XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO DOS USUÁRIOS EM AMBIENTES NATURALMENTE VENTILADOS: SIMULAÇÃO APLICADA À EDIFICAÇÃO ESCOLAR PÚBLICA

Ludmylla Faria de Freitas (1); Raquel Diniz Oliveira (2); Frederico Romagnoli S. Lima (3)
(1) Engenheira, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, ludfreittas@gmail.com
(2) Doutora, Professora do Departamento de Engenharia Civil, raqueldiniz@cefetmg.br
(3) Doutor, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, fredericolima@cefetmg.br
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Av. Amazonas 7675, Belo Horizonte-MG, 30510-000

RESUMO
Ambientes confortáveis termicamente tendem a aumentar a produtividade das atividades humanas. Verifica-se que, sob o efeito de temperaturas inadequadas, ruído excessivo e/ou iluminação insatisfatória, os indivíduos tendem a buscar meios para garantir melhores condições para utilização do espaço, especialmente em instituições de ensino, cujo desconforto ambiental pode influenciar negativamente no desempenho dos alunos. Em muitos casos, para se atingir o parâmetro conforto térmico dos usuários, a solução universal proposta para edificações comerciais e/ou públicas consiste no uso de condicionamento artificial. Tal estratégia, entretanto, pode divergir das recomendações ligadas aos parâmetros de sustentabilidade, conservação de recursos e eficiência energética. Assim, discussões acerca da adoção de estratégias passivas para a climatização de ambientes têm se tornado recorrentes em busca da redução no consumo energético. Nesse contexto, o presente estudo objetiva analisar as condições de conforto térmico propiciadas no Prédio 12 do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), localizado na cidade de Belo Horizonte-MG. Para tanto, aplicou-se o método de simulação computacional estabelecido no Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C), para quantificar as horas em conforto e desconforto térmico dos ambientes naturalmente ventilados. Complementarmente, analisou-se possíveis medidas que propiciem a melhoria das condições de conforto térmico do prédio em questão. Os resultados indicaram a possibilidade de obtenção de maiores índices de conforto por meio de estratégias passivas aliadas a modificações construtivas, tais como alteração do tipo de vidro, cobertura e brises da edificação. Este estudo apresenta, portanto, estratégias alternativas ao uso de climatização artificial, fato que acarretaria em um maior consumo de eletricidade para o edifício.
Palavras-chave: conforto térmico; simulações termo energéticas; RTQ-C; ventilação natural, EnergyPlus.

ABSTRACT
The human productivity level related to their activities can be improved in thermally comfortable rooms. People use to seek ways to ensure better environmental conditions, especially in scholar contexts that the compliance of its lighting systems and its building thermal acoustic parameters play an important role for student performances. Artificial conditioning systems can be used, in some cases, as a universal solution to provided indoor thermal comfort for commercial and public buildings. However, this strategy contradicts concerns regarding sustainable issues, natural sources conservation and energy efficiency. Thus, passive strategies debate showed its crucial importance to reduce building energy consumption. In this context, the aim of this work was to analyse the thermal comfort conditions provided in Building 12 of the Federal Center for Technological Education of Minas Gerais (CEFET-MG), located in Belo Horizonte, Brazil. Building simulation was carried out to quantify the thermal comfort and discomfort hours according to Brazilian Building Energy Efficiency Regulation (RTQ-C). As results, passive strategies combined with constructive changes i.e., glass type, roof materials and building shading devices can lead to better comfort levels. This study presents, therefore, alternative strategies to artificial conditioning systems adoption, that imply in greater electricity consumption for buildings.
Keywords: thermal comfort; thermoenergetic simulations; RTQ-C; natural ventilation; EnergyPlus

1. INTRODUÇÃO

Conforme dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 (EPE, 2017), o consumo de energia elétrica no Brasil foi da ordem de 460.829 GWh, sendo os setores comercial e público responsáveis por 28% do consumo total, ou seja, 128.032 GWh. Cerca de 70% da energia consumida é direcionada à obtenção do conforto térmico dos usuários, por meio do uso de sistemas de ar condicionado e iluminação (CORCUERA, 1999; SOLOMON, 2007). Cabe salientar que, o conforto térmico é um aspecto importante que não deve ser preterido em busca da redução do consumo de energia elétrica, uma vez que ambientes confortáveis termicamente tendem a aumentar a produtividade dos usuários, assim como níveis desconfortáveis de temperatura provocam redução na eficiência das atividades humanas. Verifica-se que, sob o efeito de temperaturas elevadas, ruído excessivo e/ou iluminação inadequada os indivíduos tendem a buscar meios para garantir melhores condições para utilização do espaço, especialmente em instituições de ensino, cujo desconforto ambiental pode influenciar negativamente no desempenho dos alunos (LORCH E ABDOU, 1994; KOWALTOWSKI *et al*, 2001).

Com intuito de avaliar o nível de eficiência energética em edificações comerciais, de serviços ou públicas o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) criou, em 2009, o Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C), apresentando procedimentos para enquadramento do edifício analisado em um dos cinco níveis de eficiência dos edifícios: A, B, C, D, E, sendo A o mais eficiente e E o menos eficiente. Cabe ressaltar que, para atingir a eficiência energética em um edifício, se faz necessário a manutenção das condições adequadas de conforto térmico dos usuários por meio de um sistema de condicionamento artificial de ar com consumo de energia reduzido (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Sendo assim, o RTQ-C estabelece método de simulação que avalia, também, o conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados e apresenta, assim como na classificação de eficiência, cinco níveis de avaliação, sendo o nível A o mais confortável termicamente em relação ao número de horas dentro de uma faixa de temperatura de referência.

De acordo com Lorsch e Abdou (1994), em busca de ambientes adequados em relação ao parâmetro de conforto térmico, a solução universal proposta para edificações comerciais e públicas é o uso de condicionamento artificial. Contudo, tal estratégia contraria preocupações acerca de consumo sustentável e conservação de energia. Assim, discussões acerca da adoção de ventilação natural como estratégia passiva para a climatização de ambientes têm se tornado cada vez mais recorrentes em busca da redução no consumo energético. Para Brager *et al.* (2004), proporcionar aos usuários o controle das variáveis ambientais, permitindo uso de ventiladores e abertura de janelas, tendem a elevar a expectativa dos ocupantes com relação ao clima interno, resultando em aumento na produtividade, bem-estar e conforto térmico dos mesmos. Desse modo, a adoção da ventilação natural como estratégia para a climatização, quando projetada adequadamente, apresenta resultados tão efetivos quanto o condicionamento artificial na manutenção das condições de conforto térmico dos usuários (CHOW *et al*., 2010).

Bellia *el at.* (2014) realizaram estudos utilizando dispositivos de proteção solar como estratégia passiva de conforto térmico, evitando o aumento da temperatura interna dos ambientes, reduzindo, consequentemente, o consumo de energia destinada a condicionamento artificial. Zhao e Yang (2017) ressaltam que, em regiões nas quais o calor predomina, pode-se investir em medidas de sombreamento e isolamento de janelas exteriores. Para Wang *el at.* (2014), é imprescindível a adoção de medidas mais sustentáveis nas edificações que garantam tanto os níveis de conforto ambiental quanto a redução do consumo energético. Dos Santos *el at.* (2017) em seu estudo de análise de conforto térmico em escolas públicas na cidade de João Pessoa/PB, observou que a orientação, forma e materiais constituintes das salas de aula analisadas contribuíam para a retenção do calor nos ambientes e ressaltou a necessidade de intervenções a serem realizadas nos edifícios escolares que visem à melhoria das condições ambientais para usuários de escolas públicas do país. Para Nico-Rodrigues *el at.* (2015) a utilização de janelas mais eficientes para ventilação natural como condicionamento térmico passivo contribui para melhoria do conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados. Cabe ressaltar que cada projeto deve ser combinado às suas próprias circunstâncias e condições específicas do local, por isso cada edifício requer uma análise individualizada levando em consideração suas características específicas (ZHAO & YANG, 2017).

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é quantificar o percentual das horas anuais de conforto térmico dos ambientes naturalmente ventilados de uma edificação escolar pública e propor estratégias que busquem a melhoria do conforto térmico dos usuários.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em cinco etapas principais:

1. Caracterização do objeto de estudo;
2. Modelagem e simulação do edifício conforme parâmetros do RTQ-C (2014);
3. Avaliação das condições de conforto do modelo, conforme limites de conforto térmico da norma ASHRAE 55/2010;
4. Proposição de um novo modelo com estratégias para melhoria das condições de conforto térmico dos usuários;
5. Análise das condições de conforto dos modelos original e proposto por meio dos parâmetros da ASHRAE 55/2010.

3.1. Caracterização do objeto de estudo

O presente estudo baseia-se no Prédio 12, construído no ano de 2005 e localizado no campus II do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), na cidade de Belo Horizonte (Latitude: 19º28' Sul, Longitude: 43º57' Oeste; Altitude: 767 m), localizada no Estado de Minas Gerais com clima subtropical úmido, temperaturas médias anuais entre 17 e 20°C e índices pluviométricos em torno de 1.300 mm anuais (CORREA *et. al*, 2005).

A edificação analisada trata-se de um prédio público e naturalmente ventilado, utilizado para fins educacionais, composto por dois pavimentos, que reúnem salas de aula, laboratórios, auditório e banheiros destinados aos alunos dos cursos Técnico em Edificações e Engenharia de Produção Civil, além de instalações administrativas do Departamento de Engenharia Civil (DEC) como, sala dos professores e gabinetes dos coordenadores e docentes. Nas Figura 1 e 2 estão representadas as plantas baixas do primeiro e segundo pavimento do Prédio 12, respectivamente.



Figura 1 - Planta baixa 1º pavimento Prédio 12 (Adaptado de CEFET-MG, [201-]).

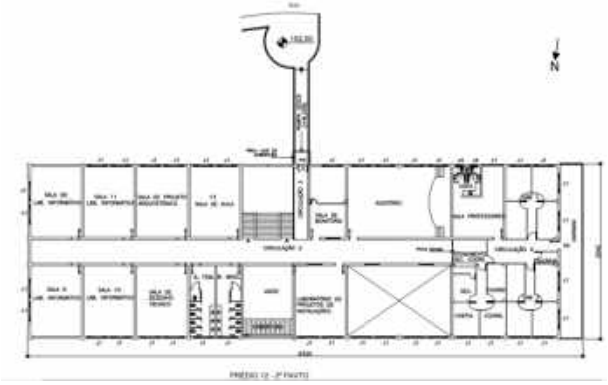


Figura 2 - Planta baixa 2º pavimento Prédio 12 (Adaptado de CEFET-MG, [201-]).

Por meio do projeto arquitetônico legal e executivo fornecidos pela Divisão de Projetos do CEFET-MG foi possível obter informações acerca de dados construtivos do edifício, localização e orientação das fachadas. Complementarmente foram realizadas visitas em campo para coleta de dados sobre a edificação em questão, uma vez que nem todas as informações dos projetos eram condizentes com a realidade especialmente no que tange dados relacionados à iluminação e equipamentos instalados na edificação. Mediante consultas dos horários das aulas e funcionamentos dos setores do DEC obteve-se dados acerca das rotinas de uso e ocupação dos ambientes bem como especificações dos equipamentos contidos nos laboratórios e salas de aula.

3.2. Modelagem e simulação do edifício conforme parâmetros do RTQ-C

Conforme especificações do método de simulação computacional do RTQ-C (2014), foram desenvolvidos modelos computacionais a serem submetidos à simulação termo energética.

3.2.1. Modelo real

A edificação selecionada serviu como referência para a avaliação das condições de conforto térmico por meio dos parâmetros estabelecidos pelo método de simulação do RTQ-C (INMETRO, 2014).

Realizou-se a modelagem simplificada da geometria tridimensional do prédio selecionado com auxílio do *software* gratuito SketchUp Make versão 2017. Com auxílio do plugin Euclid versão 0.9.3 fez-se a compatibilização do SketchUp com o EnergyPlus versão 8.7.0, programa computacional de simulação termo

energética gratuito escolhido para realização da simulação de modo a atender aos parâmetros estabelecidos no método de simulação computacional do RTQ-C (INMETRO, 2014).

Para desenvolvimento do modelo real foram adotados dados de entrada no EnergyPlus conforme as características do Prédio 12. Tais dados de entrada foram definidos pelos seguintes parâmetros: características construtivas da edificação (propriedades térmicas dos materiais e composições construtivas), horário em que as janelas e portas estão abertas ou fechadas, quantidade de pessoas dentro do ambiente ao longo do dia e sua taxa metabólica, potência dos equipamentos elétricos e do sistema de iluminação, temperatura do solo e demais características da edificação em questão.

3.2.2. Modelo de referência

O método de simulação estabelece que, além do modelo real do edifício originalmente proposto, deve ser desenvolvido também, a título de comparação, um modelo de referência com parâmetros do nível de eficiência e/ou conforto que se deseja obter.

Para elaboração do modelo de referência, as características de geometria, orientação, carga interna, padrão de uso e sistema de condicionamento de ar devem ser mantidas semelhantes às características da edificação analisada, já parâmetros relacionados à envoltória e sistema de iluminação devem ser adequados e calculados conforme nível pretendido. Como o presente estudo busca a otimização do conforto térmico dos usuários, foram adotados, para elaboração do modelo de referência, os parâmetros do nível A, que apresenta melhores índices para propiciar a melhoria do conforto.

Os modelos real e de referência devem ser elaborados e simulados utilizando mesmos programas e arquivos climáticos, ademais, ambos devem apresentar características idênticas quanto à orientação em relação ao norte geográfico, geometria, padrão de uso e operação de sistemas, carga interna de equipamentos, tipo de sistema de condicionamento de ar e tipo de uso de pessoas, o que permite que os mesmos sejam comparados, e possibilita a avaliação dos sistemas em questão (INMETRO, 2016).

3.3. Avaliação das condições de conforto do modelo, conforme limites de conforto térmico da norma ASHRAE 55/2010

Por meio dos resultados obtidos a partir da simulação dos modelos real e de referência, obteve-se os dados de saída referentes às temperaturas operativas da edificação. Tais resultados foram utilizados na avaliação das condições de conforto térmico dos usuários por meio do percentual de horas ocupadas em conforto (POC) e percentual de horas ocupadas em desconforto (POD), de acordo com os limites da faixa aceitável de conforto térmico estabelecidos na norma ASHRAE 55/2010, conforme disposto no método de simulação computacional estabelecido no RTQ-C (INMETRO, 2014).

Para avaliação do conforto pelo modelo presente na ASHRAE 55/2010, utilizou-se as temperaturas predominante externas (Tpe), contidas no arquivo climático TRY de Belo Horizonte, utilizado também nas simulações. Com posse das Tpes, calculou-se a temperatura neutra (Tn), bem como os limites superior e inferior de conforto térmico para 80% de usuários satisfeitos, conforme Figura 3.

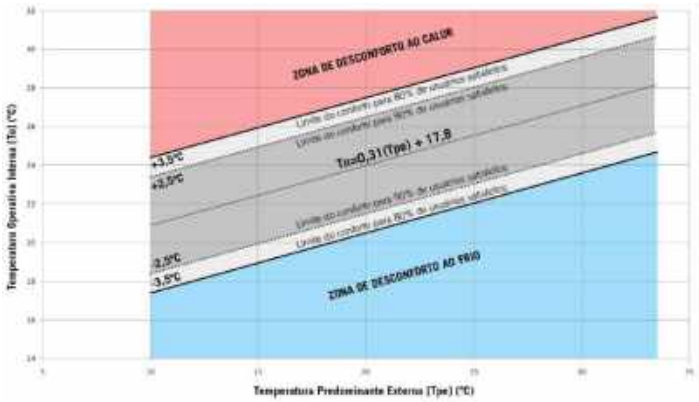


Figura 3 - Relação entre temperatura operativa interna e temperatura média mensal externa (SILVEIRA, 2014 p.27).

Com posse dos resultados de temperatura operativa interna dos ambientes obtidos por meio do método de simulação do RTQ-C e dos dados de temperatura limite superior e inferior de conforto térmico da ASHRAE 55/2010, foi elaborada uma planilha comparativa para verificação da condição de conforto no interior do edifício.

As temperaturas operativas internas que se enquadraram dentro dos limites de conforto foram contabilizadas como horas de conforto, já as temperaturas simuladas que se encontrassem acima do limite superior ou abaixo do limite inferior foram contabilizadas como horas de desconforto. Por fim, com base nas horas de conforto e desconforto contabilizadas, foram calculados o POC e POD para cada ambiente da edificação.

3.4. Proposição de um novo modelo com estratégias para melhoria das condições de conforto térmico dos usuários

A proposição de um novo modela dar-se-á mediante resultados obtidos por meio das simulações realizadas no modelo original, caso seja observado ambientes com elevado percentual de horas em desconforto térmico. Assim, caso aplicável o novo modelo composto irá contemplar estratégias que buscassem reduzir o desconforto térmico no prédio, resultando na melhoria do conforto térmico dos usuários.

3.5. Análise das condições de conforto dos modelos original e proposto

Com posse da avaliação do POC obtida para os modelos real e proposto, conforme parâmetros da ASHRAE 55/2010, realizou-se análise comparativa entre as condições de conforto de ambos os modelos, avaliando o potencial de performance das estratégias adotadas no modelo proposto em relação a redução do desconforto térmico dos usuários

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

O edifício em estudo foi avaliado utilizando o método de simulação computacional do RTQ-C atualizado em 2014. Foram analisados os modelos real, de referência e proposto. Os resultados obtidos em cada etapa são apresentados abaixo.

4.1. Modelo real

O objeto de estudo apresenta fachada frontal orientada para o Norte, fachada posterior para o Sul, fachada lateral esquerda para Oeste e a fachada lateral direita para o Leste. O prédio possui aberturas em todas as fachadas, entretanto, possui dispositivos de proteção solar (brises horizontais fixos em alumínio) apenas na fachada Norte, a fachada Oeste apresenta uma varanda coberta nos dois pavimentos e a fachada sul possui uma rampa de acesso para o segundo andar.

As Figuras 4 e 5 apresentam a geometria do Prédio 12 desenvolvida para simulação, nas quais são apresentadas, respectivamente, as fachadas Norte/Oeste com dispositivos de proteção solar e a cobertura das varandas representados superfícies de cobertura na cor roxa, e a fachada Sul/Leste. As platibandas dos telhados em torno de toda a edificação também foram representadas como superfícies de cobertura.



Figura 4 - Modelo computacional fachadas Norte/Oeste (OS AUTORES).



Figura 5 - Modelo computacional fachadas Sul/Leste (OS AUTORES).

Os ambientes foram divididos em 37 zonas térmicas, conforme Figuras 6 e 7, das quais 9 zonas são de permanência transitória, sanitários, hall de entrada, corredores e 2 zonas correspondem à ambientes condicionados artificialmente, auditório e área administrativa, que não compreendem ao objeto de estudo do presente trabalho. Sendo assim, foram analisadas 26 zonas térmicas, que compreendem os ambientes de ocupação prolongada sendo eles: 12 salas de aula, 11 laboratórios, 2 salas de projeto e 1 sala de monitoria.

Conforme dados obtidos nos projetos arquitetônicos, complementados por visitas de campo, verifica-se que o Prédio 12 apresenta paredes de alvenaria de vedação de blocos cerâmicos de 30x20x10 cm e 2,0 cm de argamassa interna e externa. As paredes são pintadas na cor amarelo ocre com textura grafiato (externamente) e tons pasteis (internamente). Sua cobertura é composta por três águas e apresenta dois tipos composição, com e sem a presença de forro de gesso. A Tabela 1 apresenta a composição detalhada da parede e dos tipos de cobertura com e sem forro de gesso.

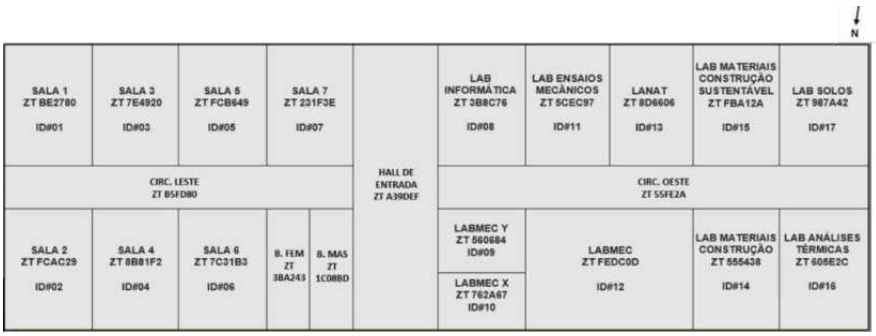


Figura 6 - Zonas Térmicas (ZT) 1º pavimento (OS AUTORES).

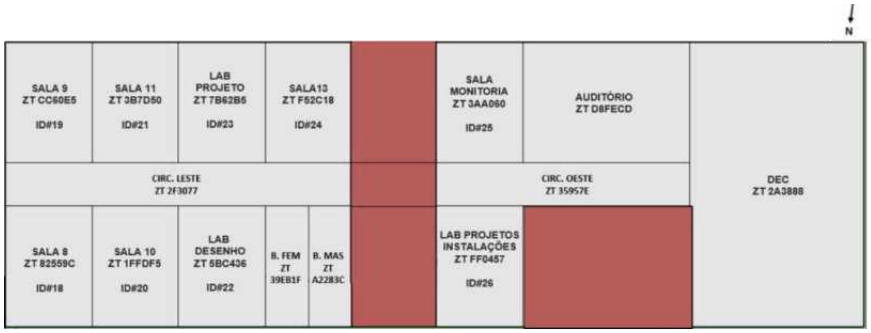
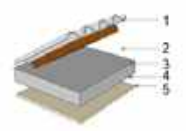
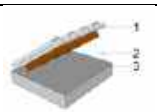


Figura 7 - Zonas Térmicas (ZT) 2º pavimento (OS AUTORES).

Tabela 1 - Tipologia e transmitância térmica (SÁ, 2018 p.40).

Tipologia	Vedação	Composição	U (w/m²K)
Cobertura (Tipo 1)		1. Telha metálica (6,5 mm) 2. Câmara de ar (> 5 cm) 3. Laje maciça de concreto (8,0 cm) 4. Câmara de Ar (> 5 cm) 5. Forro de gesso (2 cm)	1,36
Cobertura (Tipo 2)		1. Telha metálica (6,5 mm) 2. Câmara de ar (> 5 cm) 3. Laje maciça de concreto (8,0 cm)	2,15
Parede		1. Argamassa interna (2,0 cm) 2. Bloco cerâmico (30 x 20 x 10 cm) 3. Argamassa externa (2,0cm) 4. Argamassa de assentamento (2,0cm)	1,94

A absortância à radiação solar da parede foi 0,76 e a da cobertura foi 0,96. A transmitância térmica da parede foi 1,94 W/m²K, da cobertura tipo 1 (com gesso) foi 1,36 W/m²K e a da cobertura tipo 2 (sem gesso) foi 2,15 W/m²K (SÁ, 2018). O vidro utilizado é de 4 mm com Fator Solar (FS) igual a 0,83. A Porcentagem de Abertura na Fachada total é 14%, sendo a área total de abertura igual a 199,68 m².

Cabe ressaltar que, o programa EnergyPlus interpreta os materiais construtivos como camadas dispostas transversalmente ao fluxo de calor, impossibilitando a modelagem de materiais de geometria complexa como tijolos furados, por exemplo, sendo assim, os dados dos materiais foram inseridos de forma simplificada, a partir da equivalência de suas propriedades (WEBER *el at.*, 2017).

O nível de atividade metabólica e o calor dissipado por pessoa foram obtidos na NBR 16401-1 (ABNT, 2008). Adotando-se um nível de atividade moderada em trabalhos de escritório e o valor do calor dissipado utilizado foi 120 W. Cada ambiente apresentava um padrão específico quanto à quantidade de pessoas, horários de funcionamento, uso de equipamentos, uso de iluminação e periodicidade de aberturas de portas e janelas, lançados conforme informações obtidas no DEC.

Com base nos resultados obtidos por meio da simulação computacional, que apresentavam duração, em média, de 5 minutos, foi possível obter o percentual de horas de conforto obtido para cada zona térmica do modelo real, apresentado na Figura . Tal percentual foi obtido por meio das temperaturas resultantes da simulação computacional e a faixa de conforto da ASHRAE 55/2010 calculada com base nas temperaturas do arquivo climático da cidade de Belo Horizonte – MG.



Figura 8 - POC por Zona Térmica para o modelo real (OS AUTORES).

Percebe-se que, quando a edificação é analisada como um todo, a média obtida atende ao requisito mínimo de 80% de POC para ser considerado uma edificação nível A do RTQ-C (2014). Entretanto, analisar apenas o valor médio de todos os ambientes não é suficiente para afirmar que a edificação apresenta conforto térmico adequado aos usuários. Com isso, analisou-se, também, os ambientes separadamente verificando-se que os ambientes localizados no 2º pavimento do prédio apresentam nível de D ou E, piores níveis identificados no regulamento. Foi possível observar que a absortância solar e transmitância térmica da cobertura sem o forro de gesso em sua composição apresentou valores superiores ao nível A, fato que pode ter contribuído para o baixo POC dos ambientes do 2º pavimento. Portanto, para melhoria das condições de conforto térmico do Prédio 12 do CEFET-MG faz-se necessário a adoção de novas estratégias que reduzam o desconforto térmico.

4.2. Modelo de referência

O RTQ-C (2014) explicita a necessidade da elaboração de um modelo de referência para simulação, utilizando os parâmetros especificados no nível de eficiência/conforto ao qual se deseja alcançar. Como o presente estudo busca a otimização do conforto térmico dos usuários do objeto de estudo, adotou-se o nível mais alto de conforto proposto pelo regulamento, nível A. A Tabela 2 apresenta os parâmetros adotados na simulação conforme estabelecido no RTQ-C (2014).

Tabela 2 - Parâmetros adotados no modelo de referência nível A (OS AUTORES).

Característica da edificação	Modelo de Referência
Geometria – dimensões	Igual ao edifício proposto
Orientação	Igual ao edifício proposto
Carga interna (DCI)	Igual ao edifício proposto
Padrão de uso: Equipamentos e Pessoas	Igual ao edifício proposto
Sistema de condicionamento de ar	Igual ao edifício proposto
Parâmetros da Envoltória:	
PAZ	PAZ = 2%
PAFT	PAFT = 18%
AVS e AHS	AVS=AHS=0
Tipo de vidro	Vidro simples, 3mm
Fator solar	FS = 0,87
Transmitância térmica	Ucob = 2,00W/m²K | Upar = 3,70W/m²K
Absortância Solar	$\alpha \leq 0,50$
Sistema de iluminação	DPI ≤ 10,7 W/m²

Após simulação do modelo de referência, foram obtidos os resultados do POC, conforme Figura , que apresentam os resultados de POC para as 8760 horas anuais.

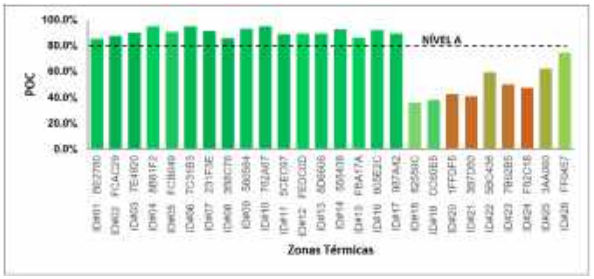


Figura 9 - POC por Zona Térmica para o modelo de referência (OS AUTORES).

Após a adoção dos parâmetros especificados para o nível A, foi possível observar uma melhoria das horas de conforto dos ambientes que apresentavam baixo percentual de conforto no modelo real.

Entretanto, assim como o modelo real, o modelo de referência apresenta POC para atender aos requisitos do nível A, mas quando a análise dos ambientes separadamente é realizada, todos os ambientes do 2º pavimento ainda apresentam POC inferior a 80%. Tal resultado demonstra que, apenas a adoção dos

parâmetros nível A não são suficientes para proporcionar melhoria significativa no percentual de horas em conforto do Prédio 12.

4.3. Modelo proposto

Mediante constatação do alto percentual de horas em desconforto (POD) obtido no modelo real, observou-se a necessidade da proposição de medidas que propiciassem a melhoria do conforto térmico dos usuários da edificação. Como o modelo de referência apresentou uma melhoria no POC, os parâmetros de referência foram adotados para elaboração do modelo proposto.

Complementarmente a tais parâmetros, adotou-se a telha sanduíche com EPS, que, apesar do memorial descritivo da edificação apontar a utilização da mesma, por meio de visitas de campo ao prédio em questão notou-se que tal tipo de cobertura não foi adotada na construção do edifício como especificado nos projetos. Ademais, como os dispositivos de proteção solar utilizados na edificação encontram-se danificados, o que pode influenciar negativamente seu desempenho, propôs-se a implantação de novos brises.

Com base nos dados de orientação da edificação, com fachada frontal deslocada 8º para a direito enquadrando-se na orientação Norte, área de janela (306m²) e área de piso (1200m²), foi realizado o dimensionamento de dispositivos de proteção solar que melhor se adequem às necessidades específicas da edificação por meio do estudo da carta solar da cidade de Belo Horizonte (LABCON UFMG, [201-]). Com posse da relação: janela > 25% da área de piso, foi possível obter os ângulos de projeto obtidos para cada fachada do objeto de estudo.

A Figura 10 apresenta os dispositivos de proteção dimensionados para cada fachada, adotando implantação de brises horizontais e verticais na fachada Norte, brises verticais na fachada Sul e horizontais na fachada Leste. Não foram dimensionados brises para a fachada Oeste, uma vez que a mesma apresenta varanda coberta nos dois pavimentos, que proporciona proteção solar das janelas.

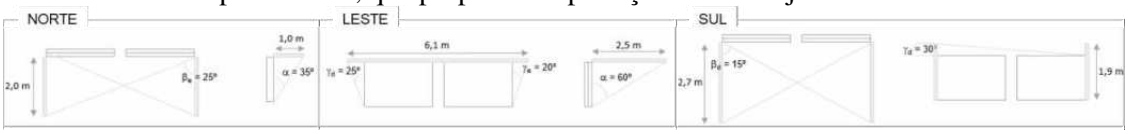


Figura 10 - Dimensionamento de brises de projeto para fachadas Norte, Sul e Leste (OS AUTORES).

Na Figura 11 são apresentados os resultados do POC para o modelo composto pelas melhorias propostas.

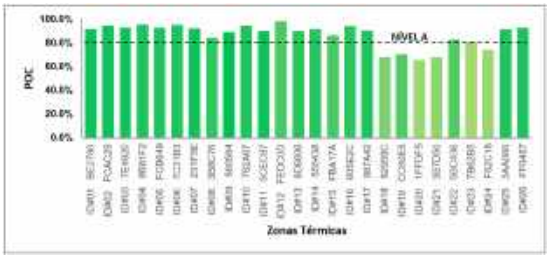


Figura 18 - POC por Zona Térmica para o modelo proposto (OS AUTORES).

Após elaboração do modelo proposto com adoção das medidas sugeridas para melhorar o POC da edificação, foi possível perceber que, a maioria dos ambientes do Prédio 12 apresentaram POC superior a 80%, inclusive ambientes do 2º pavimento que apresentaram desempenho insatisfatório, conforme exigido para classificação do nível A. Apesar de alguns ambientes do 2º pavimento ainda apresentarem POC inferior a 80%, verificou-se uma melhoria significativa nas horas de conforto dos mesmos.

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a análise do percentual de horas de conforto para os ambientes naturalmente ventilados de uma edificação pública existente, Prédio 12 do CEFET-MG, por meio da aplicação do método de simulação computacional do RTQ-C (2014). Cabe ressaltar que, foram relatadas divergências entre as informações obtidas por projetos e visitas de campo realizadas no local, adotando-se as informações constatadas em campo para que a simulação apresentasse resultados mais próximos ao comportamento real do edifício.

O Prédio 12 como um todo apresentou 91% de horas ocupadas em conforto, enquadrando-se no nível A, nível mais alto de conforto apresentado pelo regulamento. Entretanto, quando se realizou a análise dos ambientes separadamente verificou-se que, determinadas zonas térmicas localizadas no 2º pavimento apresentaram desconforto térmico por calor elevado. Após elaboração do modelo de referência, seguindo os

parâmetros do RTQ-C (2014), obteve-se uma melhoria no percentual de conforto, embora alguns ambientes ainda tenham apresentado POC muito aquém ao nível A. Mediante verificação de resultados insatisfatórios para o conforto térmico dos usuários, foi proposto um modelo com estratégias de melhoria, no qual 22 dos 26 ambientes analisados apresentaram POC superior a 80%, conforme exigido para o nível A e, apesar de 4 ambientes não apresentarem tal classificação, verificou-se uma melhoria significativa nas horas de conforto dos mesmos.

Desta forma, foi possível aumentar o percentual de horas anuais de conforto por meio de estratégias passivas aliadas a modificações construtivas, descartando a utilização de aparelhos de condicionamento artificial que poderiam aumentar o consumo elétrico do edifício e comprometer sua eficiência energética. Cabe destacar que, as estratégias passivas devem estar dimensionadas de acordo com as características da edificação. Cumpre destacar que os brises originais dificultavam a ventilação natural dos ambientes em virtude do potencial de sombreamento reduzido devido ao seu dimensionamento inadequado e danos físicos apresentados.

Dada à relevância do assunto, é importante salientar que, ainda que seja possível adequar uma edificação já existente a fim de proporcionar sua eficiência termo energética, a etapa de projeto é a mais adequada para planejar tais estratégias. Na fase de concepção do empreendimento existe uma maior disponibilidade de recursos a serem planejados e o custo de implantação é reduzido em comparação com as fases posteriores. O presente estudo apresentou contribuição prática ao identificar uma solução para um problema real, e acadêmica ao servir de base para estudos semelhantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**. Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico. Rio de Janeiro, 2008.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2010**. Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE: Atlanta, 2010.

BELLIA, Laura; MARINO, Concetta; MINICHIELLO, Francesco; PEDACE, Alessia. An Overview on Solar Shading Systems for Buildings. **Energy Procedia**, v. 62, p. 309–317, 2014.

BRAGER, Gail; PALIAGA, Gwelen; DE DEAR, Richard. Operable windows, personal control and occupant comfort. **ASHRAE Transactions,** 110 (2) p. 17-35. 2004.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).** Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/comercial/regulamentos>. Acesso em: 26 nov. 2017.

_____. **Manual para Aplicação do RTQ-C.** Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/comercial/manuais>. Acesso em: 26 nov. 2017.

CEFET-MG – CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS. Divisão de Projetos. **Projeto Arquitetônico do Prédio 12.** [200-]. Plantas diversas. Arquivo DWG.

CHOW, Tin Tai; FONG, Kwong Fai Square; GIVONI, Baruch; LIN, Zhang; CHAN, A. L. S. Thermal sensation of Hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air-conditioned environment. **Building and Environment**, v. 45, n. 10, p. 2177-2183, 2010.

CORRÊA, Paulo Roberto Lopes; FRANÇA, Elisabeth; BOGUTCHI, Tânia Fernandes. Aedes aegypti infestation and occurrence of dengue in the city of Belo Horizonte, Brazil. **Revista de saude publica**, v. 39, n. 1, p. 33-40, 2005

CORCUERA, Daniela. Edifícios de Escritórios: **O Conceito de Sustentabilidade nos Sistemas de Vedação Externa.** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Estruturas Ambientais e Urbanas, 1999.

DOS SANTOS, Gabrielle Diniz; DOS SANTOS, Joel Silva; DA SILVA; Ingrid Almeida; FURTADO, Gil Dutra; GONZAGA, Bruno Sousa. Estudo das condições de conforto térmico em escolas públicas municipais de tempo integral na cidade de João Pessoa–PB. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 3, p. 001-010, 2017.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica** 2017: Ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em 22 abr.2018.

KOWALTOWSKI, Doris; BORGES; Francisco; LABAKI, Lucila; RUCHEL, Regina Coeli; BERTOLI, Stelamaris Rolla; PINA, Silvia Mikami; CAMARGO, Renata Faccin de; BERNARDES, Núbia. **Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares estaduais de Campinas–SP**. Relatório Científico/Fapesp. Campinas, SP: UNICAMP, 2001.

LABCON UFMG - Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética em Edificações. SOUZA, R. V. G. (Coord.); PEREIRA, I. M; OLIVEIRA, Raquel Diniz *et al*. Anexo I do RTQ-R: Dispositivos de Proteção Solar em Edificações Residenciais. Belo Horizonte: LABCON EAUFMG, [201-]. Disponível em: <pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Anexo1RTQ-R.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2018.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay Pereira. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: Eletrobras/PROCEL, 2014. 3. ed.

LORSCH, Harold G; ABDOU, Ossama A. The impact of the building indoor environment on occupant productivity - Part 2: Effects of temperature**. ASHRAE Transactions**, Vol. 100, Part 2. 1994.

NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida; ALVAREZ, Cristina Engel de; SANTO, Amábeli Dell; PIDERIT, Maria Beatriz. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 2, p. 7-23, 2015.

SÁ, Evelyn Moraes Hosken de. **Análise de medidas aplicáveis ao prédio 12 do CEFET-MG para obtenção da classificação A na etiqueta nacional de conservação de energia.** 2018. Monografia (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Graduação em Engenharia de Produção Civil. 2018.

SILVEIRA, Francisco Massucci. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15.575 e ASHRAE 55.** 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, 2014.

SOLOMON, Susan; QIN, D.; MANNING, M.; ALLEY, Richard Blane.; BERNTSEN, T.; BINDOFF, Nathan; CHEN, Zhenlin; CHIDTHAISONG, Amnat; GREGORY, Jonathan; HEGERL, Gabriele; HEIMANN, Martin; HEWITSON, Bruce; HOSKINS, Brian; JOOS, Fortunat; JOUZEL, Jean; KATTSOV Vladimir; LOHMANN, Ulrike; MATSUNO, Toroh; MOLINA, Mario; NICHOLLS, Neville; OVERPECK, Jonathan; RAGA, Graciela; RAMASWAMY, Venkatachalam; REN, Jiawen; RUSTICUCCI, Matilde; SOMERVILLE, Richard; STOCKER Thomas; WHETTON, Penny; WOOD, Richard.; WRATT, David**. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Summary for Policymakers. Climate Change.** The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2007.

WANG, Zhaojun; LI, Aixue; REN, Jing; HE, Yanan. Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin. **Energy and Buildings**, v. 77, p. 192-196, 2014.

WEBER, Fernando da Silva; MELO, Ana Paula; MARINOSKI, Deivis Luis; GUTHS, Saulo; LAMBERTS, Roberto. Desenvolvimento de um modelo equivalente de avalição de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus. Florianópolis: LABEEE UFSC, 2017.

ZHAO, Bingwen; QI, Lijuan; YANG, Ting. Simulation and Analysis of the Energy Consumption for Public Buildings in Different Climate Regions of China. **Procedia Engineering,** v. 205, p. 2940-2947, 2017.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFETMG) pelo auxílio ao desenvolvimento deste trabalho.