

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DE
HOTÉIS**

Edson Koji Kurotsu

São Paulo
2010

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DE
HOTÉIS**

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

Edson Koji Kurotsu

Orientador: Alberto Hernandez Neto

**Área de Concentração:
Engenharia Mecânica**

**São Paulo
2010**

FICHA CATALOGRÁFICA

Kurotsu, Edson Koji

**Determinação de índices de desempenho energético de hotéis / E.K. Kurotsu. – São Paulo, 2010.
84 p.**

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

1. Energia térmica (Eficiência) 2. Indicadores de produtividade (Eficiência) 3. Hotéis (Eficiência; Simulação) 4. Software livre I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

RESUMO

A crescente preocupação com os impactos ambientais causados pelo homem somado ao advento das certificações como LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*) fez-se com que a simulação de desempenho energético de edificações ganhasse grande importância, sendo esse processo fundamental para validação de estratégias de economia e uso mais racional dos recursos energéticos para edificações a serem certificadas.

Seguindo essa tendência, o presente trabalho tem como principal objetivo, modelar e simular o desempenho de consumo energético de um hotel típico, identificar e realizar a análise de sensibilidade de alguns parâmetros que influenciam no consumo energético desse tipo de edificação.

A primeira etapa do projeto consiste de uma revisão bibliográfica, em que serão levantadas as bibliografias de diversas fontes e será tomada como base de estudo, a norma da ASHRAE 90.1. Através dessa referência, será definida a geometria padrão do hotel e serão obtidos principais parâmetros para a sua avaliação de sensibilidade na etapa posterior.

As simulações foram realizadas com o auxílio do programa *Energy Plus*, uma importante ferramenta para avaliação do consumo de edificações e para avaliação de sensibilidade de parâmetros. Ainda na etapa da simulação, foi simulado o mesmo modelo de hotel para diversas localizações, sendo elas: São Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Brasília e Belém.

Com os resultados das simulações, índices de desempenho energético serão avaliados e caracterizados, a fim de permitir caracterização energética de edifícios com perfis de ocupação típicos de hotéis para diversas localizações no território brasileiro.

Palavras-chave: índice energético, desempenho energético, eficiência energética, simulação de edifício.

ABSTRACT

The increasing concern regarding the environmental impact caused by men coupled with the advent of certification as LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) produced an increase of the importance of the energy simulation of the performance of building. This simulation is a key element to the process for the validation of strategies for energy savings and rational use of energy resources for LEED-certified building.

Thus, this report presents the modelling and simulation of the behavior of energy consumption of a typical hotel in order to identify and provide a sensitivity analysis of some parameters that influences the energy consumption of hotels in Brazil.

The first phase of the project consists of a literature review where many sources were analyzed and the standard ASHRAE 90.1 is taken as one of the most important sources. Based on those references, the hotel geometry is defined and the behavior of the main parameters is obtained for evaluation of sensitivity in the next stage.

The simulations were made with the assistance of software called Energy Plus, an important tool to evaluate the energy consumption of buildings and to evaluate the sensitivity of building parameters. Using this tool it was simulated the same model of hotel for different locations, such as: São Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Brasilia and Belém

Based on such simulations, an energy index will be evaluated and characterized in order to produce energy references for buildings with a typical occupancy of a hotel in Brazilian climates.

Keywords: energy index, building simulation, building performance.

SUMÁRIO

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. METODOLOGIA	4
3.1 Leitura da ASHRAE 90.1	4
3.2 Aprendizado do Programa	4
3.3 Revisão Bibliográfica	5
3.4 Caracterização da Edificação	5
3.5 Simulação no <i>Energy Plus</i>	6
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
4.1 Legislação em Eficiência Energética	7
4.2 Caracterização do hotel	8
4.2.1 Classificação de Hotel	8
4.2.2 Distribuição de energia no Hotel	10
4.3 <i>Benchmarks</i> e outros marcos de eficiência energética	12
4.4 Estudo de caso de diferentes hotéis de Singapura	13
4.5 Síntese da revisão bibliográfica e outras referências	14
5. Análise da norma ASHRAE 90.1-2007	16
6. O programa <i>Energy Plus</i>	19
7. DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO	20
7.1 Envoltória da Edificação	22
7.2 Perfis horários de ocupação, iluminação, consumo de equipamentos e renovação de ar	25
7.3 Perfil horário de operação do sistema AVAC	26
7.4 Outras fontes de ganho de calor	28

8. RESULTADOS E ANÁLISES	29
8.1 Simulação do dia de projeto	29
8.1.1 Resultados obtidos da simulação do dia de projeto	30
8.2 Simulação anual	32
8.3 Análise de sensibilidade	34
8.3.1 Variação da densidade de ocupação do hotel	34
8.3.2 Variação da carga de equipamentos elétricos internos	36
8.3.3 Variação da carga de iluminação	37
8.3.4 Variação da vazão de infiltração	38
8.3.5 Variação do consumo de água quente por pessoa	39
8.3.6 Variação da eficiência do sistema AVAC	40
9. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO PARA OUTRAS CIDADES	
BRASILEIRAS	43
9.1 Simulação do modelo para Santa Maria	43
9.2 Simulação do modelo para Rio de Janeiro	44
9.3 Simulação do modelo para Brasília	46
9.4 Simulação do modelo para Belém	47
9.5 Síntese de Resultados das simulações	48
10. ÍNDICES ENERGÉTICOS PARA HOTÉIS	51
10.1 Propostas para normalização de índices energéticos	51
10.1.1 Normalização pelo TBS médio anual	51
10.1.2 Normalização mês a mês pelo TBS médio mensal	52
10.1.3 Normalização anual pelo TBS máximo	53
10.1.4 Índice de desempenho energético por correlação	54
10.1.4.1 Correlação 1: Consumo anual pelo sistema de climatização em função de TBS médio	55
10.1.4.2 Correlação 2: Consumo parcial de energia mensal pelo TBS médio 56	
10.1.4.3 Correlação 3: Consumo de energia mensal de parcela fixa e variável pelo TBS médio	59
10.1.4.4 Consumo de energia total mensal	60
11. COMPARAÇÃO DO MODELO COM OUTROS ESTUDOS	62

12. CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXO	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Intensidade do uso energético anual em função da classificação do hotel por estrelas	8
Figura 4.2 - Distribuição total do consumo energético total (fonte gasosa e elétrica) em um hotel típico.....	11
Figura 4.3 - Distribuição do consumo de energia por fonte elétrica em um hotel típico.....	11
Figura 7.1 - Planta original do pavimento tipo da edificação estudada (MARIANA, 2008)	21
Figura 7.2 - Vista isométrica do modelo do pavimento tipo usado nas simulações (MARIANA, 2008)	23
Figura 8.1 – Perfil de disponibilidade dos sistemas AVAC, iluminação e equipamento e perfil de ocupação nos dias úteis no verão	31
Figura 8.2 – Participação das cargas de processo no uso final de Energia para São Paulo.....	32
Figura 8.3 – Distribuição de energia anual para os equipamentos, iluminação e sistemas AVAC para São Paulo	33
Figura 8.4 – Distribuição de consumo de energia elétrica mensal pelos diferentes usos (SP)	33
Figura 8.5 – Gráfico comparativo do consumo energético em kWh por ano pelas parcelas de distribuição de energia com variação da ocupação	35
Figura 8.6 – Gráfico comparativo do consumo energético em kWh por ano pelas parcelas de distribuição de energia com variação da carga de equipamentos internos.....	36
Figura 8.7 – Gráfico comparativo do consumo energético em kWh por ano pelas parcelas de distribuição de energia com variação da carga de iluminação	37
Figura 8.8 – Gráfico comparativo do consumo energético em kWh por ano pelas parcelas de distribuição de energia com variação da vazão de renovação de ar	39

Figura 8.9 – Gráfico comparativo do consumo energético em kWh por ano pelas parcelas de distribuição de energia com variação de consumo de água quente.	40
Figura 8.10 – Gráfico comparativo do consumo energético em kWh por ano pelas parcelas de distribuição de energia com variação do desempenho do sistema AVAC	41
Figura 9.1 – Distribuição de energia anual para os equipamentos, iluminação e sistemas AVAC para cidade de Santa Maria	44
Figura 9.2 – Distribuição de energia anual para os equipamentos, iluminação e sistemas AVAC para Rio de Janeiro	45
Figura 9.3 – Distribuição de energia anual para os equipamentos, iluminação e sistemas AVAC para Brasília	46
Figura 9.4 – Distribuição de energia anual para os equipamentos, iluminação e sistemas AVAC para cidade de Santa Maria	48
Figura 10.1 – Índices energéticos de cada cidade e a sua média indicada por uma linha reta.....	51
Figura 10.2 – Índices energéticos corrigidos pelo TBS médio anual de cada cidade e a sua média indicada por uma linha reta	52
Figura 10.3 – Índices energéticos em kWh/mês	53
Figura 10.4 – Índices energéticos corrigidos mês a mês pelo TBS médio mensal de cada cidade	53
Figura 10.5 – Índices energéticos corrigidos pelo TBS máximo anual para cada cidade e a média dos seus valores indicada por uma linha reta	54
Figura 10.6 – Regressão linear do consumo energético anual	55
Figura 10.7 – Regressão linear do consumo energético mensal	56
Figura 10.8 – Regressão linear do consumo energético mensal	57
Figura 10.9 – Regressão linear do consumo energético mensal	58
Figura 10.10 – Regressão linear do consumo energético mensal pela parcela fixa e variável pelo TBS.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Intensidade do uso energético x Classificação do hotel por estrelas.....	9
Tabela 4.2 - <i>Benchmark</i> para o consumo de energia elétrica e de consumo de combustíveis para hotéis de pequeno/ médio porte e para o de grande porte da Europa.	12
Tabela 5.1 - Características da transmitância térmica das paredes, teto e piso e do fator solar das janelas para o modelo <i>Baseline</i>	17
Tabela 7.1 - Propriedades dos materiais utilizados no pavimento tipo.....	22
Tabela 7.2 - Propriedades do material sem massa utilizado na composição de paredes do pavimento tipo	22
Tabela 7.3 - Propriedades do vidro utilizado na janela do pavimento tipo.....	22
Tabela 7.4 - Composição dos elementos construtivos do modelo estudado	24
Tabela 7.5 - Características da transmitância térmica das paredes, teto e piso e do fator solar das janelas ajustados conforme o modelo baseline da ASHRAE 90.1 (2007).....	24
Tabela 7.6 - Valores de ocupação, iluminação, gasto com equipamentos e vazão de renovação de ar em função das zonas termicas.....	26
Tabela 7.7 – Mínima Eficiência requerida pelo sistema de água de refrigeração (<i>chiller</i>).....	27
Tabela 8.1 - Dias de projeto (<i>Design Day</i>) para dimensionamento de carga de resfriamento e aquecimento para a cidade de São Paulo - Aeroporto Congonhas.	30
Tabela 8.2 – Capacidade Nominal dos equipamentos térmicos gerado pelo <i>Energy Plus</i>	30
Tabela 8.3 - Valor de referência para consumo energético por uso final	34
Tabela 8.4 - Valor de ocupação por zona para análise de sensibilidade	35
Tabela 8.5 - Valor de potência de equipamento por zona para análise de sensibilidade.....	36

Tabela 8.6 - Valor de potência de iluminação por zona e iluminação externa para análise de sensibilidade	37
Tabela 8.7 - Vazão de infiltração para análise de sensibilidade	38
Tabela 8.8 - Consumo de serviço de água quente em W/pessoa análise de sensibilidade	39
Tabela 8.9 - Síntese de informações para análises	42
Tabela 9.1 – Capacidade Nominal dos equipamentos térmicos gerado pelo <i>Energy Plus</i>	43
Tabela 9.2 – Capacidade Nominal dos equipamentos térmicos gerado pelo <i>Energy Plus</i> para Rio de Janeiro.....	45
Tabela 9.3 – Capacidade Nominal dos equipamentos térmicos gerado pelo <i>Energy Plus</i>	46
Tabela 9.4 – Capacidade Nominal dos equipamentos térmicos gerado pelo <i>Energy Plus</i>	47
Tabela 9.5 – Síntese de consumo energético por uso final para cada cidade simulada no <i>Energy Plus</i>	49
Tabela 9.6 – Síntese de consumo energético variável por uso final para cada cidade do Labeee simulada no <i>Energy Plus</i>	49
Tabela 10.1 – Valores de variação em relação a média do índice energético em kWh/m ² .ano e do índice corrigido pelo TBS máx	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> (Sociedade americana de aquecimento, refrigeração e de engenheiros de ar condicionado)
AVAC	Aquecedor, Ventilador e Ar Condicionado
COP	Coeficiente de desempenho
CEAP	Cooperação Econômica da Ásia e do Pacífico
DOE	<i>Department of Energy</i> (Departamento de Energia)
EUA	Estados Unidos da América
IPLV	Integrated Part Load Value (valor integrado de carga parcial)
INPE	Nacional de Pesquisas Espaciais
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LABSOLAR	Laboratório de Energia Solar
LEED	<i>Leadership in Energy & Environmental Design</i> (liderança em energia e projetos ambientais)
PROCEL	Programa de Conservação de Energia Elétrica
PTHP	<i>Package terminal heat pump</i> (bomba de calor terminal compacta)
SHGC	<i>Solar heat gain coefficient</i> (razão entre o calor em forma de radiação que entra em um ambiente por uma janela pela radiação total incidente)
SWERA	<i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i> (avaliação de recursos de energia solar e eólica)
TMY	<i>Test Meteorological Year</i> (teste anual de meteorologia)
TR	Tonelada de refrigeração (unidade de potência do sistema britânico equivalente a 3,513725 kW)
WCED	<i>World Commission on Environment and Development</i> (comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento)
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

US EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i> (agência dos Estados Unidos para proteção ambiental)
USGBC	<i>United States Green Building Council</i> (conselho de edificações verdes dos Estados Unidos)
VAV	Volume de ar variável
VLT	<i>Visible light transmittance</i> (transmitância luminosa visível)

1. INTRODUÇÃO

A motivação do trabalho de conclusão de curso, com ênfase nas áreas de energia e ambiente, está relacionada ao conceito de sustentabilidade. Segundo o portal da sustentabilidade e o relatório de Brundtland (WCED, 1987), o termo sustentabilidade propõe um meio de configurar a civilização e as atividades humanas, de tal forma que a sociedade, os seus membros e as suas economias possam explorar ao máximo o potencial existente no mundo e preservar a biodiversidade e os ecossistemas naturais.

A necessidade presente do desenvolvimento sustentável nas atividades humanas, segundo Carlo (2008), vem do crescente consumo de energia *per capita*, o qual tem afetado tanto países desenvolvidos, tais como EUA, Austrália, Japão e Alemanha, quanto países em desenvolvimento, como o Brasil. Para piorar, grande parte da geração de energia consumida por estes países desenvolvidos é derivada de fontes não-renováveis como combustíveis fósseis, os quais têm proporcionado efeitos negativos ao meio-ambiente.

Já no Brasil, segundo a ANEEL (2010), a geração de energia baseia-se em fontes renováveis, representadas pelas usinas hidrelétricas, sendo que a sua capacidade instalada atualmente representa por volta de 50% do potencial total estimado de energia. Usinas hidrelétricas hoje representam aproximadamente 70% da energia total consumida no país.

Ainda segundo a ANEEL (2010) e IBGE (2010), maior parte do potencial hidrelétrico economicamente viável já foi utilizada pelo Brasil, estima-se que a representatividade de usinas hidrelétricas será reduzida de 70% para 60% do consumo total energético no futuro. A limitação financeira e ambiental para a realização de obras de grandes hidrelétricas tem levado o país a adotar outras fontes de energia, os quais são não-renováveis, tais como a termoelétricas que requerem a queima de combustíveis fósseis e de diversos gases nocivos ao meio-ambiente.

Uma ação humana que pode fazer a diferença na questão ambiental é pensar em um meio de racionalizar a energia consumida em edificações residenciais e comerciais, procurando a conscientização humana e as fontes alternativas de energia.

De acordo com o Hernandez Neto (2009), a tendência brasileira não é apenas a procura por fontes alternativas de energia, mas também é a preocupação cada vez maior com as políticas para a eficiência energética no Brasil. E hoje, segundo o Guia Construir Fácil (2009) e a Revista Infra (2009), começou a acelerar o crescimento do número de projetos e de edificações solicitando certificações da LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), desenvolvida pela USGBC (*United States Green Building Council*).

Segundo o Hernandez Neto (2009), na área energética, a lei sobre Eficiência Energética, a qual é voluntária hoje, passará a ser obrigatória em 2012. Embora, o governo ainda tenha reduzidos mecanismos para subsidiar e incentivar essas políticas através da redução de alíquotas ou de impostos, o mercado tem exigido essa mudança e possivelmente, chegará um momento em que edifícios serão auto-sustentáveis.

Este presente trabalho contribui para essa mudança que o mercado exigiu. Um hotel é uma edificação que tem sua ocupação e sua demanda energética elevada, apresentando diversos equipamentos térmicos instalados. Com base neste contexto, o objetivo do trabalho é determinar os principais índices de eficiência energética de hotéis, por meio da norma ASHRAE 90.1, dos resultados a serem levantadas com as simulações em conjunto com as análises de sensibilidade de diversos parâmetros do sistema predial.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho de formatura visa obter a caracterização completa de um hotel típico, tomando como base o modelo de edifício validado por Mariana (2008), por meio de um estudo de campo no hotel Formule 1, localizado no centro de São Paulo. Serão adequados alguns parâmetros de acordo com os novos valores de referência do apêndice G da norma 90.1 (ASHRAE, 2007a e b).

Com a consolidação de um modelo pronto, serão realizadas diversas simulações no *Energy Plus*, gerando resultados que possibilitam realizar a análise de sensibilidade de parâmetros para a identificação dos principais índices energéticos, os quais permitem avaliar energeticamente os hotéis típicos do Brasil.

3. METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho, foi necessário inicialmente familiarizar-se com o programa utilizado para as simulações e conhecer todos os parâmetros relevantes segundo a norma ASHRAE 90.1.

Em seguida, foi necessário levantar as referências já publicadas na área para realizar a revisão dessas literaturas e foi caracterizada por completo a edificação do modelo em estudo. Após essas etapas, foram realizadas diversas simulações com a finalidade de gerar resultados para um dia específico de projeto e gerar resultados para um ano inteiro de acordo com o arquivo climático especificado no programa.

As cinco atividades da metodologia mostrada, de maneira sintetizada acima, serão descritas e detalhadas a seguir:

3.1 Leitura da ASHRAE 90.1

Esta atividade consiste essencialmente de uma revisão bibliográfica da norma ASHRAE Standard 90.1 de 2007, com estudo dirigido dos capítulos 5, 6 e 7 do mesmo.

A ASHRAE 90.1 (2007a) é a norma adotada para a regulamentação de eficiência energética, sendo utilizada não só pelo Brasil, mas também pelos diversos outros países.

Essa norma possui diretrizes para os diversos sistemas e materiais utilizados, permitindo obter as instalações mais eficientes energeticamente, discorrendo sobre sistemas de ar condicionado, iluminação, envoltória do edifício, além de orientações para a melhoria das operações dos sistemas. Assim, a leitura da 90.1 servirá de base para a determinação dos índices de eficiência energética dos hotéis.

3.2 Aprendizado do Programa

Esta atividade consiste em familiarizar e aprender como operar o programa *Energy Plus*, realizando exercícios propostos pelo Prof. Alberto Hernandez Neto para o programa na versão 3.1 e consultando o guia de ajuda do programa.

O *Energy Plus*, segundo o Carlo (2008), é uma ferramenta para a modelagem de energia para a avaliação de desempenho de edifícios, desenvolvida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, o qual permite simular os sistemas de aquecimento, iluminação e ventilação, de forma a quantificar seu consumo de energia. O programa também permite, através de análises, otimizar projetos que necessitam reduzir o consumo energético de edificações.

3.3 Revisão Bibliográfica

Nessa etapa será realizado um levantamento bibliográfico com análise da literatura relevante, já publicada na área, o qual deve servir de base à investigação e validação do trabalho proposto.

Em paralelo as atividades detalhadas anteriormente, será realizado um levantamento de pesquisas, de forma a reforçar o estudo de eficiência energética em hotéis. Ainda nessa etapa, serão coletadas informações suficientes para obter-se a caracterização adequada do hotel no que se referem aos materiais envolvidos, usos finais de energia elétrica e consumo de água.

3.4 Caracterização da Edificação

Esta atividade vem do estudo prévio das edificações e das informações levantadas nas etapas anteriores.

Primeiramente, serão classificados os hotéis, se é tamanho grande, médio ou pequeno e também de acordo com o grau de conforto da hospedagem.

Após esta classificação, serão feitas: levantamento de informações da edificação com o objetivo de conhecer o objeto de estudo; estudos do desempenho da edificação quanto ao conforto ambiental, situando a edificação na cidade, identificando características microclimáticas, construtivas (dimensões dos componentes do hotel) e elementos de desconforto ambiental, tendo como referencia dados climáticos coletados na edificação no decorrer do ano, interior e exterior do edifício; estudo de desempenho da edificação quanto ao consumo de energia, com o levantamento das potencias instaladas e tempo de utilização e a frequência de uso;

3.5 Simulação no *Energy Plus*

A última etapa do presente trabalho se encerra com dois principais tipos de simulação energética, uma para um dia específico de projeto, a fim de dimensionar carga térmica do hotel, e a segunda para um ano específico do mesmo edifício, de modo a permitir fazer análise energética com os dados a serem gerados pelo *software*. A realização bem sucedida desta etapa depende diretamente do sucesso da abrangência dada a todas as atividades anteriores. Serão realizadas mais de 50 simulações no *Energy Plus*, os quais abrangem cinco regiões climáticas do território brasileiro. Para a análise de sensibilidade, serão realizadas três variações nos cinco principais parâmetros da edificação, tais como, materiais da envoltória, a iluminação, ocupação, equipamentos e sistemas de climatização presentes no interior de hotéis.

Ainda nessa etapa, serão traçadas curvas de consumo energético e serão gerados gráficos da distribuição de insumos no seu uso final para servir de apoio para as análises.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os trabalhos levantados encontram-se nesse tópico na forma de revisão bibliográfica. No primeiro sub-tópico, tem-se um panorama geral sobre a legislação em eficiência energética para diversos países. Nos sub-tópicos 4.2 a 4.4 são mostrados os gastos energéticos com combustíveis e com eletricidade e está ilustrada na forma de tabela e gráficos a distribuição desses recursos para os usos finais. Por último é feita uma análise de todas as referências consultadas nesse estudo.

4.1 Legislação em Eficiência Energética

Historicamente, as normas de eficiência energética em edificações surgem com alguma crise energética (CARLO, 2008).

As primeiras normas surgiram na década de 70, após a crise do petróleo. Os programas de incentivo à redução do consumo de energia, lançadas pelos diversos países, resultaram posteriormente na criação de normas de eficiência energética, como a *Standard 90 – Energy Conservation in New Building Design* e a norma californiana *Title 24* de 1978 (CARLO, 2008).

Atualmente, EUA, Canadá, México, Portugal, Espanha, Austrália, Nova Zelândia, Singapura, Hong Kong, Filipinas, dentre outros países, possuem algum tipo de norma ou lei em eficiência energética de edificações. Diversos destes países revisaram ou estão em processo de revisão de suas leis com a finalidade de atender ao Protocolo de Quioto, de 1997.

Botswana, Irã, Paraguai, Costa Rica, dentre outros, não possuem nenhuma norma em eficiência energética em edificações (JANDA; BUSH, 1994). Já no caso do Brasil, a primeira lei relativa à eficiência energética só foi publicada em 2001, durante o racionamento de energia elétrica (BRASIL, 2001).

Segundo Lamberts (1997), é importante estabelecer uma normalização da eficiência energética e conforto ambiental das edificações no Brasil. Lamberts (1996) chegou a considerar ideal a norma australiana para o Brasil devido a similaridades climáticas com esse país.

4.2 Caracterização do hotel

4.2.1 Classificação de Hotel

Segundo Priyadarsini et al. (2009), o consumo energético de um hotel está relacionado ao tipo de hotel, como pode se perceber da fig. 4.1 e da tabela 4.1, por isso é necessário classificá-la antes de tudo. Há uma variedade enorme dos tipos de hotel, um método de classificação pode ser dado pelo número de quartos, como segue abaixo:

- Hotéis pequenos (com menos de 50 quartos)
- Hotéis médios (com 50 para 150 quartos)
- Hotéis grandes (com mais de 150 quartos)

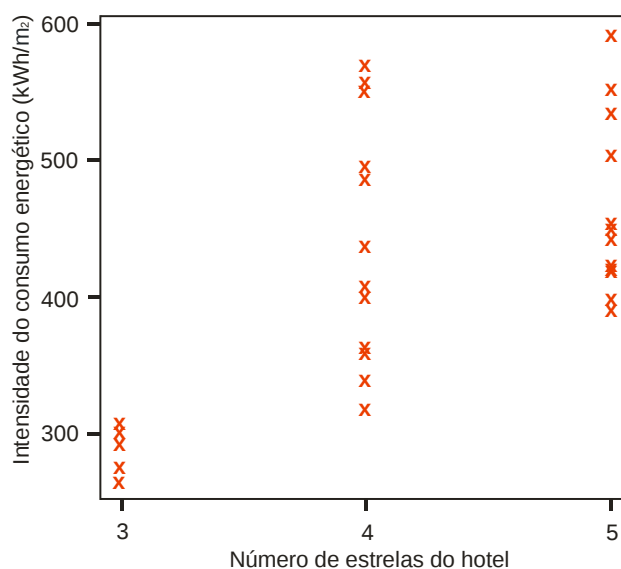


Figura 4.1 - Intensidade do uso energético anual em função da classificação do hotel por estrelas (Priyadarsini et al, 2009)

Tabela 4.1 - Intensidade do uso energético x Classificação do hotel por estrelas
(Priyadarsini et al, 2009)

Hotel	Área Bruta (m2)	Ano de construção	Ano de Retrofit	Nº quartos	Estrela	Nº piscinas	Lavanderia	Nº funcionários	Eleticidade (GWh)	Gás (MWh)	Die-sel (MWh)
1	42.483	1979	2000	439	5	1	1	280	12,6	1.546	5.136
2	20.799	1985	-	413	5	1	0	150	9,3	144	1.004
3	32.124	1992	-	254	5	1	1	270	15,7	2.120	-
4	27.829	1992	-	459	5	1	0	170	10,1	764	-
5	101.998	1969	2003	1200	5	1	0	500	31,8	2.848	8.402
6	37.809	1999	-	540	5	1	1	295	16,3	3.953	10
7	35.972	1969	2000	422	5	1	1	200	11,2	839	3.880
8	34.293	1982	2003	575	5	1	0	195	13,8	1.619	-
9	43.473	1993	-	509	5	1	0	200	17,5	690	-
10	50.470	1982	-	775	5	1	1	570	21,5	2.293	6.084
11	94.000	1977	2002	751	5	1	1	600	27,5	3.432	6.386
12	37.877	1995	-	476	4	1	1	100	11,5	2.158	-
13	19.206	1984	1997	354	4	1	0	161	9,0	1.054	915
14	25.916	1995	-	546	4	1	1	150	10,1	1.144	20
15	23.018	2000	-	539	4	1	0	195	10,8	611	-
16	17.194	2004	-	380	4	1	0	100	6,5	432	-
17	21.260	1996	-	299	4	1	0	70	6,3	452	-
18	27.291	1973	-	529	4	1	1	284	12,4	927	0,5
19	14.742	1998	2003	393	4	1	0	67	6,0	26	-
20	26.866	1969	1998	387	4	1	0	70	8,4	16	684
21	28.546	1980	-	402	4	1	0	120	10,1	444	5.188
22	19.410	1996	-	330	4	1	0	160	8,6	889	-
23	50.959	1980	-	653	4	1	1	320	25,3	3.096	-
24	49.424	1982	2002	380	4	1	1	270	15,5	1.209	1.184
25	28.112	1985	1993	440	3	1	0	85	6,9	826	-
26	18.133	1984	2001	272	3	1	0	125	4,8	49	754
27	20.591	1982	2002	229	3	1	0	90	5,3	276	482
28	1.648	1929	2002	32	3	1	0	12	0,4	116	-
29	24.394	1983	2002	472	3	1	0	80	5,4	1.062	-

Segundo Priyadarsini et al. (2009), outro método de classificação do tipo de hotel é pelo grau de luxo, que está diretamente ligada ao tamanho dos quartos:

- Uma e duas estrelas com uma média de 22 metros quadrados por quarto
- Três estrelas com uma média de 32 metros quadrados por quarto
- Quatro estrelas e hotéis de luxo (5 estrelas), com uma média de 42 metros quadrados por quarto

O espaço de um hotel pode ser dividido, segundo Priyadarsini (2009), em 3 zonas com diferentes propósitos. A primeira região é a área do quarto de hóspedes (quartos, banheiros, banheiros, etc.) Na segunda zona, há a área de serviço público (sala de recepção, bar, restaurante, sala de reunião, piscina, dentre outros). Na terceira zona, há a área de serviços (cozinha, escritórios, lavanderia, dentre outros). A distribuição de energia deve ser diferenciada para essas três zonas discriminadas, de acordo com as exigências diferenciadas para cada zona. O conforto térmico é mais importante nos quartos reservados aos hóspedes do que na área de serviço, por exemplo.

4.2.2 Distribuição de energia no Hotel

Segundo Hendrikx (2008), cerca de 40% da energia utilizada em um hotel é de fonte elétrica, 60% vêm de gás natural e petróleo. No hotel, a parcela da energia gerada pelos recursos naturais é utilizada principalmente para:

- O fornecimento de água quente ou vapor aquecido, sendo que o vapor é raramente utilizado em hotéis e a água quente é utilizada para aquecimento central. Aquecimento central pode ser feito por radiadores nos quartos, ou pelo aquecimento da instalação nas unidades de AVAC (aquecedor, ventilador e ar condicionado) ou de caldeiras a gás ou sistemas de cogeração.
- O fornecimento de água gelada em sistemas de climatização, para arrefecimento e secagem do ar de ventilação, sendo que em muitos casos, a água gelada é gerada centralmente por meio de refrigeração por compressão.

Na fig. 4.2, pode-se verificar que a energia consumida em hotel típico, vai principalmente para aquecer o ambiente (31%) e a água (17%), para o resfriamento da água é de 15% e para a iluminação artificial é de 12%.

Já a parcela de energia consumida pela fonte elétrica é usada para uma variedade de finalidades. Essa distribuição de energia elétrica encontra-se na fig. 4.3.

O consumo marjoritário de eletricidade em um hotel vem da iluminação (45%) e do sistema AVAC (26%), outros consumos relevantes vêm das máquinas de aquecimento de água, dos serviços de alimentação, dentre outros (fig. 4.3).

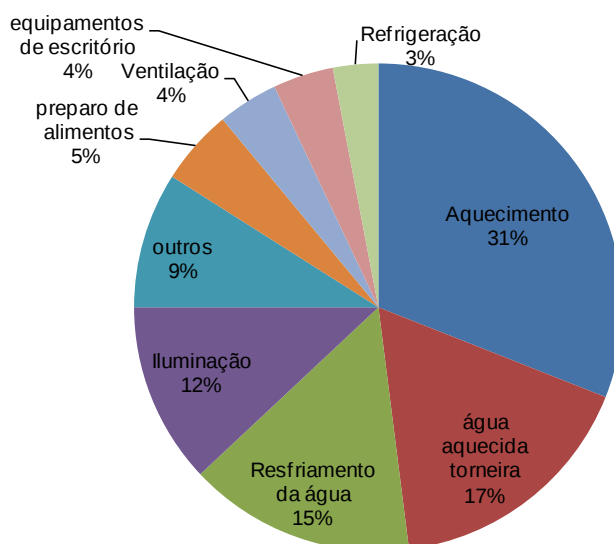


Figura 4.2 - Distribuição total do consumo energético total (fonte gasosa e elétrica) em um hotel típico
(US EPA, 2008 apud HENDRIKX, 2008)

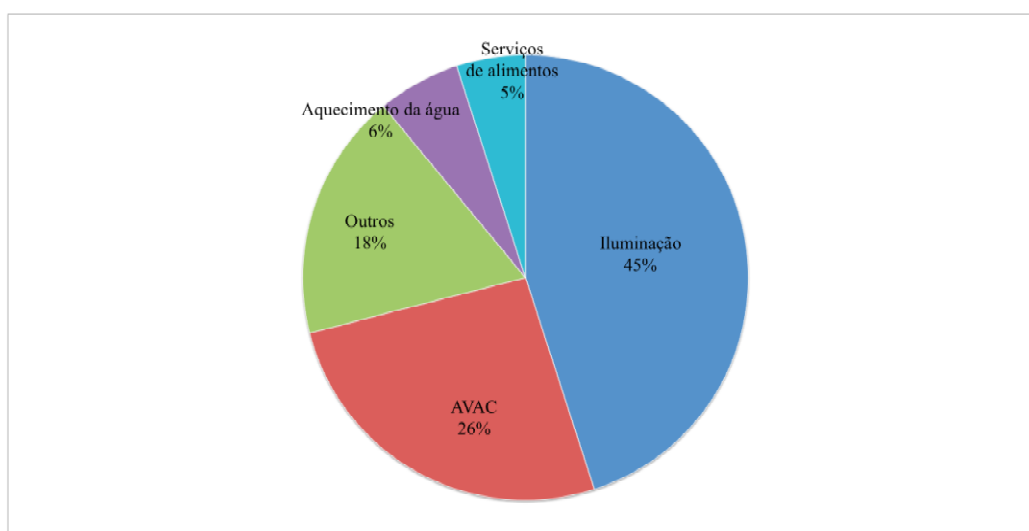


Figura 4.3 - Distribuição do consumo de energia por fonte elétrica em um hotel típico
(US EPA, 2008 apud HENDRIKX, 2008)

4.3 *Benchmarks* e outros marcos de eficiência energética

Existem várias maneiras de fazer um levantamento prático dos indicadores energéticos (*benchmarks*) no setor hoteleiro, mas as dificuldades são inúmeras. Alguns hotéis têm serviço de lavanderia própria, que implicitamente significa um maior consumo de energia, outros hotéis terceirizam os serviços de lavanderia. Alguns hotéis têm uma piscina interior, outros não. Dependendo a influência das estações do ano, o nível de ocupação dos quartos pode variar durante todo o ano. Dessa forma, o estudo de Hendrikx (2008) mostra não apenas o consumo de energia média, mas também a margem para o consumo de energia em diversos hotéis da Europa, tais como Holanda, Bélgica, Reino Unido e rede de hotéis da Accor espalhados pela Europa (tabela 4.2).

Esses valores de consumo energético servem também como parâmetros de referência, podendo ser utilizada como metas a serem alcançadas por incorporadores, pois segundo Hendrikx (2008), os hotéis da Europa representa 35% de todo hotel no construído no mundo.

Tabela 4.2 - *Benchmark* para o consumo de energia elétrica e de consumo de combustíveis para hotéis de pequeno/ médio porte e para o de grande porte da Europa.
(HENDRIKX, 2008)

Tipo de Hotel	Combustível (kWh/(m².ano))	Eletricidade (kWh/(m².ano))
tamanho de pequeno e médio porte sem estratégias de economia energética no sistema AVAC	Mín: 196	Mín: 71
	Máx: 286	Máx: 80
	Média: 238	Média: 77
tamanho grande com estratégias de economia energética no sistema AVAC	Mín: 220	Mín: 100
	Máx: 350	Máx: 182
	Média: 266	Média: 143

4.4 Estudo de caso de diferentes hotéis de Singapura

Priyadarsini et al (2009) avaliou o consumo energético e outras informações relevantes de 29 hotéis em Cingapura por meio de uma pesquisa nacional. Características da construção e características operacionais contribuíram para a obtenção de variações no desempenho energético do hotel. A média de consumo energético nos hotéis pesquisados foi de 427 kWh/m². Seu valor é inferior aos hotéis de Otawa, com consumo energético de 542 kWh/m² e Hong Kong, de 612 kWh/m², avaliados respectivamente por Zmeureanu et al. (1994) e Deng (2003), Deng e Burnett (2000), porém é superior à dos hotéis da Grécia (SANTAMOURIS et al., 1996 apud PRIYADARSINI et al., 2009), estimada em 273 kWh/m².

Os valores atuais energéticos de hotéis do Cingapura mostram uma diferença de 41 kWh/m² com relação aos mesmos hotéis do banco de dados da CEAP. Essa redução energética pode ser explicada pela melhoria do desempenho energético alcançado durante a última década.

Pelo estudo de Priyadarsini et al. (2009), a eletricidade e o gás são usados em todos os hotéis da amostra, e alguns hotéis também usam diesel para armazenar energia no gerador de eletricidade ou para o aquecimento da água com o uso da caldeira. Nesse mesmo estudo foram investigadas as relações entre o consumo de eletricidade e o número de quartos ocupados em hotéis individuais. A fraca correlação encontrada indica a necessidade de melhorar a gestão de energia nos períodos de baixa circulação do hotel. No estudo ainda revelou que os hotéis de três estrelas diferem dos estabelecimentos de alta classe no uso de energia e a influência das condições climáticas no consumo energético do hotel.

As relações entre o consumo de energia e condições climáticas têm sido estudadas por muitos pesquisadores e comprovadas a sua forte correlação. Como resultado, vários modelos foram desenvolvidos principalmente para facilitar a medição precisa da reserva energética e previsão do uso futuro da energia. Alguns dos modelos propostos incluem modelos de regressão linear simples relacionando média mensal de temperatura externa com aquecimento ou arrefecimento pelo uso de energia, outros mais complicados, foram considerados efeitos combinados de temperatura, umidade e radiação solar.

Ainda no estudo de Priyadarsini et al (2009) é defendida a idéia de que as informações sobre o consumo de energia de cada hotel deve ser obtida através de auditoria de sistemas importantes como climatização, iluminação e ventilação em hotéis. Este é um dispendioso processo que envolve equipamentos sofisticados. A comparação de sistema de desempenho energético permite identificar os edifícios com sistemas individuais ineficientes, em vez da indicação de intensidade do uso global de energia. Portanto, medidas corretivas podem ser rapidamente direcionadas para determinados sistemas identificadas como ineficiente.

4.5 Síntese da revisão bibliográfica e outras referências

O primeiro tópico aqui apresentado ressalta a importância da prática de uma legislação que minimize os impactos ambientais e incentive projetos de edificações sustentáveis.

No trabalho do Carlo (2008) defende-se a idéia de que as normas surgem com uma crise energética e mostra a importância de adotar as normas já existentes para alcançar a eficiência energética. Lamberts (1997) propõe, após estudos de normas reguladoras de consumo energético em outros países, uma metodologia com atividades bem estruturadas para alcançar com maior efetividade a normalização do setor energético.

Ambos defendem a importância de uma normalização para a redução do consumo energético. Para isso ser alcançado com maior rapidez, deve haver incentivos também nos países sem legislação relativa ao consumo energético e não deixar acontecer outras crises energéticas no Brasil para implementar novas leis no país.

A segunda parte da revisão bibliográfica serviu para caracterizar a edificação típica de um hotel, levantando dados de consumo energético em função da área efetiva dos hotéis ou pela classificação de qualidade em função da quantidade de estrelas dos mesmos (PRIYADARSINI et al., 2009).

O trabalho de Hendrikx (2008) mostra os consumos de combustíveis e gastos com eletricidade e os usos finais para a distribuição nos hotéis típicos. Por fim Hendrikx (2008) mostra os indicadores energéticos de referencia, os quais

posteriormente serão comparados com o modelo de edifício adotado no presente trabalho.

Os hotéis de estudo do Priyadarsini et al (2009) não servem de base para referência, devido a enorme quantidade de hotéis de luxo localizadas na cidade de Singapura.

Segundo estudos de *benchmarking* do departamento de indústria, turismo e de recursos do governo australiano (AGDITR, 1999), os melhores indicadores energéticos na prática para hotéis de hospedagem e para hotéis de negócios são dadas por 208 kWh/m² e 292 kWh/m², respectivamente.

Outra referência ainda não mencionado é o trabalho de Mariana (2008), o qual serve de referência para diversos aspectos da edificação em estudo, tais como, a geometria do pavimento tipo, valores de cargas máximas dos equipamentos e da iluminação para cada zona, quantidade média de pessoas zona por zona. Esse trabalho será bastante referenciado no tópico 7 desse trabalho.

5. Análise da norma ASHRAE 90.1-2007

A ASHRAE 90.1 é a norma norte-americana adotada pelo Brasil para diversas edificações, incluindo os hotéis. Estudos de Carrières (2007) e Correna (2008) validaram a aplicação dessa norma dentro do território brasileiro. Além disso, a ASHRAE 90.1 também é a base da Lei de Eficiência Energética 10.285/2001, que gerou o Programa para Etiquetagem de Edifícios (Procel Edifica, 2010), o qual entrará em vigor no Brasil em 2012.

As principais informações que podem ser obtidas da norma são as propriedades físicas dos componentes da edificação, como transmitância térmica, fator solar de vidros e resistência térmica de isolamentos, os quais estão relacionados à envoltória da edificação por onde ocorrem trocas de calor entre as diferentes meios locais. Construtivamente para vidros, é limitada uma porcentagem máxima de 40% para área envidraçada nas fachadas e 5% para a cobertura com a finalidade de barrar a transferência de calor por radiação solar.

A frequência de ocupação, de sistemas de iluminação artificial, de sistemas de climatização e de outros equipamentos elétricos são indicadas na tabela do manual do usuário (ASHRAE, 2007).

Ainda para os sistemas de climatização, são analisados na norma, os sistemas de aquecimento, refrigeração e ventilação da edificação (AVAC), especificando COP mínimo de máquinas térmicas em função das potências dos mesmos.

Descrita a norma da ASHRAE 90.1 de uma forma geral, pode-se direcionar a revisão bibliográfica para os capítulos de interesse ao projeto, a saber:

- Capítulo 5: Envoltória da edificação

Nesta seção são especificados os requisitos para o revestimento dos edifícios, considerando o tipo de clima e região da edificação.

Também são consideradas as alterações nos revestimentos, tais como os isolamentos, vazamentos de ar, renovação de ar, abertura da janela e cavidades nas paredes e portas.

Neste capítulo são estabelecidas condições limites para as propriedades dos componentes (portas, janelas, paredes, tetos, pisos)

pelas diversas zonas climáticas, como alguns fatores multiplicadores, espessura, transmitância térmica, absorptância de paredes e coberturas. Para o Brasil, zonas climáticas 1 e 2, segundo a norma ASHRAE 90.1, esses valores são dados por (Tabela 5.1):

Tabela 5.1 - Características da transmitância térmica das paredes, teto e piso e do fator solar das janelas para o modelo *Baseline*

Elementos	Transmitância térmica – U (W/m ² K)	Coefficiente de Ganho de Calor Solar SHGC (adim.)
Teto metálico	0,36	-
Parede Externa Aço moldado	0,705	-
Piso	0,296	-
Janela	6,93	0,25

- Capítulo 6: Sistemas AVAC

Nesta seção são especificados para os edifícios novos e velhos os requisitos para os equipamentos mecânicos, tais como os aquecedores, os ventiladores e ar condicionados.

Basicamente, esses equipamentos devem respeitar diversas condições listadas na norma. Para o caso do hotel, destaca-se a os sistemas térmicos fornecidos aos espaços diferentes, como os quartos de hóspedes. Nas condições desses sistemas terem ou arrefecimento ou aquecedor com capacidade superior a 4,4 kW e fornecimento de energia pelo motor superior a 0,5 kW, os sistemas devem estar equipadas com um temporizador, sendo que o temporizador deve desempenhar as seguintes funções:

- iniciar e parar o sistema em horários diferentes ao longo dos 7 dias da semana;
- manter-se programado em caso de perda de energia de no máximo 10 horas;

- possuir um acessível sistema manual que permita operar com autonomia de até 2 horas;
- reduzir a temperatura para até 13 °C com o sistema desligado;
- aumentar a temperatura para até 32 °C com o sistema desligado

Esse capítulo, essencialmente estabelece para os sistemas térmicos, parâmetros de eficiência baseados no desempenho do sistema (COP).

- Capítulo 7: Serviços de aquecimento de água

Nesta seção são especificados os requisitos para os sistemas de aquecimento da água. Todos os equipamentos de aquecimento de água, caldeiras de água quente utilizada exclusivamente para aquecimento de água potável, aquecedores de piscina e tanques de armazenamento de água quente devem obedecer aos limites e critérios listados na Tabela 7.8 da ASHRAE 90.1

Nesse capítulo também são indicados todos os equipamentos conectados à piscinas aquecidas ou para outros tipos de serviço que requiere o aquecimento de água, tais como os sistemas de controle de temperatura e temporizadores.

6. O programa *Energy Plus*

O *Energy Plus* é um programa que simula o desempenho térmico e energético de edificações com todos os sistemas que compõem a edificação e que são relevantes no seu desempenho, tais como os sistemas de climatização (resfriamento, aquecimento e ventilação), sistemas de iluminação, propriedades térmicas de materiais, e outros elementos que participam das trocas térmicas (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2010). Todas as simulações realizadas para análises desse estudo foram executadas no programa *Energy Plus* versão 5.0.

O programa foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos EUA e vem ganhando espaço junto a simuladores após ter sido validado através do método BESTEST, da *Standard 140* (ASHRAE, 2001). O *Energy Plus* se baseia no método de balanço térmico, o qual a ASHRAE recomenda para o cálculo e análises energéticas (STRAND et al., 2001). O programa reuniu as potencialidades do DOE-2 e do *Blast* de simular edificações climatizadas, ou não, para diferentes condições climáticas e de uma determinada localização geográfica. A junção das duas ferramentas permitiu o desenvolvimento de uma nova ferramenta mais robusta e com uma aplicação mais ampla ligada a essa área de eficiência energética em diversas edificações. Além disso, o programa tem o seu código aberto para inclusão de novos módulos.

O programa apresenta essencialmente 3 módulos básicos: um gerenciador da simulação, um módulo de cálculo de cargas através do balanço térmico e um módulo de simulação de sistemas. Ainda fornece dados de consumo de energia, cargas térmicas, PMV, simula o aproveitamento da luz natural, dentre outros recursos que aumentam com o passar do tempo, visto que o programa tem atualização periódica. Considera fluxos de ar diferenciado por zonas, trabalha com sistemas modulares de climatização e pode simular dias de projeto ou um ano inteiro. Para os dias de projeto, os dados são inseridos durante a modelagem, enquanto o ano completo é simulado com um arquivo climático que contém 8760 horas de dados climáticos que incluem temperaturas, umidade, radiação solar incidente no local e a extraterrestre, vento, pressão atmosférica, iluminância, dentre outros (CRAWLEY et al., 2001).

7. DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A simulação foi realizada para uma edificação real, o hotel Formule 1 integrante da rede de hotéis ACCOR situado na cidade de São Paulo região central, Consolação. A edificação possui uma torre com 19 andares para acomodação dos hóspedes (pavimento tipo) e um andar térreo englobando a recepção, refeitório e salas administrativas como também as garagens que se encontram no subterrâneo. Para simplificar o modelo, adotou-se o pavimento tipo do térreo ao 20º andar, todos climatizados e alimentados por água quente. Para a entrada dos dados da simulação quanto à localização da edificação, os valores são ilustrados como indica a figura 7.1.

Nos próximos subtópicos serão mostrados com detalhes a envoltória, a iluminação, a ocupação, os equipamentos e sistemas AVAC que compõe o hotel em estudo, de acordo com os valores de referência da norma ASHRAE Standard 90.1.

7.1 Envoltória da Edificação

O projeto de construção de uma edificação atual deve ser um projeto bioclimático ou minimamente auto-sustentável, o qual deve utilizar a edificação como um filtro para as condições climáticas do local com a finalidade de proporcionar conforto ambiental ao usuário (GIVONI, 1976). Porém, tem se observado com maior frequência o distanciamento da prática arquitetônica das análises dos aspectos climáticos locais.

Assim, uma das estratégias para melhorar o desempenho térmico é analisar em conjunto a arquitetura e parâmetros construtivos da edificação, tais como, os materiais constituintes de paredes, pisos, tetos e janelas.

No pavimento tipo, cuja planta se encontra na figura 7.1, foi considerado que as paredes externas eram compostas de argamassa e tijolo, as internas de argamassa e gesso, o teto de concreto e lajota, o piso de concreto e as janelas de um vidro de camada simples, cujas propriedades se encontram nas tabelas 7.1 e 7.2. Foram ajustadas os valores de U (transmitância térmica) das paredes externas e SHGC (coeficiente de ganho de calor solar) das janelas para 0,25, respeitando os valores de propriedades dos materiais de acordo com Labeeb (2010).

Tabela 7.1 - Propriedades dos materiais utilizados no pavimento tipo

Material	Condutividade Térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m³)	Calor Específico (J/kg.K)	Espessura (mm)
Gesso	0,35	875	840	15
Laje de concreto	1,75	2200	1000	200
Lajota	1,8	1992,1	830,0	100
Reboco	1,15	2000	1000	25

Tabela 7.2 - Propriedades do material sem massa utilizado na composição de paredes do pavimento tipo

Material	Resistência Térmica (W/m.K)	Absortância Térmica	Absortância Solar	Absortância Visível	Espessura (mm)
Isolante	1,111	0,9	0,5	0,5	50

Tabela 7.3 - Propriedades do vidro utilizado na janela do pavimento tipo

Material	Condutividade Térmica (W/m.K)	Transmitância Visível	Transmitância Solar	Espessura (mm)
Vidro SHGC 0,25	0,12	0,15	0,1	8,1

Foi adotado o modelo para a simulação a geometria ilustrada na fig. 7.1, onde o pavimento tipo foi dividido em quatro zonas térmicas: uma da área comum do pavimento, que engloba o corredor e elevadores (Zona 4 da fig. 7.2), outra contendo os quartos da fachada oeste (Zona 1 da fig. 7.2) e mais duas contendo os quartos da fachada leste (Zona 2 e Zona 3 da fig. 7.2), sendo que essa divisão decorreu da geometria do pavimento, em que a área comum divide em dois o espaço dos quartos na fachada leste (MARIANA, 2008).

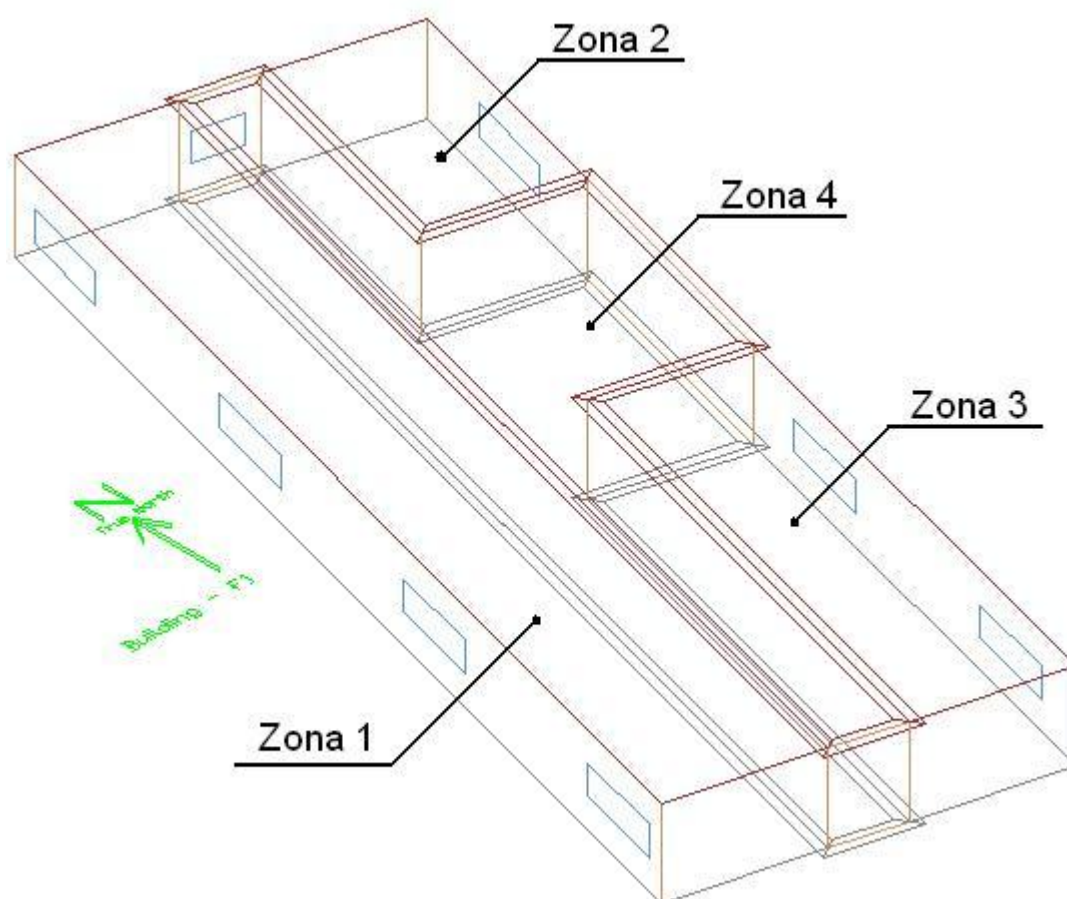


Figura 7.2 - Vista isométrica do modelo do pavimento tipo usado nas simulações (MARIANA, 2008)

Depois de inseridos os materiais com as suas propriedades no *Energy Plus*, foi realizada a construção das paredes externas, paredes internas, piso e teto do

pavimento tipo, sendo que na tabela 7.4 encontram-se as composições dessas construções:

Com essas composições chega-se, por meio de uma simples simulação para um dia de projeto, as propriedades de transmitância térmica (U) das paredes, pisos e teto e valor de Fator Solar (SHGC) ajustadas de acordo com a ASHRAE 90.1 (Tabela 7.5).

Ainda sobre as janelas, construtivamente esse elemento está dentro do limite estimulado pela ASHRAE 90.1 (2007), a porcentagem de área envidraçada nas fachadas sobre o total da área opaca não supera 40%.

Tabela 7.4 - Composição dos elementos construtivos do modelo estudado

Elementos Construtivos	Teto	Parede Externa	Piso	Janela
Material 1	Gesso (15 mm)	Gesso (15 mm)	Reboco (25 mm)	Vidro SHGC 0,25
Material 2	Lajota	Gesso (15 mm)	Laje de Concreto (20 cm)	-
Material 3	-	Isolante (50 mm)	Reboco (25 mm)	-
Material 4	-	Gesso (15 mm)	-	-
Material 5	-	Gesso (15 mm)	-	-

Tabela 7.5 - Características da transmitância térmica das paredes, teto e piso e do fator solar das janelas ajustados conforme o modelo baseline da ASHRAE 90.1 (2007)

Elementos	Transmitância térmica – U (W/m²K)	Coefficiente de Ganho de Calor Solar SHGC (adim.)
Teto metálico	0,36	-
Parede Externa Aço moldado	0,698	-
Piso	0,296	-
Janela	4,25	0,25

Mantendo a simplificação do modelo físico de Mariana (2008), consideraram-se as seguintes hipóteses: as janelas dos quartos constituem um único elemento, de forma que cada uma das zonas térmicas possui apenas uma janela; não

existe parede entre os quartos dentro de uma mesma zona; a temperatura do piso e do teto se mantém em um valor constante de 24°C.

A simplificação na quantidade de janelas foi possível, pois todas as janelas são constituídas de um mesmo material de vidro.

A segunda e a terceira hipótese são válidas, pois a quantidade de luminárias, de equipamentos e de ocupação é igualmente distribuída entre os quartos e existem outros andares acima e abaixo destes.

7.2 Perfis horários de ocupação, iluminação, consumo de equipamentos e renovação de ar

Os perfis de ocupação, iluminação e consumo de equipamentos para cada hora do dia e para diversos dias, tais como, dias de semana padrão (dias úteis), sábado, domingo, feriados ou outros dias particulares encontram-se no Anexo A desse trabalho. No programa foram inseridos esses valores, dadas em fração de carga máxima, no campo que define o perfil de ocupação, iluminação e de consumo de equipamentos no dia e os respectivos valores de cargas máximas são inseridos zona por zona.

As cargas máximas foram tomadas de acordo com Mariana (2008), por meio de um estudo de campo, levantando-se a potência instalada de iluminação e equipamentos. Para a ocupação dos ambientes foram tomados valores médios mensais de pessoas por quarto nos anos de 2004 a 2006.

O perfil de renovação de ar é constante durante o dia todo e independe das particularidades do dia da semana. O valor da infiltração foi estimado como sendo a troca de ar por hora (Mariana, 2008).

A distribuição de cargas térmicas devido aos equipamentos, a iluminação e a ocupação, assim como a vazão de renovação de ar estão mostradas na tabela 7.6. A carga térmica da Zona 1 é a maior comparada com as outras zonas por causa da superioridade da área de piso dessa zona térmica.

Tabela 7.6 - Valores de ocupação, iluminação, gasto com equipamentos e vazão de renovação de ar em função das zonas termicas

Zona	Ocupação (pessoas)	Iluminação (W)	Equipamentos (W)	Infiltração (m ³ /s)
1	20,8	1488	402	0,1231
2	5,2	372	108	0,0305
3	10,4	744	216	0,0611
4	1,8	224	0	0,0921

7.3 Perfil horário de operação do sistema AVAC

O perfil de sistema AVAC para cada hora do dia e para diversos dias, tais como, dias de semana padrão (dias úteis), sábado, domingo, feriados ou outros dias particulares é estar sempre acionado, como mostrado no Anexo A.

O sistema de ar condicionado utilizado no edifício foi dimensionado por meio de uma simulação para dias específicos de projeto (*design days*) e definido primariamente pela tipologia da edificação. A máquina a ser adicionada na simulação em estudo foi projetada para verão suprimindo as demandas de carga térmica dos dormitórios, recepção e refeitório. Para a seleção do sistema de ar condicionado, é consultado a tabela 7.7, os quais mostram as características principais de variados sistemas de ar condicionado de excelente desempenho energético em função da carga térmica demandada no dia específico de projeto.

Na tabela 7.7 se encontram especificados os requisitos mínimos de eficiência dos resfriadores de líquidos, de acordo com as características do equipamento. Para um resfriador de líquido tipo parafuso de 528kW a 1055kW, o COP mínimo é de 4,90.

De acordo com a norma, os equipamentos de climatização são discriminados de acordo com a sua capacidade nominal e o seu tipo, tais como, equipamento de expansão direta, resfriador de líquido por parafuso e resfriador de líquido por absorção. Como é de conhecimento o tipo de máquina e a capacidade instalada do sistema de climatização, o qual é composto por resfriador de líquido com condensação à água, caixas de VAV servindo as zonas e com torres de resfriamento

para suporte (MARIANA, 2008), é possível identificar o tipo de sistema por meio da tabela 11.3.2A da ASHRAE (2007a) (Sistema no. 1).

Ainda para o sistema de climatização, foram adicionadas torres de resfriamento no modelo do edifício de simulação, que embora demandem excessiva carga energética de fonte elétrica dos motores, esses componentes estão presentes nos variados tipos de hotéis em operação.

Tabela 7.7 – Mínima Eficiência requerida pelo sistema de água de refrigeração (*chiller*) (ASHRAE, 2007a)

Tipo de Equipamento	Categoria	Eficiência mínima	Procedimento experimental
<i>Chiller</i> operado eletricamente, refrigerado a ar com condensador	Todas as capacidades	2,80 COP 3,05 IPLV	ARI 550/590
<i>Chiller</i> operado eletricamente, refrigerado a ar sem condensador	Todas as capacidades	3,10 COP 3,45 IPLV	ARI 550/590
<i>Chiller</i> operado eletricamente, refrigerado à água com deslocamento positivo	Todas as capacidades	4,20 COP 5,05 IPLV	ARI 550/590
<i>Chiller</i> operado eletricamente, refrigerado à água com deslocamento positivo, compressor de parafuso ou rotativo	< 528 kW	4,45 COP 5,20 IPLV	ARI 550/590
	>= 528 kW < 1055 kW	4,90 COP 5,60 IPLV	
	>= 1055 kW	5,50 COP 6,15 IPLV	
Operado eletricamente, refrigerado à água com deslocamento positivo, compressor centrífugo	< 528 kW	5,00 COP 5,25 IPLV	ARI 550/590
	>= 528 kW < 1055 kW	5,55 COP 5,90 IPLV	
	>= 1055 kW	6,10 COP 6,4 IPLV	
<i>Chiller</i> de absorção de efeito simples, refrigerado a ar	Todas as capacidades	0,60 COP	ARI 560
<i>Chiller</i> de absorção de efeito simples, refrigerado à água	Todas as capacidades	0,70 COP	
<i>Chiller</i> de absorção de efeito duplo, com expansão indireta	Todas as capacidades	1,00 COP 1,05 IPLV	
<i>Chiller</i> de absorção de efeito duplo, com expansão direta	Todas as capacidades	1,00 COP 1,00 IPLV	

7.4 Outras fontes de ganho de calor

Cargas de elevadores, iluminação externas e equipamentos para aquecimento de água são outras fontes de ganho de calor consideradas nesse estudo e são parcelas significativas no consumo de hotéis.

O valor de carga de elevadores foi adotado como 41600 W conforme o levantamento de consumo energético realizado pelo Mariana (2008). Para iluminação externa foram considerados densidade de potência das rotas de fuga, de vigia e da garagem. Os seus valores são dadas por 18 W para cada uma das duas rotas de fuga, totalizando 720 W, 1000 W para vigia externa e 1480 W para garagem nos dois subsolos do hotel, de acordo com o valor de 2 W/m² estabelecido para referência pela ASHRAE 90.1 (2007a). As iluminações de vigia e da rota de fuga estão acesas constantemente durante o dia.

Os serviços de água quente são compostos pelos aquecedores para chuveiro e para torneiras, sendo adotado o consumo indicado no manual da ASHRAE (2007a), 325 W por pessoa, desse valor, foi adotado 70% para fornecimento de água quente aos quartos e 30% para serviço para cozinha.

O perfil de uso do elevador está mostrado no Anexo A e os perfis de uso da iluminação da garagem e da água quente estão mostrados no Anexo C, dadas em fração de carga máxima.

8. RESULTADOS E ANÁLISES

Nesse tópico serão mostrados parâmetros de entrada para o programa *Energy Plus* v. 5.0 que não foram definidos e expostos anteriormente, seguido de resultados da simulação do dia de projeto e da simulação anual para a cidade de São Paulo.

8.1 Simulação do dia de projeto

Para a simulação do dia de projeto é necessário ainda incluir dados de um dia específico no *Energy Plus*, alguns desses dados podem se encontram na Tabela 8.1.

Em geral, são extraídos da simulação do dia de projeto os valores nominais de equipamentos térmicos para poder realizar o dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar, assim é preciso que o dia de projeto representem extremos de temperatura para alcançar demandas máximas de aquecimento e resfriamento dos ambientes internos de uma edificação. Os dados do dia de projeto para a condição de cálculo de carga de resfriamento são apresentados na Tabela 8.1.

Essas condições específicas para dimensionamento foram obtidas por meio de tratamento estatístico sobre arquivos climáticos de dados horários. As condições de pico utilizadas para dimensionar a capacidade dos equipamentos do *baseline* são obtidas a partir de três dias de projeto definidos no Apêndice G da norma ASHRAE (2007) com a seguinte probabilidade de ocorrência: 99,6%, para as temperaturas de projeto de aquecimento e 1%, para as temperaturas de projeto de resfriamento de bulbo seco e bulbo úmido. Para condições climáticas brasileiras, não há necessidade da coluna 2 e 4 da tabela 8.1, pois não há demanda por aquecimento nestas regiões.

Tabela 8.1 - Dias de projeto (*Design Day*) para dimensionamento de carga de resfriamento e aquecimento para a cidade de São Paulo - Aeroporto Congonhas.

Variáveis	1% →Resfriamento TBU	99.6% → Aquecimento	1% →Resfriamento TBS	99.6% → Aquecimento
Temperatura máxima de bulbo seco (°C)	3,1	19,8	32	8,8
Amplitude de temperatura no dia de projeto (°C)	8,2	0	8,3	0
Temperatura de bulbo úmido (°C)	20,5	19,8	22,4	4,3
Pressão atmosférica (Pa)	92043	92043	92043	92043
Velocidade do vento (m/s)	3,1	8	2,9	2,3
Direção do vento (graus em relação ao norte)	330°	160°	300°	180°
Índice de nebulosidade do céu	1 (céu claro)	0 (céu escuro)	1 (céu claro)	0 (céu escuro)
Índice de chuva	0 (sem chuva)	0 (sem chuva)	0 (sem chuva)	0 (sem chuva)
Dia do mês	21	7	21	7
Mês	Fevereiro	Julho	Fevereiro	Julho

8.1.1 Resultados obtidos da simulação do dia de projeto

Após a introdução de todos os parâmetros relacionados a envoltória, a frequência de uso de equipamentos elétricos, iluminação e sistemas de climatização, pode-se obter pela simulação do dia de projeto, as seguintes capacidades nominais de equipamentos térmicos (Tabela 8.2).

Tabela 8.2 – Capacidade Nominal dos equipamentos térmicos gerado pelo *Energy Plus*

Tipo de equipamento	Capacidade Nominal [W]	Eficiência Nominal [W]
Unidade Resfriadora: Chiller elétrico	439.124	4,45
Caldeira para atender ambientes abaixo da zona de conforto térmico	810.525	0,77
Torre de resfriamento	636.730	

Ainda nessa simulação podem-se gerar gráficos de padrão de uso e ocupação, apresentadas na fig. 8.1, os quais estão reproduzidos os perfis de ocupação e os perfis de consumo de energia elétrica por uso de equipamentos e elevadores, iluminação e sistemas AVAC. Esses valores foram obtidos para a simulação em um dia útil de verão.

Os regimes operacionais são informações essenciais para a realização da simulação de eficiência energética. O perfil de uso de todas as cargas incorporadas à edificação deve ser determinado juntamente com a equipe técnica de projetistas, sendo necessário, em certos casos, pesquisas aplicadas diretamente junto ao usuário, com o objetivo de determinar horários específicos de uso para cada dia útil, obtendo-se então a melhor média para o regime operacional da edificação.

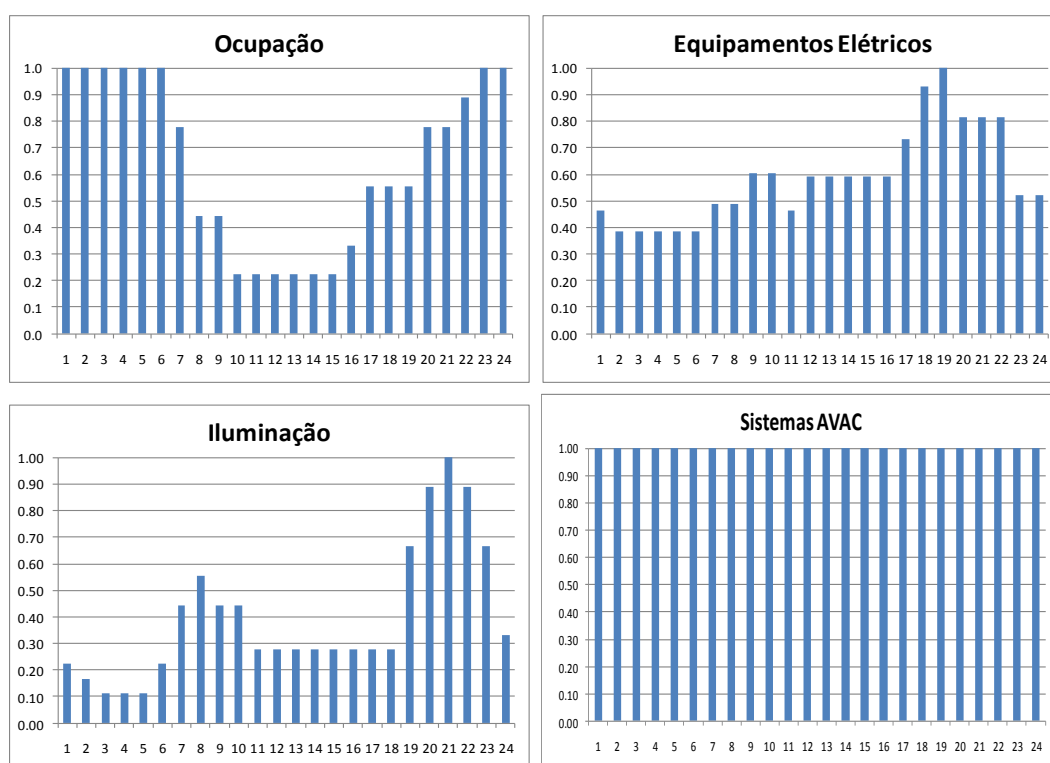


Figura 8.1 – Perfil de disponibilidade dos sistemas AVAC, iluminação e equipamento e perfil de ocupação nos dias úteis no verão

8.2 Simulação anual

Para a simulação anual devem-se utilizar arquivos climáticos específicos para o *Energy Plus*, os quais representam as condições climáticas de uma determinada região da Terra.

Segundo o departamento de energia dos Estados Unidos da América (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2010), o arquivo climático utilizado para a simulação anual, no presente trabalho, possui o formato TMY (*Test Meteorological Year*), resultante do projeto de pesquisa *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), juntamente com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Todo esse trabalho conjunto entre as instituições garantem, em tese, uma confiabilidade nos dados, segundo os aspectos do clima das regiões diversas simuladas até o presente momento.

Primeira informação que é comumente levantada por meio da simulação anual é a matriz energética (fig. 8.2 e 8.3). A avaliação da matriz energética pelo *Energy Plus* é simples, prático e ainda permite avaliar erros na distribuição de consumo de energético.

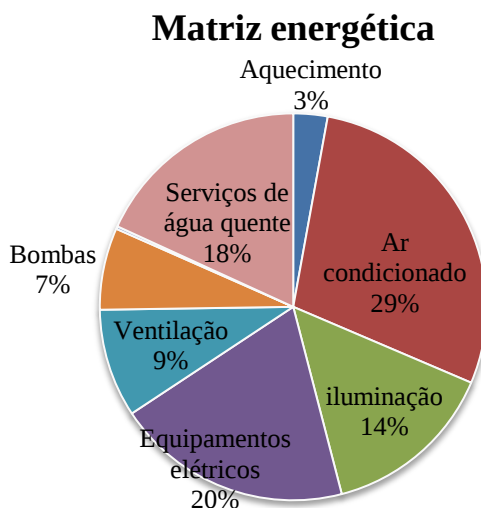


Figura 8.2 – Participação das cargas de processo no uso final de Energia para São Paulo

Matriz energética simplificada

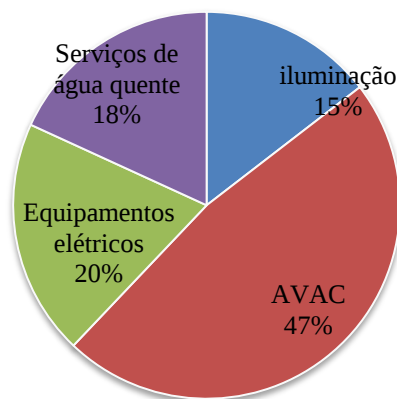


Figura 8.3 – Distribuição de energia anual para os equipamentos, iluminação e sistemas AVAC para São Paulo

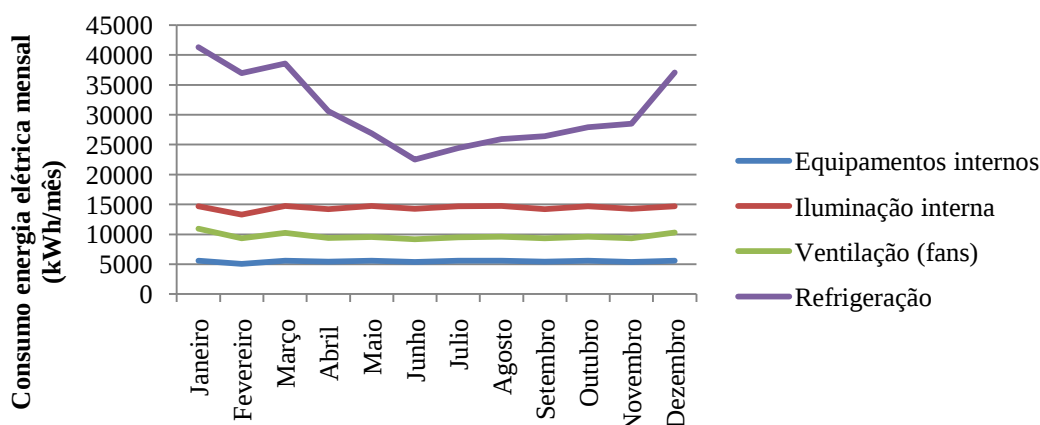


Figura 8.4 – Distribuição de consumo de energia elétrica mensal pelos diferentes usos (SP)

A matriz energética simplificada (fig. 8.3) permite avaliar com maior facilidade a distribuição de consumo energético. A fig. 8.3 mostra que o sistema AVAC é predominante com 47% de um total de 1.285.616 kWh de consumo. Fig. 8.4 mostra a ordem de grandeza dos principais fontes de consumo de energia elétrica para avaliação do consumo energético detalhado de mês a mês. O sistema AVAC tem comportamento oscilatório de acordo com a zona climática do hotel, enquanto o consumo pelos equipamentos, pela iluminação interna são menos oscilatórios ao longo do ano.

Segundo a Mizgier (2006), de todo o consumo de energia em edificação no Brasil, um mínimo de 25% deve ser carga de processo, ou seja, computadores,

bombas hidráulicas, equipamentos de cozinha, elevadores, etc. Dessa carga não é possível ganhar economia de energia, a estratégia para eficiência energética seria reduzir os gastos com outros 75% do consumo total, substituindo sua operação por ventilação natural em alguns horários específicos do dia, pensando em conjunto uma solução para o ganho de iluminação por aproveitamento natural.

8.3 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade de parâmetros exige a realização da caracterização completa da edificação, junto com a seleção do equipamento térmico do hotel, o qual foi determinado unicamente pela tipologia da edificação conforme estabelecido pela ASHRAE (2007a). Essa análise tem como finalidade encontrar o parâmetro de maior contribuição para o consumo energético anual do hotel em estudo.

A metodologia dessa análise é variar $\pm 20\%$ o valor do parâmetro e comparar o consumo energético anual pela simulação no *Energy Plus*. Os parâmetros a serem analisados nesse estudo são: densidade de ocupação do hotel, carga de equipamentos, potencia de iluminação, vazão de ar de infiltração, coeficiente de desempenho do *chiller* e eficiência do aquecedor, densidade de potência pelos equipamentos para serviços de água quente.

Tabela 8.3 mostra valor de referência para consumo energético por uso final, sendo 187.036 kWh o consumo energético por iluminação, 611.157 kWh, consumo pelo sistema AVAC, 253.880 kWh, consumo pelos equipamentos elétricos e 233.544 kWh, consumo pelos serviços de água quente.

Tabela 8.3 - Valor de referência para consumo energético por uso final

Sistema Iluminação (kWh)	Sistema AVAC (kWh)	Equipamentos (kWh)	Serviços de água quente (kWh)
187.036	611.157	253.880	233.544

8.3.1 Variação da densidade de ocupação do hotel

As densidades de ocupação, bem como a sua variação encontram-se na tabela 8.4 e os valores comparativos para análises de consumo anual da matriz energética estão mostradas na Figura 8.5.

Tabela 8.4 - Valor de ocupação por zona para análise de sensibilidade

Zona	Ocupação Referência (pessoas)	Ocupação -20% (pessoas)	Ocupação +20% (pessoas)
1	20,8	16,6	25
2	5,2	4,16	6,24
3	10,4	8,32	12,48
4	1,8	1,44	2,16

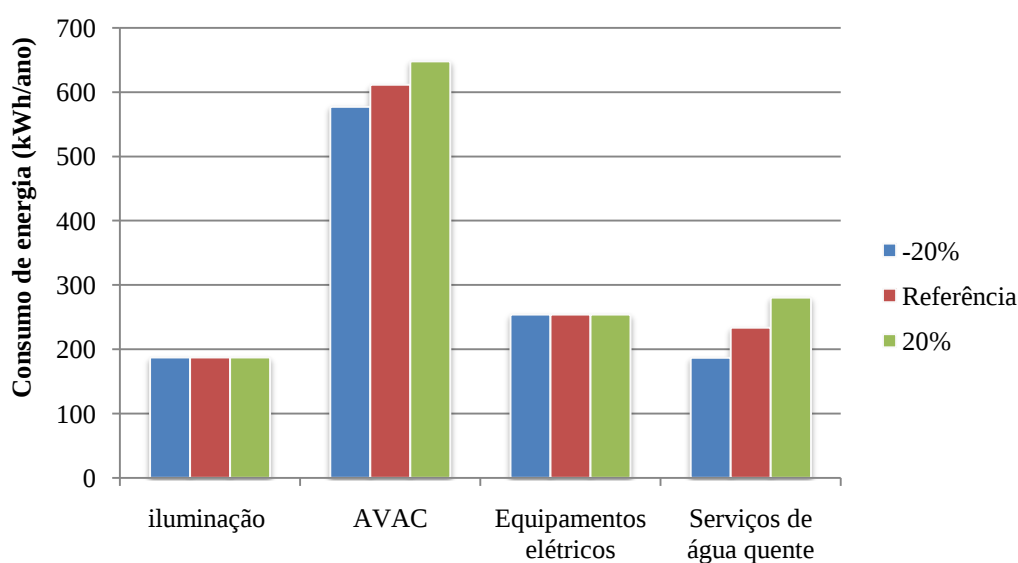


Figura 8.5 – Gráfico comparativo do consumo energético em kWh por ano pelas parcelas de distribuição de energia com variação da ocupação

Pela fig. 8.5 tem-se que a variação de $\pm 20\%$ da densidade de ocupação não altera o consumo pela iluminação e pelos equipamentos elétricos instalados no hotel, porém o sistema AVAC é dependente da carga térmica relativa a ocupação e os serviços de água quente são dependentes unicamente pela ocupação, uma vez que terá maior demanda para água de chuveiro e para aquecimento de torneiras. O sistema AVAC teve uma variação de $-5,5\%$ para o seu valor de referência em baixa ocupação e variação de $+6\%$ para o seu valor de referência (611.156,6 kWh) com aumento da ocupação, já o consumo pelo serviço de água quente, teve uma variação positiva e negativa de 20% em relação à referência, a qual é dada por 233.544 kWh. O consumo anual total pela área em metros quadrado variou de $163,7 \text{ kWh/m}^2$ a 186 kWh/m^2 , com valor de referência fixado em $174,65 \text{ kWh/m}^2$.

8.3.2 Variação da carga de equipamentos elétricos internos

Os valores de potência de equipamentos internos estão mostrados na tabela 8.5 e o gráfico comparativo de distribuição de energia no seu uso final está mostrado na fig. 8.6.

Tabela 8.5 - Valor de potência de equipamento por zona para análise de sensibilidade

Zona	Equipamento Referência (W)	Equipamento -20% (W)	Equipamento +20% (W)
1	402	321,6	482,4
2	108	86,4	129,6
3	216	172,8	259,2
4	0	0	0

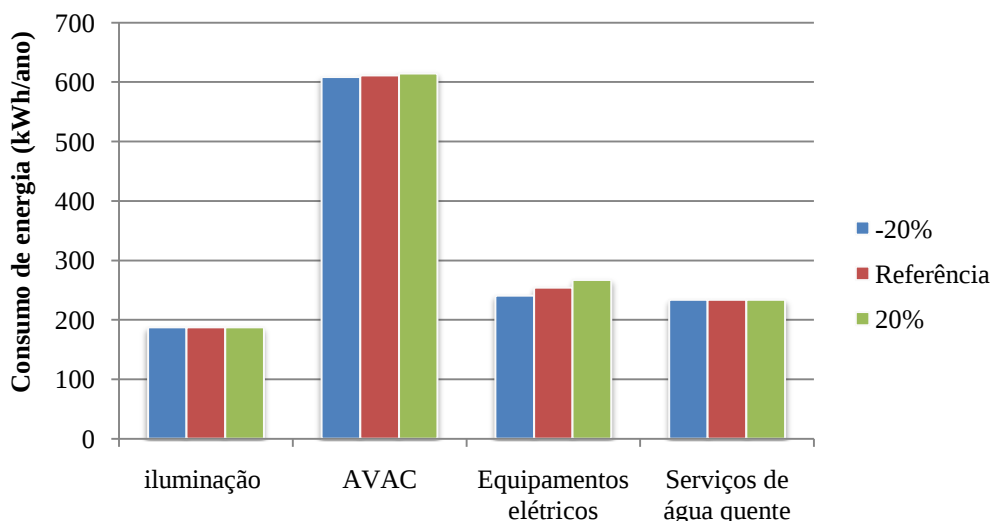


Figura 8.6 – Gráfico comparativo do consumo energético em kWh por ano pelas parcelas de distribuição de energia com variação da carga de equipamentos internos

Da fig. 8.6 tem-se que a variação de $\pm 20\%$ da potência de equipamentos internos elétricos não altera o consumo pela iluminação e pelos serviços de água quente, o sistema AVAC não altera significativamente (variação de $\pm 0,5\%$) por causa da baixa contribuição de carga térmica relativa à potência desses equipamentos. Por último, é esperada a variação no consumo pelos equipamentos elétricos, porém essa variação é de apenas $\pm 5\%$ em relação à referência (253.880 kWh) de consumo de equipamentos. Essa pequena variação é explicada pela pouca contribuição de consumo de equipamentos internos em relação a equipamentos externos, como elevadores. Consumo anual total pela área em metros quadrado

variou de 172,45 kWh/m² a 176,86 kWh/m², com valor de referência fixado em 174,65 kWh/m².

8.3.3 Variação da carga de iluminação

Os valores de potência de iluminação interna e externa e suas variações estão mostrados na tabela 8.6 e a matriz energética comparada com variação do parâmetro está mostrada na fig. 8.5.

Tabela 8.6 - Valor de potência de iluminação por zona e iluminação externa para análise de sensibilidade

Iluminação Interna			
Zona	Equipamento Referência (W)	Equipamento -20% (W)	Equipamento +20% (W)
1	1488	1190,4	1785,6
2	372	297	446,4
3	744	595,2	892,8
4	224	179,2	268,8
Iluminação Externa			
Rota de fuga	720	576	864
Vigia	1000	800	1200
Garagem	1480	1184	1776

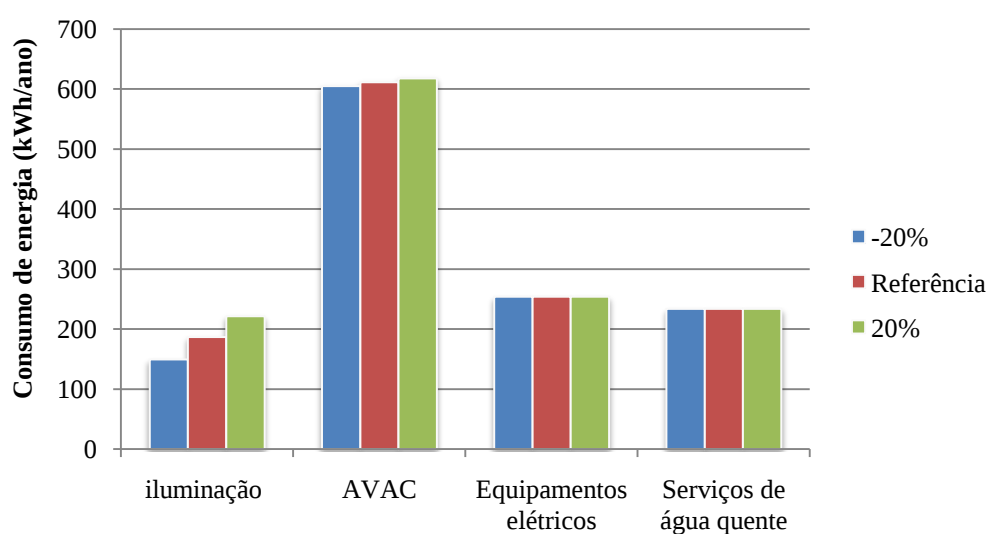


Figura 8.7 – Gráfico comparativo do consumo energético em kWh por ano pelas parcelas de distribuição de energia com variação da carga de iluminação

Pela fig. 8.7 tem-se que a variação de $\pm 20\%$ da potência de iluminação geral (interna e externa) não altera o consumo pelos equipamentos e pelos serviços de água quente, e o sistema AVAC não altera significativamente (variação de $\pm 0,1\%$) por causa da baixa contribuição de carga térmica relativa à potência de iluminação interna e principalmente por causa das luminárias externas, as quais não contribuem para diretamente para o ganho de calor pelo hotel. Como esperado, a variação de consumo pelo sistema de iluminação foi proporcional à variação na densidade de potência de iluminação das zonas térmicas. Fig. 9.3 mostra essa variação, sendo de $+19\%$ em relação à referência (187.036 kWh) de consumo pelo sistema de iluminação para o caso de maior densidade de potência, e -20% para o de menor densidade de potência. O consumo anual total pela área em metros quadrado variou de 168,74 kWh/m² a 180,63 kWh/m², com valor de referência fixado em 174,65 kWh/m².

8.3.4 Variação da vazão de infiltração

Os valores da vazão de infiltração estão mostrados na tabela 8.7 e os gráficos comparativos de distribuição de energia no seu uso final estão mostrados na fig. 8.8.

Tabela 8.7 - Vazão de infiltração para análise de sensibilidade

Zona	Infiltração Referência (m ³ /s)	Infiltração -20% (m ³ /s)	Infiltração +20% (m ³ /s)
1	0,1231	0,0985	0,1477
2	0,0305	0,0244	0,0366
3	0,0611	0,0488	0,0733
4	0,0921	0,07368	0,11052

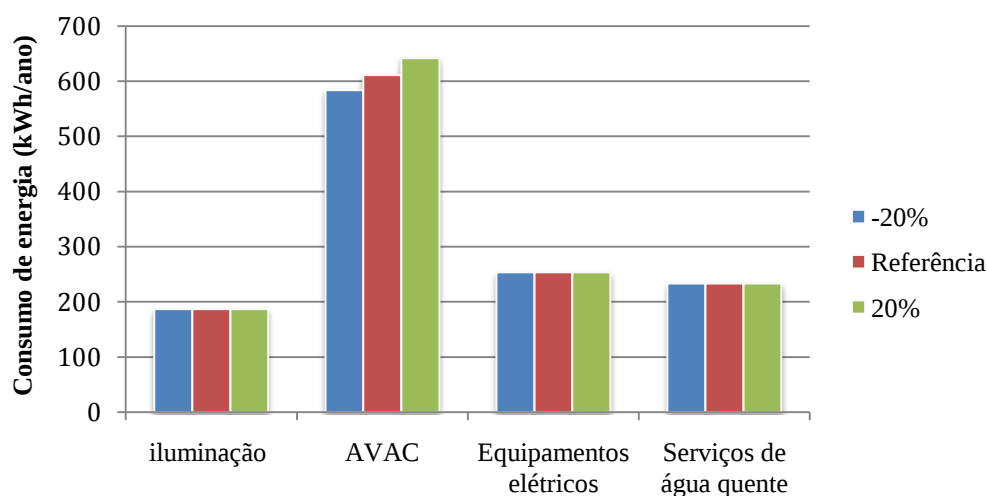


Figura 8.8 – Gráfico comparativo do consumo energético em kWh por ano pelas parcelas de distribuição de energia com variação da vazão de renovação de ar

Pela fig. 8.8 tem-se que a variação de $\pm 20\%$ na vazão de infiltração não altera o consumo pelos equipamentos, pelos serviços de água quente e pelo sistema de iluminação, porém para sistema AVAC há uma implicação de $-4,5\%$ e $+5\%$ em relação à referência de 611.157 kWh. Essa variação no sistema AVAC pode ser explicada pela maior contribuição de renovação de ar para carga térmica do modelo do hotel. O consumo anual total pela área em metros quadrado variou de 170,9 kWh/m² a 178,8 kWh/m², com valor de referência fixado em 174,65 kWh/m².

8.3.5 Variação do consumo de água quente por pessoa

Os valores do consumo de água quente estão mostrados na tabela 8.8 e o gráfico comparativo de distribuição de energia no seu uso final está mostrado na fig. 8.9.

Tabela 8.8 - Consumo de serviço de água quente em W/pessoa análise de sensibilidade

Zona	Serviço de água quente Referência (W/pessoa)	Serviço de água quente -20% (W/pessoa)	Serviço de água quente +20% (W/pessoa)
1	228	182	273
2	228	182	273
3	228	182	273
4	0	0	0

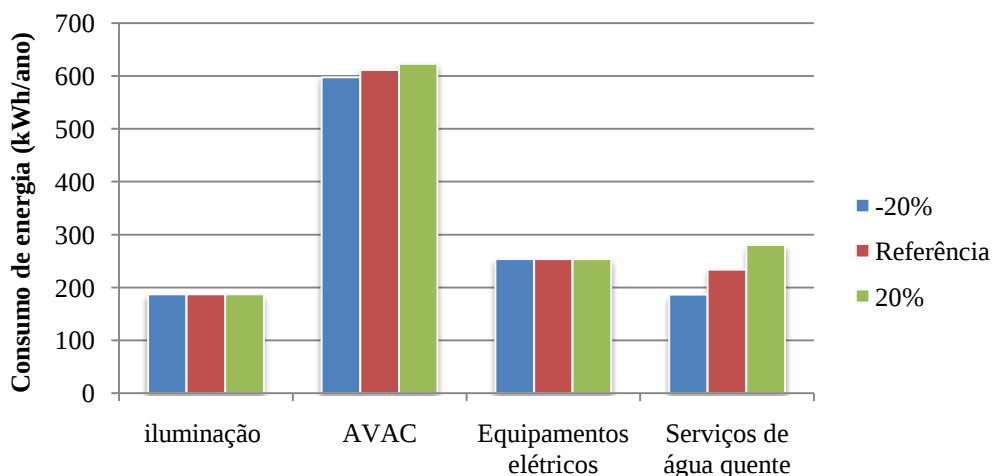


Figura 8.9 – Gráfico comparativo do consumo energético em kWh por ano pelas parcelas de distribuição de energia com variação de consumo de água quente

Da fig. 8.9 tem-se que a variação de $\pm 20\%$ na vazão de água quente não altera o consumo pela iluminação e equipamentos, porém para sistema AVAC tem-se variação de $\pm 2\%$ em relação a seu valor de referência, dada por 611.157 kWh. Essa variação no consumo energético pelo sistema AVAC pode ser explicada pela contribuição dos equipamentos internos associados ao serviço de água quente para carga térmica do hotel modelado.

A parcela de consumo energético pelo serviço de água quente teve uma variação $\pm 20\%$ em relação à referência (233.544 kWh). O consumo anual total pela área em metros quadrado variou de 166,47 kWh/m² a 182,55 kWh/m², com valor de referência fixado em 174,65 kWh/m².

8.3.6 Variação da eficiência do sistema AVAC

O sistema AVAC do modelo é composto basicamente pelo *chiller* de COP = 4,45 fixado de acordo com ASHRAE (2007). O sistema AVAC foi fixado para o caso de pior desempenho, valor de COP = 3,52 para *chiller*. O gráfico comparativo de distribuição de energia no seu uso final está mostrado na fig. 8.10.

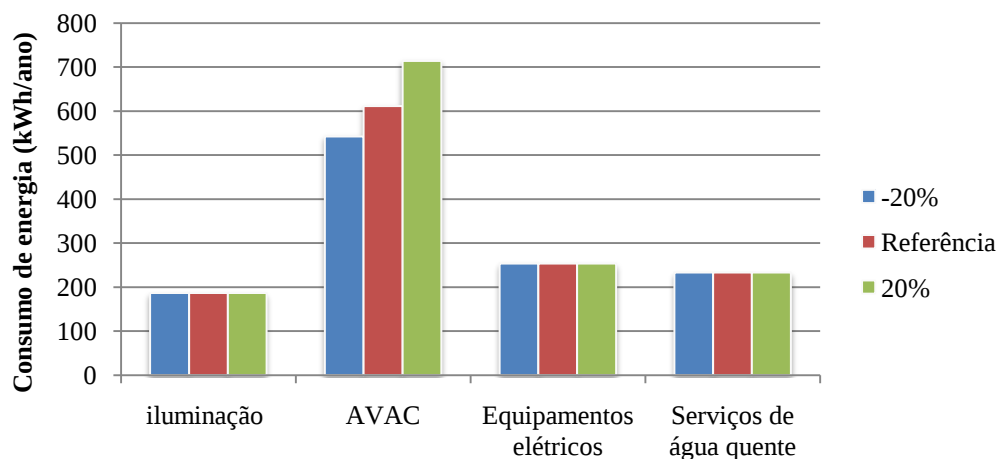


Figura 8.10 – Gráfico comparativo do consumo energético em kWh por ano pelas parcelas de distribuição de energia com variação do desempenho do sistema AVAC

Da fig. 8.10 tem-se que a variação de 20% inferior e superior no valor do COP de *chiller* implica em perda ou ganho exclusivo no consumo de energia pelo sistema AVAC. Os outros sistemas não sofrem nenhuma variação de consumo energético. O aumento de consumo pelo sistema de climatização foi de 17% e a economia de consumo mostrado na fig. 8.10 foi de 11%. A variação não simétrica da economia e do aumento de consumo de pode ser explicado pela diferença de desempenho de sistema AVAC para aquecimento e para refrigeração. Consumo anual total pela área em metros quadrado variou de 165,3 kWh/m² a 188,7 kWh/m², com valor de referência fixado em 174,65 kWh/m².

Após a simulação de 13 modelos no *Energy Plus* pode-se levantar gráficos comparativos do consumo anual de energia, com identificação de influência de cada parâmetro pela variação da matriz de consumo energético. Nesse tópico será analisado e filtrados os principais parâmetros que afeta o consumo energético de hotéis.

Em todos os gráficos do tópico 8.3 têm-se que o sistema AVAC é a componente de maior contribuição na matriz de consumo energético Assim parâmetros que mais influenciam globalmente os hotéis, seriam aqueles parâmetros que implicam em maior variação no sistema AVAC. A tabela 8.9 sintetiza todas as informações levantadas no tópico anterior.

Tabela 8.9 - Síntese de informações para análises

Parâmetros	Variação relativo a referência (%)				Consumo anual global			
	Iluminação	AVAC	Equipamentos elétricos	Água quente	Min (kWh/m ²)	Máx (kWh/m ²)	Referência (São Paulo) (kWh/m ²)	Variação
Ocupação (9.1.1)	-	11,5	-	40	163.7	186	174.65	12,8%
Equipamentos internos (9.1.2)	-	1	10	-	172.45	176.86	174.65	2,5%
Iluminação geral (9.1.3)	39	2	-	-	168.74	180.63	174.65	6,8%
Renovação de ar (9.1.4)	-	9,5	-	-	170.9	178.8	174.65	4,5%
Equipamentos água quente (9.1.5)	-	4,1	-	40	166.47	182.55	174.65	9,2%
COP de <i>chiller</i> e Eficiência de <i>boiler</i> (9.1.6)	-	28	-	-	165.3	188.7	174.65	13,4%

Da tabela 8.8 podem-se filtrar os parâmetros mais influentes para o consumo energético global, destacando-se o coeficiente de desempenho de máquinas como o COP de *chiller* como parâmetro de elevada influência para consumo, com a variação de $\pm 20\%$ nos seus coeficientes podem variar em até 13,4% o consumo global do hotel modelado. Ocupação e equipamentos para serviço de água aquecida em hotéis são outros parâmetros de alto impacto para o consumo anual de energia, variando $\pm 20\%$ do valor da ocupação de referência, o consumo global varia de 12,8% e para os serviços de água aquecida, o impacto global é significativo com variação de 9,2%.

Outra análise que pode ser feita é a equivalência dos impactos da variação da ocupação e da potência de equipamentos de água aquecida (chuveiros e torneiras), no consumo final do serviço de água aquecida (40% de variação). Os impactos desses mesmos parâmetros para o sistema AVAC possuem valores diferentes pela diferença entre cargas térmicas, uma é pela ocupação, e a outra é pelos equipamentos de água aquecida.

9. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO PARA OUTRAS CIDADES BRASILEIRAS

Com a conclusão da simulação para cidade de São Paulo, o trabalho de simulação passa para outras cidades do Brasil. Nos próximos subtópicos serão mostrados resultados anuais da simulação para 4 cidades de 4 estados diferentes, são elas: Santa Maria, em Porto Alegre; Rio de Janeiro; Brasília; Belém.

9.1 Simulação do modelo para Santa Maria

Santa Maria, cidade localizado em Porto Alegre, cidade brasileira do estado Rio Grande do Sul, de coordenadas 29,7 graus de latitude em relação a sul, 53,7 graus de longitude em relação a oeste e altitude de 114 m. Pela localização espera-se maior consumo por aquecimento e menor consumo de ar condicionado comparado para cidade de São Paulo. A tabela 9.1 apresenta a capacidade nominal de equipamentos térmicos gerada pelo *Energy Plus*. O coeficiente de desempenho do *chiller* foi fixado em 4,9 em função da capacidade nominal de acordo com a tabela 7.7.

Tabela 9.1 – Capacidade Nominal dos equipamentos térmicos gerado pelo *Energy Plus*

Tipo de equipamento	Capacidade Nominal [W]	Eficiência Nominal [W]
Unidade Resfriadora: <i>Chiller</i> elétrico	584.931	4,9
Caldeira para atender ambientes abaixo da zona de conforto térmico	884.393	0,77
Torre de resfriamento	563.444	

Matriz energética

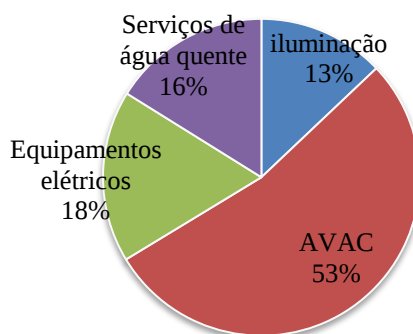


Figura 9.1 – Distribuição de energia anual para os equipamentos, iluminação e sistemas AVAC para cidade de Santa Maria

Fig. 9.1 mostra a matriz energética simplificada, dessa figura pode-se destacar o consumo do sistema AVAC, o qual representa 53% de um total de 1.447.175 kWh anual. Desses 53%, 122.442 kWh está diretamente relacionado ao consumo por aquecimento e 414.728 kWh por refrigeração, comparando com São Paulo, tem-se um acréscimo de 230% do consumo por aquecimento e ao contrário do esperado, houve aumento de consumo de ar condicionado de 13%. O consumo anual total pela área em metros quadrado da edificação para Santa Maria é de 196,6 kWh/m².

9.2 Simulação do modelo para Rio de Janeiro

Rio de Janeiro, cidade brasileira localizado no estado do Rio de Janeiro, de coordenadas 22,9 graus de latitude em relação a sul, 43,17 graus de longitude em relação a oeste e altitude de 3 m. Pela localização é esperado maior consumo por ar condicionado e nenhum consumo de aquecimento.

Tabela 9.2 apresenta a capacidade nominal de equipamentos térmicos gerada pelo *Energy Plus*. O coeficiente de desempenho do *chiller* foi fixado em 4,45 em função da capacidade nominal de acordo com a tabela 7.7.

Tabela 9.2 – Capacidade Nominal dos equipamentos térmicos gerado pelo *Energy Plus* para Rio de Janeiro

Tipo de equipamento	Capacidade Nominal [W]	Eficiência Nominal [W]
Unidade Resfriadora: Chiller elétrico	432.320	4,45
Caldeira para atender ambientes abaixo da zona de conforto térmico	761.456	0,77
Torre de resfriamento	423.577	

Matriz energética

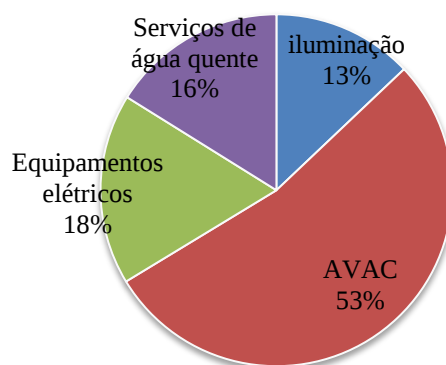


Figura 9.2 – Distribuição de energia anual para os equipamentos, iluminação e sistemas AVAC para Rio de Janeiro

Toda a distribuição energética do Rio de Janeiro mostrada na fig. 9.2 é exatamente igual a de Santa Maria (fig. 9.1), além disso, da fig. 9.2 pode-se destacar o consumo do sistema AVAC, o qual representa 53% de um total de 1.445.789 kWh anual. Comparando com a cidade de São Paulo, tem-se um acréscimo de 46% do consumo por climatização, uma vez que há uma forte influência do clima na carga térmica da edificação e como esperado, pela simulação não houve consumo por aquecimento.

O consumo anual total pela área em metros quadrado da edificação para a cidade do Rio de Janeiro é de 196,4 kWh/m². Vale ressaltar que tanto a matriz energética, quanto o consumo energética anual são muito próximos pelos resultados encontrados da simulação.

9.3 Simulação do modelo para Brasília

Brasília, cidade localizado no Distrito Federal, de coordenadas 15,87 graus de latitude em relação a sul, 47,93 graus de longitude em relação a oeste e altitude de 1061 m. A tabela 9.3 apresenta a capacidade nominal de equipamentos térmicos gerada pelo *Energy Plus*. O coeficiente de desempenho do chiller foi fixado em 4,45 em função da capacidade nominal de acordo com a tabela 7.7.

Tabela 9.3 – Capacidade Nominal dos equipamentos térmicos gerado pelo *Energy Plus*

Tipo de equipamento	Capacidade Nominal [W]	Eficiência Nominal [W]
Unidade Resfriadora: Chiller elétrico	335.751	4,45
Caldeira para atender ambientes abaixo da zona de conforto térmico	710.330	0,77
Torre de resfriamento	328.960	

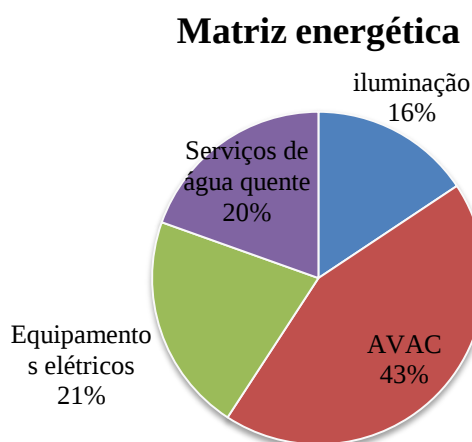


Figura 9.3 – Distribuição de energia anual para os equipamentos, iluminação e sistemas AVAC para Brasília

A fig. 9.3 mostra distribuição diferente para os modelos de outras cidades, mesmo tendo o mantendo o domínio de consumo do sistema AVAC, com 43% do consumo total de 1.194.588 kWh, houve um aumento no consumo pelos equipamentos internos, os quais estão representados pelos equipamentos elétricos em geral e pelos equipamentos de serviços de água aquecida, como chuveiros e torneiras. Como Brasília tem temperatura média baixa e mínima relativamente alta,

há pouco consumo pelo aquecimento de ambientes climatizados, o sistema de ar condicionado é de predomínio do sistema AVAC.

Comparando com a cidade de São Paulo, tem-se ganho significativo de economia pelo aquecimento de 100%, e de 8,6% pelo sistema de ar condicionado. Esse baixo consumo geral pelo sistema AVAC explica o reduzido consumo anual total pela área em metros quadrado, dada por 162,3 kWh/m².

9.4 Simulação do modelo para Belém

Val de Caes, cidade localizado em Belém, cidade brasileira do estado do Pará, de coordenadas 1,38 graus de latitude em relação a sul, 48,48 graus de longitude em relação a oeste e altitude de 16 m. Pela localização próxima da linha do Equador, espera-se forte consumo pelo sistema de ar condicionado comparado com a cidade de São Paulo. A tabela 9.4 apresenta a capacidade nominal de equipamentos térmicos gerada pelo *Energy Plus*. O coeficiente de desempenho do chiller foi fixado em 4,9 em função da capacidade nominal de acordo com a tabela 7.7.

Tabela 9.4 – Capacidade Nominal dos equipamentos térmicos gerado pelo *Energy Plus*

Tipo de equipamento	Capacidade Nominal [W]	Eficiência Nominal [W]
Unidade Resfriadora: Chiller elétrico	655.936	4,9
Caldeira para atender ambientes abaixo da zona de conforto térmico	799.366	0,77
Torre de resfriamento	631.840	

Matriz energética

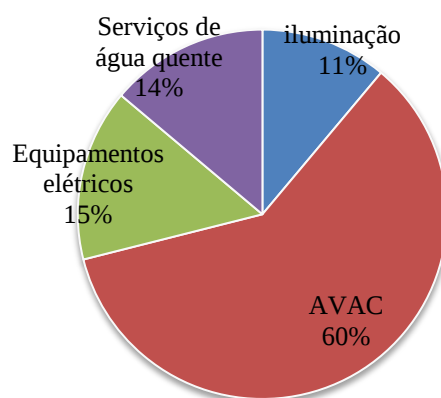


Figura 9.4 – Distribuição de energia anual para os equipamentos, iluminação e sistemas AVAC para cidade de Santa Maria

A fig. 9.4 comprova o resultado esperado de aumento do consumo pelo ar condicionado e o seu domínio frente aos outros consumos (60% para sistema AVAC). Sistema AVAC é de exclusividade para sistemas de ar condicionado nas zonas climatizadas, uma vez que não atinge a temperatura para acionamento do sistema de aquecimento. Comparando com a cidade de São Paulo, tem-se um acréscimo de 100% no sistema de ar condicionado.

O consumo excessivo pelo sistema AVAC leva ao maior consumo global anual pela área em metros quadrado, dado por $228,8 \text{ kWh/m}^2$.

9.5 Síntese de Resultados das simulações

Para melhor análise de índices energéticos e outras análises, a tabela 9.5 apresenta resultados das simulações das 5 cidades de forma sintetizada.

Pela tabela 9.5, pode-se dividir o consumo energético do hotel modelado em basicamente dois tipos, os fixos, parcelas relativos a todos os equipamentos, iluminação interna e externa, que totaliza 674.460 kWh, e as variáveis que essencialmente fazem parte do sistema de aquecimento e climatização.

Para comparação de resultados entre arquivos climáticos diferentes, foram simulados para as mesmas 5 cidades, adotando a base de dados climáticos do Labeee e alterando aquecedor de fonte a gás para elétrico. Como esperado, o resultado da

simulação diferiu apenas na parcela variável do consumo energético (sistema AVAC).

Tabela 9.5 – Síntese de consumo energético por uso final para cada cidade simulada no *Energy Plus*

	São Paulo	Porto Alegre	Rio de Janeiro	Brasília	Belém
consumo energético anual (kWh)					
Equipamentos internos	65.687	65.687	65.687	65.687	65.687
Equipamentos de água aquecida	233.544	233.544	233.544	233.544	233.544
Iluminação interna	173.102	173.102	173.102	173.102	173.102
Iluminação externa	13.934	13.934	13.934	13.934	13.934
Equipamentos externos	188.193	188.193	188.193	188.193	188.193
Aquecedor a gás	36.780	122.442	0	108	0
Sistema de resfriamento	367.072	414.728	537.452	335.464	728.008
Ventilação	116.357	120.626	123.399	111.053	121.920
Bombas	88.058	70.698	99.250	70.698	133.581
Torre de resfriamento	2.890	4.470	11.230	2.818	26.410
Total	1.285.616	1.407.423	1.445.791	1.194.600	1.684.380

Tabela 9.6 – Síntese de consumo energético variável por uso final para cada cidade do Labeee simulada no *Energy Plus*

	São Paulo	Porto Alegre	Rio de Janeiro	Brasília	Belém
consumo energético anual (kWh)					
Aquecedor elétrico	23.693	93.995	0	2.534	0
Sistema de resfriamento	355.961	422.090	533.583	347.663	725.704
Ventilação	115.741	119.242	126.737	114.788	123.285
Bombas	88.715	112.007	98.989	71.439	133.725
Torre de resfriamento	2.690	5.242	12.680	3.369	23.366
Total	1.261.260	1.427.036	1.446.449	1.214.253	1.680.540

A tabela 9.6 mostra que os valores de consumo energético pelo sistema AVAC varia $\pm 5\%$. Como o consumo elétrico em kWh para aquecimento é inferior ao consumo de gás em kWh para a mesma finalidade, o resultado apresentado para cidade de São Paulo e Porto Alegre estão dentro da normalidade esperada, porém para cidade de Brasília, o seu consumo anual por aquecimento teve uma diferença de 1300%. Uma explicação possível para este fato é que o arquivo climático extraído do governo americano difere significativamente dos dados climáticos do Labeee, apresentando com maior frequência temperaturas inferiores a zona de conforto térmico para cidade de Brasília.

Uma sugestão para trabalhos futuros seria investigar a validade dessas duas fontes de dados climáticos e levantar a melhor base de dados climáticos disponíveis para simulação energética para edificações.

Para continuidade do trabalho serão adotados os dados climáticos que geraram os resultados da tabela 9.5.

10. ÍNDICES ENERGÉTICOS PARA HOTÉIS

Nos tópicos 8 e 9 foram apresentados matriz energético de cinco cidades e foram analisados por meio de comparação entre os modelos de diferentes cidades.

A energia global anual gerado pela simulação para cada cidade está mostrada na fig. 10.1. Da fig. 10.1 verifica-se variação significativa entre índices energéticos de diferentes cidades, o índice energético de Belém chega a uma variação de 19% em relação à média, de 191,6 kWh/m².ano (indicada em vermelho na fig. 10.1). Essas variações podem ser explicadas pela diversidade do clima brasileiro entre diferentes estados, implicando em consumos de energia pelo sistema AVAC bastante variável entre diferentes estados, como mostrado no tópico 9.

No tópico 10 serão propostas soluções para normalizar os índices, de forma a permitir uma avaliação de desempenho energético de hotéis com um índice comum válido para todos os estados do Brasil.

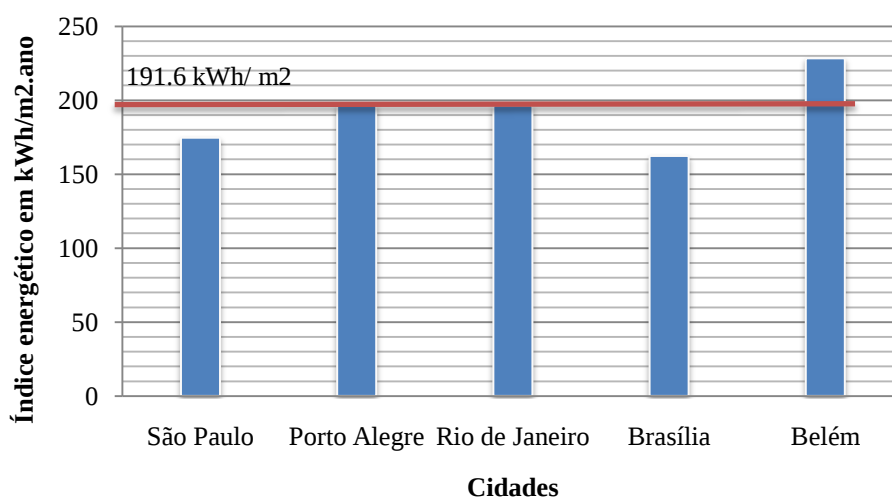


Figura 10.1 – Índices energéticos de cada cidade e a sua média indicada por uma linha reta

10.1 Propostas para normalização de índices energéticos

10.1.1 Normalização pelo TBS médio anual

Essa normalização do índice energético é a divisão do índice pelo TBS médio anual, a correção do índice encontra-se na fig. 10.2.

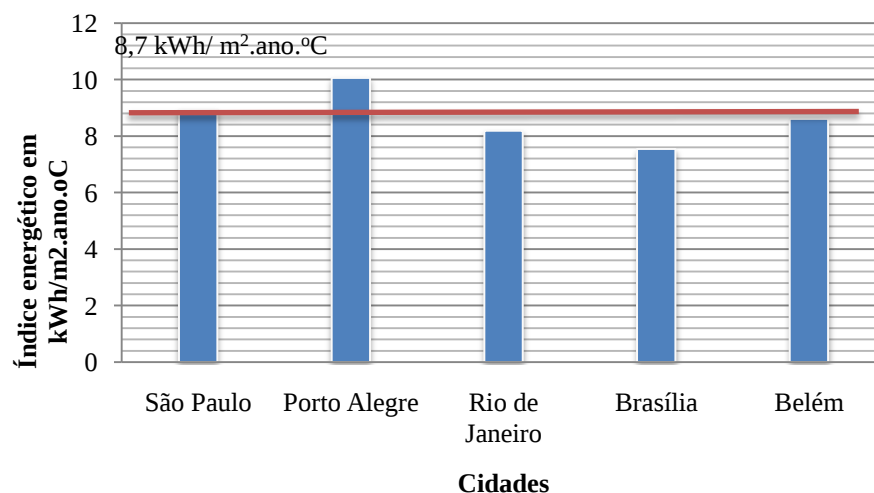


Figura 10.2 – Índices energéticos corrigidos pelo TBS médio anual de cada cidade e a sua média indicada por uma linha reta

Essa correção leva a inversão de índices energéticos e não contribui para reduzir significativamente a variação do índice em relação a média, de Porto Alegre a média tem uma variação de 16%.

10.1.2 Normalização mês a mês pelo TBS médio mensal

A correção mês a mês pelo TBS médio mensal não corrige o problema de inversão de valores entre Belém e Porto Alegre. Esse método é a correção de kWh/mês em $\text{kWh/mês} \cdot \text{TBS}_{\text{média mensal}}$, como mostra a fig. 10.3 e 10.4. A correção aproxima os índices energéticos mensais, porém como mostra a fig. 10.4, apresenta problemas para Porto Alegre e São Paulo em períodos concentrados no meio do ano, em que são exigidos maiores demandas por aquecimento. A demanda por aquecimento nesse período variou de 15.360 kWh a 21.450 kWh mensais para Porto Alegre e 250 kWh a 12.500 kWh mensais para São Paulo.

Como outras cidades simuladas não apresentam demanda significativa por aquecimento, não foram verificados problemas de inversão de valores nos índices energéticos, possivelmente para o refino na normalização dos índices, seja necessário separar consumo por aquecimento do consumo por ar condicionado e refrigeração.

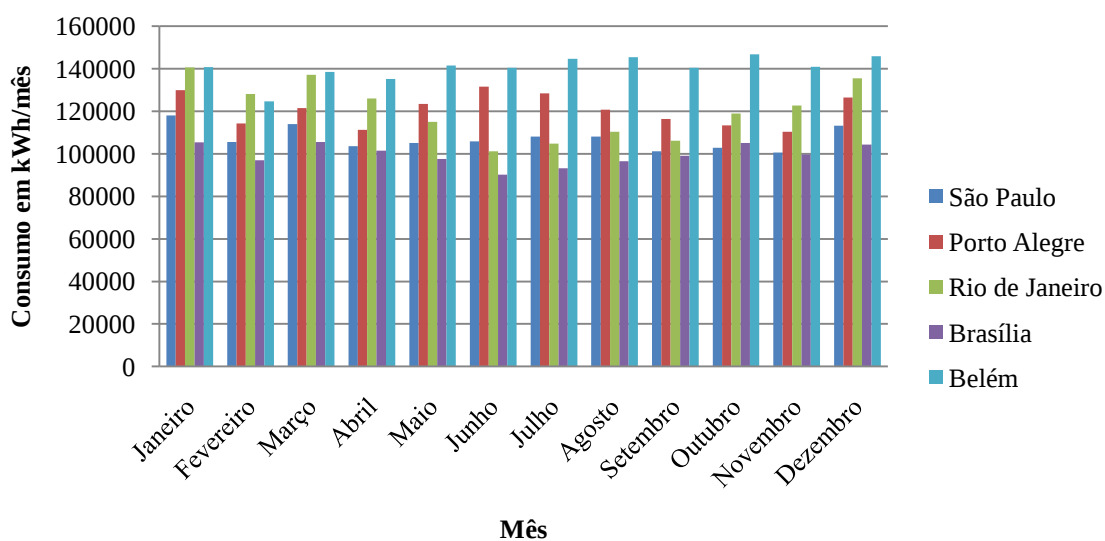


Figura 10.3 – Índices energéticos em kWh/mês

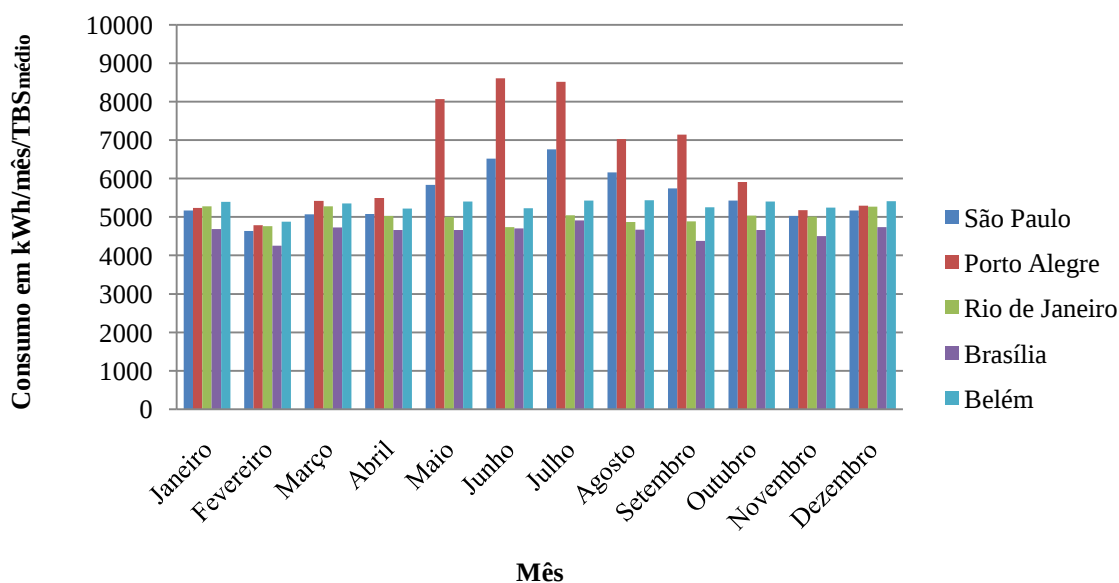


Figura 10.4 – Índices energéticos corrigidos mês a mês pelo TBS médio mensal de cada cidade

10.1.3 Normalização anual pelo TBS máximo

A normalização adotada nesse tópico consegue melhorar 100% como mostrado na tabela 10.1, sendo o índice universal dada pela média dos índices corrigidos (linha vermelha da fig.10.5).

Tabela 10.1 – Valores de variação em relação a média do índice energético em kWh/m².ano e do índice corrigido pelo TBS máx

Cidade	Consumo por área (kWh/m ² .ano)	Variação	TBS máx (°C)	Consumo por área (kWh/m ² .ano. °C)	Variação
São Paulo	174,65	-9%	22,82	7,65	0%
Porto Alegre	196,6	3%	24,83	7,92	3%
Rio de Janeiro	196,4	2%	26,89	7,30	-5%
Brasília	162,3	-15%	22,8	7,12	-7%
Belém	228,2	19%	27,16	8,40	9%
Média	191,63		Índice universal	7,68	

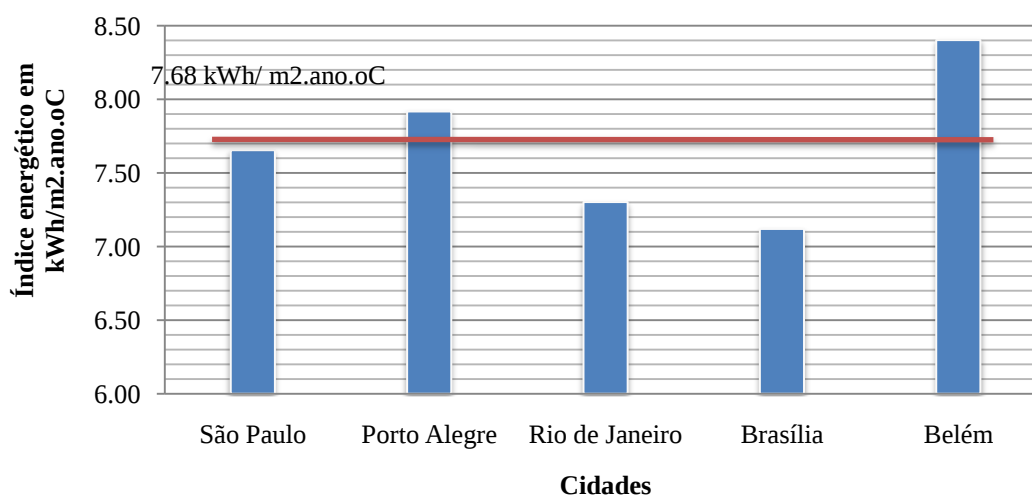


Figura 10.5 – Índices energéticos corrigidos pelo TBS máximo anual para cada cidade e a média dos seus valores indicada por uma linha reta

10.1.4 Índice de desempenho energético por correlação

Neste tópico será proposto o refino para normalização dos índices, separando demandas por aquecimento do sistema AVAC de modo a corrigir cada uma das parcelas por temperaturas diferentes, levantando curva de correlação entre variadas parcelas do índice energético com a variável climática Temperatura de Bulbo Seco (TBS).

10.1.4.1 Correlação 1: Consumo anual pelo sistema de climatização em função de TBS médio

A fig. 10.6 mostra a primeira proposta de correlação, relacionando o consumo anual pelo sistema de ar condicionado com temperatura de bulbo seco média para cada cidade simulada. A correlação obtida foi boa, sendo $R^2 = 0,803$ e o consumo médio pelo sistema de ar condicionado de $95,8 \text{ kWh/m}^2$, sendo o mínimo valor de $70,6 \text{ kWh/m}^2$ (Brasília) e o máximo valor de $137,2 \text{ kWh/m}^2$ (Belém).

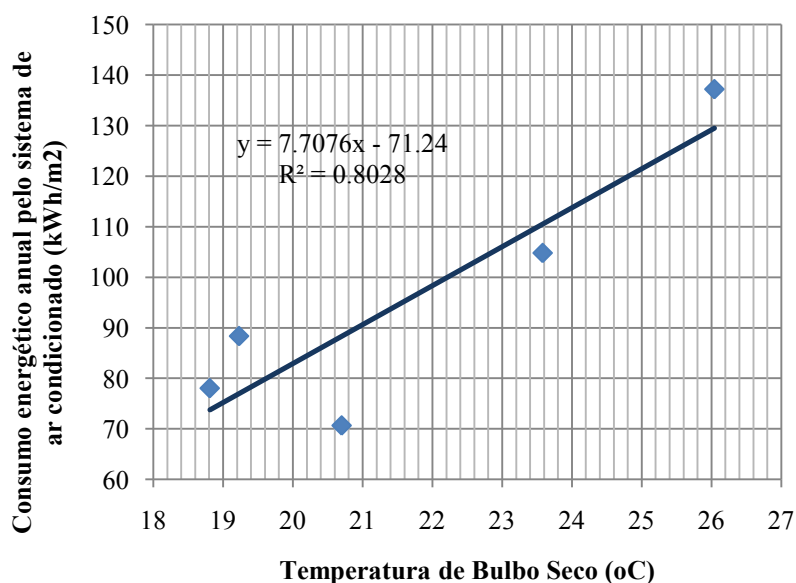


Figura 10.6 – Regressão linear do consumo energético anual pelo sistema de ar condicionado pelo TBS

A tabela 10.2 mostra o consumo energético anual total com a correção da média do consumo de energia pelo sistema de climatização pelo TBS, dada por $4,37 \text{ kWh (Sistema VAC)/ (m}^2 \cdot \text{C}^\circ)$. Antes da correção o erro absoluto médio era de 9,5%, com valor de consumo de energia máximo de $228,8 \text{ kWh/m}^2$ e mínimo de $177,6 \text{ kWh/m}^2$, com a correção o erro absoluto médio passou a ser de 4,4% aproximando os valores de consumo máximo e mínimo da média.

Tabela 10.2 – Consumo energético anual e os erros absolutos

Sistema AVAC/área	Sistema AVAC/area Corrigido	Consumo Fixo/area (kWh/ m²)	Aquecimento/ Area (kWh/ m²)	Consumo energético total	Consumo energético total corrigido	Erro sem correção	Erro com correção
78,0	4,37xTBSm (SP)	91,6	3,7	173,4	177,6	-9,1%	-6,3%
88,3	4,37xTBSm	91,6	12,5	192,4	188,2	+0,9%	-0,8%

(RS)							
104,8	4,37xTBSm (RJ)	91,6	0,0	196,4	194,7	+3,0%	+2,7%
70,6	4,37xTBSm (DF)	91,6	0,0	162,3	182,2	-14,9%	+3,9%
137,2	4,37xTBSm (PR)	91,6	0,0	228,8	205,5	+20,0%	+8,4%

10.1.4.2 Correlação 2: Consumo parcial de energia mensal pelo TBS médio

A fig. 10.7 mostra a regressão linear do consumo de energia pelo sistema AVAC com temperatura de bulbo seco média mês a mês para cada cidade simulada, totalizando 60 pontos. A correlação obtida foi fraca, sendo R^2 inferior a 0,5, com pontos de Porto Alegre e São Paulo bem dispersos devido à disponibilidade completa do sistema AVAC, atendendo todas as necessidades de demanda por aquecimento nos períodos de temperatura inferior a zona de temperatura de conforto térmico.

Pelos arquivos gerados da simulação, verificou-se que coincidia com bastante frequência o período diário de elevada ocupação com temperaturas ambientes fora da zona de conforto. Esses e dentre outros fatores explica a baixa correlação encontrada na fig. 10.7.

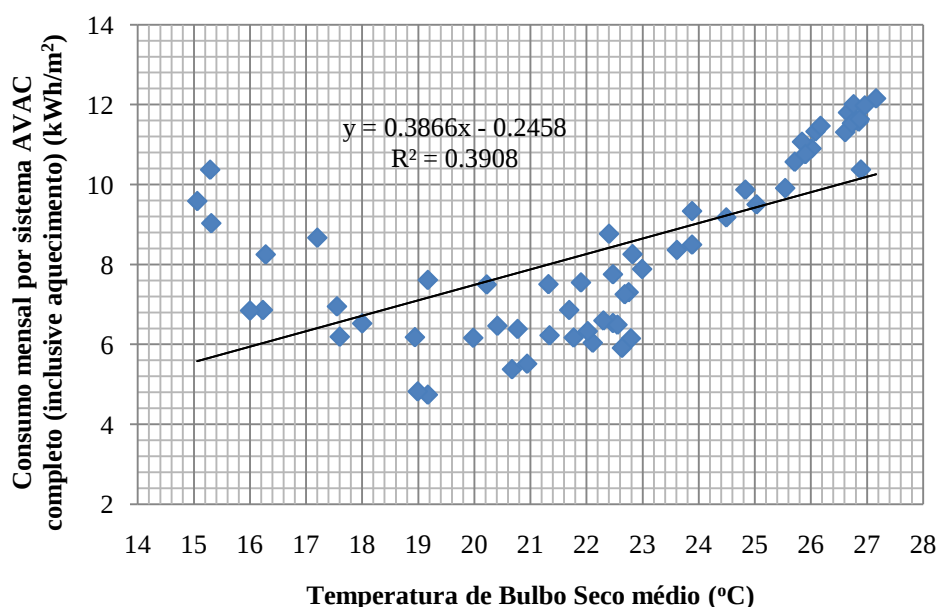


Figura 10.7 – Regressão linear do consumo energético mensal pelo sistema completo AVAC pelo TBS

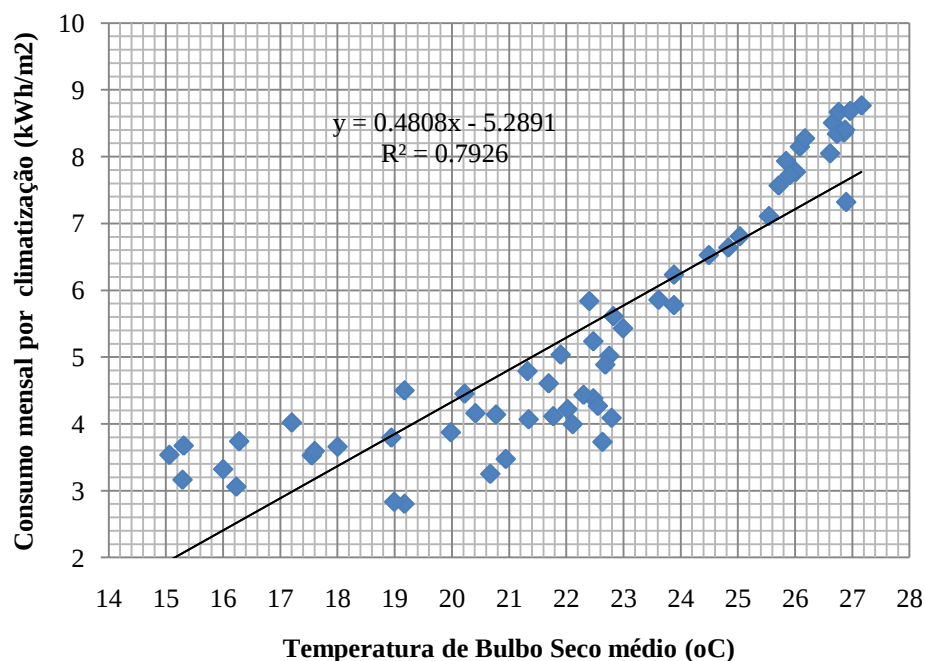


Figura 10.8 – Regressão linear do consumo energético mensal para climatização pelo TBS

A fig. 10.8 mostra a regressão linear do consumo de energia apenas para climatização com temperatura de bulbo seco média mês a mês para cada cidade simulada. Comparando com a regressão da fig. 10.7, tem-se que a correlação obtida é melhorada, $R^2 = 0,79$.

A fig. 10.9 mostra a regressão linear do consumo de energia responsável pelo todo sistema de climatização, sem o consumo por aquecimento, com temperatura de bulbo seco média mês a mês para cada cidade simulada. Da fig. 10.9, sabe-se que a correlação $R^2 = 0,75$ e que os pontos de Brasília e Belém ficam bem dispersos. Uma possível explicação para essa dispersão é que para ambas cidades, a amplitude térmica não é muito elevada, para Brasília, varia de 19 °C a 23 °C e para Belém, varia de 25,5 °C a 27,5 °C.

Para o desenvolvimento do índice, será adotado a correlação mostrada na fig. 10.9, assim o índice de desempenho energético mensal relativo à demanda pelo sistema VAC é 0,355 kWh (Sistema VAC)/ (m².mês. °C). Na tabela 10.3 estão mostradas a margem dos valores desse índice energético.

Por Região

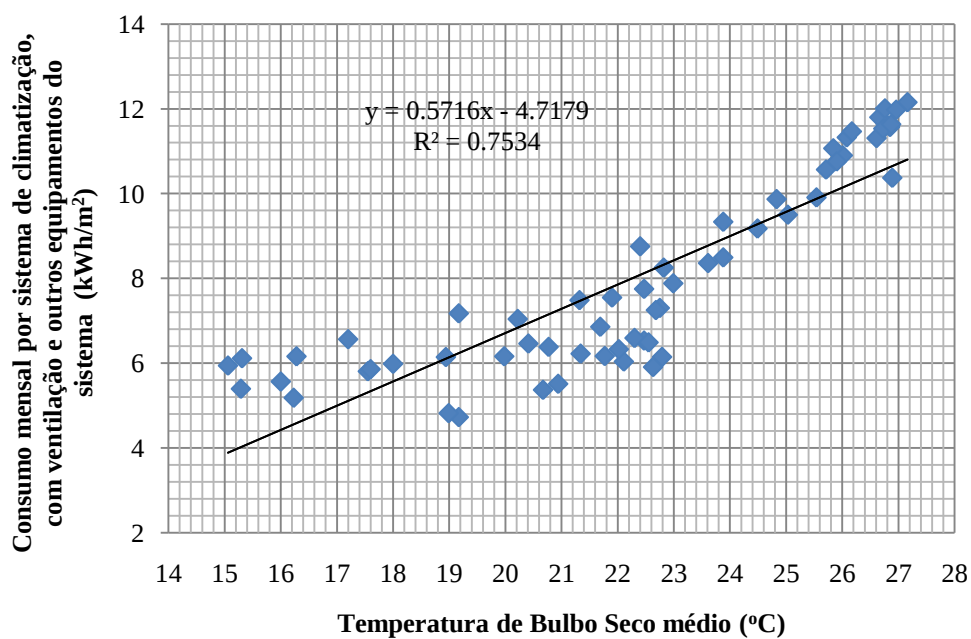
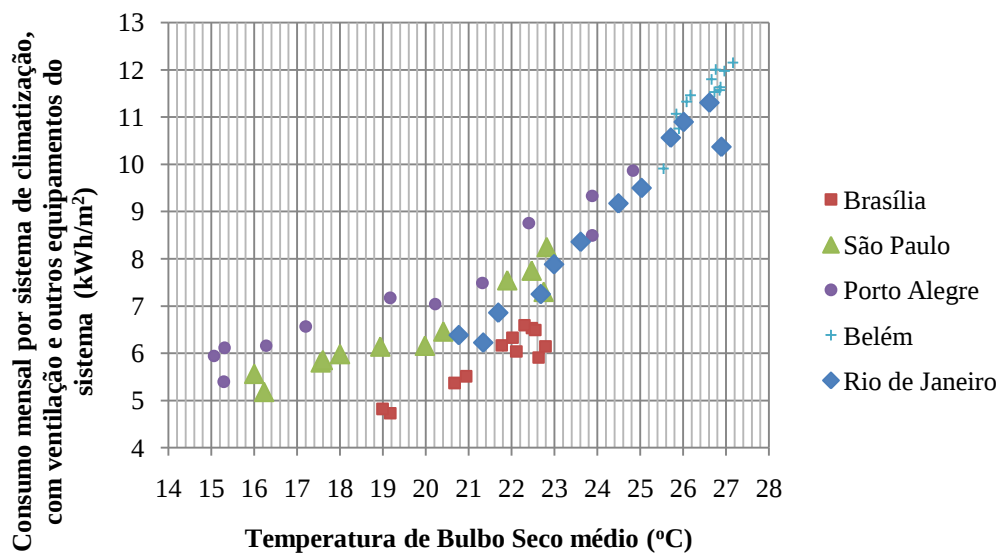


Figura 10.9 – Regressão linear do consumo energético mensal pelo sistema de climatização, ventilação e outros equipamentos do sistema pelo TBS

Tabela 10.3 – Índice de consumo energético mensal pelo sistema VAC e seus erros relativo à média

Índice de desempenho energético VAC mensal	Valor do Índice de desempenho energético VAC mensal (kWh/m ² .°C.Mês)	Erro	Erro médio = 13,8%
Mínimo	0,247	-30,5%	
Médio	0,355	0,0%	
Máximo	0,448	+26,5%	

10.1.4.3 Correlação 3: Consumo de energia mensal de parcela fixa e variável pelo TBS médio

A fig. 10.10 mostra a regressão linear do consumo de energia com temperatura de bulbo seco média mês a mês para cada cidade simulada, totalizando 60 pontos. O consumo de energia é a soma da parcela variável, dada pelo sistema VAC e fixa, dada pelos equipamentos internos e externos, iluminação interna e externa e equipamentos para serviço de água quente. A correlação obtida foi bom, $R^2 = 0,725$, com pontos de dispersão análogas à última regressão linear apresentada.

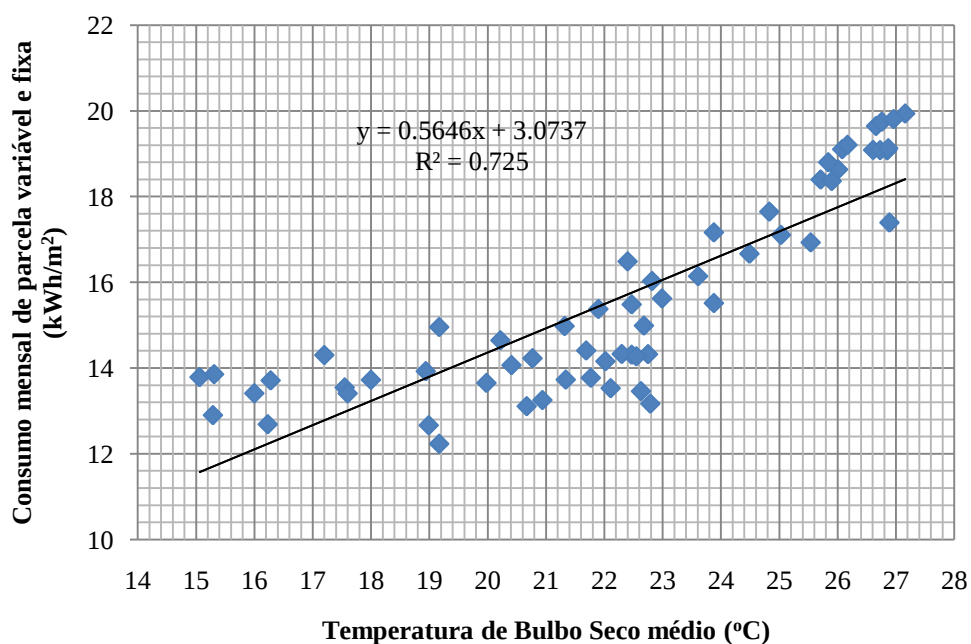


Figura 10.10 – Regressão linear do consumo energético mensal pela parcela fixa e variável pelo TBS

Tabela 10.4 – Índice de consumo energético mensal pelo sistema VAC e seus erros relativo à média

Índice de desempenho energético VAC + Fixo mensal	Valor do Índice de desempenho energético VAC + Fixo Mensal (kWh/m². Mês)	Erro	Erro médio = 12,8%
Mínimo	12,23	-21,7%	
Médio	15,62	0,0%	
Máximo	19,94	+27,6%	

A tabela 10.4 mostra o índice de desempenho energético, o qual é dado por 15,62 kWh (Sistema VAC + Parcela Fixa)/ (m².mês), e os seus valores mínimo e máximo.

10.1.4.4 Consumo de energia total mensal

O consumo de energia total mensal pode ser estimado pela seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{Consumo mensal Hotel [kWh/(m}^2\text{.mês)]} = & \\ & \text{Consumo energético Fixo [kWh/(m}^2\text{.mês)]} + \\ & \text{Correlação}^2 \text{ [kWh/(m}^2\text{.mês.C}^{\circ}\text{)]} * \text{TBS}_{\text{médio}} \text{ [}^{\circ}\text{C]} + \\ & \text{Consumo energético por aquecimento [kWh/(m}^2\text{.mês)]} \end{aligned}$$

Com essa equação pode-se levantar 60 dados chegando-se na tabela 10.5, na qual é mostrado o índice de desempenho energético total, dado por 15,88 kWh/(m².mês), e os seus valores mínimo e máximo.

Tabela 10.5 – Índice de consumo energético total por mês e seus erros relativo à média

Índice de desempenho energético total mensal	Valor do Índice de desempenho energético total Mensal (kWh/m². Mês)	Erro	Erro médio = 4,8%
Mínimo	14,12	-11%	
Médio	15,88	0,0%	
Máximo	17,9	+12,7%	

11. COMPARAÇÃO DO MODELO COM OUTROS ESTUDOS

Uma das etapas mais importantes de um trabalho de simulação consiste na comparação com dados reais, de forma a verificar a aderência do modelo à realidade no qual ele se insere.

Segundo Mariana (2008), o consumo elétrico anual do hotel foi de 1.018.139kWh em 2005 e 1.051.013kWh em 2006, de acordo com os dados levantados. O valor obtido da simulação é a composição de consumo de energia pela fonte elétrica e gás natural, assim o valor a ser comparado é o consumo energético total de São Paulo 1.285.616 kWh subtraído do consumo por aquecimento, serviços de água aquecida e pelo sistema de iluminação externa. Assim, o valor do consumo de energia obtido da simulação é de 1.001.360 kWh, que representa 95% do consumo de energia em 2006.

Comparando o estudo de benchmark de Hendrikx (2009), tem-se que a matriz energética dos hotéis da Europa tem uma distribuição semelhante, porém com a inversão da parcela de consumo de energia por climatização vivenciado aqui para aquecimento na Europa. Outro ponto que diferencia o padrão de consumo energético brasileiro do padrão europeu é a predominância de consumo de gás natural.

Comparando os valores dos indicadores energéticos de hotéis da Europa, que representam 35% dos hotéis em todo o mundo (Hendykx, 2009), com hotéis brasileiros simulados nesse trabalho, o que mais se aproxima de hotéis europeus são hotéis de Belém, que tem um consumo anual de 238 kWh/ano.m². Pela tabela 4.2, tem-se que hotéis de menor consumo é de 260 kWh/ano.m² para hotéis de mesma tipologia.

Pelo estudo de Pryadarsini et al. (2009), o padrão de consumo energético de diversos tipos de hotéis de Cingapura, alguns *retrofit* e outras edificações mais antigos, depende mais da tipologia das edificações. Hotéis menores tem seus índices energéticos anuais por volta de 300 kWh/m², hotéis maiores por volta de 500 kWh/m² e na média por volta de 427 kWh/m².

12. CONCLUSÃO

A edificação considerada para a simulação foi uma torre de pavimento tipo de 20 andares com área total de aproximadamente 7.360 m². Áreas de garagem, almoxarifado e governança foram excluídas por não serem climatizadas, o que representa zonas de baixo consumo energético, porém foram inseridos cargas externas ao modelo criado no *Energy Plus* com a finalidade de torná-la mais compatível com a realidade .

Com base em uma análise sistêmica dos elementos que compõe as instalações do hotel Formule 1 e dos resultados obtidos pelas simulações (Fig. 8.2 e 8.3), os componentes mais significativos em termos de consumo de energia elétrica são: sistema de iluminação, equipamentos instalados (computadores, televisão e elevadores) e sistema de condicionamento de ar.

Por meio dessa simples análise sistêmica, pode-se identificar previamente dois parâmetros principais que influenciam diretamente na eficiência energética do hotel. O primeiro desses parâmetros é o sistema AVAC, que segundo o *baseline* da ASHRAE (2007) está sempre acionado, elevando assim a carga térmica do sistema de climatização. O outro parâmetro é a ocupação da edificação, o qual influencia todos os outros parâmetros, como se pode observar da fig. 8.1, em que todo o sistema predial tende a operar na sua frequência máxima no período noturno.

Um parâmetro que poderia influenciar o índice de eficiência energética é a envoltória. Fica aqui uma crítica a ASHRAE 90.1-2007 por não diferenciar a composição do material de referência para as diferentes regiões do Brasil. Apesar do Brasil apresentar grande diversidade nas condições bioclimáticas, o país é dividido segundo a classificação da ASHRAE (2007), em zonas climáticas 1 e 2, quando deveria ser mais abrangente nesse aspecto. Possivelmente a avaliação do consumo energético será maior nas regiões do nordeste, por causa da falta de abrangência da norma no que diz respeito aos valores da transmitância térmica e do fator solar de vidros da envoltória da edificação.

Segundo a distribuição dos climas tropicais no mundo, os estudos de caso de Cingapura poderiam ser aplicados para o Belém do Pará e Amazonas, uma vez que ambas apresentam condições climáticas semelhantes, tais como a fraca variabilidade

da precipitação de chuva ao longo do ano e temperaturas médias e máximas ao longo do ano bem próximas.

Pela análise de sensibilidade pode-se identificar e ordenar os parâmetros mais impactantes para o consumo global de hotéis. Coeficientes de eficiência e de desempenho foram comprovados como fatores mais impactantes, seguido de ocupação e por último, pelos equipamentos de água aquecida.

A simulação completa, englobando outros estados do Brasil, com comparações de resultados de simulação para São Paulo, Rio de Janeiro, Santa Maria, Belém e Brasília foram realizadas e como resultado principal, tem-se que o consumo global variável significativamente. O consumo mínimo de 1.194.588 kWh foi encontrado para Brasília, e o valor máximo de 1.683.380 kWh foi encontrado para Belém do Pará como esperado previamente.

Realizadas as simulações, foram levantadas diversos índices de desempenho energético de hotéis, tais como o consumo energético anual pelo sistema de climatização por metro quadrado de área, consumo energético total anual por metro quadrado de área e os respectivos índices na base mensal. Porém, mesmo determinados os índices, a regressão linear do consumo energético pelo sistema VAC pelo TBS médio não apresentou correlação muito elevada devido aos pontos dispersos à regressão das cidades de Belém e Brasília.

Uma sugestão para melhorar a regressão linear poderia ser a adoção de índices energéticos para diferentes regiões, uma vez que o clima brasileiro é bem diversificada. Outra sugestão para trabalhos futuros seria investigar a validade das duas fontes de dados climáticos, uma do Labeee e outra fornecida pelo site do *Energy Plus*, e levantar a melhor base de dados climáticos disponíveis para simulação energética para edificações.

Por fim, destaca-se a possibilidade de ampliar a avaliação dos índices realizando simulações com arquivos climáticos diferentes e compará-las com os resultados obtidos nesse trabalho, além de permitir alterações do modelo do hotel conforme diversas estratégias de eficiência energética disponíveis no mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Capacidade de Geração do Brasil**. 2010. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>>. Acesso em 20/05/10.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs (ANSI approved)**. ASHRAE Standard 140 – 2001. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2001.

ASHRAE - **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. ASHRAE Standard 90.1 – 2007. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2007a.

ASHRAE, **90.1 USER'S MANUAL ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007**. Atlanta: ASHRAE, 2007b.

AGDITR - AUSTRALIAN GOVERNMENT, DEPARTMENT OF INDUSTRY, TOURISM AND RESOURCES. **Energy Efficiency Opportunities in the Hotel Industry Sector**. Project Report. 1999.

BRASIL. Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Lex: Diário Oficial da União**, Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>>. Acesso em: 17/09/09.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. 2008. 215 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – PPGE, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CARRIÈRES, K. R. M. **Desempenho Térmico e Consumo Energético de Edifícios de Escritórios em São Carlos, SP**. Dissertação (mestrado) - Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, 2007. 152 p.

CORRENA, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. Tese (doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008. 215 p.

CRAWLEY, D. B., LAWRIE, L. K., WILKELMANN, F. C., BUHL, W.F., HUANG, Y. J., PEDERSEN, C. O., STRAND, R. K., LIESEN, R. J., FISHER, D.

E., WITTE, M. J., GLAZER, J. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, 2001. v. 22 pp 319-331.

DENG, S. **Energy and water uses and their performance explanatory indicators in hotels in Hong Kong**. Energy and Buildings 35, P. 775–784. 2003.

DENG, S.; BURNETT, J. **A study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong**. Energy and Buildings 31, p. 7–12. 2000.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. 2 ed. London. 1976. 486 p.

GUIA CONSTRUIR FÁCIL. **GBC registra crescimento de 100% em empreendimentos em processo de certificação LEED no País**. 2009. Disponível em: <<http://guiaconstruirfacil.com.br/>>. Acesso em: 12/10/09.

HENDRIKX, N. **Energy Efficiency in Hotels**. Labolerec, 2008. Disponível em: <<http://www.leonardo-energy.org/drupal/hotels>>. Acesso em: 10/10/09.

HERNANDEZ NETO, A. **Política de eficiência energética exige consolidação de parcerias do setor público com o setor privado**. Disponível em: <<http://www.nteditorial.com.br/editora/>>. Acesso em: 10/10/09.

IBGE. Dados energéticos. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10/05/10.

JANDA, K. B.; BUSCH, J. F. World-wide Status of Energy Standards for Buildings. In: **Energy**. Vol. 19, nº 1. Pergamon. London, Great Britain. 1994 pp. 27-44.

LABEEE: LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Desempenho térmico de edificações**. 2010. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/conforto/textos/termica/t2-termica/texto2-1298.html>>. Acesso em: 05/05/10.

LAMBERTS, R. **Electricity efficiency in commercial and public buildings**. Núcleo de Pesquisa em Construção Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Energy for Sustainable Development, v. 2, p. 49-52, 1996.

LAMBERTS, R. **Normalização em eficiência energética e conforto ambiental**. Artigo – Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997. 5 p.

MARIANA, F. B. **Avaliação de edificações para eficiência energética**. Escola Politécnica da USP. Trabalho de graduação da engenharia mecânica. 2008. p.82.

MIZGIER, M. O.; MARINOSKI, D. L.; BRAUN, P.; RUTHER, R. **Potencial da geração fotovoltaica frente ao consumo de energia elétrica em edificações residenciais brasileiras**. LabEEE e LABSOLAR. Florianópolis, 2006. p. 709–718.

PRIYADARSINI, R.; XUCHAO, W.; EANG, L. S. **A study on energy performance of hotel buildings in Singapore.** Deakin University, Faculty of Science and Technology, Department of Architecture & Building, Australia. *Energy and Buildings*, v. 41, p. 1319-1324, 2009.

PROCEL EDIFICA. **Eficiência Energética nas Edificações.** Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/pci/main.asp>>. Acesso em: 10/10/09.

REVISTA INFRA. **Brasil é o quinto país no ranking pela procura do selo LEED.** 2009. Disponível em: <<http://maosaobra.wordpress.com/>>. Acesso em: 12/10/09.

SANTAMOURIS, M.; BALARAS, C. A. ; DASCALAKI, E.; A. ARGIRIOU, A.; GAGLIA, A. **Energy conservation and retrofitting potential in Hellenic hotels.** *Energy and Buildings*, v. 24, p. 65-75. 1996.

STRAND, R. K., PEDERSEN, C. O., CRAWLEY, D. B. **Modularization and simulation techniques for heat balance based energy and load calculation programs: the experience of the ASHRAE loads toolkit and EnergyPlus.** *Building Simulation 2001*. Rio de Janeiro, p. 43-50, 2001.

WCED, WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future.** 1987. Oxford: Oxford University Press, Oxford. 1987. p. 39, U.S. EPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus energy simulation software.** 2010. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 05/05/10.

ZMEUREANU, R. G.; HANNA, Z. A. FAZIO, P.; SILVERIO, J. G. **Energy performance of hotels in Ottawa.** *ASHRAE Transactions*, v. 100. p. 314-322. 1994.

ANEXO

ANEXO A – Perfis de Ocupação, da iluminação, do sist. AVAC, de serviços de água aquecida e do elevador do manual ASHRAE (2007)

Horário do dia		Schedule da Ocupação			Schedule da Iluminação			Schedule dos sistemas HVAC			Schedule do sistema de aquecimento de água			Schedule do Elevador		
		Dias úteis	Sábado	Domingo	Dias úteis	Sábado	Domingo	Dias úteis	Sábado	Domingo	Dias úteis	Sábado	Domingo	Dias úteis	Sábado	Domingo
1	(12 - 1 a.m.)	0,9	0,9	0,7	0,2	0,2	0,3	ligado	ligado	ligado	0,2	0,2	0,25	0,4	0,44	0,55
2	(1 - 2 a.m.)	0,9	0,9	0,7	0,15	0,2	0,3	ligado	ligado	ligado	0,2	0,2	0,2	0,33	0,35	0,55
3	(2 - 3 a.m.)	0,9	0,9	0,7	0,1	0,1	0,2	ligado	ligado	ligado	0,2	0,2	0,2	0,33	0,35	0,43
4	(3 - 4 a.m.)	0,9	0,9	0,7	0,1	0,1	0,2	ligado	ligado	ligado	0,2	0,2	0,2	0,33	0,35	0,43
5	(4 - 5 a.m.)	0,9	0,9	0,7	0,1	0,1	0,2	ligado	ligado	ligado	0,2	0,2	0,2	0,33	0,35	0,43
6	(5 - 6 a.m.)	0,9	0,9	0,7	0,2	0,1	0,2	ligado	ligado	ligado	0,25	0,25	0,3	0,33	0,35	0,43
7	(6 - 7 a.m.)	0,7	0,7	0,7	0,4	0,3	0,3	ligado	ligado	ligado	0,5	0,4	0,5	0,42	0,40	0,52
8	(7- 8 a.m.)	0,4	0,5	0,7	0,5	0,3	0,4	ligado	ligado	ligado	0,6	0,5	0,5	0,42	0,32	0,52
9	(8 - 9 a.m.)	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	ligado	ligado	ligado	0,55	0,5	0,5	0,52	0,45	0,65
10	(9- 10 a.m.)	0,2	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	ligado	ligado	ligado	0,45	0,5	0,55	0,52	0,45	0,65
11	(10 - 11a.m.)	0,2	0,3	0,5	0,25	0,3	0,3	ligado	ligado	ligado	0,4	0,45	0,5	0,4	0,42	0,53
12	(11- 12 a.m.)	0,2	0,3	0,3	0,25	0,25	0,3	ligado	ligado	ligado	0,45	0,5	0,5	0,51	0,6	0,6
13	(12 -13 a.m.)	0,2	0,3	0,3	0,25	0,25	0,3	ligado	ligado	ligado	0,4	0,5	0,4	0,51	0,65	0,53
14	(13- 14 a.m.)	0,2	0,3	0,2	0,25	0,25	0,2	ligado	ligado	ligado	0,35	0,45	0,4	0,51	0,65	0,51
15	(14 - 15 a.m.)	0,2	0,3	0,2	0,25	0,25	0,2	ligado	ligado	ligado	0,3	0,4	0,3	0,51	0,65	0,5
16	(15- 16 a.m.)	0,3	0,3	0,2	0,25	0,25	0,2	ligado	ligado	ligado	0,3	0,4	0,3	0,51	0,65	0,44
17	(16 - 17 a.m.)	0,5	0,3	0,3	0,25	0,25	0,2	ligado	ligado	ligado	0,3	0,35	0,3	0,63	0,65	0,64
18	(17- 18 a.m.)	0,5	0,5	0,4	0,25	0,25	0,2	ligado	ligado	ligado	0,4	0,4	0,4	0,8	0,75	0,62
19	(18 - 19 a.m.)	0,5	0,6	0,4	0,6	0,6	0,5	ligado	ligado	ligado	0,55	0,55	0,5	0,86	0,80	0,65
20	(19- 20 a.m.)	0,7	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	ligado	ligado	ligado	0,6	0,55	0,5	0,7	0,80	0,63
21	(20 - 21a.m.)	0,7	0,6	0,6	0,9	0,7	0,8	ligado	ligado	ligado	0,5	0,5	0,4	0,7	0,75	0,63
22	(21- 22 a.m.)	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	ligado	ligado	ligado	0,55	0,55	0,5	0,7	0,75	0,63
23	(22 -23 a.m.)	0,9	0,7	0,8	0,6	0,6	0,5	ligado	ligado	ligado	0,45	0,5	0,4	0,45	0,55	0,4
24	(23- 24 a.m.)	0,9	0,7	0,8	0,3	0,3	0,3	ligado	ligado	ligado	0,25	0,3	0,2	0,45	0,55	0,4

ANEXO B - Densidades dos ocupantes aceitável, densidades de potência de iluminação, e Serviço de Água quente demandado adaptado do do manual da ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1 – 2007.

Tipo de edificação	Densidade de Ocupação m2/Pessoa (W/m2)	Densidade de Potência Iluminação W/m2	Potência demandada de água aquecida por pessoa W/pessoa	Potência demandada de água aquecida W/m2
Reunião	4,65	2,69	63,00	13,55
	15,87	0,27		
Sanidade	18,60	10,75	39,56	2,13
	63,48	1,08		
Hotel/Motel	23,25	2,69	325,23	13,99
	79,35	0,27		
Produção de luz	69,75	2,15	65,93	0,95
	238,05	0,22		
Escritório	25,58	8,06	51,28	2,00
	87,29	0,81		
Estacionamento	-	-	-	
	-	-		
Restaurante	9,30	1,08	114,27	12,29
	31,74	0,11		
Shopping/Varejo	27,90	2,69	39,56	1,42
	95,22	0,27		
Escola	6,98	5,38	63,00	9,03
	23,81	0,54		
Armazém	1395,00	1,08	65,93	0,05
	4761,09	0,11		

ANEXO C - Perfis do serviço de água quente e do sistema de iluminação da garagem

Horário do dia		Schedule do sistema de aquecimento de água			Schedule do iluminação de garagem		
		Dias úteis	Sábado	Domingo	Dias úteis	Sábado	Domingo
1	(12 - 1 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	(1 - 2 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	(2 - 3 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	(3 - 4 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	(4 - 5 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	(5 - 6 a.m.)	0,2	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0
7	(6 - 7 a.m.)	0,5	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0
8	(7- 8 a.m.)	0,5	0,8	0,8	0,5	0,25	0,0
9	(8 - 9 a.m.)	0,2	0,5	0,5	1,0	0,5	0,0
10	(9- 10 a.m.)	0,0	0,2	0,2	0,6	0,3	0,0
11	(10 - 11a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,5	0,27	0,0
12	(11- 12 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,6	0,31	0,0
13	(12 -13 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,8	0,42	0,0
14	(13- 14 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,7	0,35	0,0
15	(14 - 15 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0
16	(15- 16 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0
17	(16 - 17 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0
18	(17- 18 a.m.)	0,2	0,4	0,4	0,9	0,0	0,0
19	(18 - 19 a.m.)	0,5	0,8	0,8	0,3	0,0	0,0
20	(19- 20 a.m.)	0,6	0,8	0,8	0,2	0,0	0,0
21	(20 - 21a.m.)	0,5	0,5	0,5	0,06	0,0	0,0
22	(21- 22 a.m.)	0,0	0,2	0,2	0,06	0,0	0,0
23	(22 -23 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	(23- 24 a.m.)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0