

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

APLICAÇÃO DA NORMA ASHRAE 90.1 E DA CERTIFICAÇÃO LEED EM EDIFICAÇÃO
COMERCIAL

por

Daniel Costi Knijnik

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, novembro de 2011



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

APLICAÇÃO DA NORMA ASHRAE 90.1 E DA CERTIFICAÇÃO LEED EM EDIFICAÇÃO
COMERCIAL

por

Daniel Costi Knijnik

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Ciências Térmicas**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Comissão de Avaliação:

Prof. Jorge R. S. Zabadal

Prof. Sergio Luiz Frey

Prof. Flavio T. Van Der Laan

Porto Alegre, 18 de novembro de 2011.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à minha família, pois sem todo o apoio e suporte fornecido durante minha vida, eu nunca poderia ter chegado onde estou hoje. Ninguém chega a lugar nenhum sozinho.

Também gostaria de agradecer ao meu professor orientador Paulo Otto Beyer pela parcimônia, dedicação e, principalmente, sua notável e contagiante paixão pelo que faz.

Somos hoje, todos, fruto de tudo o que fomos no passado. Somos o resultado da soma de todas as experiências vividas até hoje. Grande parte das minhas, tive o prazer de passar com ótimos e fiéis amigos, aos quais agradeço pelas inúmeras discussões que tanto fizeram meu horizonte se expandir, pelas festas, momentos lúdicos e de descontração que mantêm a nossa cabeça saudável e sã e pelas dicas musicais eruditas que tanto me ajudaram a manter o foco e a concentração, mesmo quando o mundo caía ao meu redor.

As grandes idéias são,
antes fruto de um grande coração,
do que de uma grande inteligência.
Fiódor Dostoiévski

KNIJNIK, (D. C.) APLICAÇÃO DA NORMA ASHRAE 90.1 E DA CERTIFICAÇÃO LEED EM EDIFICAÇÃO COMERCIAL. 2011. 15 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RESUMO

Focado em uma área que mostra um grande crescimento nos últimos anos, o presente trabalho é dedicado a apresentar o processo de adequação de uma edificação comercial aos parâmetros de *Green Building*. Para tanto, será demonstrada a complacência com a certificação *LEED™ (Leadership in Energy and Environmental Design)* criada pelo *USGBC (United States Green Building Council)*. Por se tratar de uma certificação multidisciplinar, este trabalho aborda somente o pré-requisito 2 – Desempenho Mínimo no Uso da Energia – do item *Energy & Atmosphere*. Utilizando uma das três possíveis opções de análises permitidas pela certificação, a opção de Simulação Energética Total da Edificação, será utilizado o *software EnergyPlus* para essa análise. O objetivo é demonstrar uma redução no consumo de energia da edificação proposta quando comparada a uma edificação *baseline* definida pela norma ASHRAE 90.1.

PALAVRAS-CHAVE: *Green building, LEED™, redução no consumo de energia, EnergyPlus*

KNIJNIK, (D.C.) APPLICATION OF THE ASHRAE 90.1 STANDARD AND THE LEED CERTIFICATION ON A COMMERCIAL BUILDING. 2011. 15 pages. Monograph (Mechanical Engineer Graduation Final Work) – Mechanical Engineer Department, Rio Grande do Sul Federal University, Porto Alegre, 2011.

ABSTRACT

Focused on an area that show great growth over the last years, the following work is dedicated to present a commercial building's adequacy process to the green building parameters. To do so, it will be demonstrated the compliance with the *LEEDTM* (Leadership in Energy and Environmental Design) created by the *USGBC* (United States Green Building Council). As being a multidisciplinary certification, this work will restrain itself to approach only the pre-requirement number 2 – Minimum Energy Performance – from the Energy & Atmosphere item. Using one of the three analysis option permitted by the certification, the Whole Building Energy Simulation, it will be used the *EnergyPlus* software. The goal is to demonstrate the proposed building's energy consumption reduction when compared to a baseline building defined by the ASHRAE 90.1 Standard.

KEYWORDS: *Green building, LEEDTM, energy consumption reduction, EnergyPlus*

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	1
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.2. Normas Regulamentadoras de Eficiência Energética.....	2
3.3. Sistema de Avaliação de Desempenho Ambiental de Edifícios	3
4. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS	4
4.1. Equações utilizadas pelo programa <i>EnergyPlus</i> – Superfícies Opacas.....	4
4.2. Equações utilizadas pelo programa – Superfícies Translúcidas	5
4.3. Arquivo Climático	6
5. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	6
5.1. Simulação Computacional - Edificação <i>Baseline</i>	7
5.1.1. Características Construtivas	7
5.1.2. Sistema de Iluminação.....	8
5.1.3. Sistema de condicionamento de ar.....	9
5.2. Simulação Computacional – Edificação Proposta.....	10
5.2.1. Alterações Construtivas	10
5.2.2 – Controles de Iluminação.....	11
5.2.3 – Sistema de Condicionamento de Ar	12
6. RESULTADOS	12
7. CONCLUSÃO	14
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
ANEXO 1	16
APÊNDICE A	18

1. INTRODUÇÃO

Frente ao constante e exponencial crescimento populacional existente em todo o globo e o consumo desenfreado de recursos naturais com a aceleração do desenvolvimento mundial, o estudo da eficiência energética de edificações cresce concomitantemente. No Brasil havia pouco interesse e incentivo à adoção de medidas para reduzir o consumo de energia elétrica ou aumentar a eficiência de sua utilização, pois a estrutura do segmento elétrico brasileiro apresentava forte participação governamental e tarifas reduzidas em relação ao mercado internacional. Porém, atualmente, esta situação está mudando. Cada vez mais criam-se programas, tanto da parte da iniciativa privada como também de órgãos governamentais, que visam um consumo mais racional da energia e o incentivo à proliferação do uso de fontes de energia renováveis. Dentre eles, pode-se citar o Procel-Edifica [Procel, 1994] e o Plano de Trabalho de implementação da Lei de Eficiência Energética, Lei Nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 [MME, 2010].

Muitos desses programas são voltados para o setor da construção civil, como é o caso das construções verdes e sustentáveis, mais popularmente conhecidas como *green building*. Essas edificações são concebidas dentro do conceito de agredir o mínimo possível o meio ambiente no qual estão inseridas. Essa agressão, que pretende-se reduzir, pode vir de muitas e variadas maneiras. Desde a seleção dos materiais que serão usados na construção até mesmo a origem da fonte energética que será utilizada para o fornecimento de energia elétrica.

Como ainda não pode-se contar com um órgão nacional que fiscalize e conceda certificados à edificações sustentáveis, recorre-se ao selo *LEED™* criado pelo conselho americano *USGBC*. Este conselho, por sua vez, estabelece as regras e premissas que padronizam e classificam as edificações de acordo com sua correlação com os ocupantes e o meio ambiente. Para obter esse selo, deve-se avaliar o desempenho do empreendimento em seis distintas áreas: sustentabilidade da localização; eficiência no uso da água; eficiência energética e os cuidados com emissões para a atmosfera; otimização de materiais e recursos naturais a serem utilizados na construção e operação da edificação; qualidade dos ambientes internos da edificação; e inovações empregadas no projeto da edificação.

Assim sendo, este trabalho irá abordar o processo de adequação aos requisitos de eficiência energética e qualidade dos ambientes internos da edificação exigidos pelo padrão *LEED™*. Para isso, será necessário simular – computacionalmente - o consumo de energia da edificação utilizando um dos softwares autorizados pelo *USGBC* denominado *EnergyPlus* [DOE, 2011] que fornece uma análise da influência de diversos fatores, tais como o sistema de ar-condicionado, materiais usados na construção, iluminação, equipamentos, entre outros, no consumo energético total.

2. OBJETIVOS

O objetivo que rege este trabalho é estudar o comportamento termoenergético de uma edificação comercial situada em Porto Alegre, através da avaliação de parâmetros construtivos e sistemas energético aplicados na edificação. A análise apresentada nesse trabalho é fundamentada em simulações computacionais fornecidas pelo programa *EnergyPlus* (versão 6.0.0), disponível no site <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. Este *software* é fornecido pelo segmento de eficiência energética e energias renováveis do departamento estadunidense de energia *U.S. Department of Energy – Energy Efficiency & Renewable Energy*.

Estruturada em um sistema de pontos, a certificação *LEED™* considera mandatória a obtenção de um ponto referente à redução de impactos econômicos e ambientais associados ao uso excessivo de energia. Logo, as alternativas propostas

neste trabalho almejam atender à esse pré-requisito contido dentro do item *Energy & Atmosphere* da certificação *LEED™*. Criando alternativas para atenuar a carga térmica à qual a edificação está exposta e também propondo mudanças no sistema de ar condicionado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso de tecnologias sustentáveis pode reduzir em 60% o consumo de energia elétrica dos edifícios até 2050. Os dados são da pesquisa "Transforming the Market: Energy Efficiency in Buildings", divulgada em 27 de abril pelo WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). O estudo foi realizado em seis regiões responsáveis por dois terços da produção de energia mundial: Brasil, China, Índia, Japão, Estados Unidos e continente europeu. A pesquisa iniciada em 2006 concluiu que as edificações consomem 38% da energia produzida globalmente. A indústria fica um pouco atrás, com 33%. O setor de transporte, consome os 29% restantes. [Frank, 2009]

O desempenho energético de um edifício depende de vários fatores que se inter-relacionam, as quais variam desde as estratégias de gerenciamento e manutenção adotadas pela administração, até as condições do clima local, as características arquitetônicas da edificação, os sistemas de instalações e equipamentos utilizados, e os fatores humanos/culturais que interferem nas condições de uso. Nesses termos, a tomada de decisão no momento do projeto do edifício é decisiva, exigindo que o arquiteto e outros profissionais envolvidos na concepção e execução da obra trabalhem em sincronia. Tais medidas são consideradas estruturais, tendo em vista sua influência no produto final e seu poder de permanência no tempo, haja visto o alto custo de reformas posteriores. [Velo, 2004].

Os estudos preliminares e anteprojetos podem ser responsáveis por 50% do potencial de economia de energia. Um dos estágios mais importantes da elaboração de uma edificação é a escolha dos materiais que irão compor o envoltório da mesma, pois caracteriza as necessidades energéticas necessárias para proporcionar o mínimo de conforto nos ambientes internos. Caso as características do envoltório da edificação não sejam pensadas de forma adequada, serão realizadas trocas térmicas significativas com o exterior, fazendo com que seja necessário o uso de eletromecânicos para equilibrar a temperatura interior e conseqüentemente aumento do consumo de energia. A busca por este equilíbrio térmico, assim como por corretos níveis de iluminação, é de fundamental importância para o bem-estar dos usuários das edificações [Fernandes, 2001].

Com bom planejamento, é possível construir um edifício que demande 45% menos energia que outro com as mesmas características. Para tanto, é necessário adequar os recintos habitáveis às condições climáticas locais, usando materiais e técnicas apropriadas, tendo em vistas o uso racional de energia [Procel, 1994].

3.1. Normas Regulamentadoras de Eficiência Energética

Durante a crise que se estabeleceu no mundo inteiro com a escassez de petróleo na década de 70 foram lançados diversos programas de incentivo à redução do consumo de energia elétrica. Devido a esta preocupação, muitos países possuem atualmente normas ou leis que versam sobre a eficiência de energia em edificações. A American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), fundada em 1894, uma associação internacional que em 1975 implantou a sua primeira norma de eficiência energética para projetos e construções de novas edificações, a ASHRAE Standard 90. Em 1989, a ASHRAE implantou a Standard 90.1 que considera a envoltória da edificação, sistemas de condicionamento de ar, iluminação artificial e aquecimento de água incluindo ainda

motores e equipamentos. Os climas são classificados em unidade graus/dia de aquecimento e resfriamento, os quais representam os limites para os componentes opacos e transparentes. Além das cidades americanas, a ASHRAE Standard 90.1 também classifica o clima de oito cidades brasileiras.

Em 1985, foi criado o PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e do Comércio. O seu objetivo é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais. Em 1993, o PROCEL elaborou o Selo Procel de Economia de Energia concedido anualmente, aos equipamentos elétricos que apresentam os melhores índices de eficiência energética dentro das suas categorias. [Procel, 2009]

Depois da crise do setor elétrico, em 2001, o Brasil começou a estabelecer Ações para estimular o uso eficiente da energia elétrica. O primeiro passo foi a elaboração da Lei N° 10.295, publicada pelo Ministério de Minas e Energia em 17 de outubro de 2001, a qual estabelece a criação de mecanismos que resultem em edificações mais energeticamente eficientes [Brasil, 2001]. Esta lei foi regulamentada pelo Decreto N° 4.049, advertindo que os fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energético, estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica, institui e define competências ao Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE e determina a constituição do Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações – GT MME. [Brasil, 2001] .

3.2. Sistema de Avaliação de Desempenho Ambiental de Edifícios

Em 1996, foram iniciados nos Estados Unidos os trabalhos para a criação do *Leadership in Energy and Environmental Design - LEED™*, com o objetivo de facilitar a transferência de conceitos de construção ambientalmente responsáveis para os profissionais e para a indústria de construção americana, proporcionando reconhecimento junto ao mercado pelos esforços despendidos para essa finalidade.

Este protocolo avalia de forma multidisciplinar o desempenho ambiental do edifício ao longo de todo o seu ciclo de vida. O critério mínimo de nivelamento exigido para a avaliação de um edifício pelo *LEED™* é o cumprimento de uma serie de pré-requisitos. Uma vez satisfeitos os pré-requisitos, passa-se à etapa de classificação de desempenho, em que a atribuição de créditos indica o grau de conformidade do atendimento aos itens avaliados.

Com uma estrutura simples, o *LEED™* é um meio termo entre critérios puramente prescritivos e especificações de desempenho. Toma por referência princípios ambientais e de uso de energia consolidados em normas e recomendações de organismos de terceira parte com credibilidade reconhecida, como é o caso da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers – ASHRAE*; a *American Society for Testing and Materials – ASTM*; a *U.S. Environmental Protection Agency – EPA*; e o *U.S. Department of Energy – DOE*. Estas práticas de efetividade já conhecida são então balanceadas com princípios emergentes, de forma a estimular a adoção de tecnologias e conceitos inovadores. [Silva *et al*, 2003].

O sistema *LEED™* tem parâmetros específicos para contemplar diferentes edificações. A regra *LEED™ New Construction* aplica-se a empreendimentos de escritórios em que o proprietário ou locatário detenha 51% ou mais da ocupação. Com base nos pré-requisitos da categoria *Energy & Atmosphere* desta certificação, será considerado no desenvolvimento deste trabalho o pré-requisito 2, Desempenho Mínimo no Uso de Energia.

O pré-requisito 2 visa a obtenção de um nível mínimo de eficiência energética para os edifícios propostos. Por se tratar de um edifício novo, o mínimo

exigido é de 10% de redução no consumo anual de energia elétrica em relação ao prédio *baseline*. Para tanto, a edificação proposta deve atender aos requerimentos obrigatórios definidos nas seções 5.4, 6.4, 7.4, 8.4, 9.4 e 10.4 da norma ASHRAE 90.1 [ASHRAE, 2007]. Este trabalho se restringirá à análise das seções 5.4 – *Building Envelope* e 6.4 – *Heating, Ventilation and Air Conditioning*. As demais seções supracitadas são encargos de outros profissionais.

Dentre as opções dadas pela certificação, foi selecionada a Opção 1 – Simulação Energética Total da Edificação para a obtenção do pré-requisito 2. Nela, o objetivo é demonstrar a redução de, no mínimo, 10% do consumo energético da edificação proposta em comparação com a edificação *baseline* definida conforme pelo *Building Performance Rating Model* descrito no Apêndice G da norma [ASHRAE, 2007].

Assim sendo, para a análise proposta neste trabalho, serão simuladas duas edificações. Primeiramente a edificação *baseline* e posteriormente a mesma edificação com modificações propostas para aumentar a *performance* da edificação. Para maximizar a precisão e confiabilidade dos resultados, as simulações serão feitas de acordo com a metodologia validada pelo USGBC, que consiste no uso das prescrições da norma ASHRAE 90.1 e da utilização do *software* credenciado *EnergyPlus*.

4. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

O sistema de avaliação adotado neste trabalho restringe à três o número de opções permitidas para a realização das simulações computacionais. Por se tratar de um *software* disponibilizado gratuitamente, optou-se pela utilização da ferramenta computacional *EnergyPlus* em sua versão 6.0.0 Build 023 desenvolvida pelo *United States Department of Energy – Energy Efficiency & Renewable Energy Department*. Este, por sua vez, é responsável somente pela análise termoenergética da edificação. Para modelar geometricamente a edificação fez-se uso do *software*, também gratuitamente disponibilizado, *Google SketchUp* em sua versão 8.0.4811.

Para poder introduzir as informações da edificação geradas por esse último para simular o consumo energético, fez-se uso do *plugin EnergyPlus OpenStudio* em sua versão 1.0.6.382 também desenvolvido pelo *United States Department of Energy – Energy Efficiency & Renewable Energy Department*.

4.1. Equações utilizadas pelo programa *EnergyPlus* – Superfícies Opacas

Cada superfície da edificação tem sua constituição detalhadamente especificada no *software*. Com todas as propriedades físicas dos materiais como condutividade térmica, densidade, calor específico e etc. A transferência de calor por condução no envoltório da mesma é um dos principais componentes para o dimensionamento de potências de refrigeração e aquecimento da zona térmica e também para a avaliação do consumo energético. Modelos para calcular a transferência de calor por condução em regime transiente são importantes ferramentas para analisar o desempenho termoenergético do ar-condicionado. [EnergyPlus, 2010]

Para isso, o *EnergyPlus* utiliza fatores de resposta, coeficientes de transferência de calor ou fatores de resposta periódicos, os quais são calculados por um algoritmo do próprio programa. As funções de transferência por condução (*Conduction Transfer Function - CTF*) são representadas por uma série temporal cuja equação é formada pelos fatores de resposta, que, por sua vez, relacionam o fluxo de calor na superfície de um elemento a uma série infinita de temperaturas em ambos os lados do elemento construtivo, tal como mostrado na equação 4.1. [EnergyPlus, 2010]

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad (4.1)$$

onde $q''_{ko}(t)$ é o fluxo de calor por condução do exterior através do elemento construtivo, [W/m^2]; T é a temperatura da superfície do elemento construtivo, [$^{\circ}C$], i é o sub-índice que significa o interior da edificação, o é o sub-índice que significa o exterior da edificação, t representa o passo de tempo atual e X e Y são os fatores de resposta e o sub-índice δ indica o passo no tempo.

O fluxo de calor interno pode ser descrito pela equação 4.2 e o fluxo de calor externo pela equação 4.3 [EnergyPlus, 2010].

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (4.2)$$

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta} \quad (4.3)$$

onde $q''_{ki}(t)$ é o fluxo de calor por condução na face interna da superfície, [W/m^2]; $q''_{ko}(t)$ é fluxo de calor por condução na face externa da superfície, [W/m^2]; X_j é o coeficiente de fator de resposta externo da CTF $j = 0, 1, 2, \dots, nz.$; Y_j é o coeficiente de fator de resposta cruzado da CTF $j = 0, 1, 2, \dots, nz.$; Z_j é o coeficiente de fator de resposta interno da CTF $j = 0, 1, 2, \dots, nz.$; Φ_j é o coeficiente de fator de resposta de fluxo da CTF $j = 0, 1, 2, \dots, nq.$; T_i é a temperatura da face interna da superfície do elemento construtivo, [$^{\circ}C$]; T_o é a temperatura da face externa da superfície do elemento construtivo, [$^{\circ}C$]; $T_{i,t-j\delta}$ é a temperatura da face interna da superfície no passo de tempo anterior, [$^{\circ}C$]; $T_{o,t-j\delta}$ é a temperatura da face externa da superfície no passo de tempo anterior, [$^{\circ}C$]; nz e nq são os números de termos de cada coeficiente.

Estas equações mostram que o fluxo de calor em qualquer lado da superfície de qualquer elemento construtivo da edificação é relacionado à temperatura atual e ao seu histórico em ambos os lados interno e externo da superfície, como também ao histórico de fluxos de calor nos lados interno e externo da superfície. A solução destas equações pelo método CTF agrega grande simplicidade à simulação. Feita através da solução de uma única equação linear com coeficientes constantes, calcula-se a condução de calor.

4.2. Equações utilizadas pelo programa – Superfícies Translúcidas

Já para as superfícies translúcidas, o *software* faz uso, primeiramente, da equação 4.4 para descrever a irradiação solar direta normal à superfície em um dia claro na Terra para após definir a parcela difusa, a parcela refletida e o ganho solar nas equações 4.5, 4.6 e 4.7 respectivamente [EnergyPlus, 2010].

$$I_{nd} = \frac{A}{\exp\left(\frac{B}{\sin(\beta)}\right)} \quad (4.4)$$

$$R_{sdf} = A_{SM} * I_{SD} \quad (4.5)$$

$$G_{RS} = (B_S * \cos(\theta) + D_S) * G_R \quad (4.6)$$

$$Q_{SO} = I_b * \cos(\theta) * \frac{S_s}{S} + I_s * F_{SS} + I_g * F_{Sg} \quad (4.7)$$

onde I_{nd} é a irradiação normal direta [W/m], A é a irradiação normal aparente na massa de ar com massa igual à zero, B é o coeficiente de extinção atmosférica, β é o ângulo de incidência da radiação, R_{sdf} representa a radiação solar difusa do céu na Terra [W/m], A_{SM} representa o multiplicador anisotrópico do céu (determinado pela orientação da superfície e distribuição de radiação), I_{SD} representa a irradiação solar difusa [W/m], G_{RS} representa a radiação solar refletida [W/m], B_S representa a radiação solar direta [W/m], θ é o ângulo zenital do sol, D_S é a radiação solar difusa [W/m] e G_R é a refletância do solo.

Com estes conceitos definidos, o programa define ainda o fluxo de calor transmitido pelas janelas e a radiação solar interna absorvida pelas superfícies opacas como demonstrado nas equações 4.8 e 4.9, respectivamente [EnergyPlus, 2010].

$$Q_{ij} = T(\theta) * Q_{SO} \quad (4.8)$$

$$Q_{rad.int(SN)} = QS_{ZN} * A_{bs} IS_{SN} + AIS_{SN} * BS_{rad} \quad (4.9)$$

onde Q_{ij} é o fluxo transmitido pelos vidros, T é a transmitância dos vidros, θ é o ângulo de incidência dos raios do sol, Q_{SO} é o ganho total em calor, $Q_{rad.int(SN)}$ é a radiação absorvida na face interna [W/m], ZN é o número da zona, SN é o número da superfície, QS_{ZN} é a irradiação difusa na zona [W/m], Abs/IS_{SN} é a absorptância solar da superfície interior, AIS_{SN} é o fator de irradiação solar direta da superfície, BS_{rad} é a irradiação solar direta externa [W/m].

4.3. Arquivo Climático

O arquivo climático utilizado no *EnergyPlus* foi desenvolvido baseando-se na necessidade de dados climáticos amostrados a Períodos inferiores a uma hora. No formato utilizado o campo é amostrado de minuto a minuto. Esses dados possuem indicadores de localização como nome, fonte de dados, latitude, longitude, fuso-horário, altitude, condições de pico para projeto, período de verão, temperaturas do solo. Incluem também, temperatura de bulbo seco e de orvalho, umidade relativa, radiação solar (global, difusa, direta, infravermelha), iluminação, direção e velocidade do vento.

A montagem estatística desses dados é realizada pelo método TMY (Test Meteorological Year). Na formação desse arquivo são selecionados os meses mais expressivos que ocorreram no período medido, resultando em um ano formado por meses de anos diferentes. [LABEE, 2011]

5. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A edificação escolhida para ser alvo deste trabalho apresenta características primordialmente voltadas para uma edificação comercial. Foi concebida para servir somente como uma edificação hipotética, voltada para a aplicação da certificação. Seus pavimentos são todos padronizados e suas dimensões pensadas para tal finalidade. O projeto arquitetônico foi modelado geometricamente no *software Google SketchUp* como pode ser visualizado na figura 5.1.

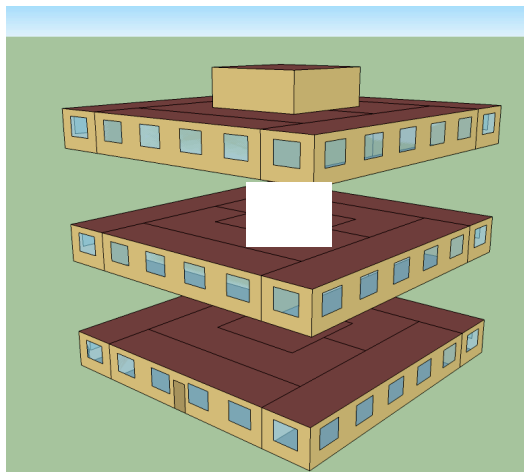


Figura 5.1 - Projeto arquitetônico do prédio *baseline*.

O projeto arquitetônico consiste em uma edificação dotada de 7 pavimentos. Um pavimento térreo, que difere dos outros com a porta de entrada, 5 pavimentos idênticos e uma cobertura com sala de máquinas. Cada andar foi desenhado com 7 zonas térmicas, sendo que a zona mais central tem o propósito de servir como zona de serviço para o elevador e escadarias e, por isso, não será climatizada.

5.1. Simulação Computacional - Edificação *Baseline*

Com a modelagem geométrica da edificação pronta, pôde-se dar início à sua adequação aos requerimentos obrigatórios de prédio *baseline* para atender ao Apêndice G da norma ASHRAE Standard 90.1. Para isso, o prédio deve estar em conformidade com as seções 5.4, 6.4, 7.4, 8.4, 9.4 e 10.4 da norma. A seguir são apresentadas as adaptações realizadas para definição do prédio *baseline*.

5.1.1. Características Construtivas

As características construtivas foram definidas com base nas exigências da norma ASHRAE 90.1. Ela define três parâmetros para caracterizar o envoltório da edificação. Os fatores U (transmitância térmica [$W/m^2.K$]), R (resistência térmica [$m^2.K/W$]) e o $SHGC$ (coeficiente de ganho de calor solar) devem ser levados em consideração para a definição da envoltório do prédio *baseline*. O $SHGC$ é a razão entre a energia que entra por uma janela e a radiação solar incidente. A composição dos elementos opacos que compõem o envoltório deve ser pensada e os materiais cuidadosamente selecionados para que o valor de U não ultrapasse o valor estabelecido pela norma. A composição de superfícies translúcidas não deve ultrapassar os valores de $SHGC$ e U especificados. Na tabela 5.1 estão apresentados os valores contidos na norma para a zona geográfica de Porto Alegre (Zona 2).

Tabela 5.1 – Valores obrigatórios para U , R e $SHGC$ para Zona 2.

Elementos	U (valor máximo) [$W/m^2.K$]	R (valor mínimo) [$m^2.K/W$]	$SHGC$
Cobertura	0,273	3,5	-
Paredes Internas	0,705	2,3	-
Paredes Externas	0,705	2,3	-
Piso/Forro	0,390	2,3	-
Janelas	6,25	-	0,25

Piso Térreo 1,264 - -

A partir destas exigências, a composição dos materiais usados foi elaborada para atender às mesmas. Na tabela 5.2 estão descritas as camadas e os materiais utilizados no prédio *baseline*.

Tabela 5.2 – Composição do envoltório da edificação *baseline*.

<i>Materiais</i>		<i>Espessura [m]</i>	<i>Resistência Térmica [m².K/W]</i>	<i>Transmitância Térmica [W/m².K]</i>
Cobertura	Ar exterior	-	0,030	0,273
	Lã de Vidro	0,113	3,140	
	Concreto leve	0,203	0,383	
	Ar interior com fluxo de calor para cima	-	0,110	
Paredes Externas	Ar exterior	-	0,030	0,705
	Estuque	0,007	0,010	
	Placa de Gesso Exterior	0,016	0,100	
	Lã de Vidro	0,040	1,058	
	Placa de Gesso Interior	0,016	0,100	
	Filme de ar interior vertical	-	0,120	
Paredes Internas	Estuque	0,039	0,010	0,705
	Placa de Gesso Exterior	0,016	0,100	
	Lã de Vidro	0,038	1,088	
	Placa de Gesso Interior	0,016	0,100	
	Filme de ar interior vertical	-	0,120	
Piso	Filme de ar interior	-	0,160	0,390
	Carpete e coxim de borracha	-	0,220	
	Concreto leve	0,102	0,040	
	Lã de Vidro	0,074	2,064	
	Filme de ar semi exterior	-	0,080	
Piso Térreo	Tijolo	0,35	0,398	1,262
	Concreto leve	0,15	0,395	

Para as janelas foi utilizado um vidro com SHGC igual à 0,25, transmitância térmica igual à 4,26 e uma transmitância visível de 0,18. Para as janelas existe um tratamento especial por parte da norma. No prédio *baseline*, além da obrigação em atender aos parâmetros de *SHGC*, *U* e transmitância visível, a área envidraçada não pode superar em mais de 40% a área da parede que a hospeda.

5.1.2. Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação do prédio *baseline* foi dimensionado de acordo com a sua funcionalidade e área do ambiente. Tratando-se de um ambiente comercial direcionado para instalação de escritórios, a norma ASHRAE 90.1 determina que todo espaço destinado à escritórios deve ser iluminado com uma densidade de potência de iluminação igual à 11 W/m².

5.1.3. Sistema de condicionamento de ar

O tipo de sistema de condicionamento de ar a ser usado no prédio baseline é definido pela norma ASHRAE 90.1 de acordo com a funcionalidade da edificação, seu número de pisos, área de piso condicionada e fonte de aquecimento. Por se tratar de uma edificação não residencial com mais de 5 pisos e sendo abastecido por energia elétrica, foi simulado um sistema de condicionamento de ar com volume de ar variável com caixas de ventilação secundárias paralelas dotado de um sistema de refrigeração por água gelada e um sistema de aquecimento por resistência elétrica.

Este tipo de sistema de condicionamento de ar é largamente utilizado em grandes edificações e apresenta uma ótima relação de economia de energia. Na simulação feita no *software EnergyPlus* cada andar conta com um sistema primário independente e cada zona é climatizada com uma unidade paralela de ventilação secundária que mistura quantidades variáveis de ar secundário (recirculado) com o ar primário (suprimento condicionado pelo sistema primário) para produzir um volume variável de ar à temperatura desejada. Garantindo, assim, um controle de temperatura constante para cada zona.

As caixas paralelas somente entram em funcionamento durante o aquecimento. Se o sistema primário está em sua vazão mínima e se torna necessário calor adicional para atender à temperatura desejada, o ventilador da caixa paralela entra em funcionamento e mistura ar quente do retorno e injeta essa mistura na zona. Ainda sendo necessário calor adicional, uma resistência elétrica é acionada para aumentar a temperatura do suprimento de ar. Para o resfriamento, o suprimento de ar é modulado para atender à carga térmica da zona.

Para modelar esse sistema de refrigeração no *software EnergyPlus* muitas de suas características são dimensionadas automaticamente de acordo com a carga térmica à qual a zona está exposta. Porém algumas outras devem ser calculadas e estipuladas. Para essa simulação, foi utilizado o método para cálculo de ar externo baseado na razão de vazão por pessoa. Para atender às especificações da ANVISA, esse valor foi estipulado em 0,0075 m³/s por pessoa.

Buscando uma maior precisão para os resultados, a eficiência do ventilador primário foi definida em 0,7 e de acordo com a seção 10.4 da norma ASHRAE 90.1 foi selecionado um motor selado de 1200 RPM com 6 pólos dotado de uma eficiência de 0,855. A partir destes dados, calculou-se a perda de carga do mesmo fornecida pela equação 5.1 contida no Apêndice G da norma.

$$P_v = \frac{746}{\eta_m} * CFM_s * \left[0,0013 + \frac{PD}{4131} \right] \quad (5.1)$$

onde P_v é a potência do ventilador [W]; η_m é a eficiência do motor do ventilador; CFM_s é a vazão de ar com o ventilador em seu suprimento máximo [L/s]; PD é a queda de pressão. Para obter a perda de carga, somente igualou-se a equação 5.1 à equação de potência de ventilador que relaciona a perda de carga e a vazão com a eficiência total do ventilador. Assim sendo, a perda de carga do ventilador principal foi estipulada em 1571 Pa.

Esses ventiladores possuem controladores que variam a sua velocidade para adequar a vazão. Quando os ventiladores não estão em sua carga máxima eles seguem um comportamento definido na norma ASHRAE 90.1 pela equação 5.2.

$$P_{fan} = 0,0013 + 0,1470 * PLR_{fan} + 0,9506 * PLR_{fan}^2 - 0,0998 * PLR_{fan}^3 \quad (5.2)$$

onde P_{fan} é a fração da carga máxima da potencia utilizada e PLR_{fan} é a razão de carga parcial do ventilador.

Finalizando o dimensionamento do ciclo de refrigeração, foi simulado um Chiller da marca Trane, com compressor do tipo parafuso com capacidade nominal de 520 kW e COP (Coeficiente de Performance) igual à 4,45. Sua capacidade e consumo são determinados por curvas hidráulicas e bi-quadráticas disponíveis nos documentos do próprio *software*. Para resfriar a água foi utilizada uma torre de resfriamento de duas velocidades com todas as suas características automaticamente determinadas pelo *software*.

5.2. Simulação Computacional – Edificação Proposta

Sem as restrições impostas pela norma ASHRAE 90.1 para a edificação *baseline*, pôde-se fazer algumas alterações para atingir o mínimo de 10% de redução no consumo energético anual da edificação. As alterações foram divididas em três etapas, como segue.

5.2.1. Alterações Construtivas

Para diminuir a carga térmica à qual a edificação está exposta, foram adicionados sombreamentos no envoltório da edificação. Na fachada sul, foi adicionado uma marquise para, não somente sombrear a edificação, mas também como adorno arquitetônico para a porta de entrada. Nas janelas desta mesma fachada foram inseridos *breeses* horizontais para fornecer sombreamento e diminuir a incidência solar. Em todas as outras fachadas da edificação foram inseridos *breeses* verticais com a mesma finalidade. Além destes, foi desenhado um para-peito na cobertura medindo 1,25m e se estendendo por todo o perímetro da cobertura. Essas alterações podem ser visualizadas na figura 5.2 abaixo.

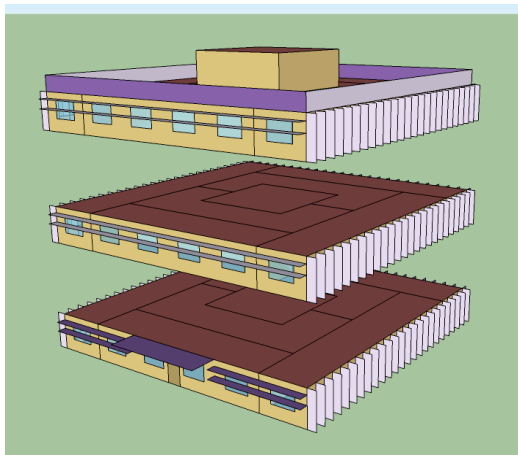


Figura 5.2 - Vista isométrica da edificação proposta com sombreamentos.

Juntamente com os *breeses* foram feitas mudanças nos materiais que compõem a edificação. Sem o engessamento causado pelo obrigatoriedade de atingir um valor de transmitância térmica, pode ser visto na tabela 5.3 a nova constituição das superfícies opacas da edificação.

Tabela 5.3 - Nova constituição das superfícies opacas.

	Materiais	Espessura [m]	Resistência Térmica [m ² .K/W]	Transmitância Térmica [W/m ² .K]
Cobertura	Telha Acústica	0,0191	0,318	
	Espaço ventilado	-	0,180	
	Estuque	0,025	0,035	0,064
	Placas de isolamento de Poliisocianurato	0,300	15,000	
	Concreto leve	0,102	0,192	
Paredes Externas	Estuque	0,015	0,021	
	Bloco de concreto leve	0,2032	0,406	
	Placas de isolamento de Poliisocianurato	0,300	15,000	0,063
	Bloco de concreto leve	0,2032	0,406	
Paredes Internas	Estuque	0,015	0,021	
	Tijolo	0,1016	0,114	6,417
	Estuque	0,015	0,021	
Piso	Estuque	0,015	0,021	
	Placas de isolamento de Poliisocianurato	0,100	5,000	0,198
	Concreto agregado de areia e brita	0,051	0,024	
Piso Térreo	Tijolo	0,35	0,398	1,262
	Concreto leve	0,15	0,395	

Além destas modificações, também fez-se alterações nas superfícies translúcidas. Na edificação proposta seriam instalados vidros duplos do tipo LoE SPEC SEL TINT de 6mm com um espaçamento de 3mm. Esse tipo de vidro apresenta uma baixa emissividade, características de seletividade espectral, ou seja, a parte desejável do espectro solar (radiação visível) é transmitida com maior intensidade, além de também ser colorido com material inorgânico para aumentar sua absorvidade.

Com o intuito de diminuir a incidência solar nas janelas, optou-se por habilitar a opção de controle de sombreamento para a simulação. Essa opção representa a automatização do sombreamento. Os *breeses* instalados no lado de fora das janelas seriam controlados mecanicamente para mudarem sua angulação de acordo com a posição solar. Oferecendo maior sombreamento quando a incidência ultrapassar os 250 W/m². Não obstante, foram acrescentadas divisórias e esquadrias para as janelas.

5.2.2 – Controles de Iluminação

Após as alterações construtivas terem sido feitas, inseriu-se controles de iluminação na edificação. Em cada zona térmica foram inseridos dois sensores fotossensíveis, um em cada extremidade, distantes 6m das paredes. Esses sensores estariam incumbidos de monitorar a luminosidade da zona térmica e

mantê-la sempre com um máximo de 500 lux durante as horas de operação. Assim sendo, na ausência de luminosidade natural suficiente as luzes são ligadas e quando a luminosidade natural for suficiente, as luzes permanecem desligadas.

5.2.3 – Sistema de Condicionamento de Ar

Uma das principais desvantagens do sistema de condicionamento de ar utilizado no prédio *baseline* é o excessivo gasto energético com bombas para o sistema de água gelada. Com isso em mente, fez-se a opção de simular para a edificação proposta, um sistema de condicionamento de ar do tipo PTHP (*Packaged Terminal Heat Pump*). Este sistema é muito similar aos splits comuns e sua configuração pode ser visualizada na figura 5.3 abaixo.

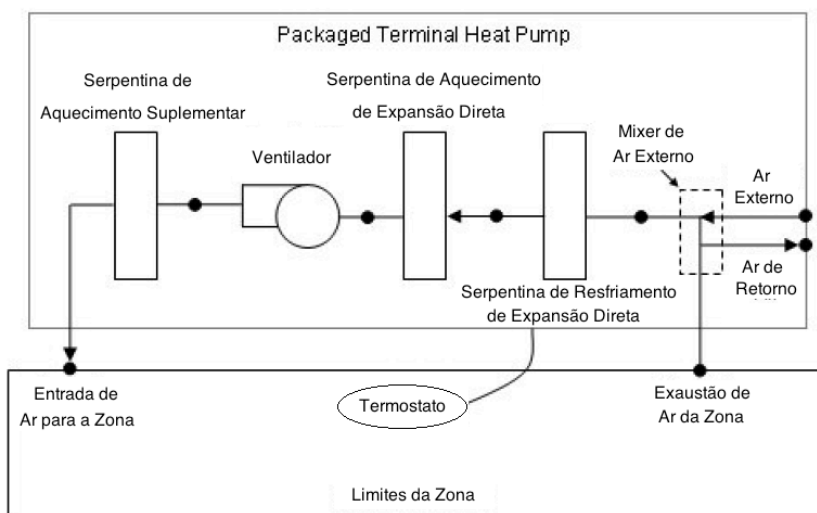


Figura 5.3 - Configuração PTHP simulado.

Como muitas das características do sistema são automaticamente calculadas com base nas cargas térmicas às quais as zonas estão expostas, procurou-se obter uma maior precisão nos resultados utilizando modelos reais de maquinário. Para essa simulação, foram utilizadas máquinas do fabricante Daikin. Para o condensador externo foi utilizado o modelo RXYQ14PY1 com 40 kW de capacidade e para o evaporador interno foi escolhido o modelo montado no teto de cada zona FXSQ63MVE de 7,3 kW.

A partir dos dados fornecidos pelos catálogos do fornecedor, que estão presentes no Anexo 1, pôde-se calcular o COP e a perda de carga. O valor obtido para COP da unidade externa foi de 3,23 e para a perda de carga da unidade interna 236,67 Pa.

6. RESULTADOS

O consumo de energia analisado neste presente trabalho é afetado por muitos fatores. Dentro da edificação existem muitas fontes que demandam energia e influenciam o consumo total da edificação proporcionalmente à sua demanda de energia. Assim sendo, o consumo energético da edificação foi dividido em oito categorias. Luzes internas; luzes externas; equipamentos internos; ventiladores; bombas; aquecimento; refrigeração e rejeição de calor.

A evolução mensal dos consumos energéticos durante todo ano para a edificação *baseline* e para a edificação proposta pode ser visualizada na figura 6.1 e 6.2 respectivamente. Para a simulação do prédio *baseline* tem-se todas as categorias de consumo de energia supracitadas, mas para a simulação da

edificação proposta, não haverá consumo de energia por parte das bombas uma vez que o sistema de condicionamento de ar PTHP não utiliza bombas como o sistema VAV com caixas de ventilação secundária paralelas da edificação *baseline* utiliza. Além disso, a edificação *baseline* foi simulada orientada para norte, sul, leste e oeste, e os resultados apresentados são a média das quatro orientações.

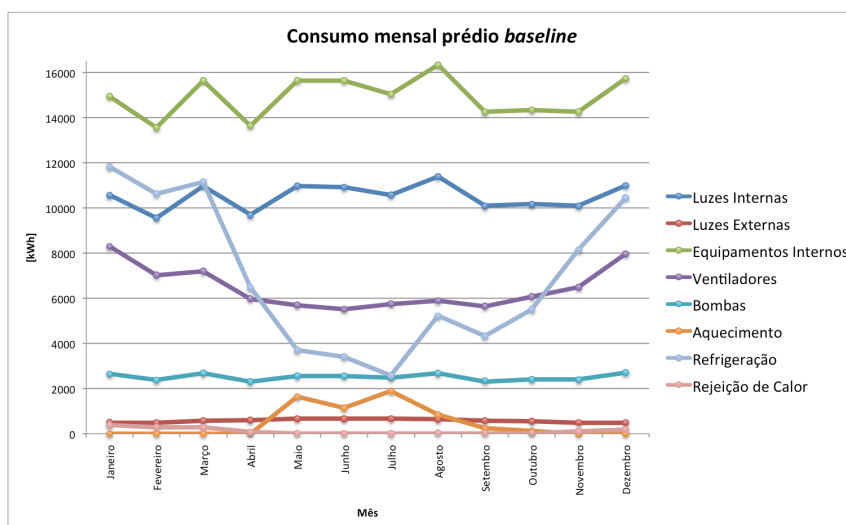


Figura 6.1 – Consumo mensal médio *baseline*.

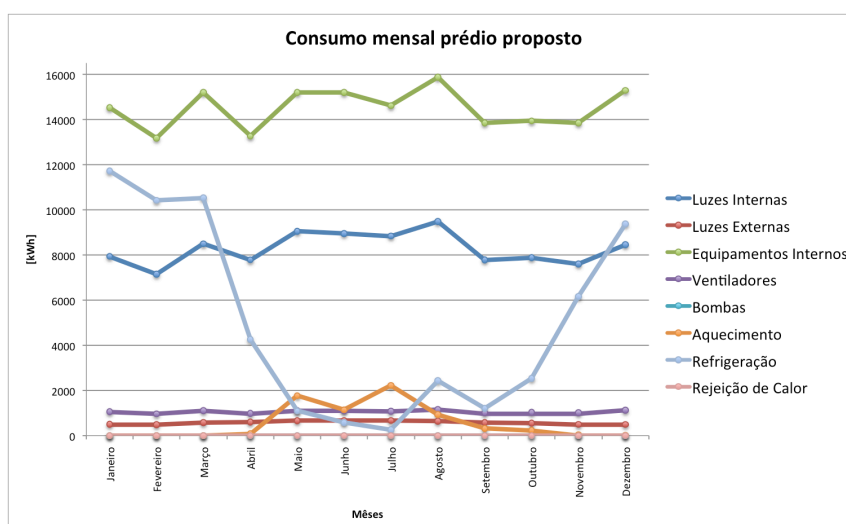


Figura 6.2 – Consumo mensal médio proposto.

Apesar de uma queda nos consumos energéticos do prédio proposto em relação ao *baseline*, essa queda deve ser quantificada, uma vez que a certificação LEED™ exige um mínimo de 10% de redução para que o projeto possa ser considerado aprovado. Assim sendo, pode-se visualizar a comparação dos consumos energéticos anuais das duas edificações na tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Comparativo de consumo anual total.

	Energia Total [kWh]	Energia por Área Total Construída [kWh/m ²]	Energia por Área Condicionada [kWh/m ²]
Edificação <i>baseline</i>	510631,39	124,66	142,47
Edificação proposta	360323,03	87,97	100,54

O comportamento de cada uma das categorias do consumo energético influencia diretamente na redução do mesmo. Para facilitar a compreensão dos resultados, a comparação entre o consumo energético da edificação *baseline* e a edificação proposta se encontra detalhadamente no Apêndice A e pode ser visualizada na figura 6.3 abaixo.

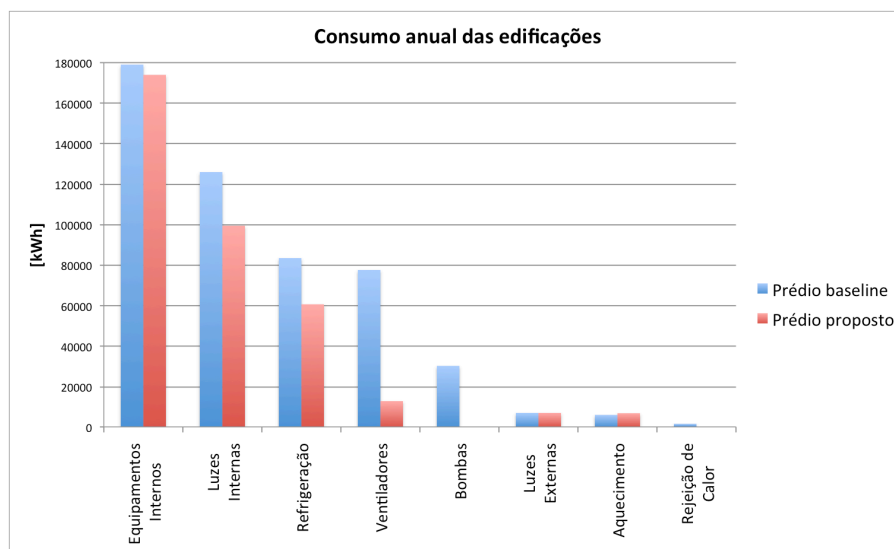


Figura 6.3 – Comparação dos consumos anuais totais das edificações.

7. CONCLUSÃO

Focado em estudar e avaliar energeticamente uma edificação comercial, verificando seu atendimento ao pré-requisito 2 – Desempenho Mínimo no Uso da Energia – do item *Energy & Atmosphere*, da certificação *LEED™ – New Construction*, foram realizadas duas simulações para a localidade de Porto Alegre com o software *EnergyPlus*. Frente ao elevado consumo energético gerado pelos equipamentos internos e sistema de condicionamento de ar, foram propostas algumas alterações para reduzi-lo. O melhor cenário para atender à necessidade de conformidade à certificação *LEED™* foi encontrado quando as seguintes mudanças foram adotadas e chegou-se a uma redução de 29% do consumo de energia.

- Substituição do sistema de condicionamento de ar por um mais econômico;
- Uso de materiais termicamente mais eficientes, tais como placas isolantes e vidros de alta *performance*;
- Uso de novas tecnologias de controle de iluminação;
- Sombreamento externo nas fachadas com *breeses* automatizados e para-peitos na cobertura.

Para se chegar a este resultado foi necessário trabalhar em duas frentes. Sugeriram-se alterações para diminuir a carga térmica à qual a edificação é exposta e também alterações para consumir menos energia na climatização efetiva do ambiente. Para contribuir com a necessidade destas alterações, o cumprimento ao pré-requisito da certificação *LEED™* é obtido através da comparação com uma edificação *baseline* projetada de acordo com as exigências da norma *ASHRAE 90.1*. Essa edificação exigiu o uso de materiais de alta *performance* e o seu consumo energético foi estabelecido como a média dos consumos do prédio orientado para o

norte, sul, leste e oeste, tornando, assim, o desempenho energético do prédio *baseline* independente de sua orientação.

Assim sendo, pode-se afirmar que a utilização de parâmetros construtivos termicamente eficientes aliados à equipamentos energeticamente eficientes permitem a construção de empreendimentos que não agridam o meio ambiente. Porém essa preocupação deve estar presente em todas as etapas do processo, principalmente na concepção do projeto; assim, evita-se que seja necessário agregar custos excessivos na parte do empreendimento para obter a certificação *LEED™*. Isto pode ser facilitado quando um profissional com conhecimentos termo-energéticos é envolvido durante o desenvolvimento do projeto da edificação.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE 90.1. Energy Standards for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, SI Edition. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta. 2007.

BRASIL, 2001. “DECRETO No 4059, DE DEZEMBRO DE 2001”. Regulamenta a Lei No 10.295, de 17 de outubro de 2001. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pdf/decreto4059.pdf>. Acessado em 29/10/2011.

DOE. U. S. Department of Energy. Desenvolvido pelo governo dos Estados Unidos da America. Possibilita o download do software EnergyPlus e do plugin OpenStudio. <http://www.energy.gov>. Acessado em 22 de agosto de 2011.

Frank, R, 2009. “Tecnologias sustentáveis podem reduzir em 60% o uso de energia nos edifícios até 2050”. Disponível em <http://www.piniweb.com.br/construcao/sustentabilidade/tecnologias-sustentaveis-podem-reduzir-em-60-o-uso-de-energia-132666-1.asp>. Acessado em 30/10/2011

Fernandes, A. E. P., 2001. “As Torres Envidraçadas e o Consumo Energético. II”, Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2, 2001, Canela, RS.

MME. Ministério de Minas e Energia. Desenvolvido pelo governo brasileiro. Apresenta textos sobre leis de eficiência energética. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acessado em 22 de agosto de 2011.

Procel. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Desenvolvido pelo governo brasileiro. Apresenta textos sobre conservação de energia elétrica. Disponível em <http://www.procel.gov.br>. Acessado em 22 de agosto de 2011.

Silva, V. G., Silva, M. G., Vahan, A., 2003. “Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade”. Ambiente Construído, Porto Alegre. v. 3, n. 3, p. 7-18.

Veloso, M. D., Elali, G. A., 2004. “Uma Avaliação da Eficiência Energética em Edificações Hoteleiras em Natal/RN” http://projedata.grupoprojetar.ufrn.br/dspace/bitstream/123456789/78/1/Nutau%2004_VELOSO%20e%20ELALI.pdf Acessado em 22 de agosto de 2011.

EnergyPlus, 2010. “EnergyPlus Input Output Reference The Encyclopedic to EnergyPlus Input and Output”, Version 5.0.0.031. Ernest Orland Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, USA

EnergyPlus, 2010. "EnergyPlus Engineering Reference The Encyclopedic to EnergyPlus Input and Output", Version 5.0.0.031. Ernest Orland Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, USA

ANEXO 1

ED34-645B

Capacity Tables (Heat Pump)

RXYQ14PY1, YL [50/60Hz]

Table with columns for Outdoor Air Temp (C/F) and Indoor Air Temp (C/F) for various room types (00, 01, 70, 90) and capacity values (kW, W, kW, W) for four different configurations. Includes a 'Cooling capacity' label on the left.

Total capacity: kW Power input: kW/Comp. (Outdoor fan motor) Note: The above table shows the average value of conditions which may occur.

Table with columns for Outdoor Air Temp (C/F) and Indoor Air Temp (C/F) for various room types and capacity values (kW, W, kW, W) for four different configurations. Includes a 'Cooling capacity' label on the left.

Specifications

ED34-645B

Ceiling Mounted Built-In Type

Model			FXSQ40MVE	FXSQ50MVE	FXSQ63MVE	
+1 Cooling Capacity (19.5°CWB)	kcal/h		4,000	5,000	6,300	
	Btu/h		16,000	19,800	24,900	
	kW		4.7	5.8	7.3	
+2 Cooling Capacity (19.0°CWB)	kW		4.5	5.6	7.1	
+3 Heating Capacity	kcal/h		4,300	5,400	6,900	
	Btu/h		17,100	21,500	27,300	
	kW		5.0	6.3	8.0	
Casing			Galvanized Steel Plate	Galvanized Steel Plate	Galvanized Steel Plate	
Dimensions: (HxWxD)			mm	300x700x800	300x1,000x800	
Coil (Cross Fin Coil)	RowsxStagesxFin Pitch	mm	3x14x1.75	3x14x1.75	3x14x1.75	
	Face Area	m ²	0.132	0.132	0.221	
Fan	Model		D18H2A	D18H2A	2D18H2A	
	Type		Sirocco Fan	Sirocco Fan	Sirocco Fan	
	Motor Output x Number of Units		W	65x1	85x1	125x1
	Air Flow Rate (H/L)	50 Hz	m ³ /min	11.5/9	15/11	21/15.5
			cfm	406/318	530/388	741/547
		60 Hz	m ³ /min	11.5/9	15/11	21/14
			cfm	406/318	530/388	741/494
	+4 External Static Pressure	50 Hz	Pa	88-49-20	88-59-29	88-49-20
		60 Hz	Pa	88-29-10	88-41-10	122-66-10
	Drive			Direct Drive	Direct Drive	Direct Drive
Temperature Control			Microprocessor Thermostat for Cooling and Heating	Microprocessor Thermostat for Cooling and Heating	Microprocessor Thermostat for Cooling and Heating	
Sound Absorbing Thermal Insulation Material			Glass Fiber	Glass Fiber	Glass Fiber	
Air Filter			Resin Net (with Mold Resistant)	Resin Net (with Mold Resistant)	Resin Net (with Mold Resistant)	
Piping Connections	Liquid Pipes	mm	φ6.4 (Flare Connection)	φ6.4 (Flare Connection)	φ8.5 (Flare Connection)	
	Gas Pipes	mm	φ12.7 (Flare Connection)	φ12.7 (Flare Connection)	φ15.9 (Flare Connection)	
	Drain Pipe	mm	VP25 (External Dia. 32 Internal Dia. 25)	VP25 (External Dia. 32 Internal Dia. 25)	VP25 (External Dia. 32 Internal Dia. 25)	
Machine Weight (Mass)			kg	30	31	41
+6 Sound Level (H/L) (220V)			dBA	38/32	41/36	42/35
Safety Devices			Fuse, Thermal Protector for Fan Motor.	Fuse, Thermal Protector for Fan Motor.	Fuse, Thermal Protector for Fan Motor.	
Refrigerant Control			Electronic Expansion Valve	Electronic Expansion Valve	Electronic Expansion Valve	
Connectable Outdoor Unit			R-410A P Series	R-410A P Series	R-410A P Series	
Decoration Panel (Option)	Model		BYBS45DJW1	BYBS45DJW1	BYBS71DJW1	
	Panel Color		White (10Y9/0.5)	White (10Y9/0.5)	White (10Y9/0.5)	
	Dimensions: (HxWxD)		mm	55x800x500	55x800x500	55x1,100x500
	Weight		kg	3.5	3.5	4.5
Standard Accessories			Operation Manual, Installation Manual, Paper Pattern for Installation, Drain Hose, Clamp Metal, Insulation for Fitting, Sealing Pads, Clamps, Screws, Washers.	Operation Manual, Installation Manual, Paper Pattern for Installation, Drain Hose, Clamp Metal, Insulation for Fitting, Sealing Pads, Clamps, Screws, Washers.	Operation Manual, Installation Manual, Paper Pattern for Installation, Drain Hose, Clamp Metal, Insulation for Fitting, Sealing Pads, Clamps, Screws, Washers.	
Drawing No.			C : 3D039431			

Note:

- Indoor temp. : 27°CDB, 19.5°CWB / outdoor temp. : 35°CDB / Equivalent piping length : 7.5 m, level difference : 0 m.
- Indoor temp. : 27°CDB, 19.0°CWB / outdoor temp. : 35°CDB / Equivalent piping length : 7.5 m, level difference : 0 m.
- Indoor temp. : 20°CDB / outdoor temp. : 7°CDB, 6°CWB / Equivalent piping length : 7.5 m, level difference : 0 m.
- External static pressure is changeable to change over the connectors inside electrical box, this pressure means "High static pressure-Standard -Low static pressure".
- Capacities are net, including a deduction for cooling (an additional for heating) for indoor fan motor heat.
- Anechoic chamber conversion value, measured at a point 1.5 m downward from the unit center. These values are normally somewhat higher during actual operation as a result of ambient conditions.
- Refer to page 198 for Fan Motor Input.

Conversion Formulae

kcal/h=kWx860
Btu/h=kWx3412
cfm=m³/minx35.3

APÊNDICE A

Reporte de Energia Prédio *Baseline*

	Luzes Internas	Luzes Externas	Equipamentos Internos	Ventiladores	Bombas	Aquecimento	Refrigeração	Rejeição de Calor
Janeiro	10553,49	502,89	14946,13	8295,27	2644,16	0	11820,62	384,69
Fevereiro	9552,75	484,27	13556,81	7028,55	2371	0	10627,48	294,66
Março	10971,61	577,66	15640,79	7201,23	2684,33	0	11150,06	281,61
Abril	9680,7	602,32	13646,37	5982,95	2306,53	43,19	6473,97	72,93
Maio	10971,61	658,98	15640,79	5702,63	2558,55	1642,45	3708,3	23,13
Junho	10916,77	658,19	15640,79	5513,84	2556,21	1139,28	3411,37	16,38
Julho	10571,77	669,74	15035,7	5751,57	2490,87	1891,86	2579,05	7,62
Agosto	11389,73	638,78	16335,45	5895,24	2675,97	838,56	5219,62	47,57
Setembro	10080,54	578,71	14251,47	5648,9	2349,22	241,66	4326,75	30,3
Outubro	10153,65	553	14341,04	6075,98	2401,94	122,59	5510,98	47,46
Novembro	10080,54	498,7	14251,47	6484,11	2394,74	9,26	8140,92	113
Dezembro	10989,89	494,5	15730,36	7964,37	2705,24	5,69	10451,7	193,83
Soma Anual	125913,05	6917,74	179017,17	77544,64	30138,76	5934,54	83420,82	1513,18

Reporte de Energia Prédio Proposto

	Luzes Internas	Luzes Externas	Equipamentos Internos	Ventiladores	Bombas	Aquecimento	Refrigeração	Rejeição de Calor
Janeiro	7940,76	502,89	14522,02	1059,12	0	0	11718,23	0
Fevereiro	7147,96	484,27	13173,09	965,67	0	0	10417,76	0
Março	8494,45	577,66	15196,48	1105,85	0	0	10526,45	0
Abril	7786,19	602,32	13262,65	985,14	0	82,62	4260,15	0
Maio	9046,02	658,98	15196,48	1105,85	0	1769,86	1094,03	0
Junho	8946,4	658,19	15196,48	1105,85	0	1143,84	578,25	0
Julho	8841,18	669,74	14611,58	1078,59	0	2223,77	259,94	0
Agosto	9480,42	638,78	15870,95	1152,58	0	931,72	2433,75	0
Setembro	7780,97	578,71	13847,55	1012,4	0	313,88	1204,02	0
Outubro	7880,64	553	13937,12	1031,87	0	233,68	2533,98	0
Novembro	7600,13	498,7	13847,55	1012,4	0	41,86	6158,63	0
Dezembro	8454	494,5	15286,05	1125,32	0	18,33	9372,05	0
Soma Anual	99399,12	6917,74	173948	12740,64	0	6759,56	60557,24	0