

DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DE HOTÉIS

Edson Koji Kurotsu

edsonkurotsu@gmail.com

Resumo. A crescente preocupação com o impacto ambiental, somado ao advento das certificações LEED (Leadership in Energy & Environmental Design), a simulação de desempenho energético ganhou grande importância, sendo esse processo fundamental para validação de estratégias de economia e uso mais racional dos recursos energéticos para edificações em processo de certificação.

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, foram simuladas 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 avaliadas e caracterizadas, a fim de permitir avaliação de edifícios para variadas localizações no território brasileiro.

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

1. Introdução

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.

Segundo a ANEEL (2010), maior parte do potencial hidrelétrico economicamente viável já foi utilizada pelo Brasil. A limitação financeira e ambiental para a realização de obras de grandes hidrelétricas leva 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.

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, Procel Edifica, 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 trabalho contribui para essa mudança que o mercado exigiu. Um hotel típico é uma edificação que tem sua ocupação e sua demanda energética elevada, apresentando diversos equipamentos térmicos instalados. Seguindo toda essa motivação, o objetivo do trabalho é determinar os principais índices de desempenho energético 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 para determinação dos índices de desempenho energético em hotéis brasileiros, tomando como base o modelo de edifício validado por Mariana (2008), que realizou um estudo de campo no hotel Formule 1, localizado no centro de São Paulo. Alguns parâmetros desse modelo de edifício utilizado foram adequados de acordo com os valores de referência do apêndice G da ASHRAE 90.1 - 2007.

3. Metodologia de trabalho

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

Em seguida, foi necessário levantar bibliografias já publicadas na área para realizar a revisão dessas literaturas e caracterizar 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 específico no programa. Com diversos resultados gerados dessas simulações, foram realizadas análises de sensibilidade e foram determinados os principais índices de desempenho energético.

4. Revisão bibliográfica

4.1. Caracterização do hotel

Segundo Priyadarsini et al. (2009), o consumo energético de um hotel está relacionado a tipologia do hotel, tamanho de hotéis e também pelo nível de luxuosidade que os hotéis proporcionam aos ocupantes (figura (1)), daí a necessidade de classificá-la antes de tudo. Pelo Priyadarsini et al. (2009), um método de classificação pode ser dada pela quantidade 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)

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

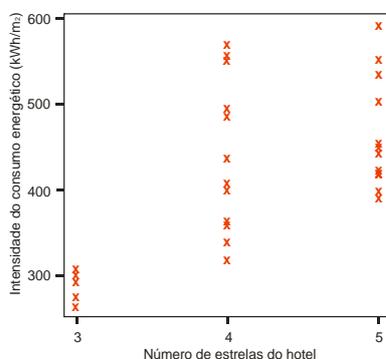


Figura 1. Intensidade do uso energético anual x Classificação do hotel por estrelas (Priyadarsini et al, 2009)

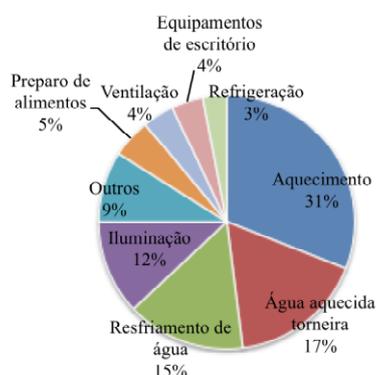


Figura 2. Distribuição total do consumo de energia elétrica e a gás em um hotel típico (US EPA, 2008 apud HENDRIKX, 2008)

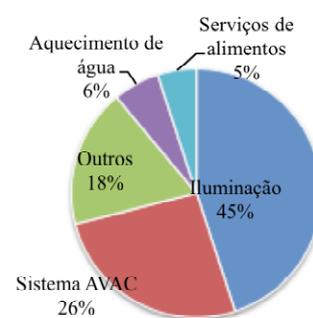


Figura 3. Distribuição do consumo de energia elétrica em um hotel típico (US EPA, 2008 apud HENDRIKX, 2008)

Da Figura (1), tem-se que os hotéis de 3 estrelas o consumo energético anual varia de 250 a 300 kWh/m², já os hotéis mais luxuosos como os de 4 e 5 estrelas, o consumo anual encontra-se numa faixa mais extensa, com consumos anuais variando entre 300 kWh/m² e 600 kWh/m².

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 devem ser diferenciadas 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.

No aspecto da 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 a serem fornecidos para torneiras, chuveiros e serviços de cozinhas. 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.

A parcela de energia de fonte elétrica é usada para diversas finalidades. O consumo majoritário de eletricidade em um hotel vem da iluminação e dos ventiladores de AVAC, outros consumos relevantes vêm das máquinas de refrigeração, da circulação de bombas, do aquecimento de água, dos serviços de alimentação, dentre outros (Figura (3)).

Na Figura (2), pode-se verificar que a energia consumida em hotel típico, é utilizada principalmente para aquecer o ambiente e a água, para o resfriamento da água e para a iluminação artificial.

4.2. Síntese da revisão bibliográfica e referências adicionais

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 incentivo 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 energéticos em função da área efetiva dos hotéis ou pela classificação de qualidade em quantidade de estrelas dos mesmos (PRIYADARSINI et al., 2009).

O trabalho de Hendriks (2008) mostra não apenas a matriz energética e o consumo médio de energia, mas também a margem para o consumo de energia em hotéis dentro da Europa. Para hotéis de tamanho pequeno e médio, o consumo de combustível varia de 196 kWh/m².ano a 286 kWh/m².ano e de eletricidade variando de 71 kWh/m².ano a 83 kWh/m².ano. Para hotéis de tamanho grande, o consumo de combustível varia de 220 kWh/m².ano a 350 kWh/m².ano e de eletricidade variando de 100 kWh/m².ano a 143 kWh/m².ano. Por fim Hendriks (2008) mostra os indicadores energéticos de referência, os quais posteriormente serão comparados com o modelo de edifício adotado no presente trabalho.

Os valores atuais energéticos de hotéis do Cingapura mostrados no Priyadarsini et al. (2009) mostram uma diferença de 41 kWh/m² com os mesmos hotéis do banco de dados da CEAP, por estarem obsoletos os dados coletados em 1993 da CEAP. Essa redução energética pode ser explicada pela melhoria do desempenho energético alcançado durante a última década com retrofits de hotéis.

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.

5. 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).

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.

6. Desenvolvimento

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.

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

6.1. Envoltória da edificação

No pavimento tipo 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 foram especificadas conforme Labeee (2010) e com adequação de U (transmitância térmica) das paredes externas próximo de $0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, de teto $0,36 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, de piso $0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ e para janelas, U de $4,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ e SHGC (coeficiente de ganho de calor solar) $0,25$ conforme Ashrae (2007).

As simplificações do modelo físico de Mariana (2008) serão mantidas, as quais foram consideradas 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.

6.2. Perfis horários de ocupação, iluminação e consumo dos elevadores e renovação de ar

Os perfis de ocupação, iluminação e consumo dos elevadores para cada hora do dia e para diversos dias, tais como, dias de semana padrão (dias úteis), sábado, domingo, feriados ou outros dias particulares foram retirados do manual da ASHRAE (2007) e 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 sua superioridade da dimensão geométrica da zona.

6.3. 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, segundo a ASHARE (2007) (Figura (5)).

O sistema de ar condicionado utilizado no edifício foi dimensionado por meio de uma simulação para dias específicos de projeto (*design days*) e definido 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 corredores. O coeficiente de desempenho do *chiller* foi especificado conforme o capítulo do sistema de ar condicionado da ASHRAE (2007), o qual mostra as características principais de variados sistemas de ar condicionado eficientes energeticamente em função da carga térmica demandada.

7. Resultados e Análises

Após a introdução de todos os parâmetros relacionados à 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 (1)).

Tabela 1. Capacidade Nominal dos equipamentos térmicos gerado pelo *Energy Plus*

Tipo de equipamento	Capacidade Nominal [W]	Eficiência Nominal [W/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 Figura (5), os quais estão reproduzidos os perfis de ocupação e os perfis de disponibilidade de energia elétrica por uso de equipamentos, iluminação e sistemas AVAC e o perfil de consumo parcial pelo sistema AVAC ao longo do dia (Figura (6)). Esses valores foram obtidos para a simulação em um dia útil de verão.

A figura 4 mostra a matriz de energia para hotel gerado pela simulação anual no *Energy Plus*. Por meio dessa simulação, pode se fazer uma análise sistêmica, identificando previamente dois parâmetros principais que influenciam diretamente na eficiência energética do hotel. O primeiro desses parâmetros é o sistema AVAC, que segundo o modelo

de referência da ASHRAE (2007) está sempre acionado, elevando assim a carga térmica do sistema de climatização; o outro parâmetro influente é a ocupação da edificação, o qual influencia todos os outros parâmetros.

Com a consolidação do modelo e com os resultados da simulação anual para São Paulo, realiza-se análise de sensibilidade de parâmetros com a finalidade de encontrar o parâmetro de maior contribuição para o consumo energético anual do hotel.

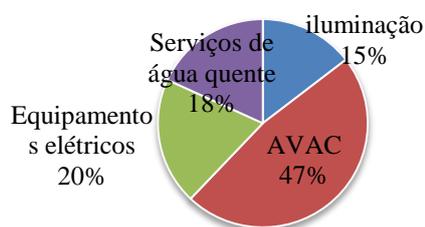


Figura 4. Distribuição de energia anual para os equipamentos, iluminação e sistemas AVAC para São Paulo

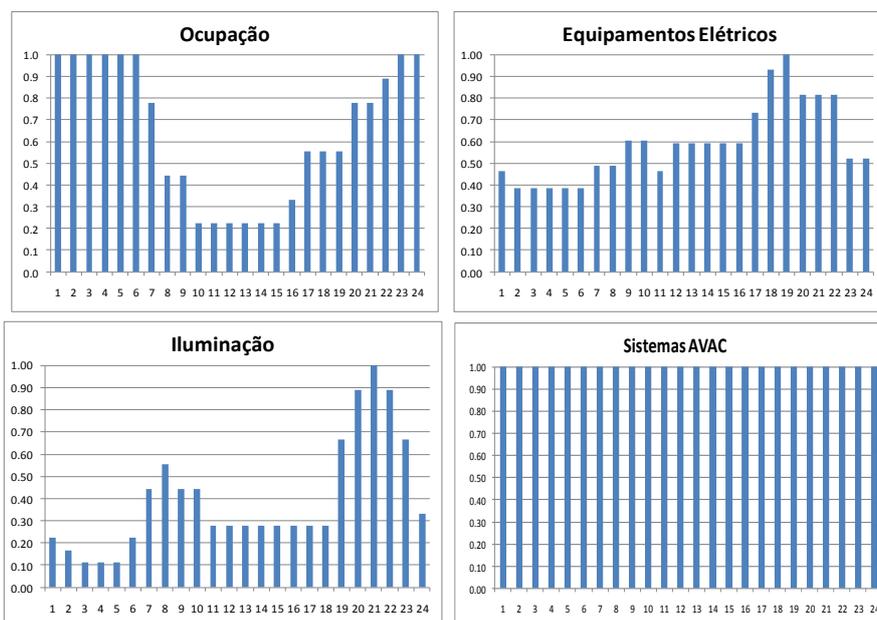


Figura 5. Perfil de uso e ocupação ao longo de um dia útil no verão

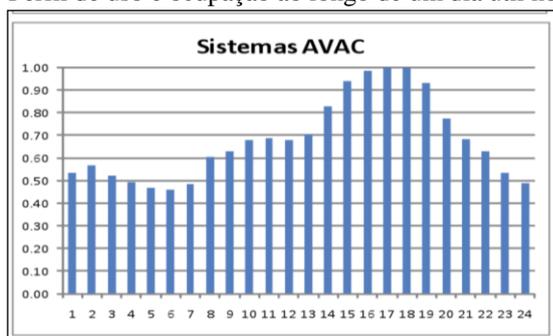


Figura 6. Perfil de consumo de energia pelo sistema AVAC, em frações do pico de consumo, ao longo do dia útil no verão

7.1. Análise de sensibilidade

A metodologia dessa análise é variar $\pm 20\%$ o valor do parâmetro um a um 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, potência 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.

Os resultados do total de 13 simulações estão representados na Tabela (2), dessa tabela, podem-se identificar 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 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), porém os seus impactos para o sistema AVAC possuem valores diferentes pela diferença entre as fontes de cargas térmicas, uma é pela ocupação, e a outra é pelos equipamentos de água aquecida.

Tabela 2. Síntese de resultados da análise de sensibilidade (simulação na cidade de São Paulo)

Parâmetros de sensibilidade	Variação entre o mínimo e máximo consumo de energia				Consumo anual global			
	Iluminação	AVAC	Equipamentos elétricos	Água quente	Min (kWh/m ²)	Máx (kWh/m ²)	Referência (kWh/m ²)	Desvio
Ocupação	-	11,5%	-	40%	163.7	186	174.65	12,8%
Equipamentos internos	-	1%	10%	-	172.45	176.86	174.65	2,5%
Iluminação geral	39%	2%	-	-	168.74	180.63	174.65	6,8%
Renovação de ar	-	9,5%	-	-	170.9	178.8	174.65	4,5%
Equipamentos água quente	-	4,1%	-	40%	166.47	182.55	174.65	9,2%
COP de <i>chiller</i>	-	28%	-	-	165.3	188.7	174.65	13,4%

7.2. Índices energéticos para hotéis

O consumo de energia global anual gerado pela simulação para cada cidade está mostrado na Figura (7). Analisando a figura (7) 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. 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.

Nos próximos parágrafos 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.

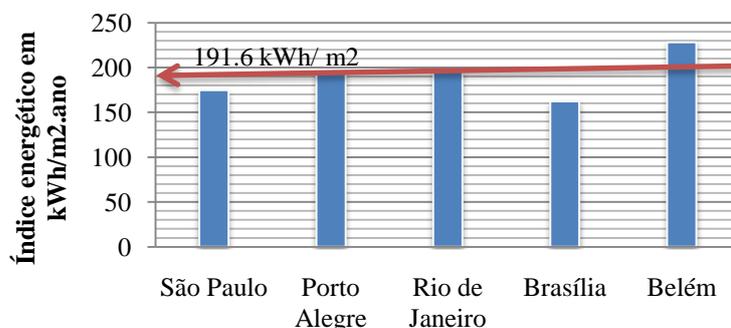


Figura 7. Índices energéticos de cada cidade e a sua média indicada por uma linha reta

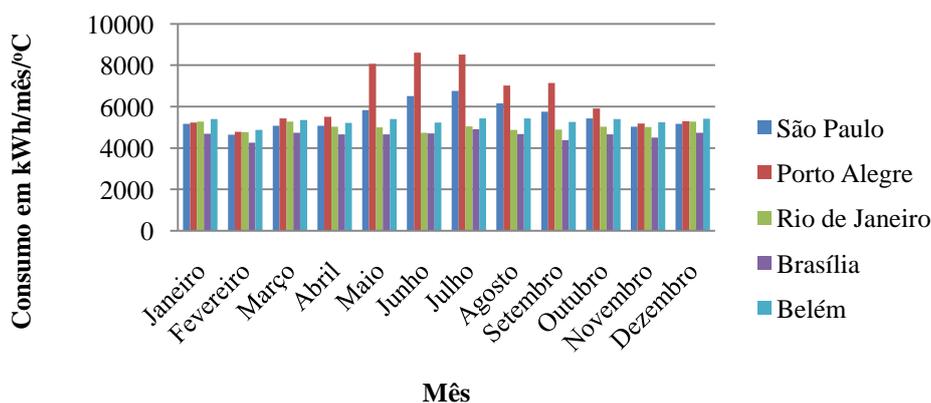


Figura 8. Índices energéticos corrigidos mês a mês pelo TBS médio mensal de cada cidade

A correção do índice energético dividindo o índice pelo $TBS_{médio}$ não contribui para reduzir significativamente a variação do índice em relação a média e leva a inversão nos valores dos índices energéticos, ou seja, Porto Alegre passa a ser a cidade de maior consumo energético. A maior variação (16%) foi de Porto Alegre em relação à média.

A correção mês a mês pelo TBS médio mensal não corrige o problema de inversão de valores entre Belém e Porto Alegre. A correção aproxima os índices energéticos mensais, porém como mostra a Figura (8), apresenta problemas para Porto Alegre e São Paulo em meses concentrados no meio do ano, em que são exigidos maiores demandas por aquecimento nos períodos de temperaturas abaixo da zona de conforto térmico, sobretudo nos períodos noturnos. 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 (Figura (8)).

7.3. Índices energéticos para hotéis pelo método da correlação

Neste tópico será apresentado 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).

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

A Figura (9) 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).

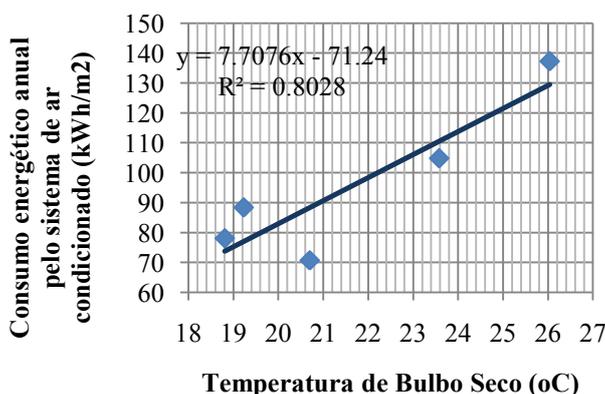


Figura 9. Regressão linear do consumo energético anual do sistema de ar condicionado pelo TBS

A Tabela (3) mostra o consumo energético anual total com a correção da média do consumo de energia pelo sistema de climatização por $TBS_{médio}$, 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 3. Consumo energético anual e os erros absolutos

Cidades	Sistema AVAC/area sem correção $4,37 \times TBS_{médio}$ (kWh/m ²)	Consumo Fixo/area (kWh/m ²)	Aquecimento/ Area (kWh/m ²)	Consumo energético total sem correção	Consumo energético total corrigido	Erro sem correção	Erro corrigido
São Paulo	78,0	91,6	3,7	173,4	177,6	-9,1%	-6,3%
Porto Alegre	88,3	91,6	12,5	192,4	188,2	+0,9%	-0,8%
Rio de Janeiro	104,8	91,6	0,0	196,4	194,7	+3,0%	+2,7%
Brasília	70,6	91,6	0,0	162,3	182,2	-14,9%	-3,9%
Belém	137,2	91,6	0,0	228,8	205,5	+20,0%	+8,4%

7.3.2. Correlação 2: Consumo parcial de energia mensal pelo TBS médio

A regressão linear de 60 pontos (12 pontos por cidade) do consumo de energia pelo sistema AVAC com temperatura de bulbo seco média mês a mês para cada cidade simulada apresentou correlação fraca, sendo R^2 inferior a 0,5. Os pontos de Porto Alegre e São Paulo ficaram bem dispersos devido à disponibilidade completa do sistema AVAC, atendendo todas as necessidades de demanda por aquecimento nos períodos de temperatura abaixo da 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 regressão.

A regressão linear do consumo de energia apenas para climatização com temperatura de bulbo seco média mês a mês para cada cidade simulada, comparada com a última regressão, apresentou correlação significativamente melhorada, $R^2 = 0,79$.

A Figura (10) 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 (pontos em azul). Da Figura (10), sabe-se que a correlação $R^2 = 0,75$ (correlação 2) e que os pontos de Brasília e Belém ficam bem dispersos, como acontecia nas outras duas regressões citadas. Uma possível explicação para essa dispersão é que para ambas cidades, a amplitude térmica ao longo do ano 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 mensal, será adotado a correlação mostrada na Figura (10), assim o índice de desempenho energético mensal relativo à demanda pelo sistema VAC é 0,355 kWh (Sistema VAC)/ (m².mês. °C). Na Tabela (4) estão mostradas a margem dos valores desse índice energético.

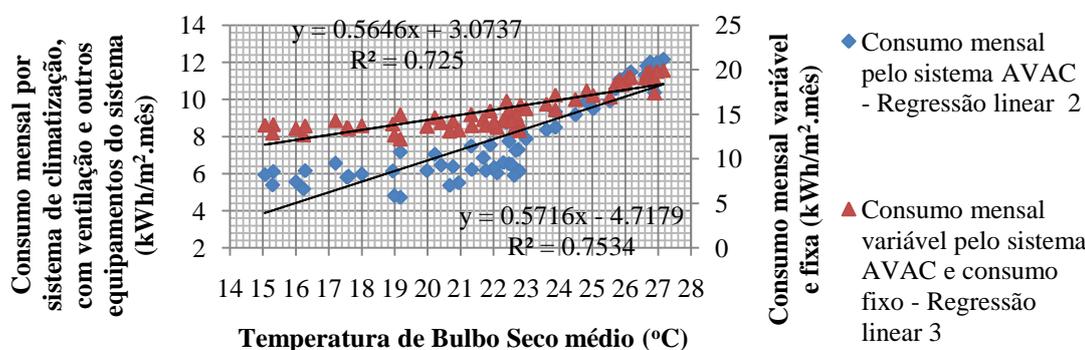


Figura 9. Regressão linear do consumo energético mensal para item 7.3.2 e item 7.3.3

Tabela 4. Índice de consumo energético mensal pelo sistema VAC e seus erros

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%	

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

A Figura (10) mostra também a regressão linear do consumo de energia pelo sistema com temperatura de bulbo seco média mês a mês para cada cidade simulada, totalizando 60 pontos (pontos em vermelho). O consumo de energia mostrada nessa regressão 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, $R^2 = 0,725$ (correlação 3), com pontos de dispersão análogas à última regressão da correlação 2.

Tabela 5. Índice de consumo energético mensal pelo sistema VAC e seus erros

Índice de desempenho energético VAC + Fixo mensal	Valor do Índice de desempenho energético VAC + Fixo mensal (kWh/m ² . °C.Mês)	Erro	Erro médio = 7,3%
Mínimo	0,578	-18,4%	
Médio	0,708	0,0%	
Máximo	0,916	+27,85%	

A Tabela 5 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.

7.3.4. Índice do Consumo de energia total mensal

O consumo de energia total mensal pode ser calculado pela somatória do consumo energético fixo, do índice obtido da correlação 2 multiplicado pelo temperatura de bulbo seco médio, consumo por aquecimento.

Com essa composição pode-se levantar 60 dados chegando-se na Tabela 6, na qual é mostrado o índice de desempenho energético total, dado por 15,88 kWh/ (m².mês), e os seus valores mínimo e máximo, obtendo erro absoluto médio de 4,8%, bem abaixo das outros índices.

Tabela 6. Índice de consumo energético total por mês e seus erros

Índice de desempenho energético total mensal	Valor do Índice de desempenho energético total mensal (kWh/m ² . Mês)	Erro	Erro médio = 4,8%
Mínimo	14,12	-11%	
Médio	15,88	0,0%	
Máximo	17,9	+12,7%	

8. Conclusões

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, os quais não foram contabilizados por Mariana (2008). Assim, o valor do consumo de energia obtido da simulação é de 1.001.360 kWh, o 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 à matriz brasileira, porém com a inversão da parcela de consumo de energia por climatização vivenciado no território brasileiro 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 (Hendrikx, 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 (hotéis de tamanho pequeno e médio).

Pelo programa *climate5*, Cingapura apresenta condições climáticas semelhantes com Ceará e Belém, uma vez que as três cidades apresentam fraca variabilidade da precipitação de chuva ao longo do ano e baixas amplitudes térmicas ao longo do ano. 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 antigas, depende mais da tipologia das edificações. Hotéis menores, como o hotel em estudo, tem seus índices energéticos anuais variando de 250 a 300 kWh/m². Pelo mesmo programa, *climate5*, pode-se encontrar semelhanças de clima do hotéis estudados pelo Hendrikx (2009) com a cidade de Porto Alegre. Como

A análise de sensibilidade permitiu identificar os parâmetros mais impactantes para o consumo global de hotéis, comprovando a importância do desempenho de sistemas de climatização e do nível de ocupação do hotel para o consumo energético global de hotéis. Da simulação completa pode-se verificar a matriz de consumo energético, tendo o consumo mínimo, 1.194.588 kWh, para Brasília, e o valor máximo de 1.683.380 kWh 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 em 95 kWh/m². ano, consumo energético em 189 kWh/m². ano, 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 separados por diferentes regiões, apresentando mais de um índice para o Brasil, tais como índices energéticos do sul e do norte.

Por fim, destaca-se a possibilidade de fazer um estudo de melhoria dos arquivos climáticos, ampliar a avaliação dos índices energéticos considerando IPLV (Valor Integrado de Carga Parcial) do *chiller*, realizando simulações com arquivos climáticos diferentes, além de permitir alterações do modelo do hotel conforme diversas estratégias de eficiência energética disponíveis hoje no mercado.

Agradecimentos

Agradeço ao professor Alberto Hernandez Neto e a ACCOR que possibilitou a realização do trabalho de graduação. Agradeço também a todos os professores da Escola Politécnica que participaram de minha formação. Agradeço à minha família e amigos.

Referências

- 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.
- AGDITR - AUSTRALIAN GOVERNMENT, DEPARTMENT OF INDUSTRY, TOURISM AND RESOURCES. “Energy Efficiency Opportunities in the Hotel Industry Sector”, Project Report. 1999.
- 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) – PPGEC, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- GUIA CONSTRUIR FÁCIL. “GBC registra crescimento de 100% em empreendimentos em processo de certificação LEED no País”. Disponível em: <<http://guiaconstruirfacil.com.br/>>. Acesso em: 12/10/09.
- HENDRIKX, N. “Energy Efficiency in Hotels”. Labolrec, 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.
- LABEEE: LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. “Desempenho térmico de edificações”. 2010. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/conforto/textos/termica/t2-termica/texto2-1298.html>>. Acesso em: 05/05/10.
- LAMBERTS, R. “Normalização em eficiência energética e conforto ambiental. Artigo – Núcleo de Pesquisa em Construção”, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997. 5p.
- MARIANA, F. B. “Avaliação de edificações para eficiência energética”. Escola Politécnica da USP. Trabalho de graduação da engenharia mecânica. 2008.
- 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, Geelong waterfront campus, Geelong, Victoria 3217, Australia. 2009.
- REVISTA INFRA. “Brasil é o quinto país no ranking pela procura do selo LEED”. Disponível em: <<http://maosaobra.wordpress.com/>>. Acesso em: 12/10/09.
- 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”. In: Building Simulation 2001, Proceedings... Rio de Janeiro: IBPSA Brazil, 2001. p. 43-50.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. “EnergyPlus energy simulation software”. 2010. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 05/05/10.

DETERMINATION OF ENERGY INDEX FOR HOTELS

Edson Koji Kurotsu

edsonkurotsu@gmail.com

Abstract. The increasing concern regarding environmental impact, coupled with the advent of LEED certification (Leadership in Energy & Environmental Design), the energy simulation performance gained great importance and it is fundamental for the process of evaluation of strategies for saving energy and rational use of energy resources for LEED-certified building. Thus, this report presents to model and simulate the performance of energy consumption of a typical hotel, identify and make the sensitivity analysis of some parameters influencing the energy consumption of hotels in Brazil. The first phase of the project is a literature review where it provides many sources for analysis the standard ASHRAE 90.1 is taken as the the main source for such study. Through this reference is defined the hotel geometry and it will analyzed the main parameters for evaluation of sensitivity of such parameters in the next stage. The simulations were realized with the assistance of software called Energy Plus, an important tool to evaluate the energy consumption of building and to provide the evaluation of the sensitivity of several parameters. In this program, it was simulated the same model of hotel for different locations, such as: São Paulo, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Brasília and Belém. Based on such simulations, an energy index will be evaluated and characterized in order to produce energy references for such buildings in Brazilian climates.

Keywords. Energy index, building simulation, building performance.