

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS
COMERCIAIS DE REFERÊNCIA USANDO AS CERTIFICAÇÕES LEED E
PROCEL-EDIFICA**

Luana Eid Piva Bertoletti

São Paulo
2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS
COMERCIAIS DE REFERÊNCIA USANDO AS CERTIFICAÇÕES LEED E
PROCEL-EDIFICA**

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Graduação em Engenharia

Luana Eid Piva Bertoletti

Orientador: Alberto Hernandez Neto

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

São Paulo
2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Bertoletti, Luana Eid Piva

Comparação do desempenho energético de edifícios comerciais de referência usando as certificações LEED e PROCEL-Edifica / L. E. P. Bertoletti. – São Paulo, 2011.

47 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Desempenho energético 2. Edifícios comerciais 3. Simulação 4. Certificação I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Stela e Eduardo, e à minha irmã, Juliana,
exemplos de vida e de determinação

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto, por sua permanente disponibilidade, apoio e orientação.

Aos meus avós, Vasco e Edith, pela contribuição indispensável à minha criação.

À minha irmã, Juliana, pelo companheirismo incondicional em todas as fases da minha vida.

Aos meus pais, Eduardo e Stela, por apoiarem e incentivarem as decisões importantes da minha vida. Serei eternamente grata a tudo que fizeram por mim.

RESUMO

O mercado imobiliário brasileiro, seguindo a tendência mundial de adoção de práticas sustentáveis no setor da construção civil, tem passado por transformações frente à demanda crescente por edifícios ambientalmente adequados e energeticamente eficientes. Os empreendimentos sustentáveis já são uma realidade no país e as certificações são cada vez mais procuradas pelos empreendedores.

Do ponto de vista energético, a avaliação do desempenho de edifícios que almejam uma certificação pode ser feita via cumprimento de medidas prescritivas e/ou via realização de simulação computacional. Este último método prevê a comparação do desempenho dos modelos do edifício real (proposto) e do edifício de referência, o qual representa um patamar superior de desempenho para edifícios com características similares às do edifício real (tipo de utilização, zona climática, etc.). Logo, ao escolher a metodologia para tal fim, é importante que ela seja adequada à realidade climática, energética e legislativa do país em questão.

Neste sentido, diante dos questionamentos relacionados à aplicabilidade dos diferentes sistemas de certificação no contexto brasileiro, o objetivo do trabalho é comparar, segundo dois destes sistemas, quais níveis de desempenho caracterizam do ponto de vista energético, um edifício comercial de referência, em três cidades brasileiras.

Para a realização da análise comparativa, foram escolhidos os sistemas de certificação LEED e PROCEL-Edifica, difundidos no mercado brasileiro e aplicáveis a edifícios comerciais.

Os resultados das simulações mostram que, em termos de consumo energético, o edifício de referência do PROCEL-Edifica é mais exigente que o do LEED, situação verificada para as três cidades.

ABSTRACT

The Brazilian real estate market, following the global trend of adopting sustainable practices in the construction industry, has been going through changes due to the growing demand for environmentally friendly and energy efficient buildings. The sustainable buildings are already a reality in the country and certifications are increasingly sought after by entrepreneurs.

From the energetic point of view, performance assessment of buildings which aim for a certification can be carried out by compliance with prescriptive measures and / or by conducting computer simulation. This latter method provides the performance comparison of the actual building (proposed) and the baseline building, which represents a higher level of performance for buildings with similar characteristics to the actual building (type of use, climate zone, etc.). Thus, when choosing the methodology for this purpose, it is important that it is suited to the climatic, energy, and legislative reality of the concerned country.

In this sense, considering the inquiries related to the applicability of different certification systems in the Brazilian context, the aim of this study is to compare, according to two of these systems, which performance levels characterize, in terms of energy, a commercial baseline building, in three Brazilian cities.

In order to perform the comparative analysis, the certification systems which were chosen are LEED and PROCEL-Edifica, widespread in the Brazilian market and applicable to commercial buildings.

Simulation results show that, in terms of energy consumption, PROCEL-Edifica baseline building is more stringent than LEED's one. This situation was verified for the three cities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Estrutura em árvore para avaliação do QAE (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2007).....	12
Figura 3.2: Componentes e etapas do sistema de certificação AQUA (RODRIGO; CARDOSO, 2009)	13
Figura 3.3: Exemplo de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) (INMETRO, 2010).....	18
Figura 4.1: Modelo tridimensional do edifício comercial tipo	23
Figura 4.2: Dimensões das zonas térmicas - área de circulação (central) e área de escritório	24
Figura 6.1: Cargas térmicas anuais dos edifícios de referência	37
Figura 6.2: Consumo energético anual dos edifícios de referência	40
Figura 6.3: Distribuição do consumo energético por uso final - Belém	42
Figura 6.4: Distribuição do consumo energético por uso final – Brasília.....	42
Figura 6.5: Distribuição do consumo energético por uso final – São Paulo	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Categorias e pontos disponíveis – LEED.....	7
Tabela 3.2: Categorias contempladas no QAE	11
Tabela 3.3: Quadro de avaliação - Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2007)	14
Tabela 3.4: Quadro de avaliação - Redução do consumo de energia primária e dos poluentes associados (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2007)	15
Tabela 4.1: Classificação bioclimáticas de cidades brasileiras.....	22
Tabela 4.2: Perfil de ocupação e de operação de sistemas e equipamentos (ASHRAE, 2007b, tradução nossa).....	25
Tabela 4.3: Propriedades das superfícies opacas e translúcidas dos edifícios de referência	28
Tabela 4.4: Percentual de abertura na fachada dos edifícios de referência.....	29
Tabela 4.5: Densidade de potência de iluminação (DPI) dos sistemas de referência	30
Tabela 6.1: Características dos chillers dos edifícios de referência.....	36
Tabela 6.2: Custo energético anual dos edifícios de referência.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AES- Eletropaulo	Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A.
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CEB	Companhia Energética de Brasília
CELPA	Centrais Elétricas do Pará S.A.
COP	Coeficiente de Desempenho
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DCI	Densidade de Carga Interna
DPI	Densidade de Potência de Iluminação
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
FCAV	Fundação Carlos Alberto Vanzolini
GBC	Green Building Council
HQE	Haute Qualité Environnementale
IC	Índice de consumo
IES-VE	IES Virtual Environment
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IWEC	International Weather for Energy Calculation
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
PAF	Percentual de abertura na fachada
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem

PIB	Produto Interno Bruto
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
QAE	Referencial da Qualidade Ambiental do Edifício
RTQ	Regulamento Técnico de Qualidade
SGE	Referencial do Sistema de Gestão do Edifício
VAV	Volume de Ar Variável
ZB	Zona Bioclimática

4	MODELOS DOS EDIFÍCIOS DE REFERÊNCIA	22
4.1	Escolha das cidades.....	22
4.2	Características do edifício comercial tipo	23
4.2.1	Geometria.....	23
4.2.2	Ganhos internos.....	24
4.2.2.1	Densidade de ocupação.....	24
4.2.2.2	Densidade de cargas internas	25
4.2.2.3	Perfis de ocupação e de operação de sistemas e equipamentos	25
4.2.3	Renovação de ar	26
4.3	Características específicas dos edifícios de referência.....	27
4.3.1	Orientação	27
4.3.2	Envoltória.....	27
4.3.2.1	Materiais	27
4.3.2.2	Percentual de abertura na fachada.....	28
4.3.3	Sistema de iluminação	29
4.3.4	Sistema AVAC.....	30
5	SIMULAÇÃO.....	34
5.1	Período de avaliação	34
5.2	Dias típicos de projeto.....	34
5.3	Dados climáticos	34
5.4	Setpoint e condição de insuflamento.....	35
6	RESULTADOS E ANÁLISES	36
6.1	Simulações de dimensionamento	36
6.2	Cargas térmicas	36
6.2.1	Ganhos internos.....	37
6.2.2	Ganhos solares	38
6.2.3	Ganhos externos.....	38
6.2.4	Ganhos devidos à infiltração de ar	38

6.2.5	Ganhos totais.....	39
6.3	Consumo energético.....	39
6.3.1	Sistemas de AVAC	39
6.3.2	Sistema de iluminação	41
6.3.3	Equipamentos.....	41
6.3.4	Distribuição do consumo por uso final	42
6.4	Custo energético.....	43
7	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
8	REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades econômicas que mais emprega recursos naturais, seja na fase de construção, operação ou manutenção ao longo de sua extensa vida útil.

Contudo, somente a partir da década de 80, diante da crise do petróleo de 1973, intensificou-se a preocupação com o desempenho energético e ambiental durante o processo de concepção do projeto de edifícios.

No Brasil, a preocupação com a conservação e uso racional de energia ocorreu posteriormente, visto que na época em que se deu a crise, o país já possuía um parque gerador predominantemente hidroelétrico (MENDES et al., 2005). Conseqüentemente, o setor elétrico brasileiro não foi atingido diretamente.

De acordo com a análise apresentada por Mendes et al. (2005), entre os anos de 1987 e 2002, o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) do país foi acompanhado pelo aumento do consumo de energia em edifícios, revelando que o crescimento da economia não representou, na mesma proporção, aumento na eficiência energética no setor da construção civil.

No ano de 2001, ocorreram no país os chamados “apagões”, em decorrência dos poucos investimentos realizados na ampliação do parque gerador nos anos anteriores e da escassez de chuvas registradas no ano de 2000. Logo, diante da possibilidade de repetição de crises de abastecimento, do impacto ambiental relacionado às diversas formas de geração de energia e da crise energética mundial, constatou-se que políticas de redução de consumo de energia demandam menores custos e geram mais campo de trabalho que a indiscriminada ampliação da capacidade de geração de energia (HAGEL, 2005). Todos estes fatores impulsionaram os primeiros movimentos relacionados ao conceito de eficiência energética em edifícios no Brasil.

Assim, em dezembro de 2002, o Ministério de Minas e Energia publicou o Plano de Trabalho de Implementação da Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001). Segundo Hagel (2005), este Plano destaca a necessidade de desenvolvimento de mecanismos que promovam a eficiência energética dos edifícios

construídos no país. Além disso, esclarece que o conceito de eficiência energética não está relacionado apenas ao uso de equipamentos mais eficientes. De fato, está relacionada também a projetos arquitetônicos mais eficientes, à escolha de materiais construtivos adequados, à incorporação de energias renováveis, e deve abranger todas as fases do empreendimento, contemplando projeto, execução e operação.

Neste contexto, o mercado imobiliário brasileiro, seguindo a tendência mundial de adoção de práticas sustentáveis no setor da construção civil, tem passado por transformações frente à demanda crescente por edifícios ambientalmente adequados e energeticamente eficientes. Esta postura é essencial diante do fato que o Brasil é o país em desenvolvimento mais urbanizado do mundo e que constrói 6 milhões de metros quadrados por ano (Planeta Sustentável, 2008). Além disso, segundo dados do Balanço Energético Nacional (Balanço Energético Nacional, 2010), o consumo de energia elétrica de edifícios residenciais, comerciais e públicos corresponde a cerca de 48% do consumo faturado no país.

Analogamente a outros países, o foco inicial das ações tem sido em novos edifícios. Porém, existe um potencial de redução de consumo de energia muito maior em edifícios existentes, devido ao seu número representativo (97% do mercado imobiliário) e devido ao fato de muitos deles estarem operando há mais de 20 anos sem terem passado por nenhum tipo de intervenção (Engenharia e Arquitetura, 2011). De acordo com o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (PROCEL INFO, 2011), estima-se um potencial de redução de consumo de energia elétrica em 30% para os edifícios existentes e em 50% para os novos.

Com a crescente difusão dos empreendimentos sustentáveis, surgiu a necessidade de criação de sistemas de avaliação de desempenho destes empreendimentos, visto que, segundo Bueno e Rossignolo (2010) apud Silva (2003), “[...] mesmo os países que acreditavam dominar os conceitos de *green design* não possuíam meios para verificar quão ‘verdes’ eram de fato seus edifícios”. Nos anos 80, surgiram os primeiros sistemas de avaliação, sendo o britânico *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) o pioneiro. Posteriormente, foram criados outros sistemas, como por exemplo, o norte-americano *Leadership in Energy*

and Environmental Design (LEED), que atualmente é o método mais utilizado no mercado.

Do ponto de vista energético, a avaliação do desempenho de edifícios que almejam uma certificação pode ser feita via cumprimento de medidas prescritivas e/ou via realização de simulação computacional. Este último método prevê a comparação do desempenho dos modelos do edifício real (proposto) e do edifício de referência, o qual representa um patamar superior de desempenho para edifícios com características similares às do edifício real (tipo de utilização, zona climática, etc.). Logo, ao escolher a metodologia para tal fim, é importante que ela seja adequada à realidade climática, energética e legislativa do país em questão.

Neste sentido, diante dos questionamentos relacionados à aplicabilidade dos diferentes sistemas de certificação no contexto brasileiro, o objetivo do trabalho é comparar, segundo dois destes sistemas, quais níveis de desempenho caracterizam do ponto de vista energético, um edifício comercial de referência, em três cidades brasileiras.

2 METODOLOGIA

A fim de realizar a análise comparativa dos edifícios de referência, em um primeiro momento, foram analisados os aspectos gerais relativos aos sistemas de avaliação de desempenho de edifícios mais difundidos no contexto brasileiro.

Posteriormente, foi estudado como é feita a avaliação do desempenho energético, sob cada um dos sistemas, para então selecionar os dois que apresentam a metodologia mais clara e consistente no que diz respeito à definição de um edifício comercial de referência.

Escolhidos os sistemas de certificação, a etapa seguinte foi a definição de algumas características comuns aos edifícios de referência, no que diz respeito à geometria, orientação, perfis de ocupação e de operação de equipamentos e sistemas.

Então, caracterizaram-se os edifícios de referência segundo as especificações dos sistemas de certificação, para três cidades brasileiras. Assim, foram definidos elementos construtivos, área envidraçada, sistema de iluminação e de condicionamento de ar.

Finalmente, com o auxílio da ferramenta de simulação computacional IES-VE, os edifícios de referência foram modelados e seus perfis de consumo energético comparados.

3 SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO DE EDIFÍCIOS E O CONTEXTO BRASILEIRO

No Brasil, a regulamentação de desempenho energético e ambiental em edifícios ainda é insipiente: normalmente, os regulamentos municipais de construção remetem às exigências construtivas e projetuais para as normas técnicas brasileiras, as quais ainda não contemplam os aspectos citados (SHALDERS NETO, 2003).

No entanto, os empreendimentos sustentáveis já são uma realidade no país e as certificações são cada vez mais procuradas pelos empreendedores, visto que os benefícios deste processo atingem, positivamente, o meio ambiente, o empreendedor e as pessoas que irão usufruir da estrutura construída. Segundo Patrick Nossent, presidente da Certivéa, certificadora francesa, “A certificação é uma ferramenta que garante credibilidade à obra. Trata-se de uma assinatura verde para o mercado, e é atraente para banqueiros e construtoras” (Planeta Sustentável, 2011). Além de proporcionar vantagens em diversos aspectos, os sistemas de certificação são ferramentas essenciais à construção de um mercado imobiliário alinhado com as necessidades energéticas e ambientais da sociedade.

Em um primeiro momento, o processo de certificação torna a obra um pouco mais cara que as comuns durante sua concepção, devido à utilização de técnicas e tecnologias diferenciadas. No entanto, para uma obra certificada, o retorno financeiro é obtido em pouco tempo devido à redução dos gastos operacionais, com água e energia, por exemplo, e devido à venda rápida do empreendimento, visto que a certificação o valoriza, tornando-o um imóvel de fácil negociação.

No Brasil, os selos mais solicitados atualmente são o LEED, concedido pelo *Green Building Council* (GBC), o AQUA, concedido pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini (FCAV) e o PROCEL-Edifica, concedido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

De acordo com dados do GBC, o Brasil é o 4º país no ranking mundial de construções sustentáveis certificadas pelo LEED, com 37 empreendimentos (PROCEL INFO, 2011), atrás somente dos EUA, Emirados Árabes Unidos e China. A expectativa é que, ainda em 2011, o Brasil certifique outros 35 empreendimentos e inicie o processo de certificação de outras 300 construções (Planeta Sustentável,

2011), algumas delas relacionadas às grandes competições internacionais que terão sede no país, como a Copa de 2014 e as Olimpíadas de 2016. Dentre os empreendimentos a serem certificados estão prédios comerciais, residenciais, restaurantes, hospitais, laboratórios, estádios de futebol, ginásios esportivos, escolas, plantas industriais, centros de distribuição e logística, shoppings centers e empreendimentos públicos, apontando que o conceito de sustentabilidade está se consolidando em todo o ramo imobiliário brasileiro.

Nas próximas seções, segue uma breve descrição de três sistemas de avaliação de desempenho de edifícios utilizados no mercado brasileiro, aplicáveis a edifícios comerciais: LEED, AQUA e PROCEL-Edifica.

3.1 LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

3.1.1 Aspectos gerais

O sistema de certificação LEED, de origem norte-americana e de caráter voluntário, foi desenvolvido pela organização não-governamental *U.S.Green Building Council* (USGBC). Atualmente, é a metodologia de maior reconhecimento no mercado imobiliário internacional para padrões de sustentabilidade em edifícios, sejam eles novos ou existentes, de caráter comercial, institucional ou residencial.

“O objetivo da implementação desta certificação é promover práticas de projeto e de construção que sejam saudáveis, duráveis, econômicas e ambientalmente adequadas” (USGBC, 2008, tradução nossa).

A última versão do sistema de classificação para Novas Construções ou Grandes Renovações (USGBC, 2008), aprovada em novembro de 2008 e recentemente atualizada em maio de 2011, foi inicialmente desenvolvida para a avaliação de edifícios comerciais. Pode ser utilizada para avaliar um edifício inteiro ou mesmo partes deste e é composta pelas categorias e distribuição de pontos disponíveis apresentados na Tabela 3.1.

Cada uma das categorias é composta por créditos e para que os pontos sejam atribuídos aos mesmos, com base em uma lista de objetivos pré-definida, os pré-requisitos específicos à categoria devem ser cumpridos. Assim, o método de avaliação possui uma estrutura simples do tipo *checklist* (lista de verificação).

Tabela 3.1: Categorias e pontos disponíveis – LEED

Categoria de avaliação	Pontos disponíveis
Sítios sustentáveis	26
Eficiência da água	10
Energia e atmosfera	35
Materiais e recursos	14
Qualidade do ar interno	15
Inovação em projeto	6
Prioridade Regional	4
Totais de projeto	100
Certificado: 40-49 pontos	
Prata: 50-59 pontos	
Ouro: 60-79 pontos	
Platina: 80 pontos e acima	

De acordo com a Tabela 3.1, um edifício pode ser certificado segundo quatro níveis (Certificado, Prata, Ouro, Platina), de acordo com a pontuação total obtida. O sistema é baseado em 100 pontos, porém créditos de Inovação de Projeto ou de Prioridade Regional tornam possível a obtenção de até 10 pontos de bonificação.

A alocação de pontos entre os créditos, ou “ponderação dos créditos”, é baseada no potencial que cada crédito apresenta com relação a um conjunto de categorias de impactos, os quais são definidos como os efeitos que o projeto, a construção, a operação e a manutenção do edifício exercem sobre o meio-ambiente e sobre a saúde humana. Para quantificar cada um dos impactos, uma combinação de abordagens, tais como modelagem energética e avaliação do ciclo de vida, é utilizada.

No entanto, é importante destacar que “[...] a não ponderação dos pontos faz com que um edifício que tenha atingido uma boa pontuação em uma dada categoria e o mínimo de pontos em outra, possa obter uma boa classificação final, refletindo apenas o desempenho geral do edifício” (BUENO; ROSSIGNOLO, 2010 apud PATRICIO; GOUVINHAS, 2004).

O processo de obtenção da certificação LEED é feito, primeiramente, na plataforma *online* do *GBC International*. Devem ser preenchidos formulários específicos e enviada toda a documentação, como projetos, memórias de cálculo, relatórios e

registros fotográficos. Posteriormente, o GBC analisa toda a documentação e concede ou não a certificação.

3.1.2 Avaliação do desempenho energético

No Referencial LEED, os aspectos energéticos são abordados na categoria “Energia e atmosfera”. Nas seções 3.1.2.1 e 3.1.2.2 são apresentados, sinteticamente, os pré-requisitos, assim como os créditos associados a esta categoria.

3.1.2.1 Pré-requisitos

- **Pré-requisito 1 - Comissionamento básico do sistema de energia do edifício:** estabelece as atividades de comissionamento que devem ser realizadas pela equipe de projeto a fim de verificar que os sistemas energéticos estão instalados e calibrados para funcionar de acordo com os requisitos de projeto.
- **Pré-requisito 2 - Desempenho energético mínimo:** estabelece o nível mínimo de eficiência energética do edifício e de seus respectivos sistemas a fim de reduzir impactos ambientais e econômicos associados ao uso excessivo de energia.

Para a comprovação do desempenho energético, o Referencial propõe duas opções: uma através do cumprimento de medidas prescritas em guias de projeto da ASHRAE e outra através de simulação energética computacional. Ao utilizar este último método, o atendimento ao pré-requisito prevê a redução do consumo do edifício proposto em 10%, em termos de custo, com relação ao consumo do edifício de referência, determinado a partir do Apêndice G da norma ASHRAE 90.1-2007 (ASHRAE, 2007a).

- **Pré-requisito 3 - Gestão básica dos fluidos refrigerantes:** prevê a não-utilização de fluidos refrigerantes baseados em compostos CFC nos sistemas de base novos e, no caso de reutilização de sistemas existentes, prevê que deva ser estabelecido um plano de eliminação abrangente. O intuito é reduzir o impacto negativo destes fluidos na camada de ozônio estratosférico.

Após a comprovação de que todos os pré-requisitos acima descritos foram cumpridos, é feita a atribuição de pontos de acordo com o cumprimento dos créditos descritos abaixo na seção 3.1.2.2.

3.1.2.2 Créditos

▪ Crédito 1- Desempenho energético otimizado

Este crédito prevê a atribuição de pontos de acordo com o nível de desempenho energético alcançado além do mínimo estabelecido no pré-requisito 2.

No caso de utilização de simulação energética, os valores de percentagem de melhoria de desempenho que acumulam pontos variam de 12% (1 ponto) à 48% (19 pontos).

No caso dos caminhos prescritivos, é possível se obter apenas de 1 a 3 pontos.

▪ Crédito 2- Energia renovável local

Este crédito prevê a valorização das energias renováveis locais. Assim, a atribuição de pontos é realizada de acordo com a percentagem do custo de energia anual do edifício que é propiciado por energias renováveis. A pontuação varia de 1 ponto (1%) a 7 pontos (13%).

▪ Crédito 3- Comissionamento aprimorado

Este crédito prevê a atribuição de 2 pontos caso sejam implementadas atividades de comissionamento adicionais às previstas no pré-requisito 1.

▪ Crédito 4- Gestão aprimorada do fluido refrigerante

Este crédito tem por objetivo, assim como o pré-requisito 3, o controle ou a eliminação da utilização de fluidos refrigerantes que contribuam à destruição da camada de ozônio. Assim, a obtenção dos 2 pontos possíveis está relacionada à não-utilização destes fluidos refrigerantes ou à limitação do uso, nos sistemas de base, segundo um equacionamento apresentado no Referencial.

▪ **Crédito 5- Medição e verificação**

O intuito deste crédito é atribuir de 1 a 3 pontos aos projetos que apresentarem um plano de medição e verificação do desempenho do edifício e/ou de seus sistemas, cobrindo, no mínimo, o período de 1 ano. Este plano possibilita a previsão da contabilidade relacionada ao consumo de energia ao longo do tempo.

Além disso, no caso em que seja verificado que as economias de energia não estão sendo atingidas, deve ser previsto um procedimento de ação corretiva.

▪ **Crédito 6 - Energia verde**

Através da atribuição de 2 pontos, este crédito encoraja os empreendedores a engajarem-se, em no mínimo por 2 anos, a um contrato de energia renovável que forneça, no mínimo, 35% da energia elétrica do edifício. Essa “compra” de energia verde deve ser baseada na quantidade de energia consumida e não no custo da mesma.

3.2 AQUA - Alta Qualidade Ambiental

3.2.1 Aspectos gerais

A certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental), inspirada no referencial técnico francês *Démarche HQE* (Haute Qualité Environnementale), foi criada pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini (FCAV) em parceria com o Certivéa, instituição pertencente ao grupo CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment,) e com o Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP (RODRIGO; CARDOSO, 2010b). Em 2008, foi publicado o primeiro referencial, o qual contempla escritórios e edifícios escolares.

O selo AQUA merece destaque por ser a primeira metodologia de gestão de projeto oficialmente adaptada à realidade brasileira, cujo objetivo é a obtenção da qualidade ambiental de um empreendimento novo ou de uma reabilitação, seja ele do setor de serviços (escritórios e edifícios escolares) ou habitacional. Para tanto, o Referencial Técnico desta certificação é composto por dois instrumentos:

- Referencial do Sistema de Gestão do Edifício (SGE): define a qualidade ambiental pretendida para o empreendimento, assim como as estratégias para atingi-la. Além disso, permite controlar os processos operacionais relacionados às fases de programa, concepção e realização.
- Referencial da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE): avalia o desempenho arquitetônico e técnico do empreendimento sob 14 categorias, agrupadas em 4 famílias, conforme Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Categorias contempladas no QAE

Ecoconstrução	
Categoria 1	Relação do edifício com o seu entorno
Categoria 2	Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos
Categoria 3	Canteiro de obras com baixo impacto ambiental
Gestão	
Categoria 4	Gestão da energia
Categoria 5	Gestão da água
Categoria 6	Gestão dos resíduos de uso e operação do edifício
Categoria 7	Manutenção – permanência do desempenho ambiental
Conforto	
Categoria 8	Conforto higrotérmico
Categoria 9	Conforto acústico
Categoria 10	Conforto visual
Categoria 11	Conforto olfativo
Saúde	
Categoria 12	Qualidade sanitária dos ambientes
Categoria 13	Qualidade sanitária do ar
Categoria 14	Qualidade sanitária da água

A avaliação do QAE se dá de maneira evolutiva ao longo de uma estrutura em árvore composta de categorias-subcategorias-preocupações. Conforme mostra a Figura 3.1, as preocupações podem ser avaliadas segundo os níveis de desempenho Bom, Superior ou Excelente ou sob os níveis Atende ou Não atende. Após esta avaliação, recorre-se aos quadros de avaliação de desempenho das subcategorias que trazem as combinações mínimas de desempenhos a se obter nas diferentes preocupações. Finalmente, a avaliação da categoria segue a mesma lógica que a avaliação das

subcategorias, trazendo as combinações mínimas de desempenhos a se obter nas diferentes subcategorias.

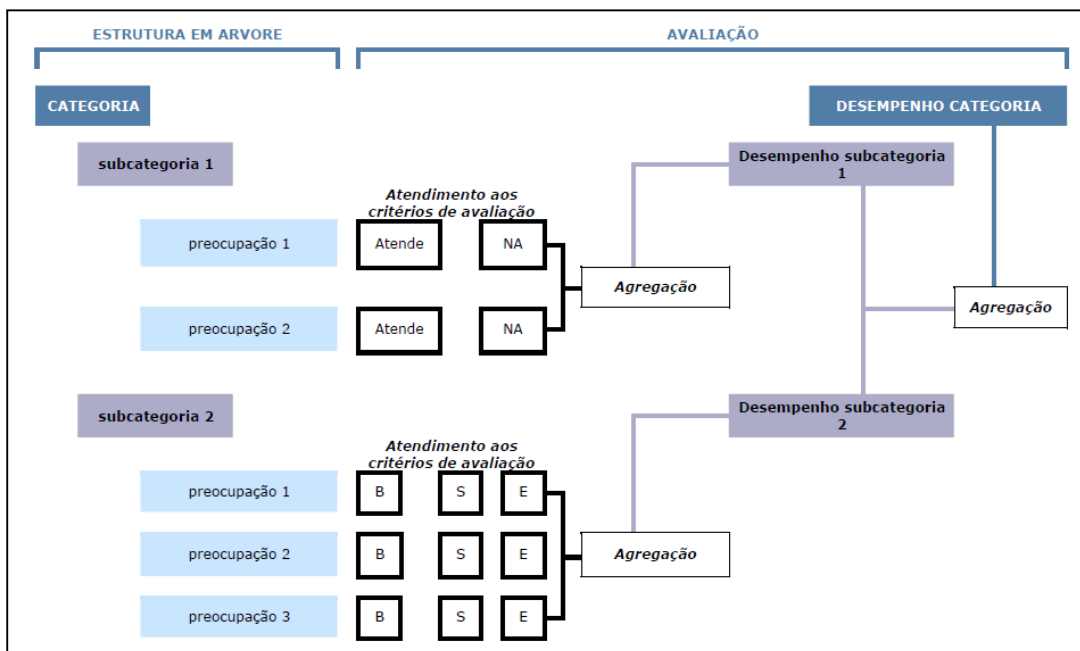


Figura 3.1: Estrutura em árvore para avaliação do QAE (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2007)

A atribuição da certificação está vinculada ao respeito, em todas as fases do empreendimento (programação, concepção e realização), do perfil ambiental proposto pelo empreendedor. Este perfil deve cumprir os níveis de desempenho Excelente em no mínimo 3 categorias, Superior em no mínimo 4 categorias, e Bom nas sete categorias restantes. A Fundação Vanzolini é quem emite o selo AQUA, através de auditoria realizada na própria obra.

A fase operacional do edifício não é contemplada no escopo de aplicação da certificação. No entanto, no Referencial constam elementos que permitem a avaliação do desempenho do empreendimento após sua entrega.

O AQUA não se limita a um sistema de avaliação. Em um sentido mais amplo, pode-se dizer que serve também como ferramenta de orientação aos empreendedores, visto que apresenta algumas sugestões de soluções em seus Referenciais.

O esquema apresentado na Figura 3.2 resume os componentes e etapas do processo de certificação.

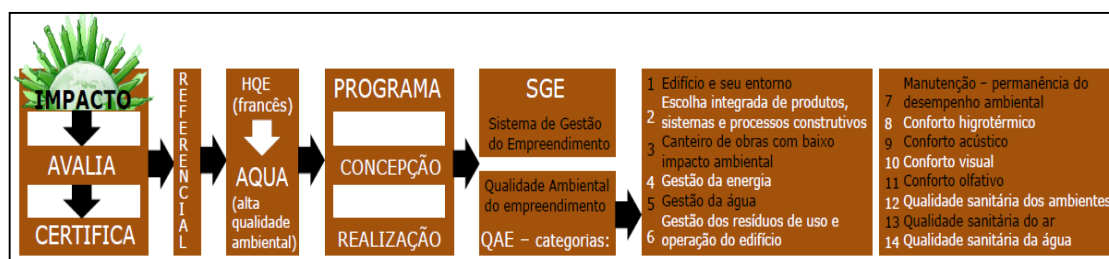


Figura 3.2: Componentes e etapas do sistema de certificação AQUA (RODRIGO; CARDOSO, 2009)

A grande vantagem apontada com relação à certificação AQUA é sua flexibilidade, a qual desencadeia um trabalho de desenvolvimento de soluções, de busca e de pesquisa. Diferentemente do LEED, que adota o método de *checklist*, não existem apenas alguns caminhos pré-determinados a serem seguidos para se obter a certificação. Assim, destaca-se a importância do SGE a fim de garantir “[...] a organização do processo que leva a boas soluções técnicas para a alta qualidade ambiental” (RODRIGO; CARDOSO, 2010a).

3.2.2 Avaliação do desempenho energético

No sistema de certificação AQUA, os aspectos energéticos são abordados no QAE, na categoria “Gestão da Energia”, que por sua vez, subdivide-se em duas subcategorias relacionadas à concepção arquitetônica e à energia primária e aos poluentes associados.

Nas seções 3.2.2.1 e 3.2.2.2, segue uma breve descrição das subcategorias e das respectivas preocupações, assim como os critérios de avaliação das mesmas.

3.2.2.1 Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica

Esta subcategoria destaca a contribuição de um bom projeto arquitetônico para a redução do consumo energético, principalmente nos usos relacionados à iluminação e ao condicionamento de ar.

Da análise da Tabela 3.3, nota-se que a preocupação 4.1.1 estabelece um limite quantitativo para o valor da transmitância térmica, em relação a um edifício-base.

Segundo o Referencial, o edifício-base constitui um modelo com a mesma orientação, áreas de piso, volumes e exigências funcionais do edifício proposto no empreendimento (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2007).

Tabela 3.3: Quadro de avaliação - Redução do consumo de energia por meio da concepção arquitetônica (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2007)

PREOCUPAÇÃO	INDICADOR	CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO	
		TÍTULO	NÍVEL
4.1.1. Melhorar a aptidão da envoltória para limitar desperdícios	Transmitância Térmica ponderada da envoltória U_{edif} ($W/m^2.K$)	Explicitação do valor absoluto da Transmitância Térmica: $U_{edif} < U_{edif-base}$	S
4.1.2. Melhorar a aptidão do edifício para reduzir suas necessidades energéticas	Necessidades energéticas do edifício Partido arquitetônico (implantação, porte, orientação e aspecto geral do edifício)	Explicitação do valor absoluto das necessidades energéticas totais e das necessidades energéticas por uso final ($C_{resfriamento}$, $C_{iluminação}$) Justificativa da otimização do partido arquitetônico em função do contexto e dos objetivos ambientais do empreendedor	S

Com relação à preocupação 4.1.2, devem ser apresentados valores quantitativos relativos às necessidades energéticas, ainda que estes valores não sejam comparados a valores do edifício-base, assim como justificativas das medidas de otimização do projeto arquitetônico.

3.2.2.2 Redução do consumo de energia primária e dos poluentes associados

Através desta subcategoria é feita a análise do consumo energético em termos de energia primária, total e por uso final, e dos poluentes associados ao consumo energético, segundo a perspectiva da mudança climática, isto é, é calculada a emissão de poluentes que contribuem à intensificação do efeito estufa. O Referencial também prevê a análise do impacto relacionado às chuvas ácidas e à produção de resíduos radioativos. No entanto, por falta de dados precisos, estas análises ainda não são realizadas na versão mais recente do Referencial.

Da análise do quadro de avaliação apresentado na Tabela 3.4, nota-se que a preocupação 4.2.1 estabelece um limite quantitativo para o coeficiente de consumo de energia primária (C_{ep}). Assim, a classificação segundo os níveis Bom, Superior e Excelente é atribuída de acordo com a comparação percentual do coeficiente do edifício proposto em relação ao coeficiente do edifício-base.

Tabela 3.4: Quadro de avaliação - Redução do consumo de energia primária e dos poluentes associados (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2007)

PREOCUPAÇÃO	INDICADOR	CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO	
		TÍTULO	NÍVEL
4.2.1. Reduzir o consumo de energia primária devida ao resfriamento, à iluminação, ao aquecimento de água, à ventilação e aos equipamentos auxiliares	Coeficiente de consumo de energia primária C_{ep} : - expresso em kWh/ano.m ² área útil; - calculado segundo simulação computacional do edifício proposto para o empreendimento	Explicitação do valor absoluto do coeficiente C_{ep} (kWh-ep/ano e kWh-ep/ano.m ² área útil) e detalhado por uso final (resfriamento; iluminação; aquecimento de água; ventilação; equipamentos auxiliares) $C_{ep} \leq C_{epref}$	B
		Explicitação do valor absoluto do coeficiente C_{ep} (kWh-ep/ano e kWh-ep/ano.m ² área útil) e detalhado por uso final (resfriamento; iluminação; aquecimento de água; ventilação; equipamentos auxiliares) $C_{ep} \leq 0,90 C_{epref}$	S
		Explicitação do valor absoluto do coeficiente C_{ep} (kWh-ep/ano e kWh-ep/ano.m ² área útil) e detalhado por uso final (resfriamento; iluminação; aquecimento de água; ventilação; equipamentos auxiliares) $C_{ep} \leq 0,80 C_{epref}$	E
4.2.2. Limitar os poluentes gerados pelo consumo de energia	Quantidades: - equivalentes de CO ₂ gerados pelo uso de energia	Cálculo da quantidade de CO ₂ gerada por diferentes modalidades de energia. Justificativa para a escolha energética correspondente ao melhor compromisso em vista da emissão de poluentes e dos objetivos ambientais do empreendedor	S
4.2.3. Utilizar energias renováveis locais	Emprego de modalidades energéticas locais de origem renovável	Explicitação da porcentagem de cobertura das necessidades pelas energias locais de origem renovável (detalhada por uso final energético). Justificativa da pertinência da modalidade	E

Para o cálculo do coeficiente do edifício-base consta, no Referencial, a seguinte nota: “O cálculo do C_{ep_ref} deverá ser feito por meio de uma simulação computacional do consumo do edifício-base ou de referência, conforme definido na nota (1) da preocupação 4.1.1. Deve-se fornecer uma descrição e memória de cálculo justificativa do modelo” (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2007). No entanto, na nota mencionada, para o edifício-base, não são especificados quais parâmetros devem ser utilizados com relação aos equipamentos, sistema de iluminação e sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC).

Com relação à preocupação 4.2.2, deve ser apresentada a quantidade equivalente de CO₂ gerada pelas diferentes modalidades energéticas. Ainda que o Referencial não apresente exigências com relação ao valor obtido, deve ser apresentada uma justificativa das escolhas energéticas em função da poluição causada pelas mesmas e em função dos objetivos ambientais do empreendedor.

Finalmente, a preocupação 4.2.3 estabelece que a contribuição percentual das energias locais, de origem renovável, sobre a necessidade energética deve ser explicitada, total e por uso final. Além disso, deve ser apresentada a justificativa da pertinência das modalidades escolhidas.

3.3 PROCEL-Edifica

3.3.1 Aspectos gerais

A Etiqueta de Eficiência Energética em Edificações, PROCEL Edifica, criada em 2003 pela parceria entre a Eletrobrás e o INMETRO, é um sistema de avaliação de desempenho energético de edifícios que faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Sua metodologia foi desenvolvida pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) e contou com a participação de diversas instituições, como o Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA) e o Instituto dos Arquitetos do Brasil (IAB) (Revista Área, 2010).

A avaliação do desempenho energético de edifícios comerciais, de serviços e públicos é feita utilizando-se o Regulamento Técnico de Qualidade (RTQ) (INMETRO, 2010), de caráter voluntário, aplicável a edifícios cuja área útil mínima

seja de 500 m² e/ou cuja tensão de abastecimento seja superior ou igual a 2,3 kV. São contemplados na avaliação os edifícios condicionados, parcialmente condicionados ou não-condicionados.

Para que um edifício seja elegível à etiquetagem, todos os pré-requisitos gerais presentes no Regulamento, referentes ao edifício como um todo, devem ser cumpridos obrigatoriamente.

Uma vez elegível, determina-se o nível de desempenho do edifício, que varia de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente), após a avaliação do desempenho de três sistemas que o compõem, a saber:

- Envoltória;
- Iluminação;
- Condicionamento de ar.

A classificação do nível de desempenho energético do edifício pode ser obtida via método prescritivo ou via simulação computacional. Ao utilizar este último método, o edifício proposto é certificado ao apresentar consumo energético inferior ao apresentado pelo edifício de referência correspondente à etiqueta pretendida.

Cabe ressaltar que a realização da simulação para comprovação do desempenho não dispensa o método prescritivo, necessário para a determinação de certos parâmetros utilizados por esta ferramenta.

Após a obtenção da classificação do edifício, é concedida a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), cujo formato é apresentado na Figura 3.3. A ENCE pode ser concedida em três fases: para o projeto do edifício, para o edifício pronto (após a obtenção do alvará de conclusão de obra) e para o edifício existente, após reforma.

É possível também se obter apenas a classificação de um (uns) sistema(s), no caso em que seja almejada a etiqueta parcial do edifício.

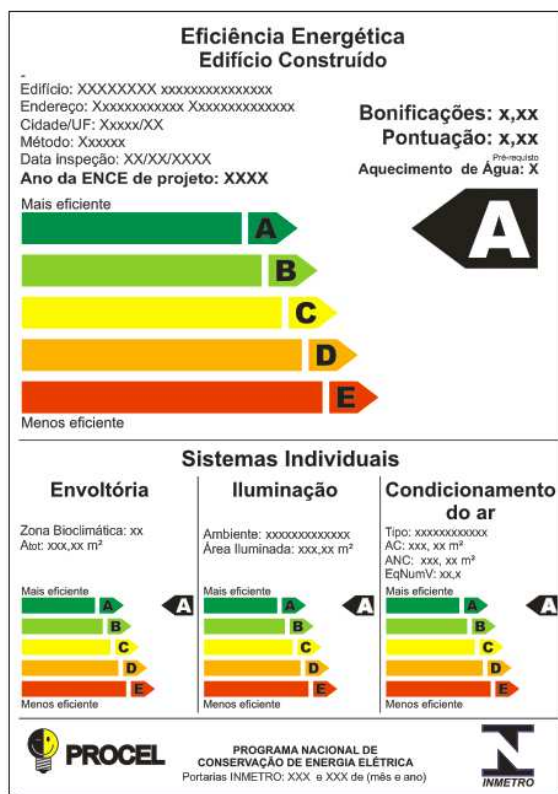


Figura 3.3: Exemplo de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) (INMETRO, 2010)

3.3.2 Avaliação do desempenho energético

Nas seções 3,4 e 5 do RTQ (INMETRO, 2010) são apresentados os procedimentos para determinação da eficiência da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar, respectivamente, assim como pré-requisitos específicos a cada um dos sistemas, de acordo com o nível de eficiência pretendido. Na seção 6, é apresentada a metodologia a ser adotada no caso de utilização de simulação computacional para a avaliação do edifício.

Nas seções adiante, são apresentados, de forma resumida, os pré-requisitos específicos referentes aos sistemas que compõem o edifício. Lembrando que, de acordo com o nível de eficiência pretendido, não é necessário que todos os pré-requisitos sejam cumpridos. Para maiores detalhes, consultar o RTQ (INMETRO, 2010).

3.3.2.1 Envoltória

- **Transmitância térmica:** são estabelecidos os limites máximos da transmitância térmica da cobertura e das paredes externas, de acordo com a Zona Bioclimática (ZB) em que se encontra o empreendimento.
- **Cores e absorvância das superfícies:** são estabelecidos os valores máximos de absorvância solar para os materiais de revestimentos externo das paredes e para a cobertura, de acordo com a ZB em que se encontra o empreendimento.
- **Iluminação zenital:** é estabelecido o valor máximo do fator solar dos vidros, de acordo com a percentagem de abertura zenital das coberturas.

3.3.2.2 Sistema de iluminação

Os pré-requisitos do sistema de iluminação estão relacionados ao controle do sistema:

- **Divisão dos circuitos:** define qual deve ser a disposição dos controles manuais de acionamento da iluminação dos ambientes.
- **Contribuição da luz natural:** define que deve haver um controle independente, manual ou automático, para o acionamento da fileira de luminárias mais próximas à janela, no caso de haver mais de uma. Assim, este pré-requisito prevê o aproveitamento da luz natural nos ambientes.
- **Desligamento automático do sistema de iluminação:** define que sistemas de iluminação de ambientes com uma determinada metragem devem possuir um dispositivo automático para o desligamento da iluminação, o qual pode ser programado, por exemplo, em função do horário ou de sensores de ocupação.

3.3.2.3 Sistema de condicionamento de ar

O único pré-requisito estabelecido diz respeito aos condicionadores de ar do tipo de janela e *splits*, prevendo que os mesmos devem estar permanentemente sombreados e ventilados adequadamente para não interferir em sua eficiência.

3.4 Questionamentos a respeito das certificações no contexto brasileiro

Atualmente, existe uma grande diversidade de metodologias utilizadas para avaliação do desempenho energético e ambiental de edifícios, assim como milhares de metros quadrados já certificados em mais de uma centena de países. Até 2006, só havia 500 empreendimentos sustentáveis no mundo e hoje já são registrados cerca de 10 mil edifícios e mais de 1 milhão de residências (EcoDesenvolvimento, 2011).

No entanto, ao escolher a metodologia para tal fim, é importante que ela seja adequada à realidade climática, energética e legislativa do país em questão. Por este motivo, atualmente, a aplicação de algumas destas metodologias no contexto brasileiro ainda gera dúvidas entre os empreendedores.

No Brasil, o *Green Building Council* Brasil (GBC-Brasil) vem disseminando no mercado o sistema de certificação norte-americano LEED, embora o mesmo tenha sido desenvolvido com foco nas peculiaridades e regionalismos de seu país de origem. Boa parte da pontuação total depende da obtenção de créditos relacionados à legislação, características climáticas e construtivas e fontes de energia que nem sempre condizem com a realidade brasileira. Ainda assim, a certificação tem sido amplamente utilizada para avaliar e certificar edifícios em grandes cidades brasileiras.

O GBC-Brasil trabalha na interpretação e adaptação desta metodologia ao mercado nacional, embora essa adaptação ainda não tenha sido concluída.

O AQUA, por sua vez, foi criado especificamente para construções estabelecidas no Brasil, levando em consideração a realidade do país. Aos poucos, o selo começa a ser implementado no Brasil, ainda que seu alto custo de processo dificulte sua ampla difusão (BUENO, ROSSIGNOLO, 2010). Ainda assim, a FCAV já emitiu o selo para 41 edifícios, em diferentes fases do empreendimento (PROCEL INFO, 2011).

O processo de adaptação do referencial às condições climáticas brasileiras ainda está ocorrendo, já que se pretende absorver os comentários pertinentes provenientes dos primeiros usuários dos Referenciais (RODRIGO; CARDOSO, 2010b).

No que diz respeito ao PROCEL-Edifica, sistema de avaliação que já emitiu etiquetas para cerca de 30 edifícios (PROCEL INFO, 2011), diferentemente das

certificações LEED e AQUA, que abordam diversos aspectos ambientais e de conforto dos ocupantes do edifício, seu foco está concentrado no desempenho energético do mesmo.

Conforme enunciado na seção 1, o objetivo do presente trabalho é comparar, segundo dois sistemas de certificação, quais níveis de desempenho caracterizam do ponto de vista energético, um edifício comercial de referência, em três cidades brasileiras.

A escolha dos sistemas foi baseada na análise da abordagem do desempenho energético segundo os três sistemas apresentados. O critério crucial de decisão foi o fato da metodologia AQUA não definir claramente quais parâmetros devem ser adotados com relação aos sistemas energéticos do edifício (sistema de iluminação e condicionamento de ar) para a definição de seu edifício comercial de referência.

De acordo com profissionais da área de certificação de empreendimentos, nos primeiros processos de certificação AQUA, foram adotados parâmetros que constam no PROCEL-Edifica a fim de caracterizar o edifício de referência. Diante disso, optou-se então, por comparar, via simulação computacional, o desempenho dos edifícios comerciais de referência do LEED e do PROCEL-Edifica.

4 MODELOS DOS EDIFÍCIOS DE REFERÊNCIA

Conforme mencionado na seção 2, os níveis de consumo energético dos edifícios de referência foram obtidos através da realização de simulação computacional, para três cidades brasileiras.

Nesta seção, são apresentados os critérios adotados para o estabelecimento dos modelos dos edifícios de referência, assim como o critério de escolha das cidades.

4.1 Escolha das cidades

A primeira etapa para a escolha das cidades foi a consulta ao Apêndice normativo B da ASHRAE 90.1-2007 (ASHRAE, 2007a), a fim de extrair a classificação das cidades brasileiras segundo as zonas bioclimáticas (ZB) apresentadas por esta norma. Posteriormente, recorreu-se à NBR 15220 – 3 (ABNT, 2005) para verificar qual a classificação das mesmas cidades segundo a norma brasileira de zoneamento bioclimático.

Da Tabela 4.1, nota-se que qualquer cidade classificada segundo a ASHRAE como ZB1 corresponde à ZB8 da NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Já as cidades classificadas como ZB2, segundo a ASHRAE, correspondem à ZB3 ou ZB4 da norma brasileira.

Tabela 4.1: Classificação bioclimáticas de cidades brasileiras

Cidade	ASHRAE 90.1-2007	NBR 15220-3
Belém	1	8
Fortaleza	1	8
Recife/Curado	1	8
Rio de Janeiro	1	8
Salvador/Ondina	1	8
Brasília	2	4
Porto Alegre	2	3
São Paulo	2	3

Assim, a fim de representar a ZB1 da ASHRAE e a ZB8 da NBR, foi escolhida, arbitrariamente, a cidade de Belém. Já para a ZB2 da ASHRAE foram escolhidas Brasília e São Paulo, visto que apresentam classificações distintas segundo a norma brasileira (ZB4 e ZB3 respectivamente).

4.2 Características do edifício comercial tipo

Visto que alguns aspectos que definem os edifícios de referência estão relacionados aos edifícios reais (edifícios propostos), foram estabelecidas algumas características comuns aos edifícios de referência, as quais corresponderiam a um edifício comercial típico.

4.2.1 Geometria

A geometria dos edifícios de referência foi baseada em um modelo de edifício comercial simples, constituído de 20 pavimentos de forma retangular, cuja fachada de maior dimensão está voltada para o Norte geográfico.

Cada pavimento, cujas dimensões adotadas são de 1.200,00 m² de área de piso (30,00 m x 40,00 m) e 3,00 m de pé direito livre, é dividido em duas zonas térmicas, a saber: área de escritório do tipo planta livre, climatizada, e área central de circulação, não-climatizada.

A Figura 4.1 apresenta o modelo tridimensional do edifício comercial tipo e a Figura 4.2 apresenta a delimitação e respectivas dimensões das zonas térmicas descritas.

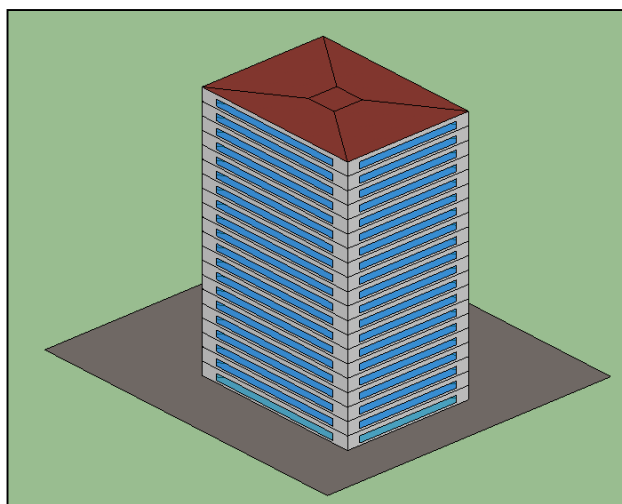


Figura 4.1: Modelo tridimensional do edifício comercial tipo

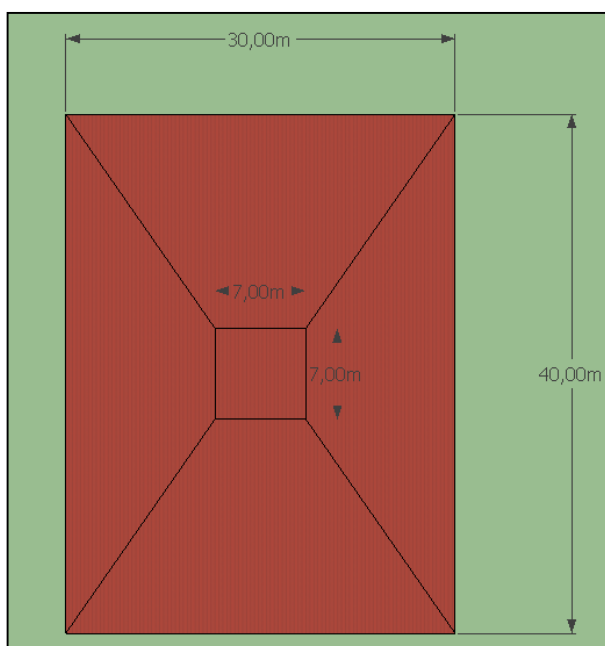


Figura 4.2: Dimensões das zonas térmicas - área de circulação (central) e área de escritório

4.2.2 Ganhos internos

4.2.2.1 Densidade de ocupação

A densidade de ocupação foi definida a partir da ASHRAE Fundamentals 2009 (ASHRAE, 2009). De acordo com a norma, para uma estação de trabalho individual dotada de computador, monitor, impressora e fax, a densidade de ocupação correspondente é de $11,6 \text{ m}^2/\text{pessoa}$.

A norma define ainda a taxa metabólica dos ocupantes de acordo com a atividade desempenhada, que no caso de atividade de escritório moderada é definida em 130 W/pessoa . Este é o valor ajustado para uma percentagem normal de homens, mulheres e crianças específica a esta atividade. O valor de potência térmica acima mencionado subdivide-se em parcelas sensível (75 W/pessoa) e latente (55 W/pessoa).

A densidade de ocupação e a taxa metabólica correspondente à área de circulação não foram estabelecidas, pois esta foi considerada como uma área de ocupação não-permanente (corredor).

4.2.2.2 Densidade de cargas internas

Segundo a ASHRAE Fundamentals 2009 (ASHRAE, 2009), a densidade de carga de equipamentos elétricos da área de escritório, correspondente à densidade de ocupação especificada na seção 4.2.2.1, é 10,8 W/m².

4.2.2.3 Perfis de ocupação e de operação de sistemas e equipamentos

Os perfis de ocupação e de operação dos sistemas e equipamentos da área de escritório foram retirados do manual da ASHRAE 90.1-2007 (ASHRAE, 2007b) e são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Perfil de ocupação e de operação de sistemas e equipamentos (ASHRAE, 2007b, tradução nossa).

Horário	% do número máximo de pessoas			% da potência máxima de iluminação/equip			Perfil de funcionamento do sistema de AVAC		
	2 ^a - 6 ^a	Sáb	Dom	2 ^a - 6 ^a	Sáb	Dom	2 ^a - 6 ^a	Sáb	Dom
0h- 5h	0	0	0	5	5	5	Deslig.	Deslig.	Deslig.
5h-6h	0	0	0	10	5	5	Deslig.	Deslig.	Deslig.
6h-7h	10	10	5	10	10	5	Ligado	Ligado	Deslig.
7h-8h	20	10	5	30	10	5	Ligado	Ligado	Deslig.
8h-9h	95	30	5	90	30	5	Ligado	Ligado	Deslig.
9h-10h	95	30	5	90	30	5	Ligado	Ligado	Deslig.
10h-11h	95	30	5	90	30	5	Ligado	Ligado	Deslig.
11h-12h	95	30	5	90	30	5	Ligado	Ligado	Deslig.
12h-13h	50	10	5	80	15	5	Ligado	Ligado	Deslig.
13h-14h	95	10	5	90	15	5	Ligado	Ligado	Deslig.
14h-15h	95	10	5	90	15	5	Ligado	Ligado	Deslig.
15h-16h	95	10	5	90	15	5	Ligado	Ligado	Deslig.
16h-17h	95	10	5	90	15	5	Ligado	Ligado	Deslig.
17h-18h	30	5	5	50	5	5	Ligado	Ligado	Deslig.
18h-19h	10	5	0	30	5	5	Ligado	Deslig.	Deslig.
19h-20h	10	0	0	30	5	5	Ligado	Deslig.	Deslig.
20h-21h	10	0	0	20	5	5	Ligado	Deslig.	Deslig.
21h-22h	10	0	0	20	5	5	Ligado	Deslig.	Deslig.
22h-23h	5	0	0	10	5	5	Deslig.	Deslig.	Deslig.
23h-24h	5	0	0	5	5	5	Deslig.	Deslig.	Deslig.

A área de circulação não apresenta os respectivos perfis detalhados no manual acima referido. Assim, como foi considerada uma zona de ocupação não permanente, sem

equipamentos e não climatizada, resta apenas definir o perfil de operação do sistema de iluminação. Então, foi considerado que este sistema apresenta mesmo perfil de funcionamento que o correspondente sistema da área de escritório.

4.2.3 Renovação de ar

A fim de garantir a qualidade do ar interior e a manutenção de níveis aceitáveis de poluentes nos ambientes condicionados, foi estabelecida, com base na norma NBR 16401-3 (ABNT, 2008), a taxa mínima de renovação de ar exterior.

A vazão eficaz, definida como a vazão de ar exterior na zona de respiração do espaço ventilado, é constituída de duas parcelas, uma relacionada às pessoas, outra à área ocupada e é calculada conforme a fórmula abaixo:

$$V_{ef} = P_z * F_p + A_z * F_a$$

Onde:

- V_{ef} é a vazão eficaz de ar exterior (l/s);
- F_p é a vazão por pessoa (l/s.pessoa);
- F_a é a vazão por área útil ocupada (l/s.m²);
- P_z é o número máximo de pessoas na zona de ventilação;
- A_z é a área útil ocupada pelas pessoas (m²).

No caso das áreas de escritório, considerando nível intermediário de vazão de ar externo para ventilação (nível 2), os valores estabelecidos pela NBR 16401-3 (ABNT, 2008) são:

- $F_p = 3,1$ l/s.pessoa;
- $F_a = 0,4$ l/s.m².

Conforme citado na seção 4.2.2.3, as áreas de circulação não são condicionadas e foram consideradas como corredores (não ocupadas permanentemente). Assim, não foi estabelecida a taxa mínima de renovação de ar para estas áreas.

4.3 Características específicas dos edifícios de referência

A seguir, são apresentadas as características específicas que definem os edifícios de referência segundo os dois sistemas de avaliação. A caracterização destes modelos remete ao Apêndice G da norma ASHRAE 90.1-2007 (ASHRAE, 2007a), no caso do LEED, e ao RTQ (INMETRO, 2010), no caso do PROCEL-Edifica.

Cabe destacar que o edifício de referência adotado a fim de representar o PROCEL-Edifica apresenta características correspondentes ao melhor nível de desempenho definido pelo RTQ (INMETRO, 2010), o qual corresponde à etiqueta “A”.

4.3.1 Orientação

- **LEED:** o Apêndice G (ASHRAE, 2007a) especifica que o desempenho do edifício de referência seja obtido através da simulação à orientação do edifício proposto e posteriormente a 90°, 180° e 270° desta. Então é feita a média dos resultados.
- **PROCEL-Edifica:** segundo o RTQ (INMETRO, 2010), a orientação do edifício de referência é igual à do edifício proposto.

No caso do presente estudo, o desempenho dos edifícios de referência foi avaliado apenas à orientação do edifício tipo, estabelecida na seção 4.2.1.

4.3.2 Envoltória

4.3.2.1 Materiais

- **LEED:** no Apêndice G (ASHRAE, 2007a) são especificados os tipos construtivos que devem ser adotados no edifício de referência, assim como os respectivos valores máximos de transmitância térmica das superfícies opacas (paredes externas, cobertura, piso, portas) e translúcidas (janelas), de acordo com a zona bioclimática. Para os vidros, ainda é especificado o limite máximo do fator solar e, para as coberturas, o limite máximo da refletividade.
- **PROCEL-Edifica:** o RTQ (INMETRO, 2010) especifica os valores máximos de transmitância térmica e da absorvância apenas para as paredes externas e coberturas, também de acordo com a zona bioclimática. No entanto, para as

superfícies translúcidas, os coeficientes não são explicitados numericamente, ainda que sejam especificados o tipo construtivo e fator solar do vidro de referência. Assim, considerando propriedades térmicas características de um vidro simples e de seu caixilho, foi definido o coeficiente de transmitância térmica da janela.

Finalmente, como no regulamento não há especificação a respeito do coeficiente máximo do piso, foi utilizado o valor estabelecido pelo Apêndice G (ASHRAE, 2007a).

Na Tabela 4.3 são apresentadas as propriedades dos elementos construtivos, para as três cidades, segundo as duas metodologias de avaliação.

Tabela 4.3: Propriedades das superfícies opacas e translúcidas dos edifícios de referência

	Belém		Brasília		São Paulo	
	PROCEL-Edifica	LEED	PROCEL-Edifica	LEED	PROCEL-Edifica	LEED
$U_{\text{parete}} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$	2,50	0,71	3,70	0,71	3,70	0,71
$U_{\text{cob}} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$	1,00	0,36	1,00	0,27	1,00	0,27
$U_{\text{piso}} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
$U_{\text{janela}} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$	6,91	6,81	6,91	4,26	6,91	4,26
SHGC	0,87	0,25	0,87	0,25	0,87	0,25
Absortância parede	0,50	0,70	0,50	0,70	0,50	0,70
Absortância cobertura	0,50	0,70	0,50	0,70	0,50	0,70

4.3.2.2 Percentual de abertura na fachada

- **LEED:** o Apêndice G (ASHRAE, 2007a) determina que a área envidraçada do edifício de referência seja igual à do edifício proposto ou que represente 40% da área de fachada, adotando-se o menor entre estes valores. Esta área deve ser distribuída em cada fachada na mesma proporção do edifício proposto.

Assim, foi adotado o percentual de abertura na fachada de 40%, correspondente ao máximo valor que este parâmetro pode apresentar para um edifício de referência. Além disso, considerou-se que o percentual em cada uma das fachadas também corresponde a 40%.

PROCEL-Edifica: o percentual de abertura na fachada do edifício de referência é calculado utilizando-se as fórmulas apresentadas no RTQ (INMETRO, 2010) para o cálculo do índice de consumo (IC).

Através destas fórmulas, específicas à zona bioclimática e à área de projeção do edifício, é possível se obter o máximo índice de consumo que a envoltória de classificação “A” pode apresentar, assim como o máximo percentual de abertura na fachada correspondente ao índice obtido. O método de cálculo resumidamente apresentado encontra-se detalhado no RTQ (INMETRO, 2010).

Visto que as zonas bioclimáticas apresentam diferentes fórmulas entre si para o cálculo do IC, obtiveram-se diferentes percentuais de abertura na fachada para as três cidades.

Analogamente ao edifício de referência do LEED, a área envidraçada deve ser distribuída em cada fachada na mesma proporção do edifício proposto. Assim, foi considerado que o percentual em cada uma das fachadas corresponde ao percentual total obtido.

Na Tabela 4.4 constam os valores obtidos através do cálculo acima mencionado, assim como os valores especificados para o edifício de referência do LEED.

Tabela 4.4: Percentual de abertura na fachada dos edifícios de referência

	Belém		Brasília		São Paulo	
	PROCEL-Edifica	LEED	PROCEL-Edifica	LEED	PROCEL-Edifica	LEED
PAF	18,1%	40,0%	14,7%	40,0%	18,1%	40,0%

4.3.3 Sistema de iluminação

O Apêndice G (ASHRAE, 2007a), assim como o RTQ (INMETRO, 2010), estabelece que a avaliação do sistema de iluminação seja feita através de um dos seguintes métodos:

- Método da área do edifício: avalia de forma conjunta todos os ambientes do edifício, atribuindo um único valor limite para a densidade de potência de iluminação. Segundo o RTQ, “este método deve ser utilizado para edifícios

com até três atividades principais, ou para atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício” (INMETRO, 2010);

- Método das atividades do edifício: avalia, separadamente, os ambientes do edifício e deve ser utilizado quando o método anterior não é aplicável.

Visto que, de acordo com a seção 4.2.1, foram definidas duas zonas relacionadas a atividades distintas para os edifícios de referência, o método utilizado para avaliação do sistema de iluminação é o das atividades.

Embora o método seja comum às duas certificações, os valores limites estabelecidos para as densidades de potência de iluminação diferem entre si, conforme mostra a Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Densidade de potência de iluminação (DPI) dos sistemas de referência

Atividade	DPI [W/m ²] - LEED	DPI [W/m ²] - PROCEL-Edifica
Escritório (planta livre)	12,0	10,5
Circulação	5,0	7,1

4.3.4 Sistema AVAC

LEED: O Apêndice G (ASHRAE, 2007a) estabelece que o sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) de referência seja determinado de acordo com o tipo de uso do edifício, número de pavimentos, área condicionada e fonte energética do sistema.

No caso do edifício comercial tipo, definido na seção 4.2, de uso não-residencial e de mais de 5 pavimentos, o sistema de referência é central do tipo volume de ar variável (VAV) dotado de *fancoils* e reaquecimento terminal. O efeito de resfriamento do ar é proporcionado por água gelada e o de aquecimento por resistência elétrica.

Para a produção de água gelada são previstos chillers elétricos de condensação à água. O número de equipamentos e o tipo de compressor são definidos de acordo com a carga de pico do edifício, obtida por meio das simulações de dimensionamento. Definidas as características dos equipamentos, adotam-se os níveis de eficiência estabelecidos na seção 6 da norma ASHRAE 90.1-2007 (ASHRAE, 2007a), com os quais os chillers devem ser modelados.

O Apêndice G (ASHRAE, 2007a) também especifica que os equipamentos devem ser super dimensionados em 15%, no caso de resfriamento e 25%, no caso de aquecimento, com relação às capacidades obtidas por meio das simulações de dimensionamento. Além disso, as horas não atendidas pelo sistema não devem ultrapassar 300 horas no ano.

Outras características do sistema são descritas a seguir:

- Água gelada:
 - o Temperatura: a água gelada deve ser fornecida aos *fancoils* a 6,7°C e retornar a 13,3°C;
 - o Redefinição da temperatura: a temperatura de fornecimento da água gelada deve ser redefinida em função da temperatura de bulbo seco externa, utilizando o seguinte critério: 6,7°C a 26,7°C e acima deste valor; 12,2°C a 15,6°C e abaixo deste valor; ajustada linearmente entre 6,7°C e 12,2°C para temperaturas entre 26,5°C e 15,6°C;
 - o Bombas: a potência da bomba de água gelada deve ser de 349 kW/(m³/s). Quando a carga de resfriamento do sistema for igual ou superior a 1055 kW, devem ser utilizadas duas bombas, sendo que a do circuito secundário é dotada de um variador de frequência.
- Rejeição de calor:
 - o Torre de resfriamento: o dispositivo de rejeição de calor deve ser uma torre de resfriamento com ventilador axial de duas velocidades. A temperatura de projeto de fornecimento da água no condensador deve ser de 29,4°C ou a 5,6°C de diferença da temperatura de bulbo úmido de projeto, a qual for menor. A variação de temperatura no condensador deve ser de 5,6°C. Quando o clima permitir, a torre deve ser controlada para que a temperatura da água em sua saída seja de 21°C.
 - o Bomba: a potência da bomba de água do condensador deve ser de 310 kW/(m³/s).

- Ar:
 - o Vazão: a vazão de ar de projeto do sistema de referência deve ser definida de acordo com a vazão que atende à carga térmica dos ambientes, calculada com base em uma diferença de 11°C entre o ar de insuflamento e o ar ambiente, ou na vazão necessária para a ventilação ou renovação, a qual for maior.
 - o Redefinição da temperatura: a temperatura de insuflamento do ar deve ser redefinida em 2,8°C sob a condição de carga mínima de resfriamento.
 - o Recuperação de calor: ventiladores do sistema que possuam, individualmente, uma capacidade de insuflamento de ar maior ou igual a 2,4 m³/s e cuja composição do ar de insuflamento seja maior ou igual a 70% de ar externo devem possuir um sistema de recuperação de calor com, no mínimo, 50% de efetividade.
 - o Economizadores: estes dispositivos devem, ou não, ser incluídos nos sistemas de referência, de acordo com a zona bioclimática. No caso do sistema VAV e das ZB 1 e 2, sua utilização não é obrigatória.
 - o Ventiladores: os ventiladores de insuflamento e de retorno de ar devem operar continuamente quando os espaços estiverem ocupados. Além disso, devem ser ligados/desligados quando os espaços não estiverem ocupados, caso seja prevista a retirada da carga térmica correspondente a estes horários.

No caso do sistema do tipo VAV, os ventiladores de insuflamento devem possuir variador de frequência.

PROCEL-Edifica: Na seção 6.2.1 do RTQ (INMETRO, 2010), é especificada a metodologia para a modelagem da envoltória e dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar para fins de simulação. No caso em que se pretende obter a etiqueta total do edifício, o sistema de AVAC do edifício de referência, adotado para a realização da simulação, deve ser o mesmo que o do edifício proposto, com valores de eficiência de seus equipamentos estabelecidos de acordo com o método prescritivo.

Visto que, no presente estudo, a definição do edifício de referência não está baseada em um edifício existente, foi adotada a hipótese de que o sistema de referência corresponde ao sistema adotado no caso em que se pretende obter as etiquetas parciais, de envoltória e de iluminação, por exemplo. Nesta condição, o sistema de AVAC deve ser simulado conforme o tipo, características e níveis de eficiência especificados no RTQ (INMETRO, 2010).

No caso do edifício comercial tipo, que apresenta área condicionada superior a 4.000 m², o sistema modelado seria do tipo água gelada com caixas VAV e condensação a água, assim como para o sistema de referência definido pelo Apêndice G da norma 90.1-2007 (ASHRAE, 2007a). Da análise das demais características especificadas, conclui-se que as mesmas foram definidas com base na norma acima citada, até mesmo numericamente.

Do exposto, foi adotado que o sistema de referência do PROCEL-Edifica é o mesmo que o estabelecido pelo Apêndice G (ASHRAE, 2007a), diferenciando-se do mesmo apenas pelas especificações quanto aos níveis de eficiência dos equipamentos.

5 SIMULAÇÃO

O *software* utilizado para a realização das simulações foi o *IES Virtual Environment* (IES-VE), cuja primeira grande versão comercial foi lançada no mercado no fim da década de 90 (*Integrated Environmental Solutions*, 2011).

As ferramentas disponibilizadas pelo ambiente virtual permitem a análise do desempenho termo-energético de edifícios sob diferentes estratégias de projeto (sistemas, elementos construtivos, etc.), dentre elas estratégias que utilizam energias renováveis e/ou apresentam reduzido impacto ambiental, tais como cogeração, painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas.

Devido a este diferencial e à facilidade de utilização e visualização de resultados, o IES-VE tem sido utilizado por projetistas e consultores que atuam na área da construção civil, em sua maioria envolvida no projeto, avaliação e certificação de edifícios “verdes”.

As características dos edifícios de referência necessárias à realização da simulação foram apresentadas anteriormente na seção 4. Na presente seção, são apresentados os demais parâmetros relacionados à simulação.

5.1 Período de avaliação

A simulação dos edifícios de referência foi feita considerando-se o período de um ano (8760 horas).

5.2 Dias típicos de projeto

Os dias típicos de projeto mensais foram definidos com base no banco de dados climáticos da ASHRAE, versão 4.0, disponíveis no IES-VE. O dia típico de verão foi definido considerando-se que a temperatura externa de projeto é excedida em apenas 0,4% no período de um ano.

5.3 Dados climáticos

Os dados climáticos das três cidades escolhidas foram extraídos dos arquivos climáticos elaborados pelo *International Weather for Energy Calculation* (IWEC), os quais representam os resultados do projeto de pesquisa 1015 da ASHRAE (HAGEL,

2005). Este projeto consistiu na análise de dados climáticos registrados hora a hora, ao longo de 18 anos, pelo *US National Climatic Data Center*.

Alguns dos dados disponíveis nestes arquivos são: temperaturas, pressão atmosférica, umidade, intensidade e direção dos ventos, intensidade de radiação, altitude e azimuth solar e nebulosidade.

5.4 Setpoint e condição de insuflamento

Para os edifícios de referência das três cidades, o *setpoint* do sistema de condicionamento de ar foi definido em 24,0°C e umidade relativa de 60%. A fim de garantir esta condição, o ar, em vazão adequada, é insuflado a 12,8°C e 90% de umidade relativa.

Vale ressaltar que no presente estudo, o sistema de condicionamento de ar foi considerado operante apenas para cargas de resfriamento.

6 RESULTADOS E ANÁLISES

6.1 Simulações de dimensionamento

Conforme mencionado na seção 4.3.4, o número de chillers e os respectivos tipos de compressores dos edifícios de referência são definidos de acordo com a carga de pico do edifício, obtida via simulações de dimensionamento.

O Apêndice G (ASHRAE, 2007a) especifica que, para cargas de pico superiores a 2110 kW, caso em que se enquadram os edifícios de Belém, devem ser utilizados, no mínimo, dois chillers com compressores centrífugos, dimensionados igualmente, adicionando mais equipamentos à medida que a carga em cada um dos chillers ultrapasse 2813 kW. Já para cargas entre 1055 kW e 2110 kW, caso em que se enquadram os edifícios de Brasília e de São Paulo, devem ser utilizados dois chillers com compressores parafuso, dimensionados igualmente.

Finalmente, os níveis mínimos de eficiência, ou coeficiente de desempenho (COP), com os quais os chillers foram modelados foram extraídos da norma ASHRAE 90.1-2007 (ASHRAE, 2007a), no caso do LEED, e do RTQ (INMETRO, 2010), no caso do PROCEL-Edifica.

A Tabela 6.1 resume as características dos chillers dos edifícios de referência.

Tabela 6.1: Características dos chillers dos edifícios de referência

	PROCEL-Edifica				LEED			
	Carga pico [kW]	Nº chillers	Tipo	COP	Carga pico [kW]	Nº chillers	Tipo	COP
Belém	2388	2	Centrífugo	6,1	2318	2	Centrífugo	6,1
Brasília	1468	2	Parafuso	5,2	1350	2	Parafuso	4,9
São Paulo	1877	2	Parafuso	5,2	1649	2	Parafuso	4,9

6.2 Cargas térmicas

Após a realização das simulações de dimensionamento, as quais utilizam dados dos dias típicos de projeto para dimensionar os equipamentos do sistema, foram realizadas as simulações anuais, as quais utilizam os dados contidos nos arquivos climáticos do IWECC. Destas simulações, obtiveram-se os resultados apresentados no gráfico da Figura 6.1.

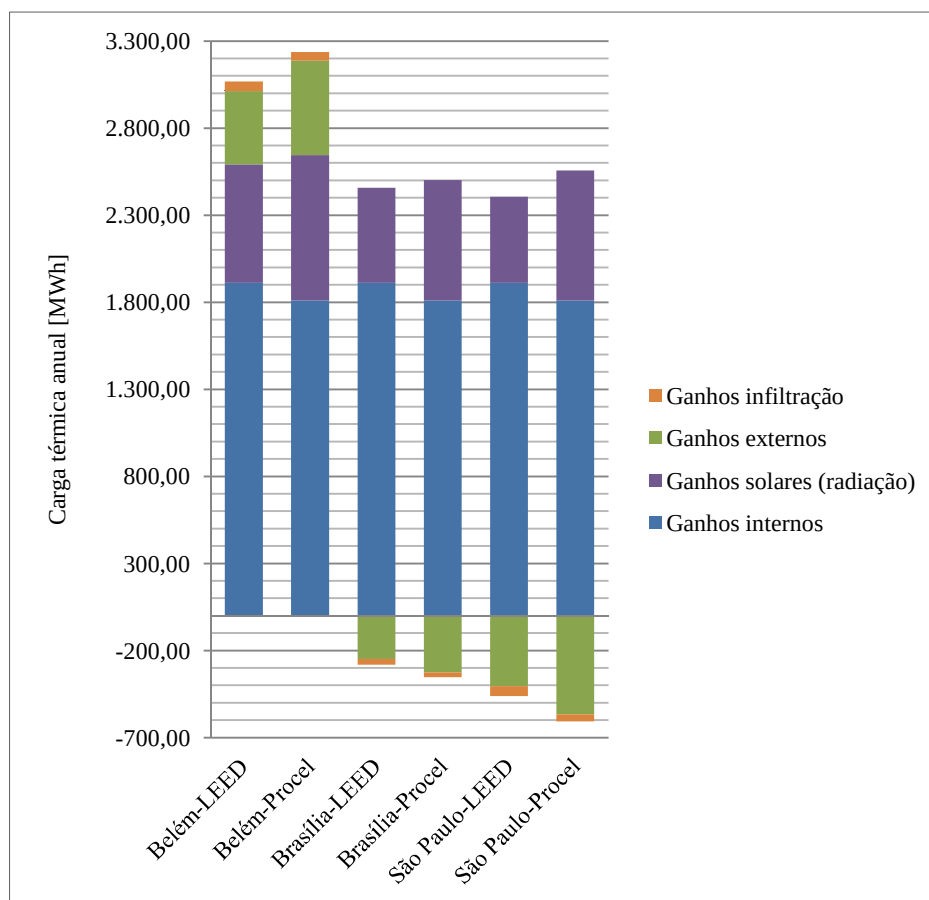


Figura 6.1: Cargas térmicas anuais dos edifícios de referência

6.2.1 Ganhos internos

Da análise da Figura 6.1, conclui-se que, para as três cidades e para todos os edifícios, os ganhos internos (pessoas, sistema de iluminação e equipamentos) representam a maior parcela de contribuição à carga térmica dos ambientes condicionados. Além disso, nota-se que estes ganhos são maiores para os edifícios LEED.

Sabendo que os edifícios de ambas as certificações foram definidos considerando-se mesma densidade de ocupação e de carga interna e mesmos perfis de ocupação e operação de sistemas e equipamentos, a diferença dos ganhos internos é explicada pela densidade de potência de iluminação (DPI) da área de escritório, definida em 12 W/m² para o LEED e em 10,5 W/m² para o PROCEL-Edifica.

6.2.2 Ganhos solares

No que diz respeito aos ganhos solares, devidos apenas à radiação, os edifícios PROCEL-Edifica apresentam maiores ganhos que os edifícios LEED, para as três cidades, ainda que os percentuais de abertura na fachada dos primeiros sejam menores que os dos últimos. Assim, conclui-se que a diferença dos ganhos se deve ao fator solar dos vidros, definidos em 0,87 para o PROCEL-Edifica e em 0,25 para o LEED.

6.2.3 Ganhos externos

Com relação aos ganhos externos, nota-se que, no caso de Belém, estes ganhos apresentam valores positivos para ambos os edifícios. Isto é, como na maior parte do ano a temperatura externa é superior à temperatura de *setpoint* dos ambientes condicionados, a condução de calor se dá no sentido do ambiente externo para o ambiente interno. Desta forma, visto que o edifício PROCEL-Edifica apresenta elementos construtivos com maiores coeficientes de transmitância térmica, recebe maior carga por condução que o edifício LEED.

Já no caso das cidades de Brasília e São Paulo, os ganhos externos apresentam valores negativos, visto que em grande parte do ano a temperatura externa é inferior à temperatura de *setpoint* dos ambientes condicionados. Assim, a condução de calor se dá no sentido do ambiente interno para o ambiente externo. Desta forma, visto que o edifício PROCEL-Edifica apresenta elementos construtivos com maiores coeficientes de transmitância térmica, perde mais calor por condução que o edifício LEED.

6.2.4 Ganhos devidos à infiltração de ar

Finalmente, os ganhos devidos à infiltração de ar não apresentam grandes discrepâncias entre os edifícios PROCEL-Edifica e LEED, para as três cidades. Estes ganhos representam as parcelas menos significativas com relação à carga térmica.

6.2.5 Ganhos totais

Analisando os ganhos em sua totalidade, observam-se as seguintes situações para as três cidades:

- **Belém:** Ainda que os ganhos solares e externos do edifício PROCEL-Edifica sejam, respectivamente, 22,8% e 28,8% superiores aos mesmos ganhos do edifício LEED, os ganhos internos do último são 5,6% superiores aos do PROCEL-Edifica. Visto que, em termos absolutos os ganhos internos são mais representativos, as cargas térmicas de ambos os edifícios se aproximam, sendo a carga do edifício PROCEL-Edifica 5,8% superior à do LEED.
- **Brasília e São Paulo:** Ainda que os ganhos solares dos edifícios PROCEL-Edifica sejam 26,7% (Brasília) e 50,9% (São Paulo) superiores aos mesmos ganhos dos edifícios LEED, os ganhos internos destes são 5,6% superiores aos do PROCEL-Edifica, para ambas as cidades. Além disso, conforme discutido anteriormente, os edifícios LEED trocam menos calor com o meio externo e têm, ao longo do ano, perda por condução 23,8% (Brasília) e 28,6% (São Paulo) menores que os edifícios PROCEL-Edifica. No entanto, analogamente ao observado para Belém, em termos absolutos as cargas térmicas se aproximam. No caso de Brasília, a carga do edifício LEED é 1,0% superior à do PROCEL-Edifica e no caso de São Paulo, a carga do edifício PROCEL-Edifica é 0,6 % superior à do LEED.

6.3 Consumo energético

No gráfico da Figura 6.2, são apresentados os resultados obtidos para o consumo energético dos edifícios de referência.

6.3.1 Sistemas de AVAC

A conclusão direta que pode se extrair da Figura 6.2 é que o sistema de AVAC, constituído pelos resfriadores, ventiladores, torres de resfriamento e bombas, representa o uso final que mais consome energia nos edifícios, seguido do sistema iluminação e dos equipamentos. Esta situação se verifica nas três cidades.

Ao comparar os perfis entre as cidades, nota-se que os edifícios que apresentam maior consumo energético para o sistema de AVAC, em termos absolutos, localizam-se na cidade de Belém. Este resultado já era esperado, pois ainda que os chillers de seus sistemas sejam mais eficientes que os das outras cidades, diferentemente das cidades de Brasília e de São Paulo, as condições climáticas de Belém refletem em ganhos externos positivos ao longo do ano e são estes ganhos de carga térmica que, justamente, contribuem a um consumo energético anual mais elevado.

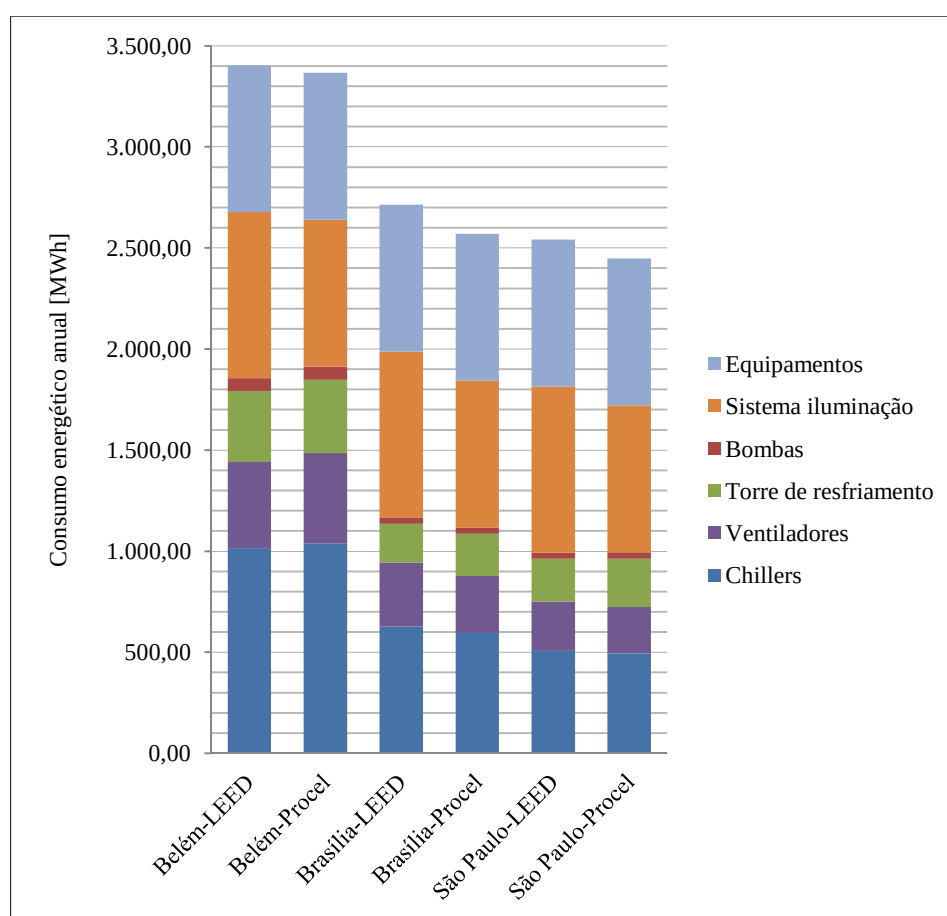


Figura 6.2: Consumo energético anual dos edifícios de referência

No caso da cidade de Belém, o consumo dos chillers é 2,4% maior no caso do edifício PROCEL-Edifica. Este resultado é condizente, visto que este edifício possui carga térmica 5,8% superior ao edifício LEED e sabendo que os níveis de eficiência dos chillers de ambos os edifícios apresentam os mesmos valores. Considerando todos os equipamentos do sistema de AVAC, o consumo do PROCEL-Edifica é 3,1% superior ao do LEED.

Já para a cidade de Brasília, os chillers do edifício LEED consomem 5,3% a mais de energia que os do PROCEL-Edifica, apesar da carga térmica do primeiro ser apenas 1% superior à do último. Isto pode ser explicado devido ao fato dos níveis de eficiência dos chillers destes edifícios apresentarem valores diferentes entre si (4,90 para o LEED e 5,12 para o PROCEL-Edifica). Considerando todos os equipamentos do sistema de AVAC, o consumo do LEED é 4,5% superior ao do PROCEL-Edifica.

Finalmente, no caso da cidade de São Paulo, os chillers do edifício LEED consomem 2,6% a mais de energia que os do PROCEL-Edifica, ainda que a carga térmica do último seja ligeiramente superior à do primeiro (0,6%). Analogamente à cidade de Brasília, esta diferença se deve ao fato dos chillers destes edifícios apresentarem valores diferentes entre si (4,90 para o LEED e 5,12 para o PROCEL-Edifica). Considerando todos os equipamentos do sistema de AVAC, pode-se dizer que os edifícios apresentam níveis de consumo equivalente.

6.3.2 Sistema de iluminação

Conforme apresentado na seção 4.3.3, os valores de densidade de potência de iluminação (DPI) estabelecidos pelos sistemas de certificação diferem, tanto para as áreas de escritório, quanto para as áreas de circulação. Apesar de o LEED especificar menor DPI para a zona de circulação (5,0 W/m² contra 7,1 W/m² para o PROCEL-Edifica), o valor especificado para a zona de escritório, cuja área é muito mais representativa, é maior (12,0 W/m² contra 10,5 W/m² para o PROCEL-Edifica). Assim, o consumo do sistema de iluminação do edifício LEED é 13,1% superior ao do PROCEL-Edifica, para as três cidades.

6.3.3 Equipamentos

De acordo com a seção 4.2.2.2, os edifícios de referência de ambas as certificações apresentam mesma densidade de carga interna (DCI) de equipamentos, assim como mesmo perfil de operação dos mesmos. Assim, todos os edifícios, para as três cidades, apresentam níveis de consumo equivalentes.

6.3.4 Distribuição do consumo por uso final

Conforme apresentado nas seções 6.3.1 a 6.3.3, a diferença mais relevante em termos de consumo final entre os edifícios LEED e PROCEL-Edifica diz respeito ao sistema de iluminação, calculado em 13,1% superior para os edifícios LEED das três cidades.

No entanto, ao observar a diferença percentual do consumo total dos edifícios, esta diferença se reduz consideravelmente. Isto ocorre, pois o sistema mais representativo em termos de consumo energético é o de AVAC e a diferença percentual deste consumo final entre os edifícios LEED e PROCEL-Edifica não ultrapassa 5%. Já o consumo de equipamentos é equivalente para todos os edifícios de todas as cidades.

Em termos absolutos, os edifícios LEED apresentam maior consumo energético anual. Já ao analisar a distribuição de uso final de energia, nota-se que, em termos percentuais, os perfis dos edifícios de uma mesma cidade são semelhantes. As Figura 6.4, Figura 6.4 e Figura 6.5 ilustram esta situação.

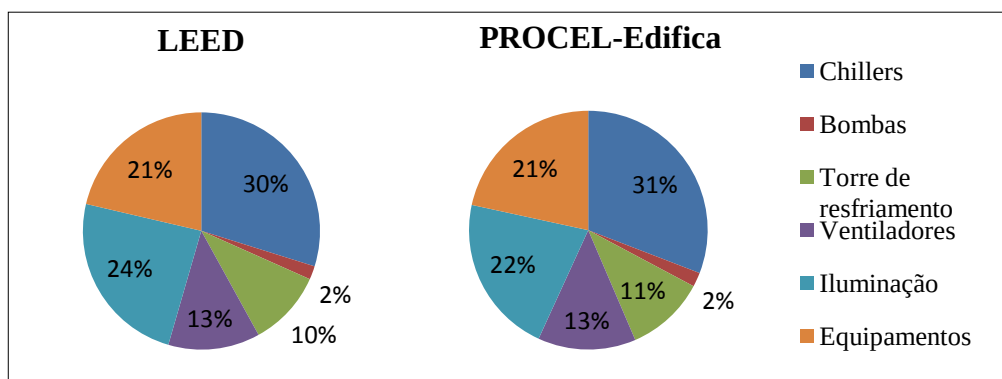


Figura 6.3: Distribuição do consumo energético por uso final - Belém

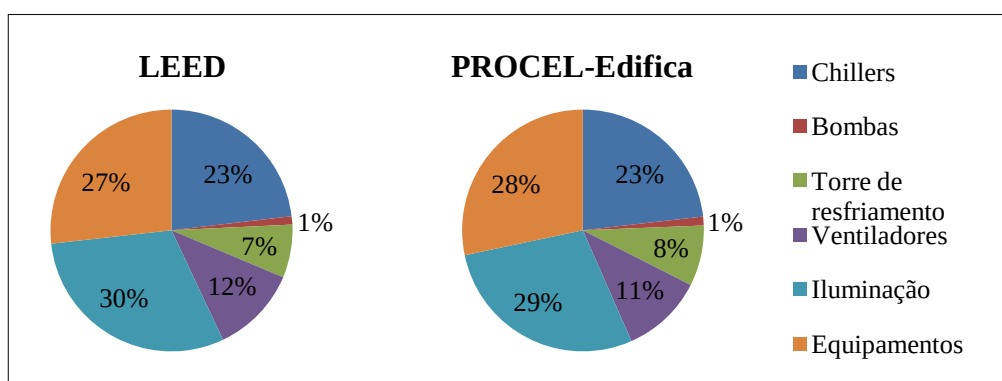


Figura 6.4: Distribuição do consumo energético por uso final – Brasília

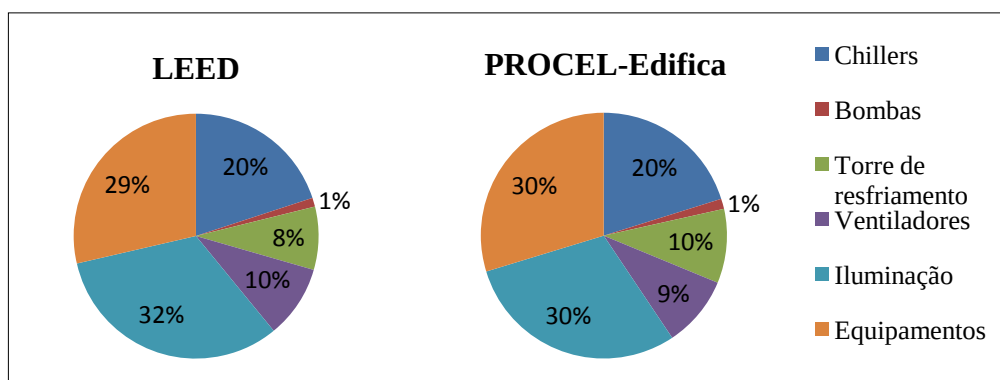


Figura 6.5: Distribuição do consumo energético por uso final – São Paulo

6.4 Custo energético

A Tabela 6.2 apresenta o custo anual energético dos edifícios de referência, considerando-se a tarifação de energia elétrica estabelecida pela CELPA (CELPA, 2011), no caso de Belém, pela CEB (CEB, 2011), no caso de Brasília e pela AES Eletropaulo (AES Eletropaulo, 2011), no caso de São Paulo.

No presente estudo, adotou-se a tarifa horo-sazonal azul, a qual se apresentou mais atrativa monetariamente para o subgrupo A4 (alta e média tensão) e para o perfil de uso dos edifícios de referência.

Tabela 6.2: Custo energético anual dos edifícios de referência

	Belém		Brasília		São Paulo	
Tarifa azul	PROCEL-Edifica	LEED	PROCEL-Edifica	LEED	PROCEL-Edifica	LEED
(R\$/ano)	394.543	396.655	611.882	643.132	414.519	429.572

Da análise dos resultados, conclui-se que a diferença percentual do custo energético entre os edifícios LEED e PROCEL-Edifica apresenta mesma ordem de grandeza que a diferença percentual apresentada em termos de consumo energético. Este resultado era esperado, visto que os edifícios apresentam distribuição do consumo equivalente ao longo do ano e do dia.

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fim de comparar o desempenho energético dos edifícios comerciais de referência, definidos segundo dois sistemas de certificação difundidos no mercado imobiliário brasileiro, recorreu-se ao método da simulação computacional, realizada no *software* IES-VE. Para isto, a caracterização dos modelos foi feita com base nas informações disponíveis no Apêndice G da norma ASHRAE 90.1-2007 (ASHRAE, 2007a), no caso do LEED, e no RTQ (INMETRO, 2010), no caso do PROCEL-Edifica.

Das análises realizadas na seção 6.3, conclui-se que, em termos de consumo energético, o edifício de referência do PROCEL-Edifica é mais exigente que o do LEED, situação verificada para as três cidades.

Ao analisar os resultados obtidos, constata-se que o sistema de iluminação é o grande responsável pelo maior consumo energético dos edifícios de referência do LEED, visto que o impacto da maior densidade de potência de iluminação se apresenta de duas formas: aumento do consumo direto de energia e aumento dos ganhos internos do edifício (carga térmica) e conseqüentemente, do consumo energético do sistema de AVAC.

Diante do fato de as diferenças percentuais entre o consumo energético dos edifícios definidos segundo os dois sistemas de certificação não ultrapassarem 6%, as quais podem estar dentro da faixa de incerteza do *software* de simulação, pode-se afirmar que a utilização do edifício de referência do LEED é adequada para a avaliação do desempenho energético de edifícios no contexto brasileiro.

A fim de confirmar a constatação a respeito do maior nível de exigência, em termos de consumo energético do edifício de referência, do PROCEL-Edifica em relação ao LEED, sugere-se a extensão das análises apresentadas para outras cidades brasileiras. Sugere-se ainda, a realização de uma análise de sensibilidade a fim de avaliar o impacto da flutuação de parâmetros tais como propriedades dos materiais, percentual de abertura na fachada, nível de eficiência de equipamentos e densidade de potência de iluminação, no desempenho energético dos edifícios de referência.

8 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social**, Rio de Janeiro, 2005. 28 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-3: Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do Ar Interior**, Rio de Janeiro, 2008. 26 p.

AES Eletropaulo. Disponível em < <http://www.aeseletropaulo.com.br> > Último acesso em 12/11/2011.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **90.1 User's Manual ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007**, Atlanta, 2007b. 358 p.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta, 2009.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**, Atlanta, n. SI Edition, 2007a. 184 p.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2010: ANO BASE 2009. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2010.

BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. A. **Desempenho ambiental de edificações: cenário atual e perspectivas dos sistemas de certificação**. Minerva, v.7(1), 45-52, 2010.

CEB - Disponível em < <http://www.ceb.com.br> > Último acesso em 12/11/2011.

CELPA - Disponível em < <http://www.redenergia.com> > Último acesso em 12/11/2011.

EcoDesenvolvimento.org – Informação para um mundo sustentável. Disponível em < <http://www.ecodesenvolvimento.org.br> > Último acesso em 26/09/2011.

Engenharia e Arquitetura. Disponível em < <http://www.engenhariaearquitetura.com.br> > Último acesso em 25/09/2011.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI. **Referencial Técnico de Certificação: Edifícios do setor de serviços - Processo AQUA**, 2007. 241 p.

HAGEL, A. de P. L. A. **Análise computacional da demanda energética de climatização de edifício**. 2005. Tese (Trabalho de graduação) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. 89 p.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Brasil, 2010. 87 p.

Integrated Environmental Solutions. Disponível em < <http://www.iesve.com> > Último acesso em 07/12/2011.

MENDES, N. et al. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. Ambiente Construído, Porto Alegre, n.4, p. 47-68, Out/Dez. 2005.

Planeta Sustentável. Disponível em < <http://planetasustentavel.abril.com.br> > Último acesso em 25/09/2011.

PATRICIO, R. M. R.; GOUVINHAS, R. P. **Avaliação de desempenho ambiental em edificações: diretrizes para o desenvolvimento de uma nova metodologia adaptada à realidade do Nordeste**. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. Anais... São Paulo, 2004.

PROCEL INFO. Disponível em < <http://www.procelinfo.com.br/main.asp> > Último acesso em 25/09/2011.

REVISTA ÁREA. Disponível em < <http://www.revistaarea.com.br/wp-content/themes/area/images/edicao5/Bioarquitetura.pdf> > Último acesso em 08/12/2011.

RODRIGO, A. G.; CARDOSO, F. F. **Estudo de Caso sobre a Inserção de Parâmetros de Sustentabilidade no Processo de Projeto: O Uso da Certificação AQUA**. In: III ELECS - III Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2009, Recife / PE. Anais do III Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Recife: ANTAC, 2009.

RODRIGO, A. G.; CARDOSO F. F. **Certificação ambiental de edifícios pelo processo AQUA e alterações no processo de gestão do empreendimento e no edifício**. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010, Canela. Anais do XIII ENTAC 2010. Eletrônico: eletrônico, 2010a.

RODRIGO, A. G.; CARDOSO F. F. **Histórico e análise da implantação das certificações ambientais de edifícios pelo processo AQUA - Alta Qualidade Ambiental**. In: Sustainable Building 2010 Brazil, 2010, São Paulo. SB10Brazil 2010 - Anais, 2010b.

SHALDERS NETO, A. **Regulamentação de desempenho térmico e energético de edificações**. 2003. 89 p. Tese (Trabalho de Pós-Graduação) – Instituto de Eletrotécnica e Energia - USP, São Paulo.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 210 p.

US GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). **LEED (Leadership and Energy & Environmental Design: green building rating system** – version 3. 2008. 83 p.