

Dimensionamento da carga térmica de resfriamento de ambientes como estratégia para melhoria da eficiência energética em instituições de ensino

Dimensioning the cooling thermal load of environments as a strategy to improve energy efficiency in educational institutions

William dos Santos Inácio*
Milton Erthal Junior**

A proposta deste trabalho consiste em avaliar se os aparelhos de ar condicionado (AAC), atualmente utilizados em uma instituição de ensino, são adequados na promoção de conforto térmico para os usuários das salas de aula, e em realizar um redimensionamento da carga térmica com base nas normas da ABNT 5858:1983 e 16401-1:2008. Constatou-se que nenhuma sala possui um AAC apropriado para a carga térmica calculada. Em 7 salas a carga térmica calculada foi maior pela NBR 16401-1:2008. Como a carga térmica média calculada para as salas é de, aproximadamente, 32.523 BTU, sugere-se a utilização dos AAC de 30.000 BTU (classificação energética A).

The purpose of this study is to evaluate whether the air conditioning units (AAC) currently used in an educational institution are suitable to promote thermal comfort for classroom users, as well as to resize the thermal load based on the norms of the ABNT 5858:1983 and 16401-1:2008. It was found that no classroom has an appropriate AAC for the calculated thermal load. In 7 rooms, the calculated thermal load was higher by NBR 16401-1:2008. As the average thermal load calculated for the rooms is approximately 32,523 BTU, we suggest the use of 30,000 BTU AACs (energy rating A).

Palavras-chave: Sala de aula. Condicionadores de ar. Dimensionamento. Carga térmica. Eficiência energética

Keywords: Classroom. Air-conditioners. Sizing. Thermal load. Energy efficiency.

1 Introdução

Características arquitetônicas e sistemas mecânicos de ventilação e climatização são fundamentais para garantir o conforto térmico e a qualidade do ar no interior das edificações (FISK; SEPPANEN, 2007). A estimativa do conforto térmico dos ambientes a serem climatizados deve ser prevista durante as fases de projeto, construção e operação da edificação (MARÉ, 2010). Segundo essa autora, além da temperatura,

* Mestre em Engenharia de Produção (UCAM). Professor do Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) campus Itaperuna - Itaperuna/RJ - Brasil. E-mail: winacio@iff.edu.br.

** Doutor em Produção Vegetal (UENF). Professor da Universidade Cândido Mendes Campos (UCAM Campos) e do Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) campus Campos Guarus - Campos dos Goytacazes/RJ - Brasil. E-mail: merthal@iff.edu.br.

é fundamental averiguar os fatores que levam à qualidade do ar interior, que, por sua vez, está relacionada aos equipamentos usados, ao tipo de sistema de ventilação, à sua manutenção e uso, à taxa de renovação de ar, condições climáticas e comportamento dos usuários. A operação incorreta desse sistema pode provocar problemas de saúde de origem biológica, química e física (YANG et al., 2004).

O conforto térmico de um ambiente pode ser estudado à luz da “Carga Térmica”, que é a quantidade total de calor retirada ou colocada no recinto para proporcionar condições desejadas de temperatura e umidade no ambiente de trabalho (MATOS, 2010). A *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) define conforto térmico como: “[...] condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico [...]” (ASHRAE, 2012, p. 5). Segundo a norma brasileira (NBR) 16401-2 (ABNT, 2008b), a faixa de temperaturas para o verão, considerando-se o uso de roupas apropriadas para essa estação, é de 22,5 °C a 25,5 °C e umidade relativa do ar (UR) de 65%. Por outro lado, se a UR for de 35%, o indicado é que a faixa de temperatura fique entre 23 °C e 26 °C.

Nas Instituições de Ensino, a criação de um ambiente agradável na sala de aula colabora para o melhor rendimento dos alunos. Aspectos do ambiente físico, como iluminação, temperatura, acústica e uso de cores, influenciam no conforto físico e psicológico dos discentes, favorecendo o processo de ensino e aprendizagem. A climatização das salas de aula é um aspecto importante para a melhoria do espaço pedagógico, já que busca manter os alunos em situação de conforto durante as aulas.

O conforto térmico nas salas de aula é uma questão que, dentre outras, depende da utilização correta do aparelho de ar condicionado (AAC). Segundo o manual de Economia de Energia Elétrica no Escritório da Secretaria de Energia (SÃO PAULO, 2001), o correto dimensionamento de um AAC acarreta em economia de energia elétrica e redução de suas despesas. Outras medidas simples podem colaborar com a redução de eletricidade durante a refrigeração de ambientes.

Segundo o manual de operação da Elgin (2010, p. 16), “se os filtros de ar estiverem bloqueados por poeira, a capacidade de refrigeração diminuirá e 6% da eletricidade usada para operar o condicionador de ar será desperdiçada”. Os fabricantes de AAC informam em seus manuais que a periodicidade para limpeza do filtro é de 15 a 30 dias. No entanto, a frequência da limpeza deve ser estreitada em locais empoeirados (CLIMAZON, 2013; ELECTROLUX, 2012). Outro aspecto importante para a economia de eletricidade é a prevenção da entrada da luz solar, que pode ser feita com uso de persianas ou cortinas (ELGIN, 2010). O Laboratório Nacional de Energia Renovável dos Estados Unidos - *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) menciona que “negligenciar a manutenção necessária garante um declínio constante no desempenho do ar-condicionado, enquanto o consumo de energia aumenta constantemente” (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 1999, p. 4).

Na sala de aula, assim como em qualquer outro local de trabalho, devem ser avaliados os vários pontos de fonte de calor. Esse procedimento é importante para o cálculo da potência, em unidade térmica britânica - *British Thermal Unit* (BTU), do AAC necessário para oferecer conforto térmico com eficiência energética, pois um aparelho mal dimensionado terá que manter por mais tempo sua unidade de condensação ligada até atingir a temperatura esperada. Dependendo do subdimensionamento, a unidade de condensação ficará o tempo todo acionada, acarretando no consumo elevado de energia elétrica, além de requerer mais manutenção e reduzir sua vida útil (SILVA; SILVA, 2007).

O objetivo deste trabalho é avaliar a adequação técnica do sistema de climatização das salas de aula do Instituto Federal Fluminense (IFF) *Campus* Itaperuna à luz de duas metodologias usadas para calcular a carga térmica de ambientes internos: ABNT NBR 5858:1983 e ABNT NBR 16401-1:2008.

2 Revisão bibliográfica

Os autores Nakano, Tanabe e Kimura (2002), por meio de um trabalho no Japão, em um escritório com japoneses e não japoneses, analisaram os diferentes pontos de vista diante das percepções do ambiente de trabalho. Dos 406 questionários aplicados, somente 26% dos trabalhadores consideraram confortável o ambiente de trabalho. O desempenho do trabalho pode ser prejudicado quando há entre os ocupantes diferenças na percepção do ambiente. Afirma-se que, enquanto um grupo de pessoas pode se sentir satisfeito com o ambiente climatizado, outro grupo no mesmo ambiente pode estar em situação de desconforto.

Wagner et al. (2007) também mencionam a questão do conforto e da qualidade de trabalho nos edifícios com ar condicionado, que ganhou mais importância por meio do *Energy Performance of Buildings Directive* na Europa, em 2001. Relatam que, com a nova concepção de eficiência energética, exige-se revisão das normas de conforto, desenvolvidas exatamente para prédios com ar condicionado.

Gómez e Lamberts (1995) realizaram um trabalho utilizando o *software* de simulação energética DOE-2.1E. Apresentaram uma simulação das cargas térmicas em doze edifícios comerciais em Florianópolis/SC, todos com a mesma área e construídos com os mesmos materiais, mas diferentes na forma, relação janela/parede, números de andares e orientação. Na simulação realizada, verificou-se, em relação à orientação, que os edifícios com maiores faces voltadas para leste e oeste consomem mais energia elétrica. Em relação à radiação solar, é de preferência que as janelas estejam localizadas nas fachadas que recebem menos radiação, nas orientações norte e sul, embora possa gerar conflitos em relação à direção dos ventos, mas, os ventos podem ser redirecionados por projetos na utilização de janelas com proteção solar. Outro fator importante neste estudo é a informação de que quanto maior a área de janela de vidro comum, que não possui *brises* ou marquises, maior o consumo de energia. A redução da relação janela/parede de 70% para 30% reduz o consumo de energia elétrica de 15 a 25%, principalmente em prédios retangulares.

Serafin (2010) relata a respeito da busca pela eficiência energética, que ela se iniciou com mais intensidade em 2001 com o racionamento de energia no Brasil. A autora destaca o grande gasto de energia em edificações comerciais que, segundo estudos bibliográficos, pode ser reduzido por meio de *retrofit*, ou seja, “alterações ou reformas em sistemas consumidores de energia elétrica, visando a sua conservação” (GHISI, 1997, p. 21), que é mais utilizado nos Estados Unidos e apresenta contribuições para redução de consumo de energia em sistemas de iluminação e climatização. Foi realizado um estudo de caso para a sede da Eletrosul Centrais Elétricas S.A. e, em comparações feitas entre o período de *retrofit*, nos anos anteriores e os subsequentes, foi possível observar uma redução de energia de 75% no sistema de climatização. Como resultado do trabalho, pode-se verificar uma redução no consumo de energia e na demanda, cuja revisão de contrato e mudanças na rotina de uso geraram formas de aumentar a economia de energia e economia financeira nas edificações.

Fasiuddin, Budaiwi e Abdou (2010) reportam sobre o grande consumo de energia elétrica em *shoppings* localizados na Arábia Saudita, cujo clima é quente-úmido, devido aos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado - *Heating, Ventilation and Air-Conditioning* (HVAC). Neste trabalho, os autores apresentam um estudo de economia energética e melhorias no conforto térmico com o uso do *software* VisualDOE 4.0, visando uma precisa simulação do *retrofit*. Realizou-se uma investigação de estratégias de investimentos zero, como controle de termostato, operação em tempos regulares, entre outros, comprovando possibilidades de economia de energia de até 30% em um nível aceitável de conforto térmico com um sistema de climatização adequadamente selecionado e utilizado.

Elsheerini e Maheshwari (2010) apresentam uma técnica chamada *Shading*, que é utilizada para reduzir a demanda de refrigeração em edifícios e economizar energia. Eles investigaram a possibilidade de redução da demanda de energia elétrica e de economia de energia pelo sombreamento dos condensadores dos AAC, reportaram que, em um país como o Kuwait, esses aparelhos são responsáveis por cerca de 70% da demanda de energia elétrica nos horários de pico e 45% do consumo anual. Melhorias na eficiência do sistema de ar condicionado e a redução da carga de refrigeração são classificações atribuídas ao impacto potencial do sombreamento sobre o consumo de energia. O sombreamento pode melhorar a eficiência do sistema, provocando redução do ganho de calor solar para o condensador, diminuindo sua temperatura e melhorando a eficiência do sistema.

Hirst e Moyers (1973) relacionam as práticas para poupar grandes quantidades de energia nos Estados Unidos. Para os sistemas de ar condicionado, informam que isolamento de edifícios e a adição de janelas colaboram para a redução do consumo de energia, causando economia financeira. Relatam que, se desde 1970 essas práticas tivessem sido adotadas, haveria um aumento de 67% de eficiência energética com uma economia de 15,8 bilhões de quilowatts-hora nesse mesmo ano.

3 Metodologia

3.1 Localização e estrutura física

O Instituto Federal Fluminense (IFF) *Campus* Itaperuna está localizado na BR 356, km 3, bairro Cidade Nova, no município de Itaperuna, região Noroeste Fluminense, estado do Rio de Janeiro, latitude 21° 11' 15" sul, longitude 41° 55' 46" e altitude de 131 metros. Esses dados foram obtidos através do *software* Google Earth.

O *Campus* possui um Parque Acadêmico Industrial com 20 laboratórios, 06 blocos e 05 anexos (AN). Os objetos deste estudo são os blocos B e C, conforme destacados na Figura 1, onde está localizada a maior parte das salas de aula dessa instituição. O bloco F, apesar de possuir 06 salas de aula, não faz parte deste estudo, por ter sido inaugurado no fim de 2013, após as pesquisas deste trabalho, que iniciaram no final de 2012.



Figura 1. Visão panorâmica do IFF *Campus* Itaperuna, imagem do Google Maps. Em destaque os blocos B e C onde o estudo foi realizado

Fonte: Google (2017)

3.2 Ambientes avaliados e ocupação

Ao todo, foram avaliadas 12 salas de aula segundo os parâmetros indicados nas NBR 5858 (ABNT, 1983) e NBR 16401-1 (ABNT, 2008a), entre eles: posição das janelas em relação à incidência solar, transmissão de raios solares nas janelas, tipo de vidro usado nas janelas, incidência de raios solares nas paredes, tipo de revestimento do teto, número de pessoas no ambiente, tipo e quantidade de lâmpadas em cada sala de aula. Não foram considerados os parâmetros: aparelhos elétricos e números de computadores, já que o uso desses equipamentos nas salas é variável, de acordo com a necessidade de cada professor ou atividade desenvolvida.

Considerando-se que o processo seletivo de alunos novos contempla 35 vagas por turma (IFF, 2013), adotou-se a ocupação média de 36 pessoas por sala, sendo um docente e 35 discentes para todos os ambientes estudados, apesar das faltas diárias, desistências e abandonos dos discentes, o que certamente diminui a frequência máxima esperada. Decidiu-se prosseguir o trabalho com esse valor para não haver risco de subestimar a carga térmica.

3.3 Aparelhos de ar condicionado instalados

Os dados referentes aos AAC atualmente instalados foram obtidos por meio da inspeção local deles. Enquanto que, para a identificação da sua classificação quanto à eficiência energética, foram utilizados os dados disponíveis no *site* do INMETRO (2014).

O Coeficiente de Eficiência Energética (CEE), ou Coeficiente de Performance (COP), é a relação entre a capacidade de refrigeração e o consumo de um AAC. O cálculo resulta da divisão entre a capacidade de refrigeração do equipamento em watts (W) e o consumo de energia elétrica em W. Equipamentos que apresentam um consumo de energia elétrica elevado para uma determinada capacidade de arrefecimento têm CEE baixos. A classificação energética do equipamento é determinada pelo CEE. Quanto mais alto é o valor do índice, mais eficiente é o equipamento.

3.4 Cálculo da carga térmica utilizando a ABNT NBR 5858:1983

Para o cálculo simplificado da carga térmica, foi utilizado o modelo do formulário do anexo A da NBR 5858 (ABNT, 1983). Para facilitar os cálculos, uma planilha foi criada no *software* Microsoft Excel 2013, no qual os dados de carga térmica foram informados para cada sala estudada. Ao final desse processo, obteve-se o valor da carga térmica para cada ambiente, que deve ser multiplicado pelo fator geográfico 0,85, referente à região Sudeste. O resultado final, expresso em kJ/h, foi multiplicado por 0,948 para obter a unidade em BTU (CHEN; THOMPSON, 1989; JOHNSON, 2012).

Para entender como os cálculos de carga térmica foram realizados, usou-se o exemplo para a sala de aula B18, conforme Quadro 1.

Quadro 1. Cálculo simplificado da carga térmica da sala de aula B18 utilizando a metodologia proposta pela ABNT NBR 5858:1983

Calor recebido de:	Unidades			Fatores			Unid. xFator (kJ/h)
	Larg.	Alt.	Total	Sem Proteção	Proteção Interna	Proteção Externa	
I - Janelas c/ insolação							
1.1 – Norte	4,85	1,46	7,081	1.000	480	290	7.081
II - Janelas Transmissão							
2.1 - Vidro comum	4,85	1,46	7,081	210			1.487
III – Paredes				Construção Leve	Construção Pesada		
3.2. Externas outras orientações	5,85	3	10,47	84	50		879
3.3. Interna / ambientes não condicionados	12,25	3	36,75	33			1.213
IV – Teto	Compr.	Larg.	Total				
4.5 - Sob telhado sem insolação	7,05	5,85	41,24	160			6.599
V – Piso	Compr.	Larg.	Total				
Piso não colocado sobre o solo	0	0	0	52			0
VI – Pessoas							
Em Atividade Normal	36			630			22.680
VII - Iluminação e aparelhos							
Lâmpadas (Fluorescentes)	640		W	2			1.280
Subtotal							41.219
Fator geográfico / Região Sudeste = 0,85							35.036
Carga Térmica Total BTU/h							33.214

A orientação da janela da sala B18 é norte, com área total de 7,081 m² e não possui proteção interna e/ou externa, logo, sua área foi multiplicada pelo fator 1.000, totalizando 7.081 kJ/h. Quanto à parede, item “3.2. Externa outras orientações”, considerou-se o fator 84, referente à “construção leve”, que, segundo a NBR 5858 (ABNT, 1983), é a parede com espessura inferior a 15 cm. O item VIII não foi utilizado no cálculo da carga térmica de nenhuma sala de aula, pois não há portas ou vãos continuamente abertos, conforme menciona a NBR 5858 (ABNT, 1983).

O valor de 41.219 kJ/h foi multiplicado por 0,85, referente à região Sudeste, obtendo-se o resultado de 35.036 kJ/h, este valor foi multiplicado por 0,948 para obter a unidade em BTU (CHEN; THOMPSON, 1989; JOHNSON, 2012), totalizando 33.214 BTU.

3.5 Cálculo da carga térmica utilizando a ABNT NBR 16401-1:2008

A NBR 16401-1 (ABNT, 2008a) apresenta no item 6.1.3 (metodologia) que, para o cálculo da carga térmica, exceto para sistemas muito simples, é necessário o auxílio de um programa de computador. Menciona que existem vários disponíveis, citando os publicados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Atualmente, o programa de simulação computacional EnergyPlus é o mais recente *software* com essa finalidade publicado por esse departamento (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 1999).

A NBR 16401-1 (ABNT, 2008a) especifica que os cálculos das cargas térmicas devem ser realizados em quantas horas do dia de projeto forem necessárias para determinar a carga máxima de cada zona.

Para o cálculo da carga térmica deste trabalho, foi utilizado o *software* EnergyPlus 8.1.0.008, porém, para a modelagem da edificação, incluindo suas características de construção, ocupação e funcionamento, utilizou-se a versão de avaliação do *software* DesignBuilder 3.4.0.033, que limita a simulação de, no máximo, 50 zonas para um mesmo projeto. Nos itens seguintes podem ser observadas informações sobre estes *softwares*.

Apesar de ter mencionado que serão avaliadas apenas as 12 salas de aula, foi necessário incluir os parâmetros para outras salas no *software* DesignBuilder, pois no cálculo considera-se a interferência de uma zona em outra.

O *software* EnergyPlus

O *software* de simulação computacional EnergyPlus, atualmente na versão 8.6.0, é um *software* gratuito, e foi desenvolvido da fusão dos *softwares* *Building Loads Analysis and System Thermodynamics* (BLAST) e *Department of Energy*, EUA (DOE-2), que foram criados no final dos anos 70 para simulação numérica de desempenho energético e dimensionamento de sistemas de climatização pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL), em sociedade com outros laboratórios. Foi uma iniciativa do Departamento de Energia dos Estados Unidos. Assim como os *softwares* BLAST e DOE-2, o EnergyPlus calcula as cargas de resfriamento ou aquecimento para manter as condições ambientais dentro da faixa de conforto térmico (MAZZAFERRO et al., 2013; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2013).

O *software* DesignBuilder

O *software* DesignBuilder é uma ferramenta fundamental para a avaliação do comportamento energético de edifícios, visto que permite efetuar simulações muito viáveis, para isso, deve-se inserir no *software* as variáveis, tais como: latitude, longitude e elevação do local do edifício; dimensões do edifício; características do material utilizado

na construção das paredes, janelas, portas; temperatura do solo etc. Esse *software* é uma interface gráfica avançada para o *software* EnergyPlus, que é o responsável pela realização dos cálculos (ALVES, 2011).

O layout do DesignBuilder

A estrutura dos dados do projeto que consta no Painel de Navegação (*Navigator Panel*, que é *menu* presente ao lado esquerdo do *software*) segue a seguinte hierarquia: *site, building, block, zone, surface e opening*. Ao inserir um dado numa determinada hierarquia, essa alteração será aplicada a todos os níveis abaixo (ALVES, 2011).

3.6 Proposta de novo projeto

Foi criado um novo projeto no DesignBuilder, informando um título, a localização e também o tipo de análise que seria efetuada, ou seja, EnergyPlus. O *software* apresentou alguns locais cadastrados de vários países, porém não havia cadastrado o município de Itaperuna. O cadastro foi realizado e os dados de latitude, longitude e elevação foram obtidos através do *software* Google Earth.

Para a simulação, o DesignBuilder utiliza um arquivo climático do EnergyPlus, EnergyPlus *Weather File* (EPW), que possui dados de um ano completo, composto por 8.760 horas, cada hora contém registrados: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, velocidade e direção do vento e outros parâmetros (CARLO; LAMBERTS, 2005). Para o município de Itaperuna, não havia um arquivo climático disponível no *site* do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Conforme mencionado por Carlo e Lamberts (2005), pode-se utilizar um arquivo de outro município que apresenta características parecidas. Dessa forma, foi realizado o *download* do arquivo climático do município de Campos dos Goytacazes, “RJ_Campos_dos_Goytacazes.epw” (RORIZ, 2005), e copiado para a pasta “*Weather Data*” localizada em “C:\Program Files\DesignBuilder”. Após a criação de um novo projeto, foi criada uma construção por meio do ícone “*Add new building*”, que foi nomeada como IFF *Campus* Itaperuna.

A criação dos blocos B e C ocorreu a partir das informações da planta baixa, porém, como essa planta não está atualizada (pós-construção), verificou-se em campo as diferenças apresentadas. As principais foram: tamanhos das janelas e espessura da parede. Como a planta não apresenta todas as cotas necessárias para redesenhá-la no DesignBuilder, realizou-se a medição em campo. A Figura 2 e a Figura 3 apresentam, respectivamente, o *layout* do bloco B e do bloco C.

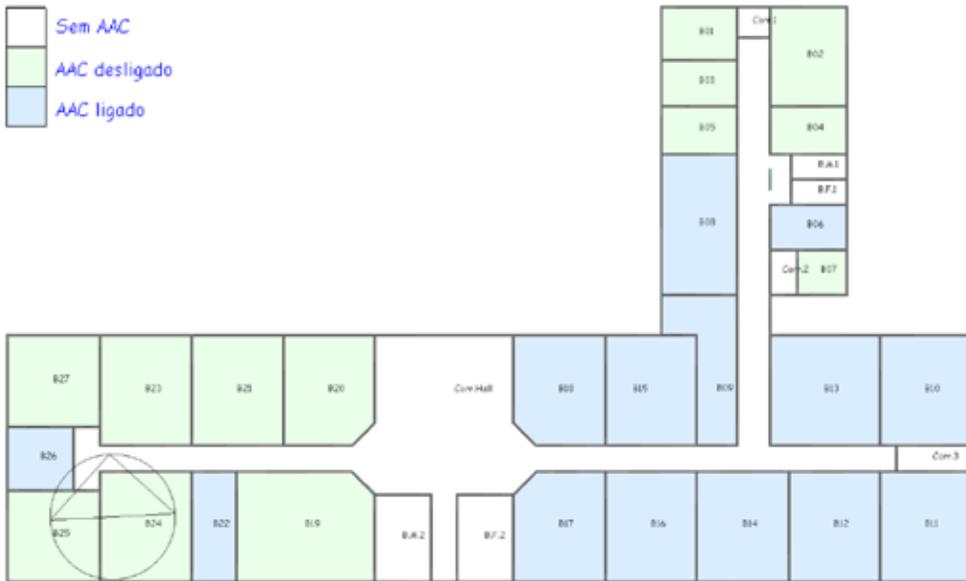


Figura 2. Layout do bloco B no DesignBuilder, apresentando, em cores diferentes, os ambientes sem AAC, AAC desligado e AAC ligado

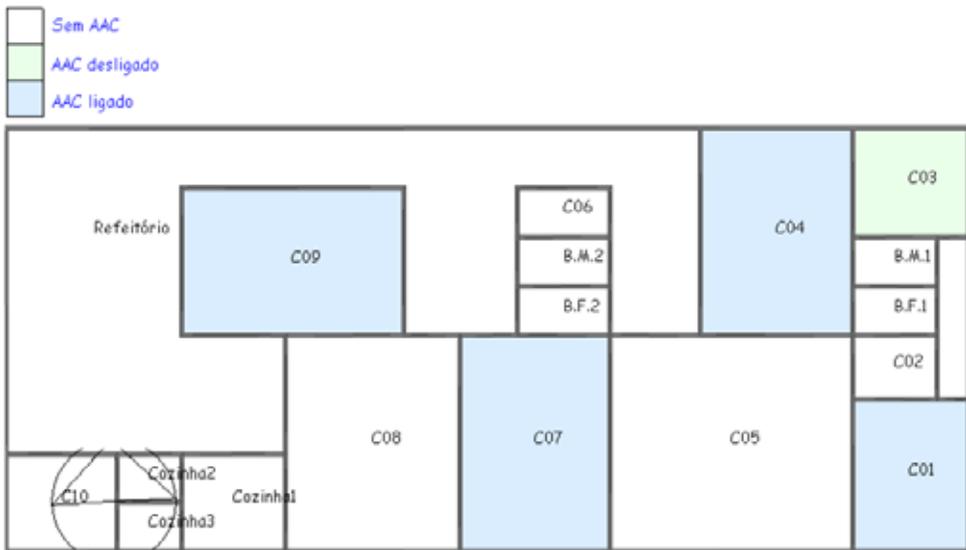


Figura 3. Layout do bloco C no DesignBuilder, apresentando, em cores diferentes, os ambientes sem AAC, AAC desligado e AAC ligado

Os layouts dos blocos B e C foram alterados para reduzir o número de zonas, pois a versão do software DesignBuilder utilizado nessa simulação só realiza a simulação de, no máximo, 50 zonas. As alterações não interferem de forma significativa nos cálculos. No bloco B, foi removida a parede que dividia o BF1 e o BM1, reduzindo de 35 para 34 zonas. Já no bloco C, foi removida a parede que dividia o BF2 e o BM2, e a parede que

dividia o BF1 e o BM1. Também foram removidas as paredes que dividiam a sala C10 e as 3 cozinhas, reduzindo de 19 para 14 zonas. São 48 zonas mais 2 zonas (uma por telhado).

Os *layouts* dos blocos B e C foram criados com a parte superior fechada (laje) e telhado no formato colonial nos dois blocos.

Em cada ambiente, foram adicionadas portas, janelas e vãos, de acordo com a construção. Por exemplo, na sala B18 foi adicionada uma janela e uma porta, como pode ser visualizado na Figura 4.

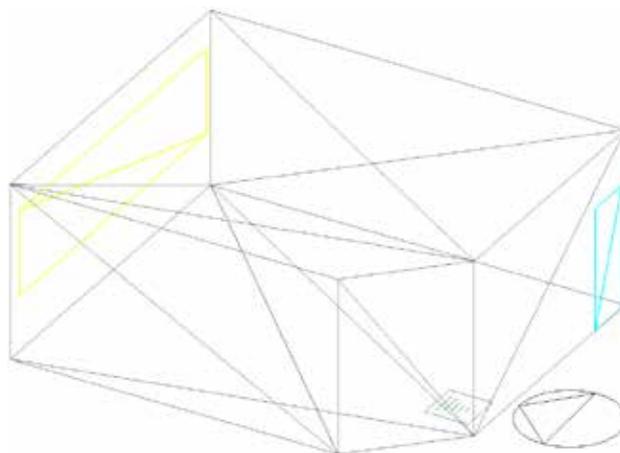


Figura 4. *Layout* da sala B18, com janela (cor amarela) e porta (cor azul)

3.6.1 *Uso da guia Activity*

Na guia *Activity*, informa-se a ocupação (pessoas por m²), período de ocupação, fator metabólico dos ocupantes, temperatura para resfriamento, iluminação, computadores e outros equipamentos presentes no ambiente. Foram gravados três *templates* (modelos) para essa guia, que são: “Sem AAC”, “AAC ligado” e “AAC desligado”. Para cada ambiente, selecionou-se um *template*, de acordo com a Tabela 1 e a Tabela 2, porém a taxa de ocupação e iluminação foi alterada em cada ambiente, pois apresenta diferenças, sendo igual apenas em algumas salas de aula com a mesma área.

Também nessa guia, definiu-se uma cor para cada *template*, essas cores podem ser observadas na Figura 2 e na Figura 3. Os ambientes com “AAC desligado” não constam na Tabela 1 e na Tabela 2, pois estão sem ocupação, e os equipamentos e iluminação estão desligados. No bloco B, os ambientes “Sem AAC” foram mantidos, porém foi considerada a ocupação apenas do ambiente corredores/*hall* (Corr.Hall), pois, os outros: corredor 1 (Corr.1), corredor 2 (Corr.2) e corredor 3 (Corr.3), que são uma extensão do ambiente corredores/*hall*, possuem área pequena. Também foram mantidos os ambientes: refeitório, sala C10 e cozinhas no bloco C. Na área do ambiente refeitório, está incluída toda a extensão da varanda defronte às salas C04, C05, C06, C07, C08, C09 e banheiros.

A utilização do valor de 300 lux foi baseada na NBR 5413 (ABNT, 1992, p. 1), que “estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras”. Para cada ambiente, essa norma apresenta três valores de iluminância, porém, no item 5.2.4.1, pede-se para “[...] considerar o valor do meio, devendo este ser utilizado em todos os dados” (ABNT, 1992, p. 3), e os itens 5.2.4.2 e 5.2.4.3 apresentam detalhes, respectivamente, de quando utilizar o valor mais alto e mais baixo. O item 5.3.13 (Escolas) apresenta os valores 200 - 300 - 500 para salas de aula.

Tabela 1. *Templates*, área, ocupação, equipamentos e iluminação das salas do bloco B

Ambientes	Template	Área (m ²)	Pessoas	Pessoas/m ²	Equipamentos (W/m ²)	Iluminação	
						Lux	W/m ²
B06	AAC ligado	14,62	3	0,21	-	300	22
B08	AAC ligado	44,52	10	0,22	19	300	16
B09	AAC ligado	31,68	3	0,09	60	300	8
B10	AAC ligado	42,12	36	0,85	-	300	13
B11	AAC ligado	42,12	36	0,85	-	300	13
B12	AAC ligado	42,14	36	0,85	-	300	15
B13	AAC ligado	51,15	36	0,70	-	300	16
B14	AAC ligado	42,83	36	0,84	-	300	15
B15	AAC ligado	42,72	36	0,84	-	300	15
B16	AAC ligado	42,56	36	0,85	-	300	15
B17	AAC ligado	41,47	36	0,87	-	300	14
B18	AAC ligado	41,47	36	0,87	-	300	15
B22	AAC ligado	20,88	15	0,72	72	300	11
B26	AAC ligado	17,64	3	0,17	120	300	9
Corr.1	Sem AAC	4,14	-	-	-	-	-
Corr.2	Sem AAC	5,10	-	-	-	-	-
Corr.3	Sem AAC	8,15	-	-	-	-	-
Corr.Hall	Sem AAC	246,67	20	0,08	-	-	-

Tabela 2. *Templates*, área, ocupação, equipamentos e iluminação das salas do bloco C
(continua)

Ambientes	Template	Área (m ²)	Pessoas	Pessoas/m ²	Equipamentos (W/m ²)	Iluminação	
						Lux	W/m ²
C01	AAC ligado	21,00	1	0,05	47	-	11
C02	Sem AAC	6,56	-	-	-	-	-
C04	AAC ligado	39,21	36	0,92	-	300	16
C05	Sem AAC	63,18	-	-	-	-	-
C06	Sem AAC	5,44	-	-	-	-	-

(conclusão)

Ambientes	Template	Área (m ²)	Pessoas	Pessoas/m ²	Equipamentos (W/m ²)	Iluminação	
						Lux	W/m ²
C07	AAC ligado	38,96	36	0,92	-	300	16
C08	Sem AAC	45,67	-	-	-	-	-
C09	AAC ligado	39,96	36	0,90	-	300	18
C10 e cozinhas	Sem AAC	12,62	2	0,16	-	-	-
Refeitório	Sem AAC	157,05	30	0,19	-	-	-

Para o item metabolismo, foi utilizado o *template Standing/walking*, que apresenta o valor da taxa típica de calor liberado por pessoas de 140 W, sendo o mesmo valor apresentado na NBR 16401-1 (ABNT, 2008a) e utilizado o fator (*factor*) 0,90, que é o valor médio entre os valores indicados para homens e mulheres, visto que nas salas de aula há pessoas de ambos os sexos. Para a roupa (*clothing*), foram utilizados os valores 1,0 clo e 0,5 clo, que representam, respectivamente, roupas típicas para o inverno e roupas típicas para o verão (ABNT, 2008b).

3.6.2 Uso da guia Construction

Na guia *Construction*, são informados os elementos utilizados na construção, tais como: parede externa e interna, telhado plano, telhado inclinado, andar térreo, piso externo, piso interno, porta externa e porta interna etc.

Criou-se o *template* “Construção” e nele foram alterados os elementos que compõem a construção. Os parâmetros utilizados para os materiais foram baseados na NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

3.6.3 Uso da guia Openings

Na guia *Openings*, informaram-se as características das portas e janelas utilizadas na construção.

Criou-se o *template* “Janelas”, e foram alterados os elementos que compõem a janela, também criado o *template* “Vidro simples 3 mm” com os parâmetros baseados na NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

Modelou-se cada janela de acordo com suas dimensões obtidas em campo. As portas de vidro também foram modeladas como se fossem janelas, conforme menciona o manual do *software* DesignBuilder (2014), porém as características foram alteradas, por exemplo, a espessura do vidro passou a ser 6 mm.

3.6.4 *Uso da guia Lighting*

Na guia *Lighting* foram informadas as características da iluminação, utilizando o *template* “T8 (25mm diam) fluorescente” disponível no *software*, e alteradas algumas características, tais como: *lighting energy* ($\text{W}/\text{m}^2\text{-}100\text{lux}$) e *luminaire type*. Os valores de *radiante fraction* e *visible fraction* foram atribuídos automaticamente de acordo com tipo de luminária selecionada.

3.6.5 *Uso da guia HVAC*

Na guia HVAC informaram-se as características do sistema de climatização, dessa forma, criou-se o *template* “*Split*”.

3.7 *Processando a simulação*

Para iniciar a simulação, é necessário clicar na guia “*Cooling design*” do *software*; ao clicar nessa opção, será apresentada uma janela para inserção dos dados para a simulação. Para o parâmetro “*design margin*”, informou-se o valor “1,15”, este parâmetro refere-se a 15% de sobredimensionamento recomendado pela ASHRAE (DESIGNBUILDER, 2014). Realizou-se a simulação para o dia 03 de março de 2002.

3.8 *Ocupação das salas de aula de acordo com os AAC instalados*

Para conhecer qual deveria ser a ocupação dos ambientes com os AAC atualmente utilizados, foi estimado o número adequado de pessoas que deveriam estar em cada sala durante sua utilização, de modo a atingir o conforto térmico adequado.

Foi utilizada a mesma metodologia descrita em “Cálculo da carga térmica utilizando a ABNT NBR 5858:1983”. Do subtotal, foi subtraída a carga térmica, referente ao item “VI - Pessoas”, 36 pessoas, e o resultado multiplicado pelo fator geográfico 0,85, referente à região Sudeste. O resultado final, expresso em kJ/h , foi multiplicado por 0,948 para obter a unidade em BTU (CHEN; THOMPSON, 1989; JOHNSON, 2012).

Foi subtraída da carga térmica do AAC atualmente instalado o valor da carga térmica da sala de aula sem ocupação, conforme descrito no parágrafo anterior. A diferença foi dividida pelo valor obtido da multiplicação do fator 630, referente ao item “VI - Pessoas”, pelo fator geográfico 0,85, referente à região Sudeste, e pelo fator 0,948, obtendo a quantidade máxima de pessoas para a ocupação da sala de aula.

4 Resultados e discussão

4.1 Aparelhos de ar condicionado instalados

A Tabela 3 mostra a relação dos AAC das salas de aula dos blocos B e C do IFF *Campus* Itaperuna. Pode-se observar que dez dos doze AAC estão na faixa de classificação energética D (INMETRO, 2014). Essa faixa de classificação se refere ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que são selos que categorizam os aparelhos eletrodomésticos de acordo com sua eficiência energética (INMETRO, 2017). Pela tabela, verifica-se que nas salas de aula C04 e C09 os AAC apresentam a maior eficiência energética (classificação energética A) (INMETRO, 2017).

Tabela 3. Relação dos AAC das salas de aula dos blocos B e C do IFF *Campus* Itaperuna, indicando sua capacidade de refrigeração, potência elétrica, CEE e classificação energética

Sala	Marca/Modelo	Capacidade de refrigeração		Potência elétrica (W)	CEE (W/W)	Classificação energética
		BTU	W			
B10	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B11	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B12	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B13	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B14	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B15	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B16	Midea	18.000	5.274	1.954	2,70	D
B17	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
B18	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
C04	Gree	24.000	7.032	2.190	3,21	A
C07	Springer Maxiflex	22.000	6.446	2.474	2,61	D
C09	Gree	24.000	7.032	2.190	3,21	A

4.2 Carga térmica de resfriamento calculada com base na ABNT NBR 5858:1983

A Tabela 4 mostra a carga térmica de resfriamento calculada para cada sala de aula, seguindo a metodologia da ABNT NBR 5858:1983. A carga térmica de todas as salas de aula é maior que a carga térmica dos AAC atualmente instalados.

Tabela 4. Relação das cargas térmicas de resfriamento das salas de aula dos blocos B e C do IFF *Campus* Itaperuna calculada com base na ABNT NBR 5858:1983

Sala	Capacidade de refrigeração (BTU)
B10	36.045
B11	30.377
B12	29.064
B13	35.513
B14	29.451
B15	33.151
B16	29.706
B17	30.046
B18	35.907
C04	35.458
C07	29.066
C09	27.776

4.3 Cálculo da carga térmica com base na ABNT NBR 16401-1:2008

A Tabela 5 mostra a carga térmica de resfriamento calculada para cada sala de aula seguindo a metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008. O cálculo foi realizado no dia 03 de março de 2002, pois foi o dia com a maior temperatura registrada no arquivo climático. No dia indicado, o horário de pico da carga térmica para todas salas de aula foi a partir das 14 h, inclusive a sala B10, que tem uma de suas paredes (sem janela) voltada para o leste. Na Figura 5, pode-se observar o sombreamento causado pelo sol nos blocos B e C às 16 h.

Tabela 5. Relação das cargas térmicas de resfriamento das salas de aula dos blocos B e C do IFF *Campus* Itaperuna calculada com base na ABNT NBR 16401-1:2008

Sala	Capacidade de refrigeração (BTU)	Horário de pico da carga térmica
B10	34.983	14h00
B11	34.949	14h00
B12	32.901	14h30
B13	34.505	15h30
B14	33.004	15h30
B15	31.434	15h00
B16	33.038	15h00
B17	32.594	15h30
B18	32.594	15h30
C04	30.000	15h00
C07	30.307	15h00
C09	31.502	16h00



Figura 5. Imagem 3D do sombreamento dos blocos B (fachada sul) e C (fachada oeste) às 16 h

4.4 Comparativo dos resultados

Observa-se na Figura 6 que nenhum AAC foi corretamente dimensionado para atender ao conforto térmico, com base na ABNT NBR 5858:1983 e na ABNT NBR 16401-1:2008. A sala de aula B16 possui um AAC de 18.000 BTU, enquanto que a carga térmica necessária para o conforto térmico desse ambiente é de 29.706 BTU ou de 33.038 BTU, segundo as metodologias da ABNT NBR 5858:1983 e ABNT NBR 16401-1:2008, respectivamente.

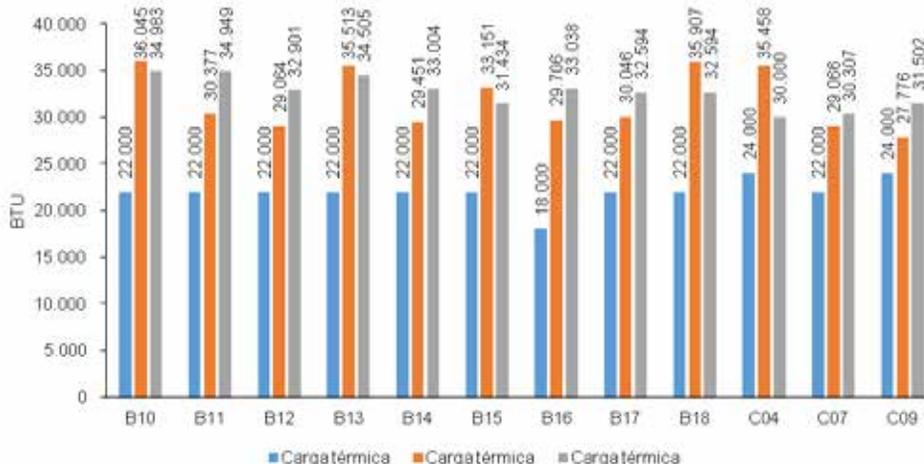


Figura 6. Comparativo entre a carga térmica instalada, a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 5858:1983 e a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008

Na Figura 7, pode-se observar a diferença entre a carga térmica instalada em relação às cargas térmicas calculadas pela ABNT NBR 5858:1983 e pela ABNT NBR 16401-1:2008. Em todas as salas de aula a diferença da carga térmica calculada é maior que 15%. A diferença média chega a superar os 49%. A sala de aula C09 possui a menor

diferença da carga térmica, aproximadamente, 16% (ABNT NBR 5858:1983), porém possui 31% se comparada à carga térmica calculada pela ABNT NBR 16401-1:2008. A sala de aula B16 foi a que apresentou maior diferença da carga térmica, ou seja, 83,54% (ABNT NBR 16401-1:2008) e 65,03% (ABNT NBR 5858:1983).

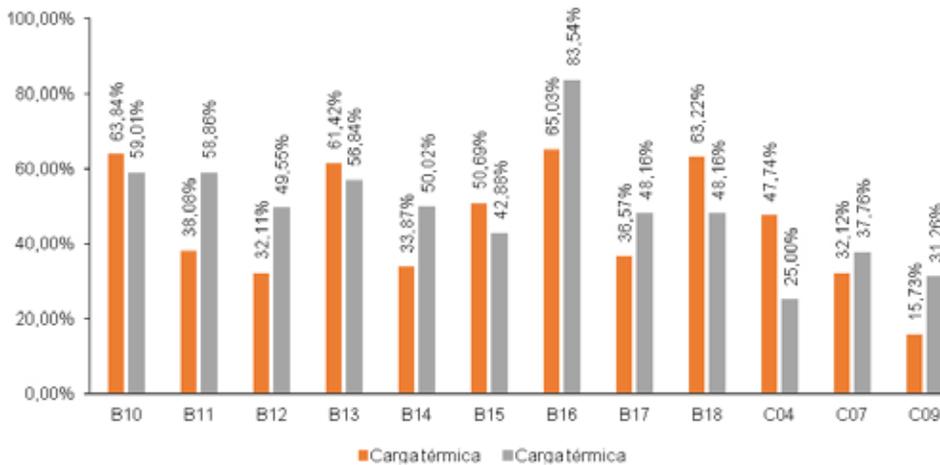


Figura 7. Diferença entre a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 5858:1983 e a carga térmica instalada e a diferença entre a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008 e a carga térmica instalada

A Tabela 6 e a Figura 8 apresentam a diferença entre a carga térmica calculada pela ABNT NBR 5858:1983 e a carga térmica calculada pela ABNT NBR 16401-1:2008. Pode-se observar que em 8 salas de aula a carga térmica calculada pela ABNT NBR 16401-1:2008 foi maior que e a carga térmica calculada pela ABNT NBR 5858:1983. Nas salas de aula B10, B13, B15 e C07 a diferença dos resultados da carga térmica é menor que 5,2%. As maiores diferenças foram para as salas de aula B11 e C04, com um valor superior a 15%. A carga térmica calculada por meio da ABNT NBR 16401-1:2008 ficou em média 2,69% maior que a carga térmica calculada pela ABNT NBR 5858:1983.

Tabela 6. Carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 5858:1983, carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008 e a diferença entre elas (continua)

Sala	Capacidade de refrigeração (BTU)		Diferença
	NBR 5858	NBR 16401-1	
B10	36.045	34.983	-2,95%
B11	30.377	34.949	15,05%
B12	29.064	32.901	13,20%
B13	35.513	34.505	-2,84%

(conclusão)

Sala	Capacidade de refrigeração (BTU)		Diferença
	NBR 5858	NBR 16401-1	
B14	29.451	33.004	12,06%
B15	33.151	31.434	-5,18%
B16	29.706	33.038	11,22%
B17	30.046	32.594	8,48%
B18	35.907	32.594	-9,23%
C04	35.458	30.000	-15,39%
C07	29.066	30.307	4,27%
C09	27.776	31.502	13,42%

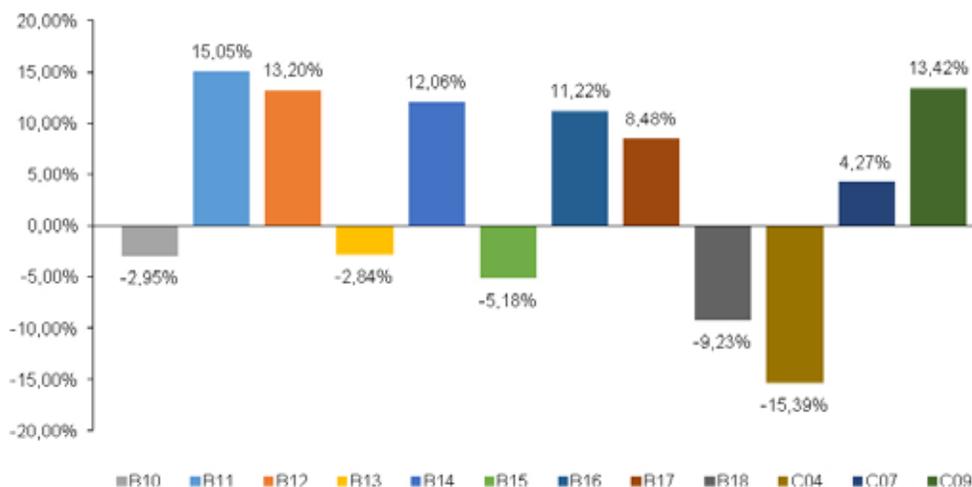


Figura 8. Diferença entre a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 5858:1983 e a carga térmica calculada pela metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008

4.5 AAC adequados para cada sala de aula

Considerando a capacidade dos AAC atualmente comercializados no Brasil e listados no *site* (INMETRO, 2014), a Tabela 7 apresenta a carga térmica do aparelho igual ou superior à carga calculada utilizando a metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008, porém o que se pode observar é que o aparelho de 36.000 BTU tem classificação energética E, ou seja, é menos eficiente (INMETRO, 2017), há disponível na lista do INMETRO apenas um modelo de aparelho dessa capacidade.

Tabela 7. Relação de AAC para as salas de aula com capacidade de resfriamento igual ou superior à calculada utilizando a metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008

Sala	Capacidade de refrigeração		Classificação energética	Potência elétrica (W)	Capacidade superior à calculada
	Calculada	Sugerida			
B10	34.983	36.000	E	4.219	2,91%
B11	34.949	36.000	E	4.219	3,01%
B12	32.901	36.000	E	4.219	9,42%
B13	34.505	36.000	E	4.219	4,33%
B14	33.004	36.000	E	4.219	9,08%
B15	31.434	36.000	E	4.219	14,53%
B16	33.038	36.000	E	4.219	8,97%
B17	32.594	36.000	E	4.219	10,45%
B18	32.594	36.000	E	4.219	10,45%
C04	30.000	30.000	A	2.712	0,00%
C07	30.307	36.000	E	4.219	18,78%
C09	31.502	36.000	E	4.219	14,28%

Na mesma lista mencionada no parágrafo anterior, há 55 modelos de aparelhos com 30.000 BTUs. Sendo a carga térmica média calculada para as salas de aula de 31.797 BTU (ABNT NBR 5858:1983) e 32.651 BTU (ABNT NBR 16401-1:2008), sugere-se a utilização dos aparelhos de 30.000 BTU, com classificação energética A em todas salas de aula, que será o mesmo modelo indicado para a sala de aula C04, pois possuem maior eficiência energética (INMETRO, 2017), o CEE desse aparelho é 3,24, enquanto que o CEE do aparelho de 36.000 BTU é de 2,60. A diferença da capacidade de refrigeração entre um AAC de 36.000 e 30.000 BTU é 20%, porém a diferença do consumo de energia elétrica é maior que 70%.

Na Tabela 8, pode-se observar a relação dos AAC que apresentam maior eficiência energética sugeridos para as salas de aula. A capacidade inferior à calculada é, na média, 8,12%. Como a carga térmica calculada utilizando a metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008 é baseada na metodologia da ASHRAE, o valor final está acrescido de 15%.

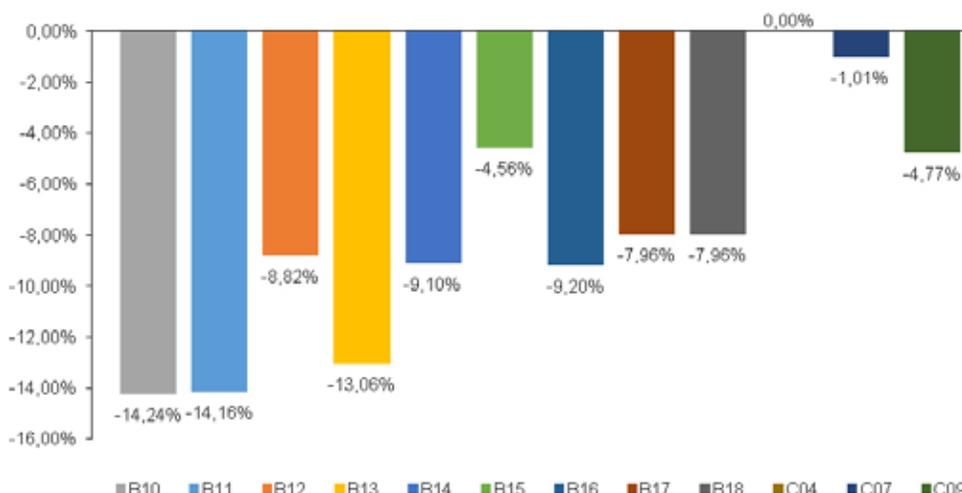


Figura 9. Diferença entre a carga térmica do AAC com maior eficiência energética para as salas de aula e a carga térmica calculada utilizando a metodologia da ABNT NBR 16401-1:2008

Tabela 8. Relação de AAC com maior eficiência energética para as salas de aula

Sala	Capacidade calculada (BTU)	Capacidade do aparelho adequado (BTU)	Classificação energética	Potência elétrica (W)	Capacidade inferior a calculada
B10	34.983	30.000	A	2.712	-14,24%
B11	34.949	30.000	A	2.712	-14,16%
B12	32.901	30.000	A	2.712	-8,82%
B13	34.505	30.000	A	2.712	-13,06%
B14	33.004	30.000	A	2.712	-9,10%
B15	31.434	30.000	A	2.712	-4,56%
B16	33.038	30.000	A	2.712	-9,20%
B17	32.594	30.000	A	2.712	-7,96%
B18	32.594	30.000	A	2.712	-7,96%
C04	30.000	30.000	A	2.712	*0,00%
C07	30.307	30.000	A	2.712	-1,01%
C09	31.502	30.000	A	2.712	-4,77%

* Igual à calculada

4.6 Ocupação das salas de aula de acordo com os AAC instalados

Como a substituição dos AAC das salas de aula é uma prática pouco viável, pois incorrerá em custos, uma alternativa seria redistribuir as turmas de acordo com a

capacidade térmica instalada, conforme proposta na Tabela 9. A redistribuição deve-se ao fato de que as turmas dos módulos seguintes apresentam menor número de alunos, principalmente no período noturno.

Conforme podemos observar na Tabela 9, a sala de aula C09 possui a maior capacidade de lotação (29) atendendo aos parâmetros de conforto térmico, enquanto as salas de aula B10, B13 e B18 possuem a menor lotação, justificando a substituição do AAC, já que o número de apenas 8 ou 9 pessoas na sala seria inviável na prática.

Tabela 9. Lotação sugerida para as salas de aula

Sala	Marca/Modelo	Instalada (BTU)	Lotação Sugerida
B10	Springer Maxiflex	22.000	8
B11	Springer Maxiflex	22.000	19
B12	Springer Maxiflex	22.000	22
B13	Springer Maxiflex	22.000	9
B14	Springer Maxiflex	22.000	21
B15	Springer Maxiflex	22.000	14
B16	Midea	18.000	13
B17	Springer Maxiflex	22.000	20
B18	Springer Maxiflex	22.000	9
C04	Gree	24.000	13
C07	Springer Maxiflex	22.000	22
C09	Gree	24.000	29

5 Considerações finais

O principal objetivo desta pesquisa foi realizar uma avaliação do sistema de climatização instalado nas salas de aula do IFF *Campus* Itaperuna com o interesse de avaliar se os AAC instalados são realmente adequados para promover um ambiente agradável que contribua para o bom desempenho da aprendizagem. Tomaram-se por base as metodologias ABNT NBR 5858:1983 e ABNT NBR 16401-1:2008, que são utilizadas para calcular a carga térmica de ambientes internos.

Observou-se que, das 12 salas de aula avaliadas, 10 estão com AAC que têm classificação energética D, enquanto que os AAC das salas de aula C04 e C09 têm classificação energética A, ou seja, apresentam maior eficiência energética.

Na realidade, baseado na ABNT NBR 5858:1983 e na ABNT NBR 16401-1:2008, não há nenhum AAC dimensionado de forma correta para atender o conforto térmico das respectivas salas de aula. De acordo com as cargas térmicas calculadas pela ABNT NBR 5858:1983 e pela ABNT NBR 16401-1:2008, pode-se observar uma diferença não superior a 3%.

Tomando por base a indicação do INMETRO (2014), que apresenta uma lista com a capacidade de AAC atualmente comercializados no Brasil, sugere-se para todas as salas de aula, a utilização dos AAC de 30.000 BTU com classificação energética A. No entanto, dos 55 modelos listados pelo INMETRO, apenas dois apresentam essa classificação, ou seja, apresentam maior eficiência energética.

Importante destacar que a temperatura interna das salas de aula deve ser ajustada à recomendada pela norma, o que além de oferecer o conforto térmico adequado também proporcionará redução do consumo de energia elétrica, já que cada um grau a mais na escolha da temperatura que o condicionador de ar deve manter no ambiente significa a economia de cerca de 7% em energia elétrica (PUCRS, 2010).

Assim, como proposta para a instituição de ensino, pode-se citar a manutenção regular dos equipamentos, conforme recomendado pelos fabricantes, a qual vai desde a limpeza dos filtros (periodicidade menor) à verificação de outros componentes do aparelho, tais como os trocadores de calor.

Referências

ALVES, M. R. *Ambientes Didáticos da Graduação*: Diretrizes para layout, equipamentos, conforto térmico e acústico. São Paulo: Suprema, 2011. 96 p. Disponível em: <<http://www.prg.usp.br/wp-content/uploads/manualambientesdidaticos.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2017.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2010*: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2012. Disponível em: <https://www.ashrae.org/File%20Library/docLib/StdAddenda/55_2010_d_Published.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. *ABNT NBR 15220-2*: Desempenho térmico de edificações: Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. *ABNT NBR 16401-1*: Instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários: Parte 1: projetos das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008a.

_____. *ABNT NBR 16401-2*: Instalações de ar-condicionado:- sistemas centrais e unitários: Parte 2: parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008b.

_____. *ABNT NBR 5413*: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. *ABNT NBR 5858*: Condicionador de ar doméstico. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

CARLO, J.C.; LAMBERTS, R. *Convênio ECV-007/2004 Eletrobrás/UFSC. AET N° 02/04*: Elaboração de regulamentação e classificação de edificações eficientes:

Processamento de arquivos climáticos para Simulação do desempenho energético de Edificações. Florianópolis, 2005. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/RT_200504.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2017.

CHEN, Y. L.; THOMPSON, J. F. Energy Use in Hydrocooling Stone Fruit. *American Society of Agricultural Engineers*, Miami, USA, v. 5, n. 4, p. 568-572, 1989.

CLIMAZON INDUSTRIAL LTDA. *Manual do proprietário: Split Hi Wall*. Manaus, 2013. Disponível em: <http://cdn.springer.com.br/downloads_docs/ad361-mp-springer-way-e-05-13--view-.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2017.

DESIGNBUILDER. *Welcome to DesignBuilder v3.4*. 2014. Disponível em: <<http://www.designbuilder.co.uk/helpv3.4/>>. Acesso em: 1 mar. 2017.

ELECTROLUX DO BRASIL S.A. *Condicionadores de Ar Split*. Curitiba, 2012. Disponível em: <http://www.electrolux.com.br/produtos/condicionadores-de-ar/Documents/man_TI07F%20-%20TE07F.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2013.

ELGIN. *Manual de Operação: Condicionador de Ar Split Hi-Wall*. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.elgin.com.br/PortalElginAdm/Upload/DownloadPublico/HomeOffice/Manual%20OP%20SR-SS-SM-4175%20-%201%2011%2090Rev.04.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2013.

ELSHARBINI, A.I.; MAHESHWARI, G.P. Impact of shading air-cooled condensers on the efficiency of air-conditioning systems. *Energy and Buildings*, Kuwait, v. 42, n. 10, p. 1948-1951, out. 2010.

FASIUDDIN, M.; BUDAIWI, I.; ABDU, A. Zero-investment HVAC system operation strategies for energy conservation and thermal comfort in commercial buildings in hot-humid climate. *International Journal of Energy Research*, Saudi Arabia, v. 34, n. 1, p. 1-19, jan. 2010.

FISK, W.; SEPPANEN, O. Providing better indoor environmental quality brings economic benefits. *Lawrence Berkeley National Laboratory*, Finland, 1 jun. 2007. Disponível em: <<http://escholarship.org/uc/item/3nm8g3fm>>. Acesso em: 1 mar. 2017.

GHISI, E. *Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997. 305 f. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Enedir_Ghisi.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2017.

GÓMEZ, L. A.; LAMBERTS, R. Simulação da influência de algumas variáveis arquitetônicas no consumo de energia em edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL, 3., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1., 1995, Gramado. *Anais...* Gramado, 1995. p. 415-420.

GOOGLE. *Google Maps*. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/maps?daddr=-21.187458,-41.929464&hl=pt-BR&sll=-21.187463,-41.929195&sspn=0.001861,0.002776&t=h&mra=mift&mrs=1&sz=19&z=19>>. Acesso em: 4 mar. 2014.

HIRST, E.; MOYERS, J. C. Efficiency of Energy Use in the United States:

Transportation, space heating, and air conditioning provide opportunities for large energy savings. *Science*, New York, USA, v. 179, n. 4080, p. 1299-1304, 30 mar. 1973.

INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE. IFF. *Edital n.º 125, de 11 de setembro de 2013*: processo seletivo para ingresso aos cursos técnicos de nível médio. Itaperuna: IFF, 2013. Disponível em: <<http://portal.iff.edu.br/editais/Campus-campos-guarus/ingresso-de-alunos/edital-no-125-2013-processo-seletivo-2014>>. Acesso em: 14 set. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). *Eficiência Energética*: Condicionadores de Ar Split Hi-Wall. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_split_hiwall_indiceantigo.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2017.

_____. *O Programa Brasileiro de Etiquetagem*. Disponível em: <http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php>. Acesso em: 3 mar. 2017.

JOHNSON, D. *Let's Clear the Air*. Disponível em: <http://naftcenews.wvu.edu/naftc_eneews/2012/12/20/let-s-clear-the-air>. Acesso em: 4 mar. 2017.

MARÉ, R.M. *Estudo de eficiência da ventilação em sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. 205 f. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-18082010-170422/publico/Diss_RenataMariaMare_Rev.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2017.

MATOS, R. S. *TM-182 Refrigeração e Climatização*. Paraná, 2010. Disponível em: <ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM182/CLIMATIZACAO/apostila/5_CARGA%20TERMICA%20EM%20CLIMATIZACAO.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2013.

MAZZAFERRO, L. et al. *Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do pré-processador slab no programa EnergyPlus*. Florianópolis, 2013. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Manual_Slab.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2017.

NAKANO, J.; TANABE, S.; KIMURA, K. Differences in perception of indoor environment between Japanese and non-Japanese workers. *Special Issue on Thermal Comfort Standards*, Japan, v. 34, n. 6, p. 615–621, jul. 2002.

PUCRS. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Faculdade de Engenharia. Grupo de Eficiência Energética. *USE - Uso Sustentável da Energia*: guia de orientações. Porto Alegre: PUCRS, 2010. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/biblioteca/manualuse.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2017.

RORIZ, M. *Arquivos Climáticos em formato EPW*. Florianópolis, 2005. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/RT200504.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia. *Manual de Economia de Energia Elétrica na Escola*. São Paulo, 2001. Disponível em: <http://www.ecoreporter.abae.pt/docs/apoio/Manu_al_de_Economia_de_Energia_Eletrica_na_Escola.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2013.

SERAFIN, R. M. *Avaliação da redução do consumo de energia elétrica em função do*

retrofit no edifício sede da Eletrosul. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. 139 f. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Raquel_May_Serafin.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2017.

SILVA, J. C.; SILVA, A.C.G.C. *Refrigeração e climatização para técnicos e engenheiros*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, Energy Efficiency & Renewable Energy. *Getting Started with EnergyPlus - Basic Concepts Manual - Essential Information - You Need about Running EnergyPlus*. 1 out. 2013. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/gettingstarted.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2013.

_____. *Energy-Efficient Air Conditioning*. Merrifield, 1999. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/17467.pdf>>. Acesso em: 4 mar. 2017.

WAGNER, A. et al. Thermal comfort and workplace occupant satisfaction—Results of field studies in German low energy office buildings. *Energy and Buildings*, Alemanha, v. 39, n. 7, p. 758–769, jul. 2007.

YANG, X. et al. Performance of three air distribution systems in VOC removal from an area source. *Building and Environment*, China, v. 39, n. 11, p. 1289–1299, nov. 2004.

Artigo recebido em: 18 mar. 2017
Aceito para publicação em: 24 nov. 2017