

Avaliação do consumo energético de dois sistemas distintos de climatização em um restaurante na cidade de Uberaba/MG Via Energy Plus

Evaluation of Energy Consumption of Two Different Air Condition System at a Restaurant in Uberaba/MG for Using Energy Plus

Anderson Antonio Ubices de Moraes¹; Gustavo Emmanuel Carvalho Borella Guidetti²; Alessandra Beatriz Carneiro Gonçalves Alves³

¹ Professor, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil. E-mail: ubices@ufscar.br

² Supervisor de Produção na Fundibrás, Mestre em Inovação Tecnológica pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil. E-mail: guidetti@uftm.edu.br

³ Professora, Universidade Federal do Triângulo Mineiro Uberaba, Minas Gerais, Brasil. E-mail: alessandra.alves@uftm.edu.br

RESUMO: Estudos sobre a eficiência energética dos sistemas de climatização artificial são altamente desejáveis para atenderem medidas legislativas, redução da poluição ambiental e permitir o conforto térmico adequado de seus ocupantes. Neste trabalho estudou-se o gasto energético via simulação pelo Energy Plus num ano típico de dois sistemas de climatização distintos, um pelo resfriamento devido à compressão mecânica do vapor (tradicional) e o outro pela ventilação geral diluidora com auxílio de resfriamento evaporativo da água (alternativo), num restaurante na cidade de Uberaba/MG. Os resultados demonstram que o uso de brises nas janelas leste do edifício reduziu em 5,4% o gasto energético anual da climatização tradicional, que obteria etiqueta nível A pelo regulamento do PBE edifica. A climatização alternativa apresentou melhores desempenho em relação ao tradicional, com um gasto energético de 412 kWh (96% menor) e pico de potência elétrica instalada de 0,98 kW (92% menor) demonstrando ser o melhor projeto a ser adotado, porém com etiqueta nível E por não ser um equipamento enquadrado no regulamento. Isto demonstra que outros sistemas de climatização devem ser estudados e regulamentados pelo PBE edifica.

Palavras-chave: Eficiência energética em edifícios, Simulação computacional, Ventilação mecânica.

ABSTRACT: Energy efficiency studies applied for artificial air conditioning systems are highly desirable in order to enable these devices to meet environmental laws, reduce pollution and provide thermal comfort for its users. In this work, the energy expenses of two different air-conditioning systems - one that uses the vapour compression refrigeration cycle (traditional) , and the other one that uses mechanical ventilation with evaporative cooling support (alternative) - were studied through an Energy Plus simulation in a restaurant in the city of Uberaba / MG, in a typical year. The results show that the use of brises in the east windows reduced the annual energy expenses of the traditional air conditioning by 5,4%, and so it would be ranked as level A by PBE edifica. The alternative system presented better performance when compared to the traditional system, with a 96% lower energy consumption rate of 412 kWh and a 92% lower peak power of 0.98 kW. Although the alternative system was proved to be the best project, it was labeled as level E because it was not included in the regulation. This demonstrates that other HVAC systems should be studied and catalogued by PBE edifica.

Keywords: Energy efficiency in buildings. Computer simulation. Mechanical ventilation.

INTRODUÇÃO

A revolução industrial foi um grande marco para a humanidade pois permitiu grandes avanços tecnológicos com um aumento constante na exploração dos recursos naturais, nos meios de produção, além do uso e controle de diversas formas de energia em escalas nunca antes imaginadas. Percebe-se que a vida moderna nos padrões atuais seria impossível sem os consumos energéticos ocorridos neste último século (MORAES, 2011).

Os gastos energéticos mundiais atribuídos às edificações em 2011 foram estimados em aproximadamente 40% (ROSA, 2014). Em 2015, as edificações residenciais, públicas e comerciais consumiram mais de 50% de toda a energia elétrica produzida no Brasil (MME, 2016). Levantamento realizado por Ceotto (2008) indicam que os maiores gastos energéticos num edifício comercial, com vida útil de até 50 anos, ocorre durante o seu uso e operação (80% do total), na fase de construção (14%) e ao longo de suas adaptações para reuso (5%). Isto demonstra que os maiores impactos ambientais das construções no meio ambiente advêm principalmente durante sua fase de uso.

Os consumos finais de energia elétrica num edifício durante seu uso podem ser subdivididos em iluminação, em condicionamento ou climatização do ambiente, e nos equipamentos elétricos em geral. As porcentagens de cada consumo por subgrupo são bastantes heterogêneas e dependem, principalmente, da finalidade do edifício, das condições climáticas, nas tecnologias empregadas nos dispositivos elétricos e, da geometria, posicionamento e propriedades termofísicas da envoltória. Avaliação do relatório energético brasileiro de 2005, indica que os gastos médios do consumo de energia elétrica devido aos sistemas de climatização foram de 48% para edifícios públicos e de 47% para os comerciais (ELETROBRÁS, 2007). Porém, estes valores podem ser ainda maiores, Ayusso (2017) estudou o consumo final de energia de um prédio público administrativo na cidade de São Carlos/SP e constatou que o sistema de ar condicionado representou mais de 61% dos gastos finais de energia elétrica.

Nota-se que o uso racional de energia e melhoria da eficiência em edifícios, principalmente do sistema de climatização artificial, não implicam somente numa redução de despesas financeiras, mas também, na redução de impactos ambientais, já que a conservação de energia por técnicas e equipamentos mais eficientes levam a uma menor exploração dos recursos naturais para sua geração em hidrelétricas, termoeletricas e outras, e redução direta nas emissões dos gases do efeito estufa. Atualmente, a conservação e o combate do desperdício de energia é a fonte de energia mais barata e limpa existente (KARASHIMA, 2006).

Após a crise do petróleo ocorrida na década de 70 e a notificação dos primeiros sinais de degradação em larga escala no meio ambiente ocasionado pela ação humana, várias políticas internacionais e nacionais foram desenvolvidas com intuito de reduzir o consumo de energia elétrica edifícios. Entre essas políticas, destacam-se a *Passivhaus* na Alemanha, BREEAM no Reino Unido, LEED nos Estados Unidos, ADENE-SCE em Portugal e PBE Edifica no Brasil (GUIDETTI, 2016).

Dentre as técnicas para reduzir o uso de sistemas artificiais de climatização tem-se o emprego da ventilação natural, que é bastante estudada. Entretanto, por mais que seja uma técnica passível e desejável nas edificações, ela nem sempre permitirá que sejam alcançadas condições de conforto térmico para seus ocupantes, pois ela depende fortemente das cargas térmicas geradas no ambiente, das condições climáticas externas como temperatura, direção e intensidade do vento, e da presença de obstáculos ou intensificadores da corrente de ar (CASTAÑO, 2017).

É neste cenário adverso e em climas quentes e secos, que o processo de climatização evaporativa com uso de ventilação mecânica diluidora obtém sua maior eficiência, pois permite que sejam alcançadas condições de conforto térmico e altas taxas de renovação de ar desejável na qualidade do ar interno (CAMARGO, 2003; CAROSSO, 2006; GUIDETTI, 2016). Carossi (2006) estudou o emprego desta técnica em diversas localidades do Brasil e concluiu que mais de 70% dos estados brasileiros possuem potencial de aplicação, para manter as condições de conforto em mais da metade do ano.

Guidetti (2016) analisou as cargas térmicas de um restaurante universitário em Uberaba/MG para dias padrões das 4 estações do ano, e comparou os gastos energéticos e financeiro de dois sistemas de climatização, um pelo ciclo de compressão à vapor e outro pelo resfriamento evaporativo. O autor concluiu em seu trabalho, que o resfriamento evaporativo possui um gasto energético 19 vezes menor quando comparado ao sistema de resfriamento por compressão à vapor, e para um período de 10 anos, a economia gerada seria superior a R\$ 400.000,00.

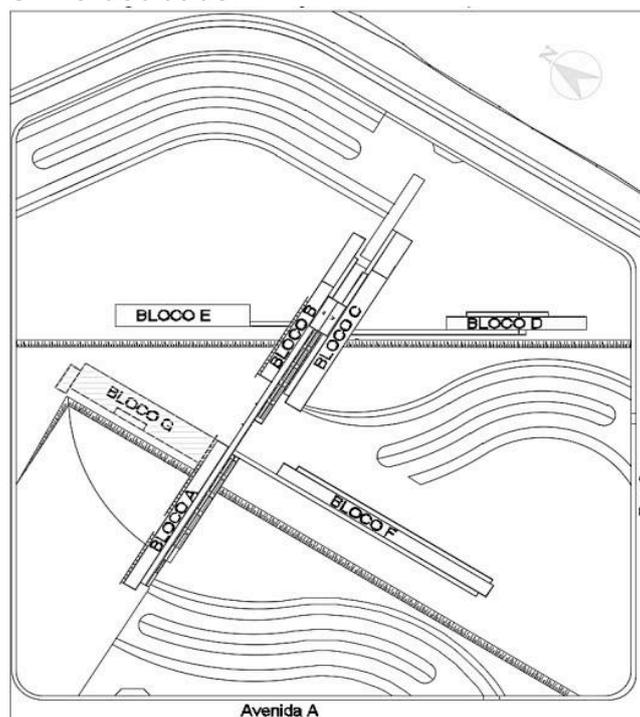
O objetivo geral deste trabalho foi expandir os estudos realizados por Guidetti (2016) em analisar dois sistemas de climatização e comparar os seus custos energéticos, e os picos de potência elétrica do sistema de condicionamento de ar através de simulação computacional com auxílio do *software Energy Plus*[®] durante o clima de um ano padrão.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Descrição da edificação e sua envoltória

O restaurante está localizado na cidade de Uberaba-MG dentro da Unidade 2 da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) localizado na Univerdecidade, ver bloco G na **Figura 1**, onde suas maiores fachadas encontram-se orientadas para o leste e oeste, enquanto as paredes norte e sul fazem divisa com outros dois ambientes, área de cozimento de alimentos e uma cantina.

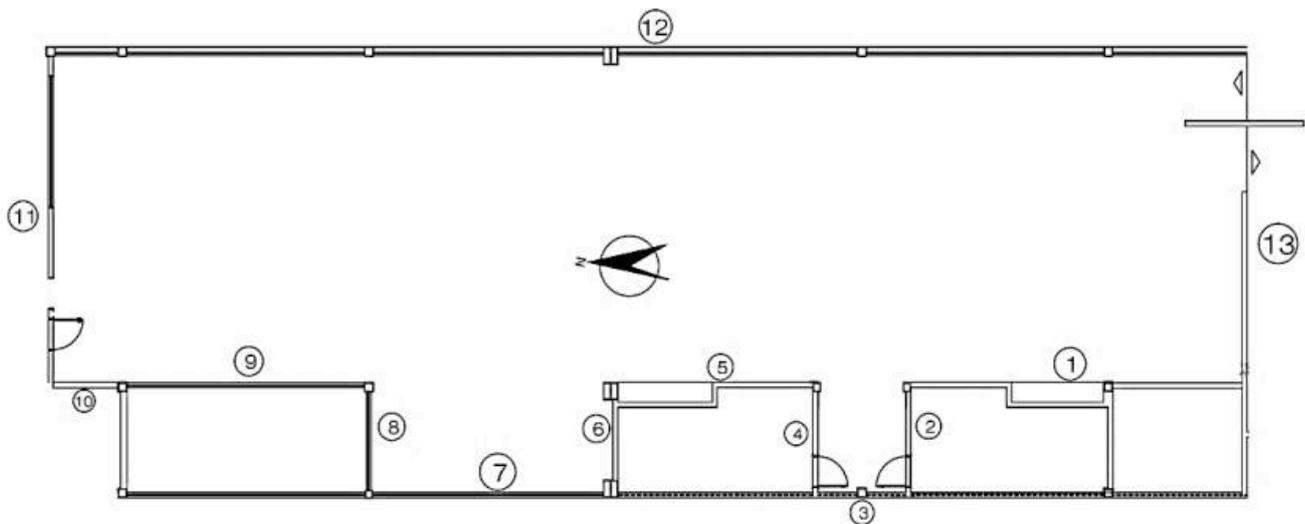
Figura 1. Localização do Restaurante (Bloco G) dentro da Unidade 2 da UFTM, Univerdecidade.



Fonte: Guidetti, 2016.

Na **Figura 2** é ilustrado o esboço da planta baixa da edificação que possui comprimento de 37m (parede 12), uma largura de aproximadamente 10m (divisória 13), pé direito de 2,95m e volume total de 1172,5m³. A **Figura 3** apresenta fotos do interior e exterior da construção; nota-se ainda nesta figura que a parede leste, parede 12, possui cores claras e uma grande área envidraçada. A envoltória do lado sul faz divisa com uma cantina e é coberta, possuindo duas grandes entradas (item b). O lado oeste faz divisão com dois banheiros (paredes 1, 2, 4, 5 e 6) e as paredes da claraboia (8 e 9). No lado norte, parede 11, encontra-se a divisória com os ambientes de cozimento dos alimentos e lavagem de pratos.

Figura 2. Layout do refeitório e principais divisões de paredes utilizadas nos cálculos das transferências de calor pela envoltória



Fonte: Guidetti, 2016.

Figura 3. Fotos externas e internas da edificação; a) vista externa do lado leste; b) vista externa do lado sul; c) Vista interna da parede sul; d) Vista interna da parede norte; e) vista externa da parede oeste.



Fonte: Guidetti, 2016.

Considerou-se todas as paredes compostas de blocos cerâmicos de 6 furos, sendo as paredes externas, do lado oeste e leste, com tijolos na posição horizontal com espessura de 20 cm mais 2,5 cm de argamassa de cada lado perfazendo uma espessura total de 25,0 cm. As paredes norte, sul e internas com tijolos na posição horizontal com espessura de 10 cm mais reboco interno e externo perfazendo uma espessura de 15,0 cm. Os vidros da parede leste foram considerados comum com 8mm de espessura, enquanto os demais com 3mm de espessura. A laje da fundação e cobertura foi suposta com espessura de 100 mm de concreto, enquanto as portas do banheiro compostas de madeira leve de 3,0 cm. Para modelar o forro do ambiente, adotou-se uma altura de 60 cm de parede externa até o tirante, mais 110 cm de altura até a cumeeira sendo a cobertura do forro composta de laje mista com fino de revestimento de alumínio. A **Tabela 1** fornece os principais dados das propriedades térmicas da envoltória do restaurante.

Tabela 1. Propriedades térmicas da envoltória das superfícies opacas e translúcidas (Transmitância térmica, absorvância e fator solar)

Superfícies opacas

Nome	Transmitância Térmica - U (W/m ² .K)	Absortância - α
Parede externa (250mm) ¹	1,61	0,2 (cor clara)
Parede Interna (150 mm) ¹	2,35	-
Laje (100 mm) ¹	4,56	-
Cobertura Teto – telha alumínio (120mm)	4,39	0,3 (alumínio)
Porta de madeira (30mm) ²	2,86	-

Superfícies translúcidas

Nome	Transmitância Térmica - U (W/m ² .K)	Fator Solar - F_s
Janela de vidro simples (3mm) ²	5,89	0,87
Janela de vidro simples (8mm) ²	5,77	0,86

Fontes: 1) Guidetti, 2016.

2) <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-4/input-output-reference/>, acessado 13/02/2018

A **Figura 4** proporciona uma perspectiva do Bloco G com vista da sua posição nordeste, onde se encontra o restaurante e os demais ambientes do entorno, desenvolvida com auxílio do *software SketchUP 15*[®] e *plugin Legacy OpenStudio*[®]. A edificação ao sul da construção e desnível ao oeste foram modeladas como sombras.

Figura 4. Perspectiva do bloco G, onde se encontra o restaurante, e do entorno da edificação.



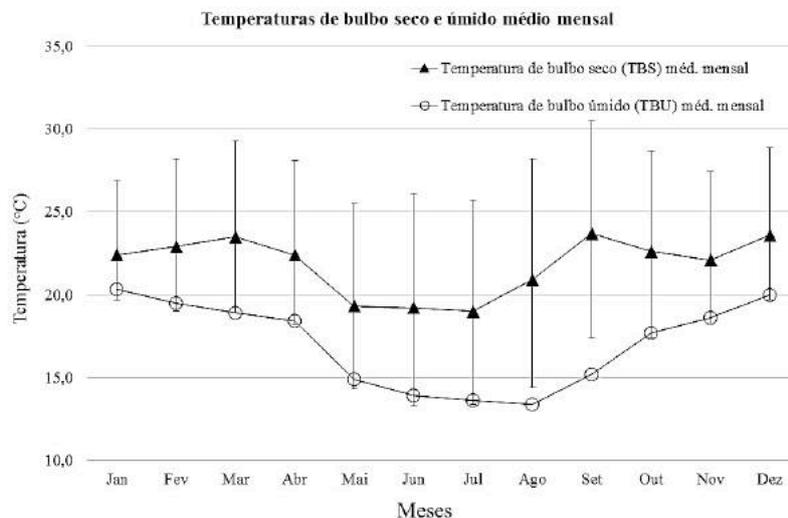
Fonte: Dos autores, 2018.

Dados climáticos

Na falta de dados climáticos precisos para a cidade de Uberaba, utilizou-se de dados da cidade mais próxima, Sacramento/MG, distante a 53km (MMA, 2016) e disponível para uso no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificação – LabEEE/UFSC (SCHELLER et al., 2015). A **Figura 5** apresenta temperaturas médias mensais de bulbo seco (TBS) e bulbo úmido (TBU) e variações médias da máxima e mínima TBS da região.

Nota-se da **Figura 5**, que os meses de outono e inverno apresentam altas oscilações da TBS sugerindo manhãs frias e tardes quentes, e que as TBU médias, em muitos casos, são inferiores a TBS mínima indicando um clima seco nestes meses. Percebe-se também nesta figura, que estações da primavera e verão são relativamente quentes. Dados extraídos da plataforma Projeteee (MMA, 2016) indicam que, durante o período de verão, mais de 40% do tempo o clima apresenta-se desconfortável devido ao calor.

Figura 5. Temperaturas médias mensais de bulbo seco e úmido da estação meteorológica de Sacramento/MG.



Fonte: Adaptado de MMA, 2016.

Cargas térmicas devido pessoas luzes e equipamentos

Nas estimativas do cálculo térmico total para dimensionamento dos sistemas de climatização é comum separar as cargas térmicas em subgrupos que possuem afinidades de cálculos ou mecanismos de transferência de calor

As cargas térmicas devido a pessoas, luzes e equipamentos dependem da taxa de dissipação de energia por unidade, das suas quantidades e do seu padrão de uso/presença. Sabe-se que o restaurante opera durante os dias úteis das 8 da manhã até às 20:00, servindo refeições nos horários do almoço das 11:00 às 14:00 e da janta das 17:00 às 20:00. A **Tabela 2** fornece as taxas máximas de cargas térmicas devido a ocupação, iluminação artificial, equipamentos e seus perfis durante o dia.

Levantamento realizado por Guidetti (2016) estimou a potência do sistema de iluminação artificial do tipo fluorescente em 600W, dos equipamentos do restaurante (banho-maria, refrigerador de sucos e bebedouros) em 15.432 W e a quantidade máxima de assentos em 244. Na falta dos perfis de uso do refeitório, considerou que a máxima ocupação ocorreria apenas no horário do almoço das 12:00 às 13:00 e, que durante a janta, fosse constante em 40% da capacidade máxima. Supôs que a iluminação artificial sempre estivesse ligada das 8:00 às 20:00, enquanto que os equipamentos de refeição estariam ligados na sua máxima potência nos horários de atendimento ao público, ver **Tabela 2**.

Tabela 2. Taxas de aplicação de cargas térmicas devido a ocupação, iluminação artificial e equipamentos e, seus valores máximos durante os dias úteis.

Carga térmica máxima →	Tipo de carga térmica		
	Pessoas	Iluminação	Equipamentos
Horário	31.720W	600W	15.432W
8 às 11:00	5%	100%	0
11:00 às 12:00	50%	100%	100%
12:00 às 13:00	100%	100%	100%
13:00 às 14:00	50%	100%	100%
14:00 às 17:00	5%	100%	0
17:00 às 19:00	40%	100%	100%
19:00 às 20:00	5%	100%	0

Fonte: Dos autores, 2018.

Estimativa das cargas térmicas dos sistemas de climatização

Utilizou-se do programa *Energy Plus*[®], versão 8.4, para simulação das cargas térmicas a ser retirada, ou adicionada, a zona de controle com auxílio do *software SketchUP 15*[®] com *plugin Legacy OpenStudio*[®] para interface de criação e modificações da envoltória.

Caracterizado a geometria da edificação, as propriedades da envoltória e as suas principais cargas térmicas internas, simulou o sistema em duas condições distintas para o arquivo climático do ano. Na primeira, simulando um sistema tradicional de resfriamento por compressão à vapor, empregou-se uma taxa de renovação de ar constante de

1950,8L/s, que representa uma taxa de ventilação levemente superior a 27m³/h.pessoa. Na segunda, simulando um sistema de resfriamento evaporativo, calculou-se apenas as cargas térmicas de calor sensível sem uso de ar de renovação. Em ambas as situações se empregou do módulo “HVAC Templates” do tipo “IdealLoadAirSystem” com temperatura de resfriamento de 26°C, escolhido a partir das condições de conforto térmico adaptativo para a região (MMA, 2016), e em uso apenas durante os horários de refeição.

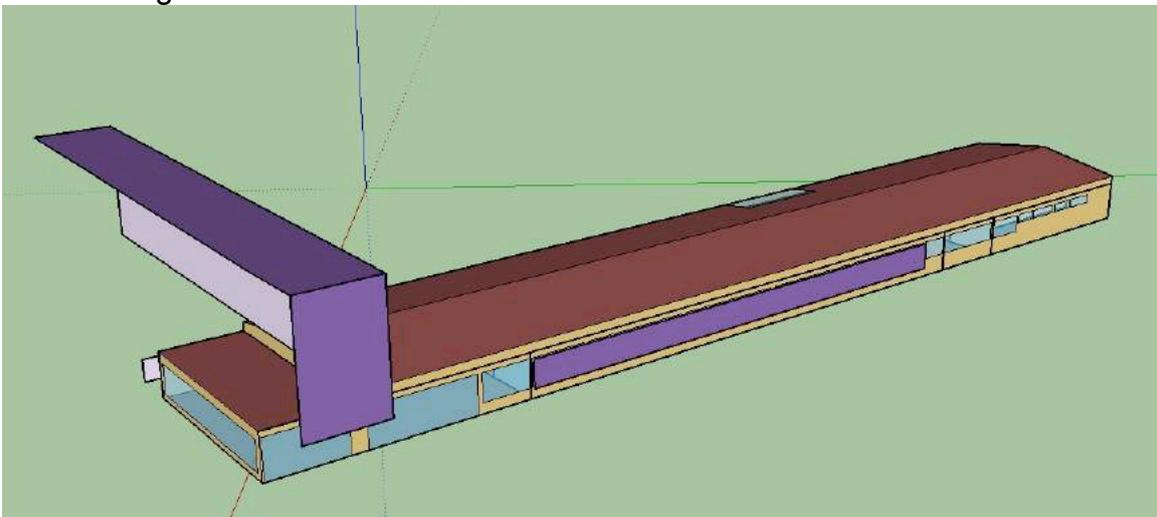
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise das cargas térmicas e gastos energéticos do sistema de ar condicionado à compressão de vapor sem e com uso dos brises

Inicialmente, analisou-se as cargas térmicas do sistema tradicional de condicionamento de ar e a máxima carga ocorre às 12:00 do dia 26 de janeiro sendo seu valor de 41,43kW, ou de aproximadamente 141.000BTU/hr. Nesta faixa e com a necessidade de taxas mínimas de ar de renovação, Alfredo (2011) sugere que seja empregado equipamentos condicionadores de ar do tipo *Self Contained*. Adotou que seu COP (Coeficiente de desempenho), que é a razão entre energia térmica retirada do ambiente sobre a elétrica consumida pelo sistema, seja o mesmo utilizado por Guidetti(2016) e igual a 3,38. Ressalta-se ainda, supondo que todos os pré-requisitos do equipamento atendam as normas do PBE-edifica e pela carga térmica de operação, o COP do sistema de ar condicionado obterá etiqueta máxima nível A (PBEEDIFICA, 2009).

Com a finalidade de reduzir a carga térmica máxima e o consumo de energia elétrica inseriu um elemento de sombreamento na fachada leste com intuito de modelar a presença de brises conforme apresentado na **Figura 6**. O elemento está afastado a 25 cm da parede e 70 cm acima do solo com uma área total de 65,8 m². Após esta mudança, fez-se uma nova simulação e notou que o pico da carga térmica ocorreu às 13:00 no dia 6 outubro (primavera) e foi de 40,97 kW (140.000BTU/h), isto é, ligeiramente menor do que sem a presença de brises.

Figura 6. Temperaturas médias mensais de bulbo seco e úmido da estação meteorológica de Sacramento/MG.



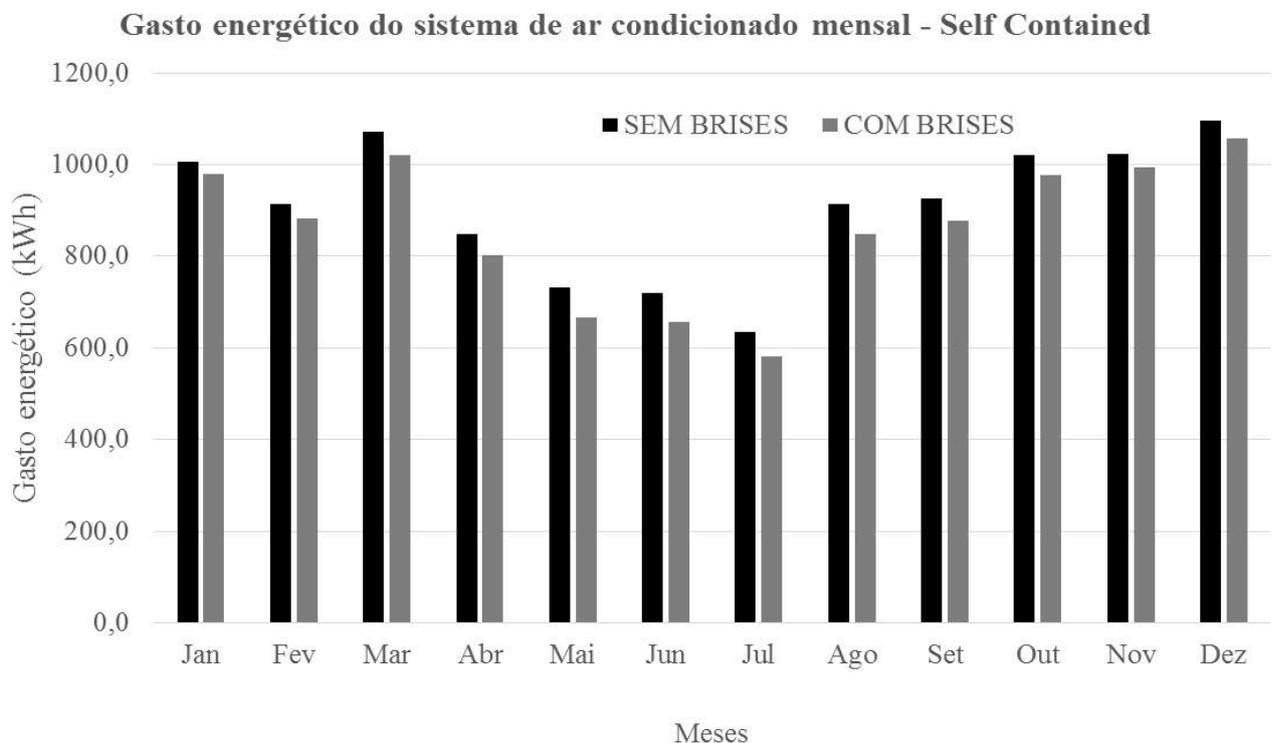
Fonte: Dos autores, 2018.

Analisando apenas os picos de carga térmica do ambiente, a pequena diferença encontrada não justificaria o uso de brises. Entretanto, ressalva-se que este valor é utilizado apenas para o dimensionamento de refrigeração, sendo também necessário, avaliar seu gasto energético durante um ano.

Para calcular o consumo elétrico, deve-se dividir a energia térmica total obtida no período de análise pelo COP do sistema de condicionamento de ar conforme **equação 1**.

$$\text{Gasto energético (kWh)} = \frac{\text{Energia Térmica (kWh)}}{COP} \quad (1)$$

Figura 7. Comparação entre os gastos energéticos, em kWh, do sistema de refrigeração *Self-Contained* (tradicional) sem e com uso de brises ao longo dos meses.



Fonte: Dos autores, 2018.

A **Figura 7** proporciona um comparativo entre os gastos energéticos do sistema de refrigeração *self contained* em duas configurações, com e sem o uso de brises durante todo o ano. Nota-se nesta figura, que em todos os meses, a presença de brises reduziu o consumo total de energia elétrica

Percebe-se que as menores cargas térmicas ocorrem durante os meses de outono e inverno devido a uma menor incidência da radiação solar e menores temperaturas do solo. No verão e primavera, devido a uma maior umidade externa do ar, há um adicional de carga térmica latente para resfriamento do ar de renovação.

Analisando os consumos durante todo o ano, a utilização de sombreamento na fachada leste se mostrou uma excelente técnica passiva para redução dos gastos energéticos, sendo de 10.909 kWh, sem uso de brises, e de 10.490,0 kWh, com uso, representando uma economia anual de 506,8 kWh.

Dimensionamento e análise do gasto energético do sistema de resfriamento evaporativo da água e com presença dos brises

O dimensionamento de um sistema de resfriamento evaporativo com ventilação mecânica possui similaridade de cálculos com o sistema de resfriamento à compressão de vapor, entretanto, somente são levadas em conta as cargas térmicas de calor sensível enquanto a carga térmica de ventilação é a chave do condicionamento do ambiente. Esta técnica é mais vantajosa que a ventilação natural, ou ventilação mecânica, por permitir que a temperatura do ar de entrada do ambiente climatizado seja menor que a temperatura do ar ambiente devido a evaporação da água. Neste dimensionamento, é verificado a máxima vazão de ar necessária para se alcançar o conforto térmico no ambiente na pior situação possível, sendo esta vazão expressa pela **equação 2**.

$$V_{máx,ar} = \frac{Q_{térmica,sensível}}{\rho_{ar} \cdot c_{p,ar} \cdot \Delta T} \cdot 3600 \quad (2)$$

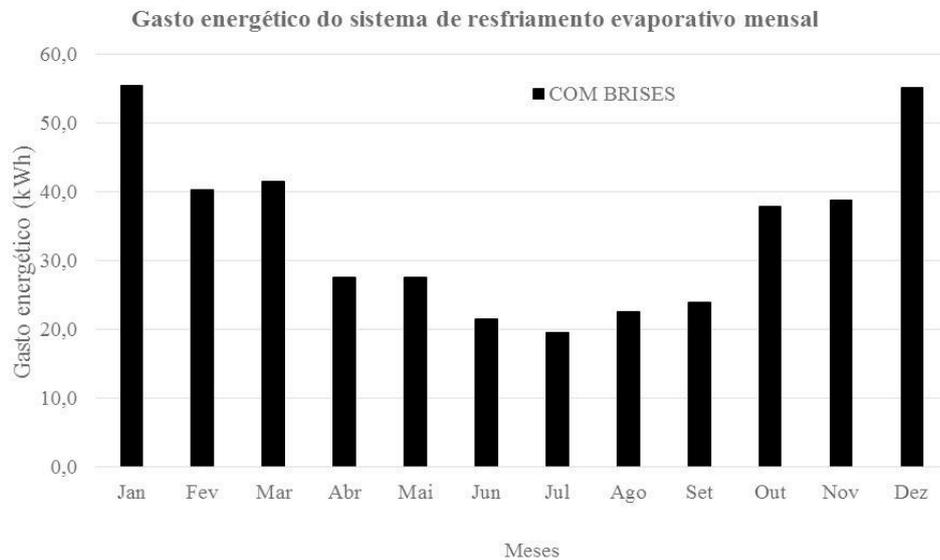
Na equação acima, a vazão é dada em m³/h, é o calor sensível no ambiente para uma temperatura de conforto desejada, e são, respectivamente, a densidade e o calor específico do ar, ΔT e é uma variação entre a TBS desejado no ambiente climatizado e a de saída do resfriador evaporativo que deve operar entre 2 a 5°C e, que também, dependerá das TBS e da umidade relativa do ambiente externo.

Supondo uma efetividade do resfriador evaporativo direto de 0,8 (GUIDETTI, 2016) e avaliando todos os parâmetros da **equação 2**, a pior ocorrência acontece no dia 11 de janeiro às 13:00 sendo a carga térmica de calor sensível de 25,2 kW. Neste dia a TBS e a umidade relativa externa são de 27,8°C e 65,1% respectivamente, exigindo uma vazão volumétrica máxima dos ventiladores de 35.177 m³/h. Dentro destas condições técnicas, adota-se o uso de um resfriador evaporativo modelo EBV-35 ABS ECOBRISA, que possui uma máxima vazão volumétrica de 35.000 m³/h com uma potência de 980W.

Como não são necessárias vazões de ar máxima em todo o período, supôs-se que o motor elétrico do ventilador possua um variador de frequência regulável até 20% de sua velocidade e que a potência elétrica seja linearmente dependente da frequência de ajuste. Isto garante que sejam alcançadas taxas de renovação variando entre 28 a 143 m³/h.pessoa. Em posses das velocidades do ventilador é possível obter os gastos energéticos mensais do sistema de resfriamento evaporativo como demonstrado na **Figura 8**

Nota-se nesta figura, que os picos de consumo de energia ocorrem durante as estações de primavera e verão, onde são necessárias maiores vazões de ar para se alcançar as condições de conforto térmico desejadas no ambiente. Nos meses de outono e inverno, devido as menores umidades relativas e maiores TBS externas, é possível obter menores vazões volumétricas do ar externo devido à baixa TBU externa.

Figura 8. Gasto energético, em kWh, do sistema de resfriamento evaporativo com uso de brises e variador de frequência do ventilador.

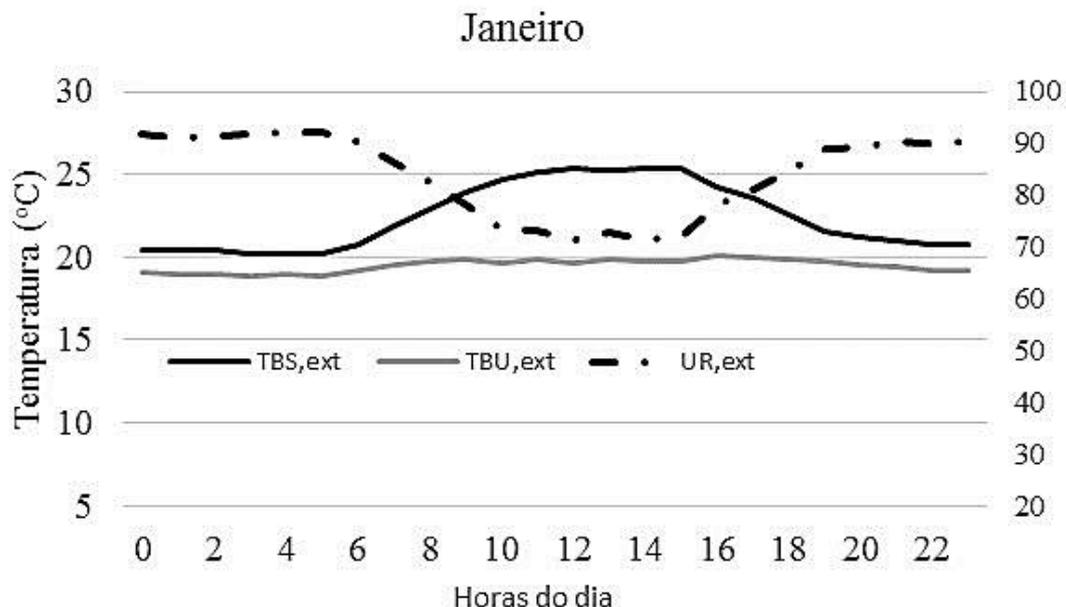


Fonte: Dos autores, 2018.

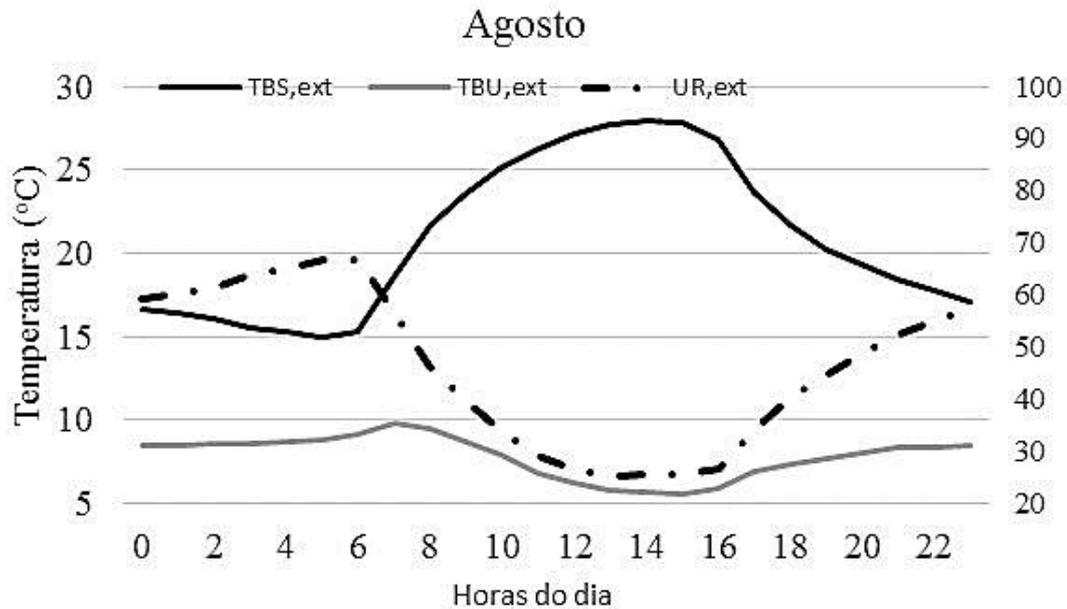
A **Figura 9 (a e b)** apresenta as variações de TBU, TBS e umidade relativas externas de um dia padrão de janeiro (verão) e agosto (Inverno). Percebe-se que em agosto, embora possua temperatura média ao longo do mês baixa, existe um máximo da TBS de aproximadamente 30°C com TBU inferior a 10°C. No mês de janeiro, também ocorre um pico de temperatura no período da tarde de 25°C e inferior ao mês de agosto, porém sua TBU é de aproximadamente 20°C.

Figura 9. Condições externas de Temperatura de Bulbo Seco (TBS), de Bulbo Úmido (TBU) e umidade relativa ao longo do dia dos meses de janeiro e agosto.

(a)



(b)



Fonte: Dos autores, 2018, adaptados do arquivo climático.

Analisando o consumo do sistema de resfriamento evaporativo da água com ventilação mecânica e uso de sombreamento na face leste, o consumo energético total é de 412 kWh e uma potência elétrica máxima de 0,98 kW.

Comparativo entre os dispositivos de climatização

A **Tabela 3** proporciona uma comparação das potências máximas e do consumo energético durante um ano dos sistemas de climatização com ar condicionado e do resfriamento evaporativo.

Tabela 3 . Dados comparativos da potência elétrica máxima e consumo energético durante um ano dos sistemas de climatização.

Equipamento→	Ar condicionado <i>Self Contained</i>		Ventilação mecânica com resfriamento evaporativo
	Não	Sim	Sim
Brise→			
Potência Máxima (kW)	12,26	12,12	0,98
Consumo energético em um ano (kWh)	10.909,8	10.349,0	412,6

Fonte: Dos autores, 2018.

Nota-se na **Tabela 3**, que tanto a potência máxima e consumo energético em um ano são menores no sistema de resfriamento evaporativo. Quando comparamos o consumo energético final, o resfriamento evaporativo consome apenas 4% do valor correspondente do ar condicionado com brises e é o sistema aconselhável para o refeitório como medida de eficiência energética. Resultado similar foi obtido por Guidetti

(2016), que obteve uma relação de consumo de 5,35% para ambos os sistemas no mesmo edifício.

Diferença deste trabalho com de Guidetti (2016) foram das potências máximas obtidas para cada sistema de climatização que podem ser explicadas pelo uso de taxas de irradiação serem de diferentes fontes em cada trabalho e pelo uso, neste trabalho, do efeito do amortecimento térmico da envoltória.

Avaliando o manual do PBE edifica (PBEEDIFICA, 2009), percebeu-se a impossibilidade de classificar o nível de etiqueta que seria atribuído ao sistema de climatização por resfriamento evaporativo. Segundo dados do RTQ-C, a etiqueta de sistemas climatizados artificialmente podem ocorrer apenas para sistemas que operam com o resfriamento por compressão à vapor e/ou através da análise por simulação das porcentagens de horas de conforto (POC) que ocorreriam pelo uso da ventilação natural. Entretanto, neste manual, equipamentos ou métodos não enquadrados nestas duas categorias estariam classificados com nível E.

Entretanto, como demonstrado neste trabalho, o uso de ventilação mecânica com resfriamento evaporativo para climatizar o restaurante na cidade de Uberaba/MG é a que apresentou o menor gasto energético quando comparado aos demais, porém receberia o pior nível de etiqueta pelo regulamento brasileiro de eficiência energética para climatização predial. Isso sugere que o manual deva ser expandido para contemplar novos métodos de climatização tais como ventilação mecânica, resfriamento evaporativo ou ambas.

CONCLUSÕES

O presente trabalho comparou os gastos energéticos via simulação durante um ano de dois sistemas de climatização distintos para um restaurante localizado na cidade de Uberaba/MG. Um dos sistemas utilizava do ciclo de resfriamento por compressão a vapor, denominado de tradicional, e outro pelo uso de ventilação mecânica do ar com uso do resfriamento evaporativo da água, designado de alternativo.

Os resultados de simulação demonstram que o sistema alternativo apresenta o menor gasto energético quando comparado ao tradicional, sendo 95% menor. Isto advém principalmente das condições ambientais da cidade de Uberaba serem quente e seco na maior parte do ano, que maximiza o uso do resfriamento evaporativo e, conseqüentemente, diminuem as taxas de vazão de ar necessárias de serem aplicadas pelos ventiladores mecânicos. Dentre as técnicas passivas, a utilização de brises na fachada leste não diminuiu consideravelmente o pico de carga térmica do ano para escolha do sistema de condicionamento de ar, porém permitiu menores taxas de consumo de energia do sistema tradicional ao diminuir a parcela de insolação pelos vidros na parede leste.

Comparando os valores obtidos das taxas de consumo dos sistemas de climatização e os valores possíveis de serem etiquetados, percebe-se que o manual do PBE edifica apresenta lacunas para classificar sistemas alternativos que apresentam altos desempenhos energéticos quando comparados aos presentes na sua classificação. Isso sugere que as novas revisões do manual devam contemplar novos sistemas alternativos de climatização do ambiente como a ventilação mecânica e resfriamento evaporativo da água.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem a pró-reitora de extensão universitária da UFTM pelo financiamento do projeto 127/15 e as Universidades Federais de São Carlos (UFSCar) e do Triângulo Mineiro (UFTM) pelo apoio ao desenvolvimento das atividades de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALFREDO, José Carlos. **Análise Crítica Da Norma Brasileira ABNT NBR 16401-1 (Instalações De Ar Condicionado – Sistemas Centrais E Unitários Parte 1 - Projeto Das Instalações), 1616401-2 (PARÂMETROS DE CONFORTO TÉRMICO) E 16401-3 (QUALIDADE DO AR INTERIOR)**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. 108 p. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8S7HZZ/disserta__o__31_out_2011_pdf__jos__carlos__revisada__vers_o_para__imp ress_o.pdf?sequence=1>.
- AYUSSO, Carolina Carvalho. **Análise do desempenho energético de edifício da UFSCar**. Universidade Federal de São Carlos, 2017. 79 p. Disponível em: <<http://www2.ufscar.br>>.
- CAMARGO, José Rui. **Sistemas de resfriamento evaporativo-adsorativo aplicados ao condicionamento de ar**. Universidade Estadual Paulista, 2003. 140 p. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/106460/camargo_jr_dr_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- CAROSI, Gilmar de Assis Borges. **Resfriamento Evaporativo : Estudo Do Potencial De Sua Aplicação No Brasil**. Universidade Federal de Uberlândia, 2006. 110 p. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/76/1/ResfriamentoEvaporativoEstudo_parte1.pdf>.
- CASTAÑO, Héctor Fabián Marín. **Impacto de dispositivos de sombreamento externos e muro na ventilação natural e no desempenho térmico de uma habitação de interesse social térrea**. Universidade de São Paulo
- CEOTTO, Luiz Henrique. Avaliação de sustentabilidade: balanço e perspectiva no Brasil. I **Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável** São Paulo, p. Painel 6 ,2008 Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/sbcs08/slides_pdf/Luiz_Ceotto_SBCS08.pdf>.
- ELETROBRÁS. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil - Sumário Executivo - Ano Base 2005. Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil** [S.l: s.n.], 2007. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B99EBBA5C-2EA1-4AEC-8AF2-5A751586DAF9%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>., 2017. 178 p.
- GUIDETTI, Gustavo Emmanuel Carvalho Borella. **Estudo de climatização por compressão à vapor e resfriamento evaporativo no restaurante universitário do ICTE-UFTM**. Universidade Federal do Triângulo Mineiro, 2016. 122 p.

KARASHIMA, Thiago Machado. **Avaliação de diferentes ferramentas para o cálculo de carga térmica e sua aplicação na análise energética de edifícios lido.** Universidade de Brasília, 2006. 82 p.

MMA. **Projeteee – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes.** Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

MME. **Balanco Energético nacional 2016: Ano base 2015.** Brasília: [s.n.], 2016. Disponível em: <www.epe.gov.br>.9781464803420.

MORAES, Anderson Antonio Ubices De. **Modelagem e simulação da combustão em leito fluidizado de carvão mineral com alto teor de cinzas com dessulfuração por calcário.** Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011. 254 p.

PBEEDIFICA. **Manual para Aplicação do RTQ-C 4.1.** 4. ed. Brasília: [s.n.], 2009. 213 p. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/publica/manuais>>.

ROSA, Aline Schaefer da Rosa. **Determinação de modelos de referência de habitações populares unifamiliares para Florianópolis através de análise de agrupamento.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. 198 p.

SHELLER, Camila *et al.* **Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações.** Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

Recebido em: 12/09/2018

Aprovado em: 19/10/2018