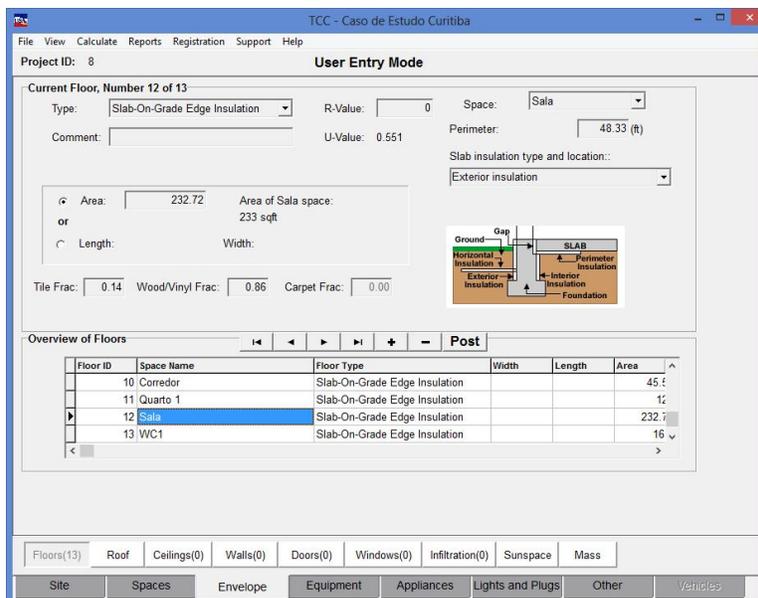
Space ID	Space Name	Space Area	Ave Wall Height	Space Volume	Conditioned	Occupants	# BEDROOMS	COMMENTS
1	Hall	48	8.5		No	0	0	
2	Lavanderia	45	8.5		No	0	0	
3	Churrasqueira	167	8.5		No	0	0	
4	Cocinha	132	8.5		No	0	0	

The bottom navigation bar shows 'Spaces(4)', 'Garage', 'Site', 'Spaces', 'Envelope', 'Equipment', 'Appliances', 'Lights and Plugs', 'Other', and 'Variables' tabs.

**Figura 30: Dados dos ambientes no software Energy Gauge**  
**Fonte: Adaptado de Energy Gauge (2012)**

Para os parâmetros construtivos do solo da residência, definiu-se o tipo de piso, idêntico ao utilizado na aplicação do Procel Edifica, com toda a residência em contato com o solo somente através de lajes de terrapleno (sem colunas, vãos livres ou pilotis).

Foram inseridos no *software*, os dados de área útil e perímetro de cada ambiente, além da definição do percentual de piso de cada ambiente segundo três tipologias: piso de madeira, azulejo ou carpete. A Figura 31 mostra o exemplo dos dados inseridos para o ambiente da sala, com 86% de piso de madeira e 14% de piso em azulejo.



**Figura 31: Dados dos pisos no software Energy Gauge**

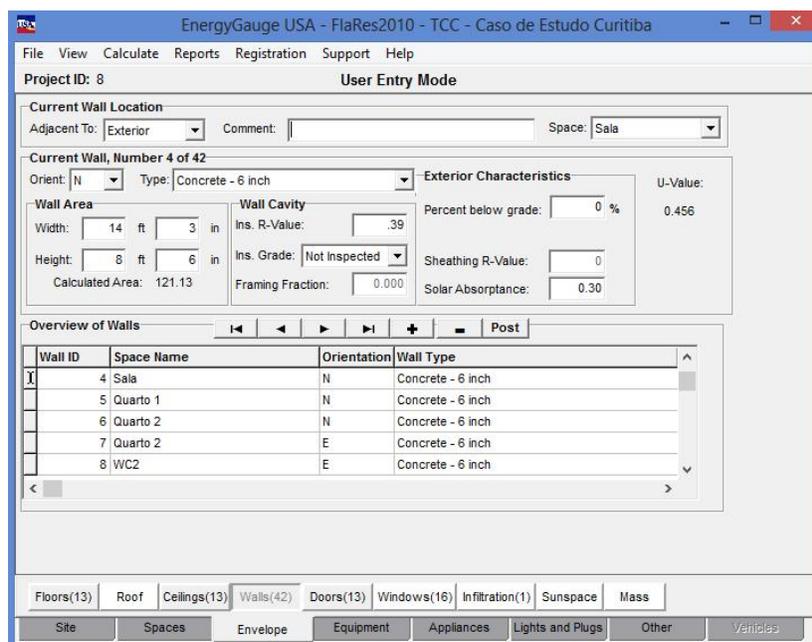
**Fonte: Adaptado de Energy Gauge (2012)**

Em sequência, foram inseridas todas as paredes da residência, identificando-as como paredes externas ou internas (face entre dois ambientes), além de inserir sua orientação.

Uma adaptação foi necessária para que os mesmos índices de transmitância térmica utilizados na certificação do Procel Edifica fossem inseridos no *software*. O Energy Gauge possui somente algumas tipologias de paredes pré-definidas, com faixas aceitáveis de transmitância térmica que variam dependendo da resistência térmica do isolamento inserido pelo usuário do programa.

A tipologia de parede utilizada na certificação do Procel Edifica e mostrada na Figura 18, não existia como opção no *software*. Portanto, foi escolhida uma tipologia de parede que permitisse a mesma transmitância térmica de 2,59 W/m<sup>2</sup>K utilizada anteriormente.

Como mostrado na Figura 32, foi escolhida uma parede de concreto de seis polegadas, que permitiu o estabelecimento de uma transmitância térmica de 0,456 Btu/(h.pé<sup>2</sup>.°F) (o equivalente a 2,59 W/m<sup>2</sup>K). Estes valores foram então utilizados para todos os 42 trechos de paredes inseridos no *software*.



**Figura 32: Paredes no *software* Energy Gauge**

**Fonte: Adaptado de Energy Gauge (2012)**

Além destes, foram também inseridos todos os dados relativos às aberturas, portas e cobertura da residência, utilizando os mesmos valores adotados para a aplicação do Procel Edifica.

Por fim, como mostrado nas Figuras 33 e 34, foram também inseridos os dados dos equipamentos encontrados na residência. Foram inseridos os dados de iluminação artificial utilizados em cada ambiente por quantidade e tipo de lâmpada (fluorescentes compacta, tubular, comum e outros). Além disso, o aquecedor de água encontrado na residência também foi colocado com um volume de armazenamento de 34,34 galões (equivalente a 130 litros) e eficiência total de 0,79, como já mostrado na Figura 27.

Current Fixture, Number 4 of 14:  
Location: Cozinha

Type: Incandescents, LEDs, Metal Halides, High Pressure Sodium

Type: Compact Fluorescents (Quantity: 3), Fluorescents T 12s, Fluorescents T 8s, Fluorescents T 5s, Other Fluorescents (Quantity: 2)

Input Method:  
 Default  
 By Count - Qualifying  
 By Count - Specific Bulb

GBOverview

IDHardWiredLighting	Acronym	IDInputChoice	IDLocation	LocationAcronym
4			4	Cozinha
5			5	Escritorio
6			6	Suite
7			7	WC3

Hard-Wired Lighting | Fans

Site | Spaces | Envelope | Equipment | Appliances | Lights and Plugs | Other | Vehicles

**Figura 33: Iluminação artificial no software Energy Gauge**

Fonte: Adaptado de Energy Gauge (2012)

Current Hot Water System, Number 1 of 1  
 Type: Propane, SubType: None, Location: Exterior

Capacity: 34.34, EF: 0.79

Conservation Credits: Type: None

Heat Trap/Insulation:  Tank Wrap Insul: 0

Comment:

Overview of Hot Water Systems

WATER_SYS_ID	PRIMARY_TYPE	PRIMARY_CAP	PRIMARY_EFF	LOCATION
1	Propane	34.34	0.79	Exterior

Blocks(1) | Cooling(0) | Heating(0) | Ducts(0) | MVent(0) | DH(0) | Hot Water(1) | Temperatures(4) | Apps/Lights(10) | Photovoltaics(0)

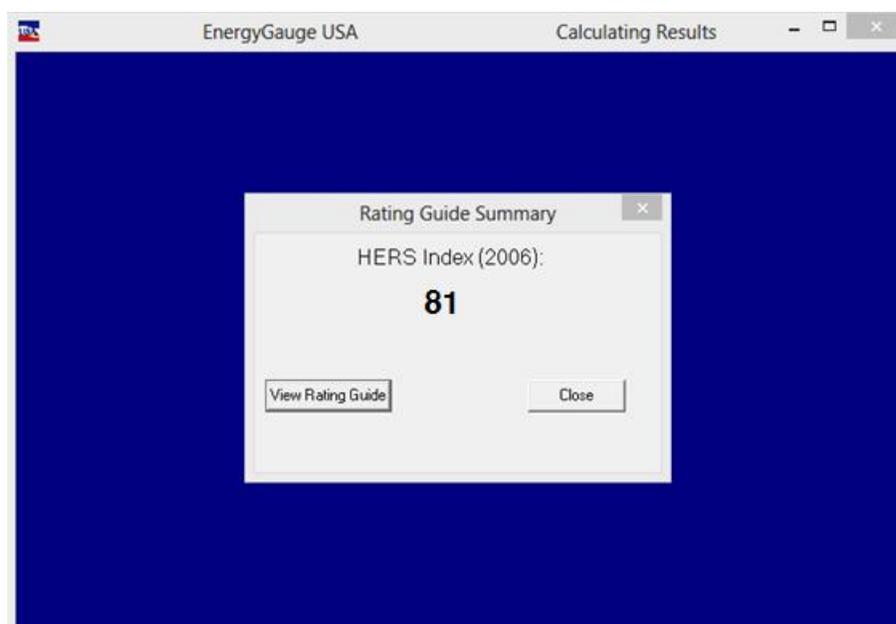
Site | Spaces | Envelope | Equipment | Appliances | Lights and Plugs | Other | Vehicles

**Figura 34: Aquecedor de água no software Energy Gauge**

Fonte: Adaptado de Energy Gauge (2012)

Com esses dados o *software* cria então uma residência de referência para a comparação e determinação do índice HERS. Esta possui a mesma geometria da residência inserida pelo usuário, porém com isolamento térmico e eficiência de equipamentos pré-definidos e não alteráveis. As janelas são fixadas para 18% de abertura relacionada à área útil do ambiente (FLORIDA ENERGY CENTER, 2012, p.126).

Por fim, o Energy Gauge realiza a simulação da residência em termos de desempenho energético da envoltória e dos equipamentos determinados pelo usuário e indica o resultado final do índice HERS. O resultado final encontrado para o caso de estudo, como mostrado na Figura 35, é um índice HERS de 81.



**Figura 35: Resultado final do *software* Energy Gauge**

**Fonte: Adaptado de Energy Gauge (2012)**

Utilizando a relação apresentada na Tabela 10<sup>25</sup>, define-se que dos 34 pontos disponíveis para esta categoria, a residência do caso de estudo recebeu somente 5,0 pontos.

**Pontuação parcial na categoria = 5,0 pontos**

---

<sup>25</sup> Ver página 63.

- Tubulação do sistema de água quente

O segundo item analisado pelo LEED são as tubulações utilizadas pelo sistema de água quente na residência.

Para o sistema de aquecimento a gás de acumulação, encontrado na residência do caso de estudo, segundo o USGBC (2013, p.68), a residência recebe 2,0 pontos nessa categoria se apresentar tubulações com nível de isolamento superior ao nível R4 da ASHRAE 90.1 e se não possuir ramos de alimentação com distância superior a três pés entre o aquecedor e o ponto de água quente.

Segundo o catálogo técnico da Elumaflex (2005, p.33), e também em acordo com o valor utilizado na certificação do Procel Edifica, o isolamento encontrado na residência possui condutividade térmica de 0,035 W/mK.

A determinação do nível de transmitância térmica segundo os padrões da ASHRAE 90.1, foram feitos com uso da Equação 11, retirada do boletim técnico da Armacell (2010, p.1), que relaciona a resistência térmica linear do isolamento com o índice final de transmitância térmica considerando a geometria cilíndrica da tubulação.

$$R = \frac{r_2 \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k} \quad (11)$$

Onde:  $r_2$  é o raio total da tubulação incluindo o isolamento em polegadas;  $r_1$  é o raio da tubulação metálica sem o isolamento, também em polegadas e;  $k$  é a condutividade térmica da tubulação com o isolamento em Btu.polegada/(pé<sup>2</sup>.°F).

O resultado calculado foi um R igual a 2,2030, ou seja um nível de isolamento, considerado R2 no âmbito da ASHRAE 90.1 e portanto nenhum ponto foi alcançado nesta categoria.

**Pontuação parcial na categoria = 0 pontos**

- Gerenciamento da refrigeração

O último item analisado na categoria “energia e atmosfera” da certificação LEED é o gerenciamento do sistema de condicionamento artificial de ar.

No entanto, como já citado na seção 2.4.3.4 deste trabalho (página 65), pelo simples fato da residência não possuir tal tipo de sistema, ela automaticamente recebe um ponto nesta categoria.

#### **Pontuação parcial na categoria = 1 ponto**

- Resultado final

O resultado final encontrado para a certificação LEED, segundo a metodologia aplicada neste trabalho, é a soma direta das pontuações parciais encontradas.

De um total de 38 pontos disponíveis na categoria analisada, a residência recebeu o total de 6,0 pontos, como mostrado abaixo, ou um percentual total de **15,8%** dos pontos disponíveis relacionados à eficiência energética.

$$\text{Pontuação final} = 5,0 + 0 + 1,0$$

**Pontuação final do LEED = 6 pontos ou 15,8 % do total disponível**

### **3.4 Caso de estudo hipotético**

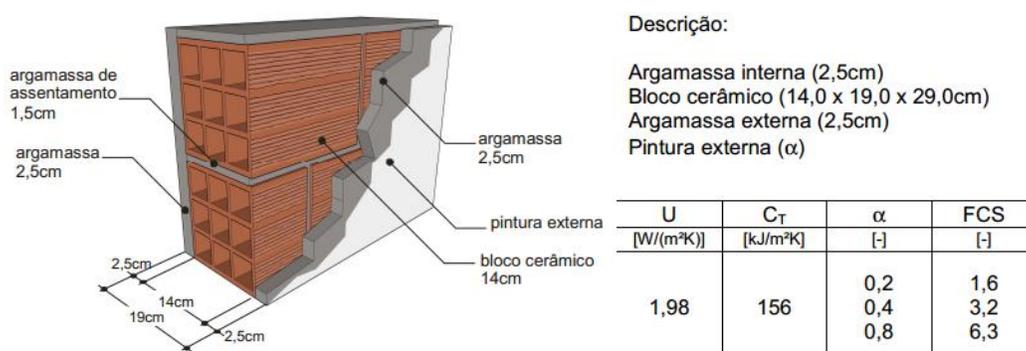
Neste subcapítulo foram realizadas alterações em algumas características da residência do caso de estudo com o intuito de simular um novo caso de estudo hipotético. Como mencionado no estabelecimento de critérios para a comparação da certificação do Procel Edifica na seção 3.1 deste trabalho (página 68), foram realizadas alterações que melhorassem a pontuação final obtida no Procel Edifica, fazendo-o mudar de um nível de eficiência C para um nível final de eficiência B.

O item de maior importância no método do Procel Edifica, como evidenciado na Tabela 14<sup>26</sup>, é o relacionado ao consumo para aquecimento, foi este o item o visado para a realização das alterações.

Além disto, as mudanças hipotéticas realizadas nesta seção foram feitas de forma a quebrar todos os pré-requisitos não atendidos anteriormente pela aplicação do Procel Edifica para este indicador de consumo para aquecimento.

Tratam-se de dois pré-requisitos relacionados a este quesito. O primeiro dita que todas as paredes externas deveriam possuir no máximo  $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  de transmitância térmica, e o segundo de que todos os ambientes de permanência prolongada deveriam ter no mínimo um percentual de abertura para iluminação natural de 12,5%.

A transmitância térmica das paredes está diretamente relacionada a espessura das paredes externas. Portanto, para atingir um valor inferior a  $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  todas as paredes da residência foram alteradas de uma espessura de 14 cm para uma espessura de 19 cm, obtendo-se assim a transmitância térmica de  $1,98 \text{ W/m}^2\text{K}$ , como mostrado na Figura 36.



**Figura 36: Descrição da parede no caso de estudo hipotético**

Fonte: LabEEE (2010, p.7)

Já para a adequação do percentual mínimo de abertura para iluminação, todas as janelas dos ambientes de permanência prolongada foram alteradas para que atingissem no mínimo 12,5% da área útil de cada ambiente. Para tal foram escolhidas janelas do tipo cortina de vidro, como expostas na Figura 37, que possuem alto fator de iluminação natural.

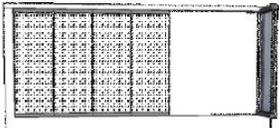
<sup>26</sup> Ver página 73.



**Figura 37: Janela tipo cortina de vidro**

Fonte: OLX (2011)

As novas janelas possuem percentual de abertura para iluminação natural e ventilação natural igual a 95%, como evidenciado na Figura 38, facilitando a obtenção do pré-requisito mínimo estabelecido pelo referencial do Procel Edifica.

Nº	Tipo de janela	Ilustração	% abertura para iluminação natural	% abertura para ventilação natural
11	Cortina de vidro		95	95

**Figura 38: Tabela de descontos da esquadria**

Fonte: Adaptado de Inmetro (2012, p. 135)

As novas medidas de janelas, assim como a nova planta baixa da residência com as alterações estruturais hipotéticas realizadas estão presentes no apêndice B deste trabalho.

Para evitar repetições desnecessárias, a seguir serão apresentadas somente as alterações de resultados em virtude das mudanças realizadas.

### 3.4.1 Aplicação da certificação Procel Edifica

Como supracitado, as mudanças hipotéticas realizadas nesta seção foram feitas de forma a quebrar todos os pré-requisitos não atendidos anteriormente e relacionados ao índice de consumo para aquecimento.

Com as alterações hipotéticas propostas acima, foi possível atender ambos os pré-requisitos.

A Tabela 27 resume os novos dados para a residência após as alterações, com as mudanças destacadas em vermelho.

Em sequência, seguindo a mesma metodologia de cálculo já apresentada para a certificação do Procel Edifica, os novos resultados encontrados para cada ambiente analisado, tanto para índice de graus-hora para resfriamento como para consumo de aquecimento são mostrados na Tabela 28.

Nota-se que a mudança afetou o resultado final, somente na sala, elevando o índice de consumo para aquecimento deste ambiente de nível C para nível B, como evidenciado em vermelho na Tabela 28.

Tabela 27: Variáveis da envoltória da residência modificada

Variáveis	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Escritório	Suíte
$AU_{amb}$	21.6225	11.8255	9.3532	9.6074	16.8725
$Ab_L$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$Ab_N$	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000
$Ab_O$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$Ab_S$	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000
$AAb_L$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$AAb_N$	2.8500	1.7100	1.7100	0.0000	0.0000
$AAb_O$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$AAb_S$	0.0000	0.0000	0.0000	1.4250	2.8500
$AP_{ambL}$	0.0000	0.0000	6.3180	0.0000	0.0000
$AP_{ambN}$	11.9700	7.4680	6.5060	0.0000	0.0000
$AP_{ambO}$	7.7740	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$AP_{ambS}$	0.0000	0.0000	0.0000	4.8670	8.2000
$A_{parInt}$	28.8340	26.5980	16.9260	26.9360	31.6940
$\alpha_{cob}$	0.7500	0.7500	0.7500	0.7500	0.7500
$\alpha_{par}$	0.3000	0.4000	0.4000	0.4000	0.4000
$C_{altura}$	0.1202	0.2199	0.2780	0.2706	0.1541
$cob$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
$CT_{alta}$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$CT_{baixa}$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$CT_{cob}$	238.4000	238.4000	238.4000	238.4000	238.4000
$CT_{par}$	156.0000	156.0000	156.0000	156.0000	156.0000
$F_{vent}$	0.9500	0.9500	0.9500	0.9500	0.9500
$isol$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$P_{ambL}$	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
$P_{ambN}$	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000
$P_{ambO}$	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$P_{ambS}$	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000
$PD$	2.6000	2.6000	2.6000	2.6000	2.6000
$pil$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$solo$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
$SomA_{parext}$	19.7440	7.4680	12.8240	4.8670	8.2000
$somb$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
$U_{cob}$	2.0500	2.0500	2.0500	2.0500	2.0500
$U_{par}$	1.9800	1.9800	1.9800	1.9800	1.9800
$U_{vid}$	8.3580	8.3580	8.3580	8.3580	8.3580
$vid$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$Volume$	56.2185	30.7463	24.3183	24.9792	43.8685
Área total de aberturas ( $m^2$ )	3	1.8	1.8	1.5	3
Área total para ventilação ( $m^2$ )	2.85	1.71	1.71	1.425	2.85
Área total para iluminação ( $m^2$ )	2.85	1.71	1.71	1.425	2.85
Área percentual para ventilação	13.18%	14.46%	18.28%	14.83%	19.00%
Área percentual para iluminação	13.18%	14.46%	18.28%	14.83%	19.00%

Fonte: Autoria própria

**Tabela 28: Resultado numérico do  $GHR$  e do  $C_A$  para os ambientes modificados**

	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Escritório	Suíte
$GHR$	148.94	133.51	135.93	115.52	124.30
Resultado calculado	4	5	5	5	5
Resultado com pré-requisitos	3	3	3	3	3
Área útil do ambiente	21.6225	11.8255	9.3532	9.6074	16.8725
$C_A$	33.10081311	39.90562759	49.18372739	49.75071299	38.49908142
Resultado calculado	4	3	3	3	3
Resultado com pré-requisitos	4	3	3	3	3
Área útil do ambiente	21.6225	11.8255	9.3532	9.6074	16.8725

**Fonte: Autoria própria**

Em sequência foi determinado o equivalente de consumo para a residência inteira a partir da média ponderada dos coeficientes  $C_A$  pela área de seus respectivos ambientes.

Como a sala é o ambiente com maior área útil da residência, o equivalente de consumo para aquecimento da residência total ( $EqNumEnv_A$ ) foi alterado de 3,00 para 3,312.

Já o índice de resfriamento continuou limitado pelo pré-requisito de abertura máxima de 8% para ventilação natural, continuando, portanto com a pontuação 3,00.

O resultado final do desempenho da envoltória é mostrado abaixo, novamente com a utilização da Equação 1 (ver página 35).

$$EqNumEnv = 0,08 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,92 \times EqNumEnv_A$$

$$EqNumEnv = 0,08 \times 3,00 + 0,92 \times 3,312$$

$$EqNumEnv = 3,2871$$

O resultado final para a certificação Procel Edifica, sabendo que as alterações realizadas nesta seção não impactaram no sistema de aquecimento de água, nem em nenhuma das bonificações já apresentadas, é:

$$PT = 0,65 \times EqNumEnv + 0,35 \times EqNumAA + Bonificações$$

$$PT = 0,65 \times 3,2871 + 0,35 \times 3,0 + 0,3 + 0,02 + 0,05$$

$$PT = 3,5566$$

Utilizando, novamente a Tabela 4<sup>27</sup>, determinou-se que, como proposto nesta seção, as mudanças hipotéticas alteraram satisfatoriamente o resultado final da certificação Procel Edifica, de **nível C para nível B**.

### 3.4.2 Aplicação da certificação AQUA

Os pré-requisitos do processo AQUA relacionados a eficiência energética foram reanalisados com as novas características hipotéticas da residência.

As alterações realizadas na residência influenciaram no resultado de dois subitens: iluminação natural e conforto higrotérmico.

- Iluminação natural

Com as novas definições de aberturas nos ambientes de permanência prolongada, as aberturas desses ambientes ultrapassam o mínimo de 12,5% de suas áreas. Com essa característica, segundo o referencial técnico AQUA (FCAV, 2013, p.61), a residência atinge ao nível “Superior” nesse quesito, diferentemente da situação anterior, onde possuía a classificação “Bom”.

- Conforto higrotérmico

Para obtenção da qualificação mínima neste quesito é necessária a adequação dos valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C<sub>T</sub>) conforme estipulado pelo referencial técnico AQUA (FCAV, 2013, p.84).

Esses valores são os mesmos tidos como pré-requisitos no programa Procel Edifica. Como visto na seção anterior, esses pré-requisitos foram atendidos para a certificação do Procel, e, por serem iguais, esses valores propiciam a qualificação em nível “Bom” deste quesito no processo AQUA.

---

<sup>27</sup> Ver página 31.

Preocupação	AQUA - 2º ensaio			ITEM
	NA	Bom	Superior/Excelente	
4.1 Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica;				Bom
	4.1.1 Melhorar a aptidão da envoltória para limitar desperdícios de energia	Nível C envoltória PROCEL Nível B envoltória PROCEL Nível A envoltória PROCEL		
	4.1.2 Iluminação Natural	Iluminação natural dorm e salas com no mín 1 abertura Abertura mín. 12,5%		
4.2 Uso de energias locais renováveis				NA
	4.1.3 Melhorar a aptidão do edifício para reduzir a demanda instalada [Otimização arquitetônica]			
	4.2.1 Análise da viabilidade técnica de energias renováveis	Solar para aquec de água Outros sistemas		
4.3 Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão				NA
	4.3.1 Etiqueta ENCE nos equip de cond de ar	Orientações advindas dos gestores ENCE B ENCE A		
	4.4.1 Equipamentos eficientes	Lâmpadas com selo Procel		
4.4 Redução do consumo de energia para os sistemas de iluminação				NA
	4.4.2 e 4.4.3 => não aplicável à casas			
4.5 Redução do consumo de energia para os demais equipamentos				
	4.5.1 ENCE para demais equip => não aplicável à casas			
4.6 Controle da eficiência energética				NA
	4.6.1 Monitoramento de consumos			
4.7 Desempenho do sistema para produção de água quente				Bom
	4.7.1 Reservatório de água quente	Resistência térmica do reservatório de 2,20 (m2K)/W		
	4.7.2 Isolamento da tubulação condutora	Espessura mínima de isolamento térmico de 1 cm		
7.2 Equipamento para a permanência do desempenho na fase de uso				Excelente
	4.7.3 Eficiência do sistema utilizado	Atendimento ao ENCE A		
8.2 Conforto higrotermico				NA
	7.2.1 Automação ou controle de algum sistema		opcional	
8.2.1 Criação de condições de conforto higrotermico				Bom
	U(parede) < 2,5 W/m²K e CT(cobertura) > 130 kJ/m²K			

Figura 39 - Quadro do processo AQUA – caso de estudo 2

Fonte: Adaptado de FCAV (2013)

- Resultados

O resultado final resumido das categorias atendidas e o seu respectivo nível de atendimento, após as alterações hipotéticas propostas nesta seção, é evidenciado na Tabela 29.

**Tabela 29: Resultados AQUA com a residência modificada**

Item	Subitem	Classificação
4.1 Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica	4.1.1 Melhoria da aptidão da envoltória para limitar desperdícios de energia	BOM
	4.1.2 Iluminação Natural	SUPERIOR
	4.1.3 Otimização arquitetônica para reduzir a demanda instalada	NA
4.2 Uso de energias locais renováveis	4.2.1 Análise da viabilidade técnica de energias renováveis	NA
4.3 Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão	4.3.1 Eficiência de equipamentos de ar condicionado	NA
4.4 Redução do consumo de energia para os sistemas de iluminação	4.4.1 Equipamentos eficientes	NA
	4.4.2 e 4.4.3 => Não considerados em residências unifamiliares	-
4.5 Redução do consumo de energia para os demais equipamentos	4.5.1 Eficiência dos demais equipamentos	-
4.6 Controle da eficiência energética	4.6.1 Monitoramento de consumos	NA
4.7 Desempenho do sistema para produção de água quente	4.7.1 Reservatório de água quente	BOM
	4.7.2 Isolamento da tubulação condutora	EXCELENTE
	4.7.3 Eficiência do sistema utilizado	EXCELENTE
7.2 Equipamento para a permanência do desempenho na fase de uso	7.2.1 Automação ou controle de algum sistema	NA
8.2 Conforto higrotérmico	8.2.1 Criação de condições de conforto higrotérmico	BOM

NA – Qualificação não atingida

\*A residência analisada não possui os equipamentos descritos nesse item

Fonte: Adaptado de FCAV (2013)

Apesar da mudança de qualificação ter ocorrido em apenas dois subitens, o item conforto higrotérmico possui o maior peso percentual se comparado aos demais, já que representa 2/3 dos itens presentes em uma das 14 categorias que compõem o processo AQUA.

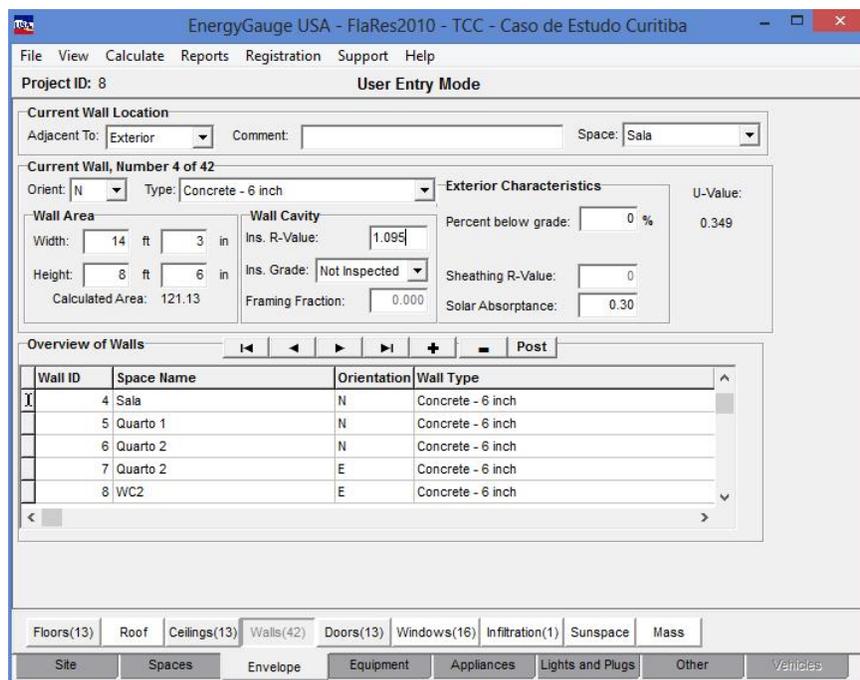
Finalmente, considerando tais informações, o novo desempenho atingido pelo caso de estudo, segundo as considerações realizadas nesta seção, totaliza **54,76%** do total de itens relacionados à eficiência energética disponíveis. Ou seja, 42,86 pontos percentuais a mais que no caso de estudo original.

### 3.4.3 Aplicação da certificação LEED

As alterações hipotéticas foram também inseridas no *software* Energy Gauge.

As únicas mudanças foram relacionadas à transmitância térmica de todas as paredes, que foi atualizada para 0,349 [Btu/h.pé<sup>2</sup>.°F] (o equivalente a 1,98 W/m<sup>2</sup>K), como mostrado na Figura 40, e também às janelas que foram atualizadas para as novas aberturas propostas acima e mostradas no Apêndice B.

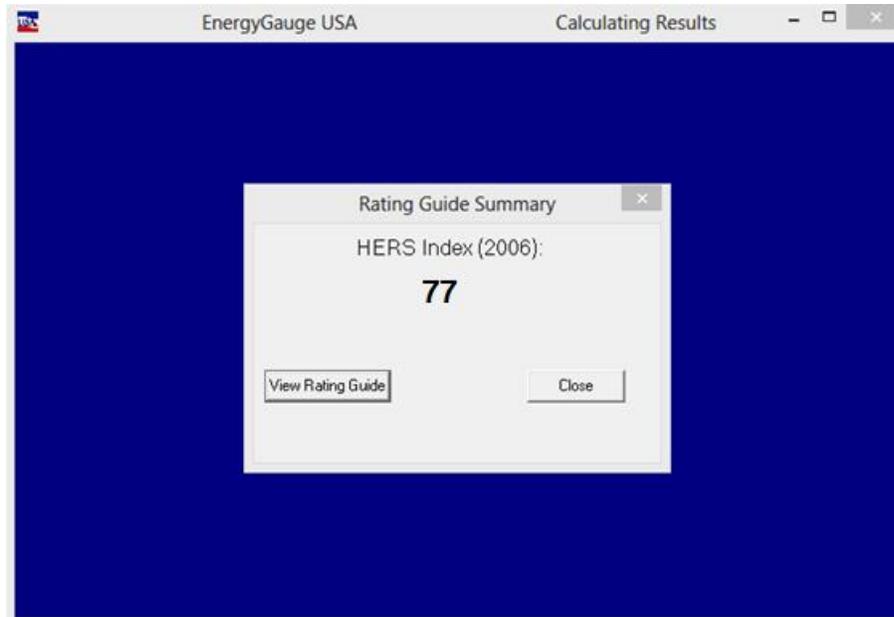
O resultado final encontrado, como mostrado na Figura 41, foi um HERS de 77, ou seja, o equivalente a 8,5 pontos no item “desempenho energético otimizado”<sup>28</sup>.



**Figura 40: Novas paredes no *software* Energy Gauge**

**Fonte: Adaptado de Energy Gauge (2012)**

<sup>28</sup> Ver equivalência na Tabela 10, página 63.



**Figura 41: Resultado no software Energy Gauge após alterações**  
**Fonte: Adaptado de Energy Gauge (2012)**

Não houve alteração nos outros itens analisados pela certificação LEED neste trabalho, e, portanto, o resultado final encontrado após a mudança hipotética foi de 9,5 pontos do total de 38 pontos disponíveis, ou 25% do total disponível relacionado à eficiência energética.

Pontuação = 8,5 + 0 + 1

**Pontuação final = 9,5 pontos ou 25 % do total disponível**

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base na comparação e estudo dos referenciais técnicos e nos resultados obtidos a partir da aplicação dos critérios das três certificações no caso de estudo é possível identificar as principais características das certificações Procel Edifica, AQUA e LEED.

Nota-se, como mostrado nas Tabelas 12, 13 e 14<sup>29</sup>, que as três certificações possuem divergências claras em sua abrangência, em seus métodos de aplicação e também em sua avaliação de eficiência energética residencial.

Primeiramente, tratando-se da comparação teórica das metodologias de cada certificação, ressalta-se que a abrangência do Procel Edifica se mostra inferior se comparada ao AQUA e ao LEED<sup>30</sup>. Tal fato deve-se aos diferentes focos de cada certificação: enquanto o AQUA e o LEED procuram promover o caráter sustentável de um empreendimento, o Procel Edifica visa classificar o seu desempenho energético.

O LEED e o AQUA certificam somente empreendimentos que atinjam a níveis mínimos de eficiência e sustentabilidade especificados em seus manuais técnicos, enquanto que o Procel Edifica concede o selo de certificação independente do desempenho energético do edifício, avaliando-o.

Comparando a abrangência de avaliação dentro do âmbito da eficiência energética, os itens mais relevantes para as três certificações, mesmo que em diferentes intensidades (65% para o Procel Edifica, 49% para o AQUA e 34,5% para o LEED), convergem para assuntos relacionados à envoltória dos ambientes, evidenciando assim, a grande importância desse item na eficiência energética do edifício.

Analisando a Tabela 14, nota-se que mesmo tratando-se somente dos itens relacionados a eficiência energética da residência, o Procel Edifica se mostra menos abrangente que o AQUA e o LEED.

Além disso, ressalta-se também que o Procel Edifica foca sua avaliação em aquecimento de água e envoltória. Equipamentos e iluminação são também

---

<sup>29</sup> Presentes nas páginas 70, 71 e 73 respectivamente.

<sup>30</sup> Ver Tabela 13, página 71.

analisados, porém somente em caráter de bonificação, ou seja, não são obrigatórios para obtenção da avaliação máxima da certificação.

Essa informação explicita o verdadeiro intuito do programa Procel Edifica: avaliar qual o nível de contribuição das características físicas do edifício para a eficiência energética do mesmo. O caráter de bonificação dado aos equipamentos pode estar ligado ao fato destes serem facilmente alteráveis em uma residência, enquanto mudanças estruturais são realizadas com menor frequência e maior dificuldade.

De acordo com Manosso (2010), o maior “vilão” do consumo de energia elétrica em residências é o ar-condicionado, seguido pelo chuveiro e torneira elétrica. Talvez por esse motivo a maior parte (65% do total) da avaliação do Procel Edifica se dê na envoltória, a fim de amortizar a necessidade do uso de condicionamento de ar. Em seguida, para o restante dos 65% direcionados à envoltória, têm-se 35% dos pontos que são destinados ao sistema de aquecimento de água, os próximos “vilões” de consumo citados acima.

Um ponto de ressalva é de que o selo Procel Edifica não concede qualquer pontuação pela utilização de fontes alternativas de energia elétrica. Entretanto, tanto o processo AQUA, como a certificação LEED, levam em consideração a geração local de energia elétrica de forma a melhorar e auxiliar a utilização de energia no edifício. O AQUA exige também, no mínimo um estudo de viabilidade e retorno econômico da implantação desse tipo de recurso. O Procel Edifica, em contrapartida, pontua a utilização de energias alternativas somente para o aquecimento de água com painéis solares (PROCEL, 2012, p.80).

Em seguida para verificação das características da avaliação do Procel Edifica em relação ao AQUA e ao LEED foram realizados dois casos de estudo – um com os dados reais de uma residência e outro com melhorias hipotéticas na residência analisada no primeiro caso de estudo. Os resultados das duas avaliações realizadas no trabalho podem ser vistos na Tabela 30.

**Tabela 30: Resultados dos casos de estudo**

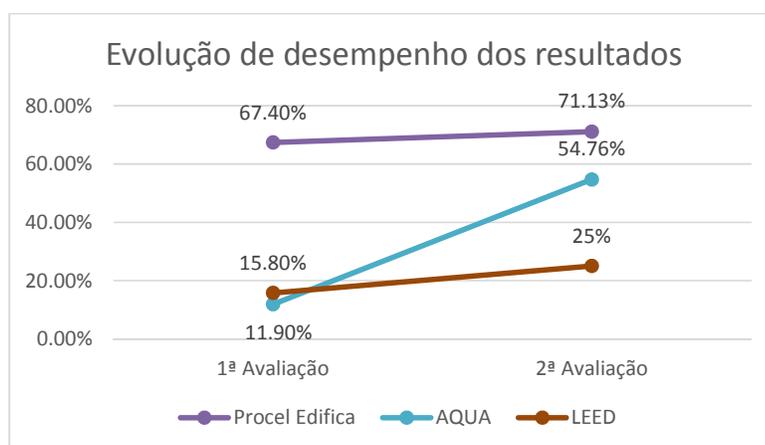
	<b>Procel Edifica</b>	<b>AQUA</b>	<b>LEED</b>
<b>1ª Avaliação</b>	Nível C (3,37 pontos ou 67,4%)	11,9%	6 pontos (15,8%)
<b>2ª Avaliação</b>	Nível B (3,5566 pontos ou 71,13%)	54,76%	9,5 pontos (25%)

Fonte: Autoria própria

Ressalta-se novamente que devido a grande diferença dos resultados concedidos pelas três certificações (pontos, níveis de certificação, pré-requisitos e etc), utilizou-se a mesma metodologia de comparação mostrada na seção 3.2.3 deste trabalho (página 72), apresentado então as porcentagens de pontos alcançados em cada certificação.

O pior resultado foi obtido pela certificação LEED. Este fato pode ser associado ao fato do LEED ser uma certificação internacional sem qualquer adaptação ao Brasil até o momento<sup>31</sup>, ao contrário do AQUA e do Procel Edifica que foram adequados e formulados de acordo com as realidades brasileiras de construção civil e clima.

A Figura 42 expõe a evolução dos resultados obtidos nos dois casos de estudo realizados no trabalho.



**Figura 42: Evolução de desempenhos dos resultados**

Fonte: Autoria própria

<sup>31</sup> Está sendo atualmente desenvolvido um regulamento técnico para a certificação LEED em residência brasileiras, adaptando o referencial abordado neste trabalho para as especificidades brasileiras – o “Referencial Casa®” (GBCB, 2013), ver seção 2.4.6 (página 66).

Apesar de ter uma pequena evolução percentual, as alterações no Procel Edifica foram necessárias para subir uma categoria, do nível C ao nível B. Já a grande evolução no resultado do processo AQUA deve-se à adequação dos pré-requisitos relacionados à envoltória, quesito de maior importância do método, como mostrado na Tabela 14 (página 73). Tais pré-requisitos possuem os mesmos valores exigidos no Procel Edifica, indicando certa complementaridade e convergência entre os dois métodos.

Analisando-se as formas de obtenção dos resultados verifica-se que os resultados do processo AQUA são simplesmente baseados em pré-requisitos, analisando a adequação ou não às exigências específicas do método. Por conta disso, graças ao cumprimento de um pré-requisito relativo à envoltória, houve a grande variação percentual mostrada na Figura 42, de 11,90% para 54,76% na primeira e na segunda avaliação, respectivamente.

O LEED, por sua vez, efetua a maior parcela de avaliação de eficiência energética, através de seu *software* de cálculo, realizando uma avaliação global de desempenho das características do edifício sem a necessidade de atendimento de pré-requisitos específicos. Dessa forma, o atendimento dos pré-requisitos do Procel Edifica no segundo caso de estudo impactou de forma mais branda no resultado final da certificação LEED, alterando o resultado de 15,8% na primeira avaliação para 25% na segunda avaliação.

Finalmente, verifica-se na certificação Procel Edifica uma mescla dessas duas características. Como já apresentado esta certificação faz uma análise global (numérica) e gradativa das características do edifício, além de também possuir o sistema de pré-requisitos específicos que devem ser atendidos. Dessa forma, a evolução dos resultados da certificação Procel Edifica para os dois casos de estudo, como mostrado na Figura 42, foi de 67,4% na primeira avaliação para 71,13% na segunda avaliação.

Embora a alteração numérica em pontos percentuais para a certificação do Procel Edifica tenha sido a menor das três mostradas na Figura 42, ressalta-se que esta, diferente da certificação LEED e AQUA, já havia mais de 67% dos pontos disponíveis alcançados, e que também esta pequena alteração numérica foi responsável por uma grande alteração no resultado final da certificação: a mudança de nível C para o nível B na etiqueta de eficiência energética.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seguinte questão foi levantada no início deste trabalho<sup>32</sup>: o programa de etiquetagem do Procel Edifica possui as características necessárias que tornam sua aplicação atraente frente aos outros sistemas de etiquetagem existentes atualmente?

Para responder a esta questão uma série de estudos foram realizados ao longo deste trabalho possibilitando assim traçar o perfil do programa Procel Edifica. Primeiramente, ao o comparar às principais certificações verdes utilizadas atualmente no Brasil, o recém criado<sup>33</sup> Procel Edifica não surge como um concorrente e sim como complemento às certificações sustentáveis.

Como prova disso, tanto a versão 2.0 do referencial técnico AQUA (FCAV, 2013) quanto o vindouro “Referencial Casa®”<sup>34</sup> (GBCB, 2013) – referencial LEED adaptado à realidade brasileira – utilizam como parte de seus requisitos resultados do Procel Edifica.

Em adição, de acordo com Oliveira (2013), o Procel Edifica deverá se tornar obrigatório para edifícios públicos, privados e residenciais nos próximos anos, portanto essa iniciativa tende a ser realidade não somente nestas duas certificações, mas também em diversos outros selos verdes existentes no Brasil.

O Procel Edifica se mostra, portanto, como uma importante ferramenta de análise do desempenho das características estruturais de um edifício na eficiência energética do empreendimento. Enquanto o objetivo de certificações como AQUA e LEED é avaliação, reconhecimento e, principalmente, a promoção de empreendimentos sustentáveis, o Procel Edifica tem como objetivo informar e avaliar os rendimentos energéticos de uma residência.

A metodologia da certificação Procel Edifica, se analisado como uma certificação sustentável se mostra realmente pontual e restrita. No entanto se avaliada como uma certificação de eficiência energética do edifício, se mostra bastante eficiente naquilo que propõe, sendo um excelente indicador de

---

<sup>32</sup> Ver seção “1.2 Problema”, página 21.

<sup>33</sup> Versão final apresentada em outubro 2012 (INMETRO, 2012).

<sup>34</sup> Ver seção “2.4.6 Considerações parciais sobre a certificação LEED”, página 66.

desempenho, já que avalia em grau de importância os principais focos de uso de energia elétrica nas residências de acordo com Manosso (2010).

Além disso cumpre seu caráter avaliativo, já que avalia e certifica qualquer tipo de edifício residencial, seja ele eficiente ou não, possuindo a vantagem de ser adaptado às realidades climáticas e de construção civil do Brasil.

Com a aplicação dos métodos por meio dos dois casos de estudo foi possível verificar a grande divergência nos resultados não somente do Procel Edifica perante os resultados das outras duas certificações, mas entre cada uma das três certificações. As divergências se mantiveram na evolução desses resultados após as alterações propostas na seção 3.4 (página 116). Esse fato, como citado anteriormente, é decorrente das diferenças estruturais da avaliação de cada certificação, e, portanto, não implicam em um método de avaliação ineficiente, mas evidenciam as diferenças de formulação de cada método.

Finalmente, tendo em vista todas as características e resultados apresentados anteriormente, a certificação do Procel Edifica se apresenta como um atraente selo de avaliação energética com possibilidade de se tornar uma ferramenta de grande valia para o futuro da qualidade e da eficiência energética residencial no país.

Para trabalhos futuros, sugere-se a comparação entre o método prescritivo e o simulado do Procel Edifica, a fim de verificar as diferenças entre esses dois métodos e compreender melhor o fato de a grande maioria dos empreendimentos possuírem avaliação prescritiva, como mostrado na página 35 deste trabalho. Sugere-se para este caso, a utilização do *software* Domus, em desenvolvimento por um grupo de pesquisa na Pontifícia Universidade Católica do Paraná e já disponível para uso.

Sugere-se também a mesma comparação de métodos para o processo LEED – entre o método prescritivo e o método simulado – com a aplicação em uma casa com condicionamento artificial de ar.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 6488**: Componentes de construção – Determinação da condutância e transmitância térmica – Método da caixa quente protegida. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de célula da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ANSI; ASHRAE; IESNA. **Standard 90.1 – 2004**: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, Estados Unidos da América. 2004.

\_\_\_\_\_. **Standard 90.1 – 2007**: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, Estados Unidos da América. 2007.

ARMACELL. **Technical Information Bulletin 004**. 2010. Disponível em: <[http://www.armacell.com/www/armacell/ACwwwAttach.nsf/ansFiles/003-003-004-NA\(NA\).pdf/\\$File/003-003-004-NA\(NA\).pdf](http://www.armacell.com/www/armacell/ACwwwAttach.nsf/ansFiles/003-003-004-NA(NA).pdf/$File/003-003-004-NA(NA).pdf)>. Acesso em 5 out. 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional - BEN**. Brasília: MME, 2006.

BRUNDTLAND, G. H. **Our Common Future: The World Commission on Environment and Development**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

CASTRO, A. P. A. S. et al. **Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral**. 2003. 76f. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre. 2003.

CLARKE; TIMBERLAKE. **A paráfrase dos princípios da declaração, 1982**. In: **PERSPECTIVAS DO MEIO AMBIENTE MUNDIAL – GEO**, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2002.

COELHO, L. **Carimbo Verde**. Revista Técnica, n. 155, p. 32-39, fev. 2010.

DIAS, D. S.; SILVA, P. F. G. **Estudo de viabilidade da aplicação do programa PROCEL edifica em edifícios comerciais já existentes: Estudo de caso em um edifício comercial de Curitiba**. 2010. 108 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação de Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Paraná. 2010.

DOW BUILDING SOLUTIONS. **Quick Reference Guide for 2009 IECC Residential Energy Efficiency: Climate Zone 5 and Marine 4**. 2010. Disponível em: <[http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh\\_040b/0901b8038040bc62.pdf?filepath=styrofoam/pdfs/noreg/179-07590-.pdf&fromPage=GetDoc](http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_040b/0901b8038040bc62.pdf?filepath=styrofoam/pdfs/noreg/179-07590-.pdf&fromPage=GetDoc)>. Acesso em 18 mai. 2013.

ELUMAFLEX. **Catálogo Técnico**. 2005. Disponível em: <<http://www.philomenojr.com.br/downloads/Catalogos/Eluma%20Conexoes/Cat%E1logo%20Eluma%20-T%E9cnico%202005.pdf>>. Acesso em 2 out. 2013.

ENERGY GAUGE. Version 3.00. United States of America: Florida Energy Center, 2012. Disponível em: <[www.energygauge.com/usares/trial.htm](http://www.energygauge.com/usares/trial.htm)>. Acesso em 20 jun. 2013.

FCAV. **Referencial técnico de certificação “Edifícios habitacionais - Processo AQUA”**. v2. São Paulo: FCAV, 2013. Disponível em: <[http://www.vanzolini.org.br/download/RT\\_Edificios\\_habitacionais\\_v2\\_2013.pdf](http://www.vanzolini.org.br/download/RT_Edificios_habitacionais_v2_2013.pdf)>. Acesso em 12 mai. 2013.

\_\_\_\_\_. **Guia de Certificação**. 2012. Disponível em: <[http://www.vanzolini.org.br/conteudo\\_104.asp?cod\\_site=104&id\\_menu=760](http://www.vanzolini.org.br/conteudo_104.asp?cod_site=104&id_menu=760)>. Acesso em 21 jun. 2013.

FOLHA DE S. PAULO. **Saiba o que foi a Eco-92**. 2002. Disponível em: <[http://www1.folha.uol.com.br/folha/especial/2002/riomais10/o\\_que\\_e-2.shtml](http://www1.folha.uol.com.br/folha/especial/2002/riomais10/o_que_e-2.shtml)>. Acesso em 19 jun. 2013.

FLORIDA ENERGY CENTER. **EnergyGauge USA FlaRes 2010 User Manual**. 2012. Disponível em: <[http://www.floridabuilding.org/fbc/commission/FBC-\\_0312/Energy\\_TAC/FSEC/EnergyGauge%20EG%203%200%20Manual%20Final.pdf](http://www.floridabuilding.org/fbc/commission/FBC-_0312/Energy_TAC/FSEC/EnergyGauge%20EG%203%200%20Manual%20Final.pdf)>. Acesso em 31 mai. 2013.

GBCB. **Referencial GBC Brasil Casa**. 2013. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/?p=referencialCasas03>>. Acesso em 15 ago. 2013.

HERNANDES, T. Z. **LEED-NC como sistema de avaliação da sustentabilidade: uma perspectiva nacional?** 2006. Dissertação de Mestrado. São Paulo: FAU USP.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética: Edificações Residenciais**, Brasília, DF, 16 jan. 2012. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>. Acesso em 22 mai. 2013.

\_\_\_\_\_. **Selos de eficiência energética**. 2012. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbeSelo.asp>>. Acesso em 12 jul. 2013.

\_\_\_\_\_. **Tabela de edificações residenciais – Unidade habitacional autônoma**. 2013. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/unidade-habitacional.pdf>>. Acesso em 08 nov. 2013.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **History of International Energy Agency**. 2013. Disponível em: < <http://www.iea.org/aboutus/history/>>. Acesso em 25 mai. 2013.

INTERNATIONAL CODE COUNCIL. **2009 International Energy Conservation Code IECC**. 2009. Disponível em: <[http://www.ironwarrior.org/ARE/2009\\_Codes/2009\\_International\\_Energy\\_Conservation\\_Code%5BICC,I ECC%5D.pdf](http://www.ironwarrior.org/ARE/2009_Codes/2009_International_Energy_Conservation_Code%5BICC,I ECC%5D.pdf)>. Acesso em 20 mai. 2013.

LABEEE. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas v.4**. 2010. Disponível em: <[www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/catalogo-caixa\\_v4.PDF](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/catalogo-caixa_v4.PDF)>. Acesso em 28 mai. 2013.

LEITE, V. F. **Certificação Ambiental na Construção Civil – Sistemas LEED e AQUA**. 2011. 50 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Curso Superior de Engenharia Civil. Escola de engenharia da UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MAGNANI, J. M. **Análise Comparativa do selo Casa Azul e do sistema de certificação LEED FOR HOMES**. 2011, 76p. Monografia (Especialização em Construção Civil). Escola de engenharia da UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2011.

MANOSSO, R. **Vilões do consumo de energia elétrica em casa**. 2010. Disponível em: <<http://radames.manosso.nom.br/ambiental/energia/viloes-do-consumo-de-energia-eletrica-em-casa/>>. Acesso em 22 out. 2013.

NOGUEIRA, R. **Novo selo Procel atesta imóvel eficiente**. 2011. Disponível em: <<http://extra.globo.com/casa/novo-selo-procel-atesta-imovel-eficiente-3219635.html>>. Acesso em 01 jul. 2013.

NOGUEIRA, S. **40 Perguntas – Certificações**. Revista Técnica, 2012. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/162/artigo1-85685-1.asp>>. Acesso em 01 jul. 2013.

NOVA ARQUITETURA. **A Novarquitectura e a sustentabilidade**. 2011. Disponível em: <<http://www.novarquitetura.com/artigos.html>>. Acesso em 07 jul. 2013.

OLIVEIRA, P. **O Brasil ainda engatinha na avaliação da sustentabilidade de prédios e casas**. Brasília. Correio Braziliense, maio/2013. Disponível em: <[http://www.cte.com.br/site/noticias\\_ler.php?id\\_noticia=9977](http://www.cte.com.br/site/noticias_ler.php?id_noticia=9977)>. Acesso em 27 out. 2013.

OLX. **Fotos de Portas e Janelas de vidro temperado**. 2011. Disponível em: <<http://contagem.olx.com.br/pictures/portas-e-janelas-de-vidro-temperado-iid-373611740>>. Acesso em 20 out. 2013.

ONU. **Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano**. Tradução livre. Estocolmo, jun. 1972. Disponível em: <<http://www.sauderio20.fiocruz.br/attachments/article/65/Estocolmo1972.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2013.

PROCEL. **PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**. 2008. Disponível em: <<http://www.cdes.gov.br/documento/1340428/procel-programa-nacional-de-conservacao-de-energia-eletrica-.html>>. Acesso em: 02 jul. 2013.

PROCEL. **Catálogo do Selo Procel**. 2011. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/main.asp?TeamID=%7B2DEB4057-D085-49A8-A66E-5D946249DC56%7D>>. Acesso em 10 set. 2013.

PROCEL INFO – CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Etiquetagem em Edifícios**. 2013. Disponível em: <[http://www.procelinfo.com.br/etiquetagem\\_edificios/](http://www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios/)>. Acesso em 01 jul. 2013.

ROMERO, M. A. **Eficiência Energética em Edifícios**. Barueri: Manole, 2012.

USGBC. **LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction: With Global Alternative Compliance Paths**. 2009. Disponível em: <[http://www.usgbc.org/sites/default/files/Ref\\_B-DC\\_c2009\\_ACP\\_1.pdf](http://www.usgbc.org/sites/default/files/Ref_B-DC_c2009_ACP_1.pdf)>. Acesso em 23 mai. 2013.

\_\_\_\_\_. **LEED for Homes Rating System**. 2013. Disponível em: <[http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%20for%20Homes%20Rating%20System\\_updated%20April%202013.pdf](http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%20for%20Homes%20Rating%20System_updated%20April%202013.pdf)>. Acesso em 22 mai. 2013.

\_\_\_\_\_. **LEED 2009 Rating System Selection Guidance: Version 4**. 2011. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/Docs/Archive/General/Docs6667.pdf>>. Acesso em 20 abr. 2013.

VALENTE, J. P. **Certificações na construção civil: comparativo entre LEED e HQE**. 2009. 71 f. Projeto de Graduação – Curso Superior de Engenharia Civil. Escola Politécnica da UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

## GLOSSÁRIO

**Abertura:** Todas as áreas da envoltória do edifício, abertas ou com fechamento translúcido ou transparente (que permitam a entrada da luz e/ou ar) incluindo, por exemplo: janelas; painéis plásticos; portas de vidro (com mais da metade da área de vidro); paredes de blocos de vidro e; aberturas zenitais. A área é medida em metros quadrados e exclui os caixilhos.

**Abertura zenital:** Esta pode ser caracterizada como a abertura na cobertura para iluminação natural do ambiente. Refere-se exclusivamente às aberturas em superfícies com inclinação igual ou inferior a 60° em relação ao plano horizontal. Medida em metros quadrados e calculada a partir da projeção horizontal da abertura.

**Absortância ( $\alpha$ ):** Quociente adimensional relativo à taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Utilizada somente para elementos opacos sem revestimento de vidro.

**Ambiente de permanência prolongada:** São os ambientes de ocupação contínua por pelo menos um indivíduo, incluindo sala de estar, sala de jantar, sala íntima, dormitórios, escritório, sala de TV ou ambientes de usos similares. Neste não são incluídos: cozinha, lavanderia ou área de serviço, banheiro, circulação, varanda aberta ou fechada com vidro, *solarium*, garagem, e outros ambientes considerados de permanência transitória. As varandas fechadas com vidro, cozinhas ou outros ambientes que não possuam separação ou divisória do piso até o forro com ambientes de permanência prolongada são considerados extensão dos ambientes contíguos a eles.

**Caixilhos:** Define-se caixilho como a moldura opaca onde são fixados os vidros de janelas, portas e painéis.

**Capacidade térmica ( $C_T$ ):** Quantidade de calor medida em [kJ/m<sup>2</sup>.K] necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.

**Consumo relativo para aquecimento ( $C_A$ ):** Medido em  $[kWh/m^2]$ , é definido como o consumo anual de energia por metro quadrado necessário para aquecimento do ambiente durante o período entre 21h e 8h, de todos os dias do ano, para a manutenção da temperatura ambiente em  $22^\circ C$ .

**Consumo relativo para refrigeração ( $C_R$ ):** Este é medido em  $[kWh/m^2]$  e é definido como o consumo anual de energia por metro quadrado necessário para refrigeração e manutenção da temperatura ambiente em  $24^\circ C$  durante o período entre 21h e 8h, de todos os dias do ano.

**Envoltória:** Conceitua-se como envoltória, o conjunto de planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, estendendo-se às fachadas, coberturas, aberturas, assim como quaisquer elementos que os compõem, não incluindo os pisos e pavimentos.

**Resistência térmica total ( $R_T$ ):** Trata-se do somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento, componente ou sistema, incluindo resistências superficiais, interna e externa. Medida em  $[m^2.K/W]$ .

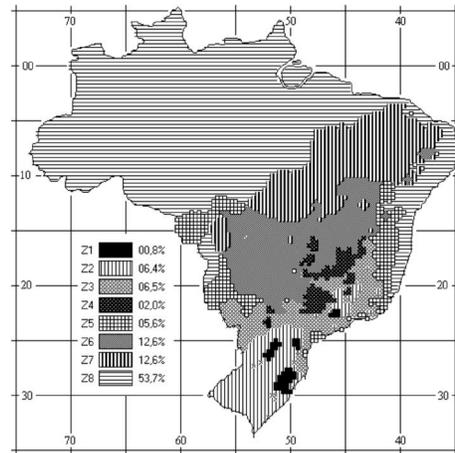
**Transmitância térmica ( $U$ ):** Esta pode ser conceituada como a transmissão de calor através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo. Ela é medida em  $[W/m^2.K]$  e deve ser calculada segundo o método explícito na NBR 15220-2<sup>35</sup> ou através do método da caixa quente protegida da NBR 6488.

**Unidade habitacional autônoma:** Esta é um bem imóvel destinado à moradia e com acesso independente, sendo constituído por, no mínimo, banheiro, dormitório, cozinha e sala, podendo estes três últimos ser conjugados.

**Zonas bioclimáticas:** Região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano de acordo com a NBR 15220-3.

---

<sup>35</sup> Ver exemplo de cálculo no Anexo A.

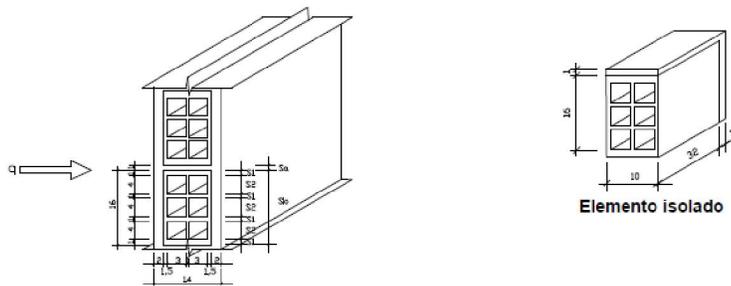


### Zonas bioclimáticas brasileiras

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2003, p.3)

As definições, unidades e símbolos dos diferentes conceitos abordados pelas certificações energéticas analisadas neste trabalho, e mostradas neste glossário, foram retirados de Inmetro (2012), NBR 6488 (ABNT, 1980), NBR 15220 (ABNT, 2003) e FCAV (2013).

**ANEXO A – Exemplo de cálculo da NBR 15220-2**



Vista em perspectiva  
 Figura C.3 - Parede de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces

**a) resistência térmica do tijolo ( $R_{\text{tijolo}}$ ):**

Seção 1 (tijolo):

$$A_1 = 0,01 \times 0,32 = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} = \frac{0,10}{0,90} = 0,1111 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção 2 (tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo):

$$A_2 = 0,04 \times 0,32 = 0,0128 \text{ m}^2$$

$$R_2 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}}$$

$$R_2 = \frac{0,015}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,015}{0,90} = 0,3644 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Portanto, a resistência do tijolo será:

$$R_{\text{tijolo}} = \frac{4 \times A_1 + 3 \times A_2}{\frac{4 \times A_1}{R_1} + \frac{3 \times A_2}{R_2}} = \frac{4 \times 0,0032 + 3 \times 0,0128}{\frac{4 \times 0,0032}{0,1111} + \frac{3 \times 0,0128}{0,3644}} = \frac{0,0512}{0,2206} = 0,2321 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**b) resistência térmica da parede ( $R_t$ ):**

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,32 + 0,01 \times 0,17 = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,10}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} = \frac{0,14}{1,15} = 0,1217 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,16 \times 0,32 = 0,0512 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + R_{\text{tijolo}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + 0,2321 + \frac{0,02}{1,15} = 0,2669 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0049 + 0,0512}{\frac{0,0049}{0,1217} + \frac{0,0512}{0,2669}} = \frac{0,0561}{0,2321} = 0,2417 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**c) resistência térmica total:**

$$R_T = R_{\text{sei}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,2417 + 0,04 = 0,4117 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**d) transmitância térmica:**

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4117} = 2,43 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**Cálculo de propriedades térmicas**

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2 (ABNT, 2003, p. 15-16)

**ANEXO B – Variáveis para cálculos da envoltória no Procel  
Edifica**

Esta seção apresenta as variáveis utilizadas nos cálculos dos índices  $GH_R$  e  $C_A$  para o desempenho da envoltória, utilizados nas Equações 3 e 4 (INMETRO, 2012, p.33-38). São elas:

**Ab<sub>L</sub>**: variável binária que define a existência de abertura voltada para o Leste. Recebe valor 1 (um) se possuir, e caso negativo, deverá ter valor 0 (zero);

**Ab<sub>N</sub>**: variável binária que define a existência de abertura voltada para o Norte. Recebe valor 1 (um) se possuir, e caso negativo, deverá ter valor 0 (zero);

**Ab<sub>O</sub>**: variável binária que define a existência de abertura voltada para o Oeste. Recebe valor 1 (um) se possuir, e caso negativo, deverá ter valor 0 (zero);

**Ab<sub>S</sub>**: variável binária que define a existência de abertura voltada para o Sul. Recebe valor 1 (um) se possuir, e caso negativo, deverá ter valor 0 (zero);

**AAb<sub>L</sub>**: área da abertura em  $m^2$  na fachada Leste, desconsiderando caixilhos;

**AAb<sub>N</sub>**: área da abertura em  $m^2$  na fachada Norte, desconsiderando caixilhos;

**AAb<sub>O</sub>**: área da abertura em  $m^2$  na fachada Oeste, desconsiderando caixilhos;

**AAb<sub>S</sub>**: área da abertura em  $m^2$  na fachada Sul, desconsiderando caixilhos;

**AP<sub>ambL</sub>**: área de parede externa em  $m^2$  na fachada Leste do ambiente;

**AP<sub>ambN</sub>**: área de parede externa em  $m^2$  na fachada Norte do ambiente;

**AP<sub>ambO</sub>**: área de parede externa em  $m^2$  na fachada Oeste do ambiente;

**AP<sub>ambS</sub>**: área de parede externa em  $m^2$  na fachada Sul do ambiente;

**A<sub>parInt</sub>**: área das paredes internas, excluindo as aberturas e paredes externas;

**AU<sub>amb</sub>**: área útil do ambiente em  $m^2$ ;

**$\alpha_{cob}$** : absorvância da superfície externa da cobertura;

**$\alpha_{par}$** : absorvância externa das paredes que fazem face ao ambiente externo da residência;

**C<sub>altura</sub>**: coeficiente de altura, calculado pela razão entre o pé direito e a área útil do ambiente analisado;

**Cob**: variável que define se o ambiente possui fechamento superior – cobertura – voltada para o exterior. Se o fechamento superior do ambiente estiver voltado para o exterior o valor deverá ser 1 (um), e zero, caso negativo;

**CT<sub>alta</sub>**: variável binária que define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica elevada, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, paredes internas e coberturas, excluindo as aberturas. É considerada capacidade térmica elevada, caso esta seja superior a 250 kJ/m<sup>2</sup>K, recebendo o valor 1 (um). Caso contrário, receberá o valor zero;

**CT<sub>baixa</sub>**: variável binária que define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica baixa, seguindo os mesmos princípios do CT<sub>alta</sub>. É considerada capacidade térmica baixa, caso esta seja inferior a 50 kJ/m<sup>2</sup>K, recebendo neste caso o valor 1 (um). Caso contrário, receberá o valor zero;

**CT<sub>cob</sub>**: capacidade térmica da cobertura medida em kJ/m<sup>2</sup>K. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior até o exterior do ambiente;

**CT<sub>par</sub>**: média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas e internas do ambiente pelas suas respectivas áreas. Medida em kJ/m<sup>2</sup>K;

**F<sub>vent</sub>**: fator adimensional de abertura para ventilação do ambiente, calculado pelo tamanho da abertura para ventilação sobre a abertura total do vão;

**Isol**: variável binária que representa a existência de isolamento nas paredes externas e coberturas. São consideradas isoladas paredes externas e coberturas. São aqui consideradas isoladas as paredes externas e coberturas que apresentem isolamento térmico e transmitância térmica menor ou igual a 1,00 W/m<sup>2</sup>K;

**P<sub>ambL</sub>**: variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente analisado voltada para o Leste. Caso possua, o valor deve ser 1 (um), caso negativo, o valor deverá ser zero;

**P<sub>ambN</sub>**: variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente analisado voltada para o Norte. Caso possua, o valor deve ser 1 (um), caso negativo, o valor deverá ser zero;

**P<sub>ambO</sub>**: variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente analisado voltada para o Oeste. Caso possua, o valor deve ser 1 (um), caso negativo, o valor deverá ser zero;

**P<sub>ambS</sub>**: variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente analisado voltada para o Sul. Caso possua, o valor deve ser 1 (um), caso negativo, o valor deverá ser zero;

**PD**: pé direito do ambiente analisado;

**Pil**: variável binária que define o contato externo do piso do ambiente com o exterior através de pilotis (colunas). Se o ambiente se encontrar sobre pilotis o valor deve ser 1 (um), e caso negativo o valor deverá ser zero. Valores parciais também são considerados;

**Solo**: variável binária que define o contato do piso do ambiente com o solo (através de laje simples ou laje de terrapleno). Se o piso estiver em contato com o solo o valor deve ser 1 (um) e caso negativo o valor deverá ser zero. Valores parciais também são considerados;

**SomA<sub>parext</sub>**: somatório das áreas de parede externa do ambiente;

**Somb**: variável que define a presença de dispositivos de proteção solar externos às aberturas. Recebe valor 1 (um) o ambiente que possua venezianas que cubram 100% da abertura quando fechadas ou recebe entre 0 e 0,5 os ambientes com sombreamento por varanda, beiral ou brise, que atendam os limites delimitados no regulamento do Inmetro (2012);

**U<sub>cob</sub>**: transmitância térmica da cobertura do ambiente, calculada considerando todas as camadas entre o interior ao exterior do ambiente. Medida em W/m<sup>2</sup>K;

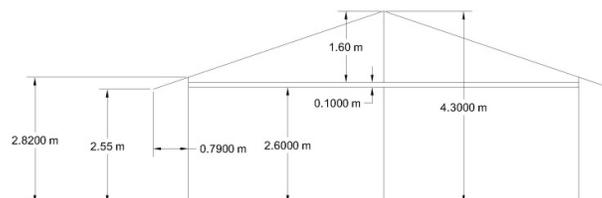
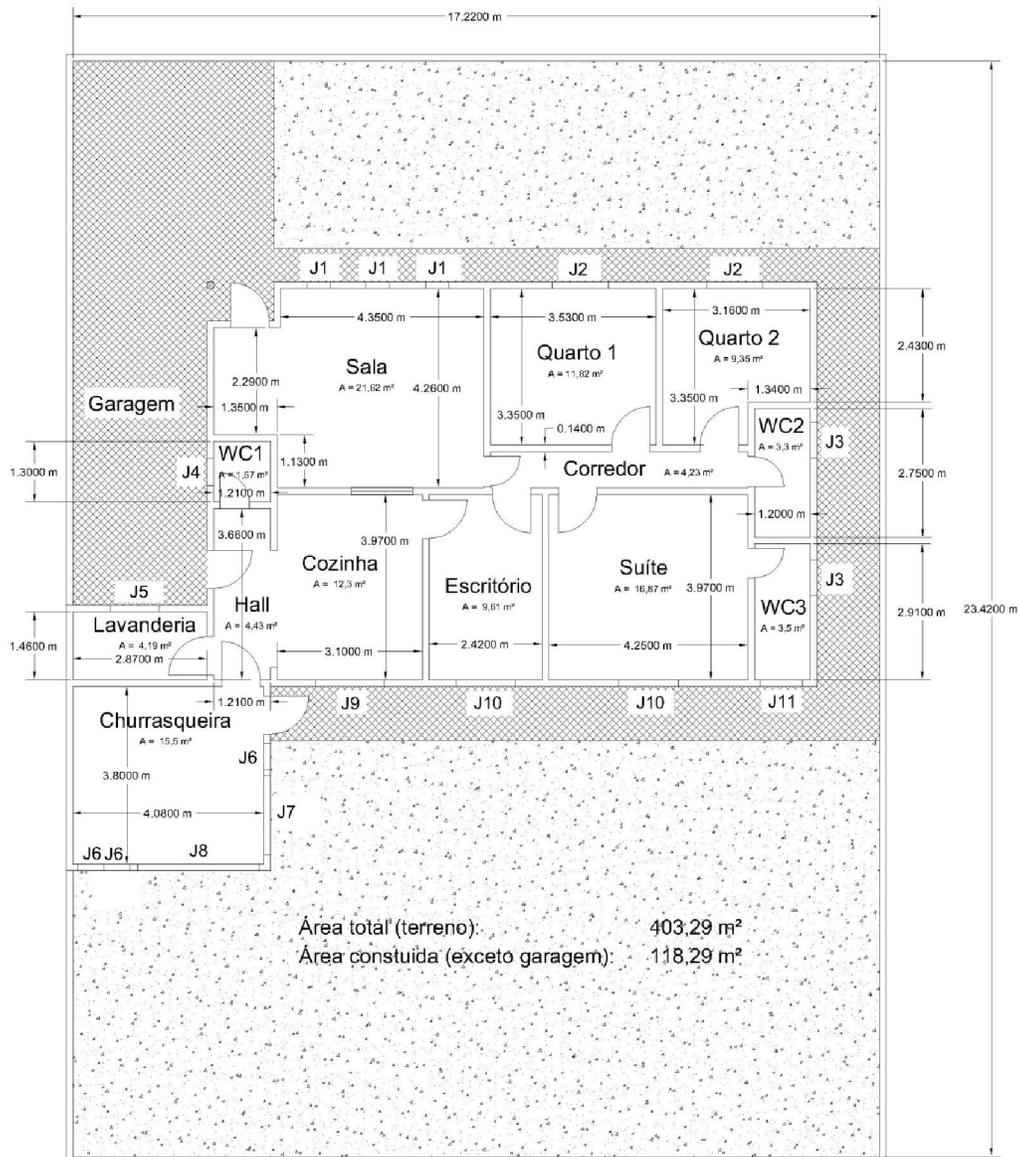
**U<sub>par</sub>**: transmitância térmica das paredes externas do ambiente, calculada considerando todas as camadas entre o interior ao exterior do ambiente. Medida em W/m<sup>2</sup>K;

**Uvid**: transmitância térmica do vidro utilizado nas aberturas do ambiente analisado. Medida em W/m<sup>2</sup>K;

**Vid:** variável binária que indica a existência de vidros duplos nas aberturas do ambiente. Caso positivo esta variável deverá ser igual a 1 (um) e, caso negativo, deverá ser zero;

**Volume:** volume total do ambiente em  $m^3$ , calculado através da multiplicação entre o pé direito e a área útil do ambiente;

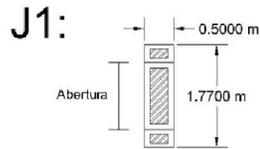
## **APÊNDICE A – Residência do caso de estudo**



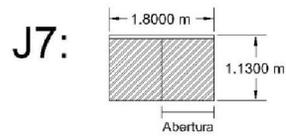
Perfil lateral  
da residência

### Planta baixa e perfil lateral da residência do caso de estudo

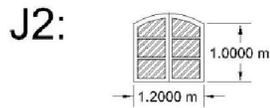
Fonte: Autoria própria



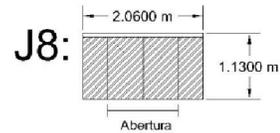
Área total =	0,885 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	0,708 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	0,46 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm translúcido plano
Altura do chão =	0,53 m



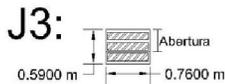
Área total =	2,034 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	1,627 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	0,915 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm translúcido plano
Altura do chão =	1,03 m



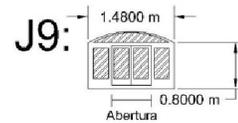
Área total =	1,33 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	1,197 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	1,197 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm translúcido plano
Altura do chão =	1,07 m



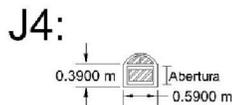
Área total =	2,328 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	1,543 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	0,882 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm translúcido plano
Altura do chão =	1,03 m



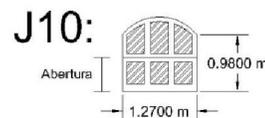
Área total =	0,448 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	0,291 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	0,314 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm canelado
Altura do chão =	1,76 m



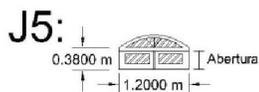
Área total =	1,362 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	0,837 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	0,403 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm translúcido plano
Altura do chão =	1,23 m



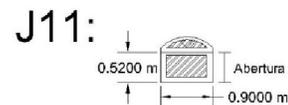
Área total =	0,297 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	0,174 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	0,132 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm canelado
Altura do chão =	1,73 m



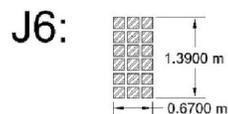
Área total =	1,44 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	0,79 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	0,737 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm translúcido plano
Altura do chão =	0,88 m



Área total =	0,614 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	0,445 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	0,23 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm fosco plano
Altura do chão =	1,70 m



Área total =	0,643 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	0,481 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	0,421 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm canelado
Altura do chão =	1,42 m



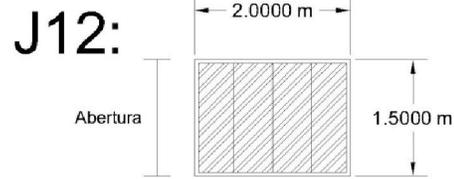
Área total =	0,931 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	0,65 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	0 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	Tijolo de vidro
Altura do chão =	1,03 m

## Janelas da residência do caso de estudo

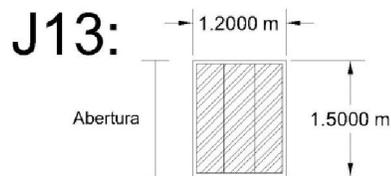
Fonte: Autoria própria

## **APÊNDICE B – Residência após alterações hipotéticas**

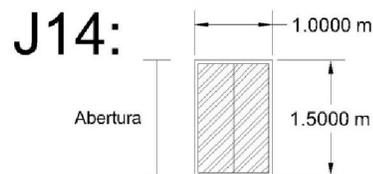




Área total =	3,00 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	2,85 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	2,85 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm translúcido plano
Altura do chão =	0,70 m



Área total =	1,80 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	1,71 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	1,71 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm translúcido plano
Altura do chão =	0,70 m



Área total =	1,50 m <sup>2</sup>
Área para iluminação natural =	1,425 m <sup>2</sup>
Área para ventilação =	1,425 m <sup>2</sup>
Tipo de vidro =	3mm translúcido plano
Altura do chão =	0,70 m

**Janelas alteradas na residência do caso de estudo**

**Fonte: Autoria própria**