



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 DO CONFORTO TÉRMICO NO EDIFÍCIO ESCOLAR CAP-COLUNI EM VIÇOSA-MG

Luísa Tristão Barbosa (1); Ana Carolina de Oliveira Veloso (2)

(1) Arquiteta e Urbanista, especialista em Sustentabilidade do Ambiente Construído UFMG, luisatristaob@gmail.com;

(2) Dra., Pós-doutoranda em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável UFMG, acoveloso@gmail.com.

RESUMO

Neste estudo foi analisado o conforto térmico do edifício escolar CAP-COLUNI, em Viçosa-MG, através de simulação computacional utilizando o programa Energy Plus e o *plugin* Euclid do SketchUp. Segundo arquivos climáticos INMET 2016 disponíveis na plataforma Projeteer (Projetando Edificações Energeticamente Eficientes), o município apresenta cerca de metade do ano em desconforto térmico por frio. A definição das propriedades térmicas da edificação foram retiradas da NBR 15220 Parte 2. O edifício é naturalmente ventilado e a ventilação natural foi simulada através do AirflowNetwork MultizoneWithoutDistribution. Foram definidas situações de alterações do projeto para adequação do conforto térmico na edificação, pautadas em estratégias bioclimáticas estabelecidas pela NBR 15220 Parte 3. Considerando os resultados obtidos, a edificação apresenta conforto térmico adequado no verão; entretanto no inverno há altos índices de desconforto. Observou-se que os resultados dos padrões de aberturas de 50% e 100% não foram muito discrepantes, porém a edificação apresentou queda na temperatura de até 16% com as janelas fechadas. As alternativas propostas, apesar de amenizarem a sensação de desconforto térmico no frio em até 16%, não foram capazes de atender à zona de conforto estabelecida pela ASHRAE Standard 55.

Palavras-chave: arquitetura escolar, conforto térmico, simulação computacional.

ABSTRACT

In this study the thermal comfort of the CAP-COLUNI school building – located in Viçosa-MG – was analyzed through computer simulation with the aid of Energy Plus and Euclid plugins for the SketchUp software. According to INMET 2016 climate data, available at the Projeteer platform (Designing Energy Efficient Buildings), the city's population is under thermal discomfort for about half the year. The definitions of the thermal properties of the building materials were taken from NBR 15220 Part 2 (ABNT, 2005). The building's natural ventilation was simulated with Airflow Network MultizoneWithoutDistribution. Project alterations were defined to adequate the building's thermal comfort, based on bioclimatic strategies established by NBR 15220 - Part 3. Taking all in consideration, the obtained results demonstrate that the school building presents adequate thermal comfort during the summer; however, there are high rates of discomfort in the winter. It has been shown that the results of the 50% and 100% opening patterns were not too dissimilar, but the building showed a rise of monthly zone operative temperature of up to 16% with windows and doors closed. The proposed alternatives, albeit easing the sensation of thermal discomfort during cold days were not able to meet the guidance defined by the ASHRAE Standard 55.

Keywords: school architecture, thermal comfort, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

Para entender como se dão as relações entre o meio e usuário, Kowaltowski *et al* (2001) afirmam que devem ser levantados, entre outros fatores, os indivíduos, a função do espaço e as necessidades coletivas e/ou individuais para o exercício das funções vitais. No caso da arquitetura escolar, a percepção de conforto pelo usuário interfere diretamente no desempenho de suas atividades. Assim, é importante garantir o conforto térmico, lumínico e sonoro das salas de aula, a fim de proporcionar um espaço que opere com condições adequadas para garantir o bom aprendizado aos alunos. O desconforto térmico pode causar sonolência, alteração nos batimentos cardíacos, aumento da sudorese, apatia e desinteresse pelos trabalhos desenvolvidos nas salas de aula. Além de influenciar no rendimento escolar, um projeto termicamente confortável também reflete no consumo de energia da edificação.

Conforme revisão bibliográfica feita por Tondo (2017), os parâmetros físicos que exercem influência no desempenho termoenergético das edificações são: as propriedades termofísicas dos materiais, o contato da edificação com o solo, a absorvância das paredes e coberturas, a orientação solar da edificação e das aberturas, a forma da edificação, a área das fachadas e aberturas, o tamanho dos ambientes, a área de abertura para ventilação, o sombreamento, a disposição das aberturas e a forma como ocorre a ventilação. Além destes parâmetros físicos, a parte 3 da NBR 15220 (ABNT, 2005) indica, como forma de adequar o espaço edificado às condições climáticas locais, o uso de estratégias bioclimáticas nas edificações: ventilação, resfriamento evaporativo, inércia térmica para resfriamento, resfriamento artificial, umidificação, inércia térmica e aquecimento solar, aquecimento solar passivo e aquecimento artificial.

De acordo com a ASHRAE (2013), o conforto térmico é a combinação dos fatores ambientais e pessoais que proporcionam sensações de conforto térmico aceitáveis para a maioria dos usuários do espaço. Além de proporcionar a sensação de bem estar, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) o conforto térmico também garante a qualidade do ar do espaço. Conforme Duarte *et al* (2016) a importância dos estudos em conforto térmico se baseia em 3 fatores principais: o bem-estar e a produtividade do ser humano e a conservação de energia. Esses estudos buscam analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente termicamente adequado para as atividades e ocupação humanas, assim como estabelecer metodologias para análises térmicas eficazes dos espaços.

A fim de entender o desempenho térmico das edificações, atualmente, existem softwares para a análise e simulação das edificações, como o programa Energy Plus, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, DOE (2018). Com o uso desse tipo de simulação computacional, aliada ao método de cálculo estabelecido pela ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013), é possível estimar quantas horas de desconforto térmico há na edificação.

Neste contexto, as edificações da Universidade Federal de Viçosa, em geral, utilizam de diversas estratégias arquitetônicas para proporcionar um bom desempenho térmico aos usuários da instituição, como o uso de brises e cobogós. Entretanto, percebe-se que em determinadas situações tais estratégias são insuficientes para atender as demandas de conforto dos alunos, professores e servidores. Kowaltowski *et al* (2001) afirmam que há estudos que indicam que no caso da arquitetura escolar as principais falhas observadas estão relacionadas à funcionalidade e às condições de conforto térmico, e que a maioria das escolas são consideradas quentes no verão e sem ventilação adequada. Entretanto, no caso do edifício do colégio de aplicação da Universidade Federal de Viçosa (CAp-COLUNI UFV), o uso de cobogós e pátio interno garantem a ventilação cruzada de forma eficiente no verão. Entretanto, conforme observações percebidas na edificação, a edificação apresenta desconforto térmico no inverno.

Considerando este cenário, a questão central que fundamenta este estudo é como se dá o desempenho térmico das salas de aula do COLUNI no inverno. Para responder esta questão este artigo busca investigar o conforto térmico deste edifício ligado ao ensino, e propor soluções adequadas, caso sejam necessárias, à realidade do contexto do colégio. Entende-se que tais soluções devem possuir uma boa relação custo-benefício e passíveis de serem executadas em curto prazo, visto que se trata de um edifício público que usa recursos da instituição federal para adequações e reformas.

Foram realizadas simulações termo-energéticas no EnergyPlus das condições reais da edificação, com 3 padrões de abertura diferentes, além de alternativas projetuais, pautadas em estratégias bioclimáticas, para amenizar as situações de desconforto encontradas. Busca-se, assim, propiciar salas de aula termicamente confortáveis para estes usuários da edificação. Estudos similares feitos por Santos, Lima e Oliveira (2018) demonstraram resultados relevantes em relação a inviabilidade de solucionar situações de desconforto térmico por frio utilizando o aquecimento passivo em um edifício em Curitiba.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar, por meio de simulação computacional, o conforto térmico das salas de aula do edifício escolar do COLUNI, localizado em Viçosa, MG, especialmente no período de inverno, e propor soluções para minimizar as situações de desconforto térmico.

3. MÉTODO

O método deste trabalho consiste em 4 etapas: 1- caracterização do objeto de estudo; 2- definição do modelo; 3- definição das condições para simulação computacional no programa Energy Plus e 4- propostas de alterações de projeto para adequação da edificação.

3.1. Caracterização do objeto de estudo

A edificação do colégio de aplicação da Universidade Federal de Viçosa, Cap-COLUNI, está localizada no município de Viçosa, na zona da mata de Minas Gerais, à 225 km da capital mineira Belo Horizonte. O município apresenta o clima tropical de altitude, com verão quente e chuvoso e baixas temperaturas no inverno, e segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) está localizada na zona bioclimática 3.

Na análise do arquivo climático, utilizando o Projeteer (2019a) o município apresenta 52% do ano em desconforto por frio, 32% em conforto térmico e 16% em desconforto por calor. A Figura 1 mostra as temperaturas médias mensais, mensal máxima e mínima do município e a zona de conforto. Observa-se que em 5 meses do ano, do mês de abril ao início de setembro, a temperatura média mensal está abaixo do estipulado na zona de conforto para edificações naturalmente ventiladas.

O COLUNI foi criado em 1965 e ministra aulas para estudantes do ensino médio. O projeto do edifício atual do COLUNI, inaugurado em 1989, foi concebido por uma equipe de arquitetos contratados pela UFV, e possui salas de aulas, salas de projeção, sala de informática, pátio interno, anfiteatro, laboratórios, gabinetes de professores entre outras instalações. O anexo, com biblioteca, auditório e salas de aula, foi inaugurado em 2015, como comemoração dos 50 anos da escola.

Para este trabalho, foram consideradas as salas de aula do edifício original, ilustradas a seguir:

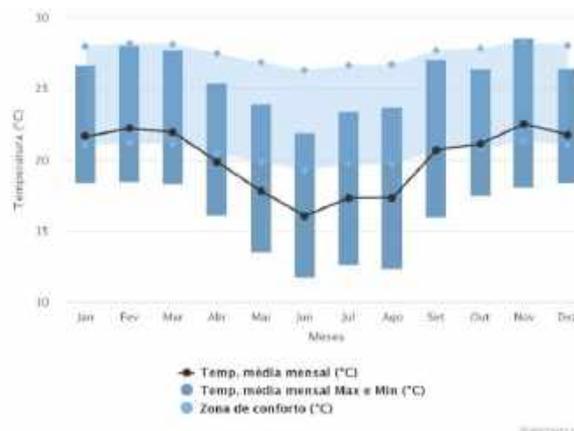


Figura 1 – Gráfico de temperaturas médias mensais e zona de conforto (Projeteer, 2019a).



Figura 2: Localização do edifício do COLUNI no campus da UFV.

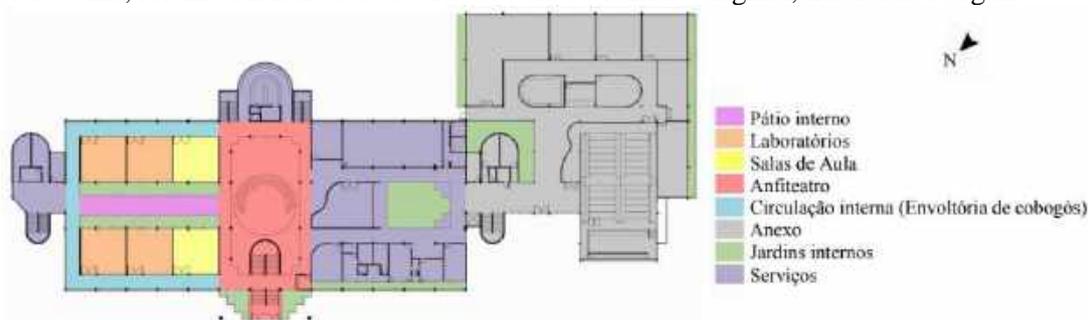


Figura 3: Planta baixa do térreo.

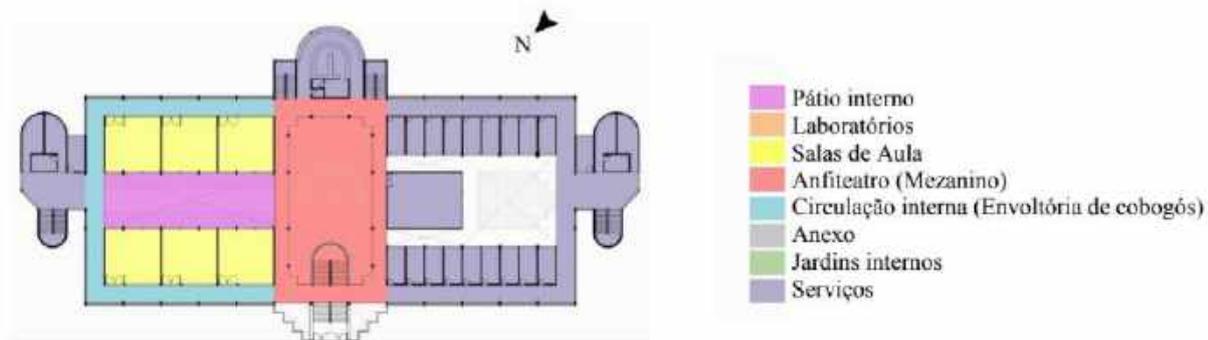


Figura 4: Planta baixa do 2º Pavimento.

Como instruído pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005), as edificações dessa zona bioclimática – Zona Bioclimática 3 - devem possuir aberturas médias para ventilação e o sombreamento das aberturas deve permitir a incidência solar durante o inverno. A norma também indica que as vedações externas devem ser do tipo leve refletora e a cobertura leve isolada e que devem ser utilizadas as estratégias de condicionamento térmico passivo de ventilação cruzada no verão e de aquecimento solar passivo da edificação e vedações internas pesadas (inércia térmica) no inverno. Outras estratégias bioclimáticas para o município estabelecidas do Projeteee (2019b), consistem em sombreamento e resfriamento evaporativo, estes com baixos índices de aplicabilidade, 8% e 4% respectivamente.

No edifício do COLUNI, há o uso de cobogós e pátio interno com jardins que permitem a ventilação cruzada nas salas de aula; entretanto, as salas não recebem incidência solar direta. Apesar de ser uma estratégia bioclimática eficaz no verão, no inverno a ventilação cruzada nas salas de aula provoca sensação maior de frio, sendo necessário fechar as janelas e, conseqüentemente, impedindo a ventilação higiênica, ventilação esta necessária em um ambiente com cerca de 40 pessoas. O prédio utiliza de cobertura zenital no anfiteatro e no pátio interno, permitindo o aquecimento interno destes espaços; porém o uso de vidro na cobertura não é capaz de minimizar o desconforto térmico no inverno.

A edificação possui estrutura de concreto com paredes de tijolo aparente de 15 cm. Na circulação interna que dá acesso às salas, há o uso de cobogós de concreto maciço. Devido à falta de acesso ao projeto e à cobertura do edifício, foi estipulado a partir de imagens aéreas que a cobertura é de fibrocimento com inclinação de 10%. O prédio também possui vidro na fachada principal e esquadrias de metal do tipo fixa, basculante e de correr.



Figuras 5, 6 e 7: Circulação interna que dá acesso às salas de aula, pátio interno com cobertura zenital e jardins, e interior de uma das salas de aula.

3.2. Definição do modelo

O modelo foi realizado com o *plugin* Euclid versão 0.9.3 do Sketchup 2016, e foi definido a partir de características observadas no edifício original em relação à volumetria, orientação solar, emprego de materiais e tipos de aberturas. Foram feitas simplificações para facilitar a modelagem e simulação no Energy Plus, como a volumetria dos cobogós, que manteve o mesmo ângulo de sombreamento, porém com dimensões maiores.

A modelagem se deu a partir da definição de 18 zonas térmicas. Foram modeladas as 8 salas de aula e espaços adjacentes, que incluem o pátio interno, o anfiteatro e os laboratórios. As coberturas das salas de aula foram modeladas separadamente. Das 8 salas, 4 foram escolhidas para serem analisadas: Z2, Z4, Z5 e Z9. Os corredores não foram simulados, apenas os cobogós como dispositivos de sombreamento “*shade*”.

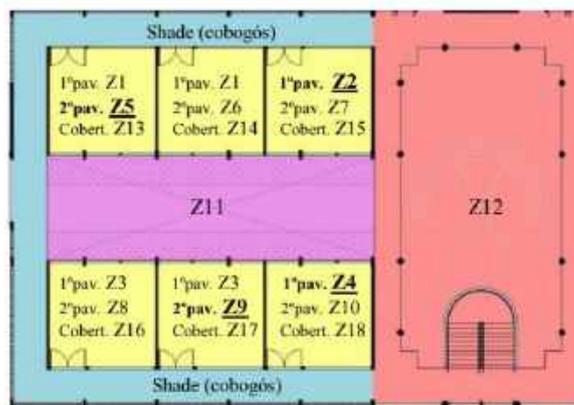


Figura 8: Zonas térmicas da edificação.

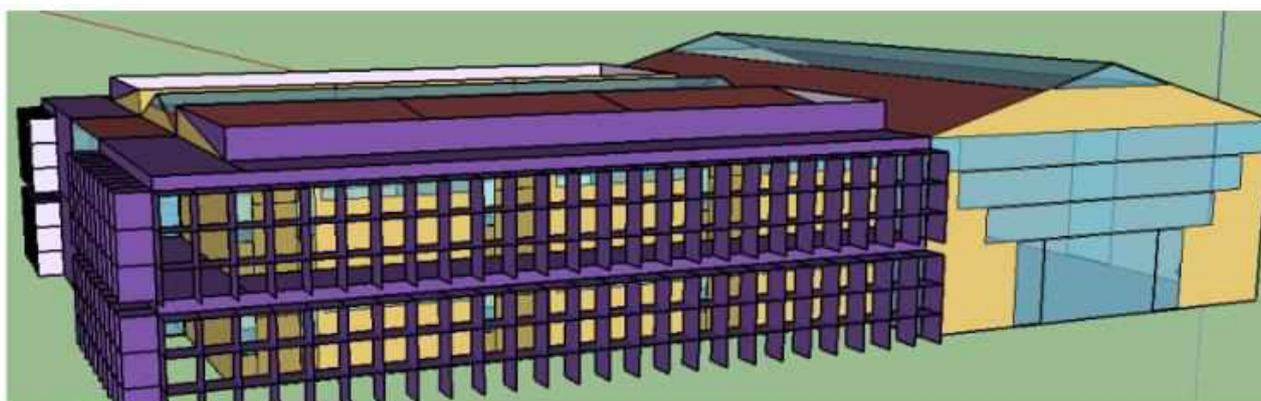


Figura 9: Modelo.

As propriedades térmicas dos materiais usados, tais como condutividade térmica, densidade, calor específico e absorvância solar foram retirados da NBR 15220 e do Anexo Geral V do Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros do RTQ- C do PBE Edifica (INMETRO, 2013).

Tabela 1– Propriedades térmicas dos materiais utilizados na simulação.

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m ³]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância solar
Argamassa	1,15	2000	754	0,7
Concreto	1,75	2400	1005	0,7
Fibrocimento	0,698	1800	921	0,7
Madeira para porta	0,12	400	2300	0,7
Tijolo cerâmico	0,90	1600	920	0,7

Tabela 2: Propriedades térmicas dos vidros utilizados na simulação.

Material	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Emis1	Emis2
Vidro 6 mm	0,270	0,200	0,305	0,401	0,229	0,111	0,837	0,120
Vidro 8 mm	0,450	0,090	0,160	0,540	0,110	0,190	0,840	0,840

Onde:

Tsol = Transmitância à radiação solar (incidência normal)

Rsol1 = Refletância à radiação solar na face 1 (incidência normal)

Rsol2 = Refletância à radiação solar na face 2 (incidência normal)

Tvis = Transmitância à radiação solar no espectro visível (incidência normal)
Rvis1 = Refletância à radiação visível na face 1(incidência normal)
Rvis2 = Refletância à radiação visível na face 2(incidência normal)
Emis1 = Emissividade em ondas longas na face 1
Emis2 = Emissividade em ondas longas na face 2

3.3. Definição das condições para simulação computacional

Após a modelagem, foi realizada a simulação no Energy Plus 8.7, com a realização de procedimentos conforme Pereira e Loura (2012a; 2012b). Como o edifício encontra-se em um campus universitário, o “Building terrain” foi definido como “Country” e a simulação ocorreu durante todo o ano.

Foi utilizado o arquivo climático TMY2 de Viçosa- MG disponível no LATECAE (2018), de onde se extraíram os dados referentes às temperaturas do solo durante o ano.

Para a ventilação Natural, foi utilizado o Airflow Network MultizoneWithoutDistribution. Foram configurados 5 tipos de abertura: fixas, em que não há ventilação, abertas, compreendidas como os vãos entre as zonas, com 100% de abertura o tempo todo, janelas basculante e de correr e portas de abrir. Para as portas de abrir foram considerados dois padrões de aberturas, fechadas e 100% abertas, e para as janelas do tipo basculante e de correr foram consideradas 3 padrões de abertura: 0%, 50% e 100% abertas.

Foram considerados os ganhos internos de calor por pessoas e iluminação artificial. Não foram considerados equipamentos eletrônicos, como datashows, nem os efeitos da ventilação artificial. O padrão de ocupação das salas de aula foi definido como sendo de 7:00 às 9:30 e de 9:50 às 12:20 no turno da manhã, e de 13:00 às 15:30 e de 15:50 às 18:20 no turno da tarde, com 41 pessoas em cada ambiente, sendo 40 alunos e 1 professor. O padrão de iluminação foi estimado em 10,88 W/m² em cada sala. O anfiteatro e pátio interno não recebem iluminação artificial no período de funcionamento da escola devido à iluminação natural proveniente do uso da cobertura zenital. No anfiteatro foi utilizado um padrão de ocupação de 320 pessoas de 9:30 às 9:50, e de 160 pessoas de 15:30 às 15:50.

Para dados de saída foram solicitadas os dados relativos à temperatura operativa interna mensal e por hora e a temperatura de bulbo seco externa por hora. Em relação a avaliação do desempenho da ventilação natural, foram realizados testes do modelo com os 3 padrões de abertura diferentes, 0%, 50% e 100% de abertura, a fim de comparar a influência das aberturas nas temperaturas operativas internas das salas de aula, comparando-as com a temperatura de bulbo seco externa.

Para análise das horas de desconforto térmico, foram utilizados os resultados da simulação feita com padrão de abertura de 50%, situação tida como a mais comum no edifício. Os resultados obtidos foram analisados ao longo do ano todo, de acordo com as condições climáticas, inverno e verão, e de acordo com os horários das aulas. Os horários de aulas foram divididos em turnos de manhã e tarde, considerando apenas os semestres letivos e desconsiderando as férias, compreendidas como sendo o mês de janeiro, duas semanas de dezembro e duas de julho. Para definição de “verão” e “inverno” foi utilizado os dados retirados do Projeteee (2019a), sendo o período de inverno considerado de abril ao início de setembro, e de verão considerado de setembro a março.

Por fim, em relação as análises de horas de desconforto térmico, considerou-se o limite de aceitabilidade de 80% de conforto estabelecido pela ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013) que adota limites máximos e mínimos conforme equação abaixo:

$$(0,31xTbs + 14,3) < To < (0,31xTbs + 21,3)$$

Equação 1

Onde:

Tbs é a Temperatura de Bulbo Seco Externa [°C].

To é a Temperatura Operativa [°C].

Os resultados da equação foram divididos pelo número de horas analisadas a fim de se obter o resultado em porcentagem.

3.4. Propostas de estratégias bioclimáticas para adequação do projeto.

Após a análise dos resultados de horas de desconforto térmico obtidos com a simulação com padrão de abertura de 50%, foram simuladas possíveis alterações de projeto, a fim de compará-las com a situação real.

Observou-se a necessidade de evitar a perda de calor no período de inverno e aumentar a inércia térmica da edificação. Foram realizadas as seguintes alterações de projeto:

Tabela 3: Alterações de projeto para adequação do conforto térmico.

Alteração	Padrão de abertura	Estratégia Bioclimática	Descrição
A1	50%	Aquecimento solar passivo	Substituição dos cobogós da fachada sudeste por parede de 15 cm de tijolo com aberturas do tipo basculante com as dimensões 24,8 x 2,0 x 1,0 m no térreo e 2º pav.
A2	50%	Inércia térmica	Substituição da telha de fibrocimento por telha sanduíche, composta por poliestireno expandido e alumínio Laje + câmara de ar + alumínio 1 cm + Poliestireno expandido + alumínio 1 cm
A3	50%	Inércia térmica	Aplicação de sistema <i>drywall</i> composto por lâ de rocha e gesso acartonado na face externa nas paredes das salas de aula + Isolamento no piso
A4	50%	Aquecimento solar passivo + Inércia térmica	Conjunto das alterações 1+2+3
A5	50%	Inércia térmica	Aplicação de sistema <i>Drywall</i> composto por poliestireno e alumínio na face externa nas paredes das salas de aula + Alterações 1 e 2
A6	50%	-	Fechar as janelas durante os horários em que não há ocupação.
A7	50%	Inércia térmica	Conjunto das alterações 4+6
A8	10%	-	Situação real com 10% do padrão de abertura, apenas para garantir a ventilação higiênica
A9	10%	Aquecimento solar passivo + Inércia térmica	Ventilação higiênica + Conjunto das alterações 1+2+3

Tabela 4: Propriedades térmicas dos materiais utilizados nas simulações com alterações do projeto.

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m³]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância estimada
Lã de Rocha	0,045	100	750	0,7
Alumínio	230	2700	880	0,7
Poliestireno expandido moldado	0,04	15	1420	0,7
Gesso acartonado (cor laranja)	0,35	750	840	0,7

4. RESULTADOS

Os resultados referentes à avaliação do desempenho da ventilação natural são apresentados em gráficos que mostram a temperatura de bulbo seco externa e as temperaturas operativas médias mensais das salas de aula de acordo com o padrão de abertura: 0%, 50% e 100% abertas.



Figura 10: Gráfico da influência dos diferentes padrões de abertura na temperatura operativa interna mensal da Zona 2.



Figura 11: Gráfico da influência dos diferentes padrões de abertura na temperatura operativa interna mensal da Zona 4.



Figura 12: Gráfico da influência dos diferentes padrões de abertura na temperatura operativa interna mensal da Zona 5.

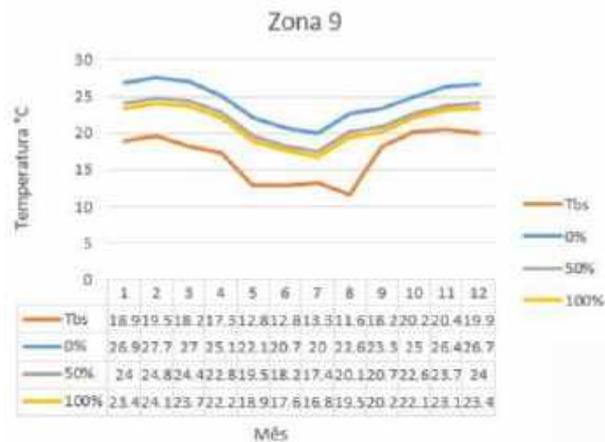


Figura 13: Gráfico da influência dos diferentes padrões de abertura na temperatura operativa interna mensal da Zona 9.

Observa-se que não há grandes alterações nas temperaturas operativas médias mensais internas das salas de aula com os padrões de abertura de 50% e 100% abertas. Nas salas de aula com padrão de abertura de 100%, a ventilação natural conseguiu diminuir a temperatura dos ambientes em até 3,5 °C, uma redução de 16% do valor da temperatura operativa com as janelas fechadas. Na Zona 2 houve aumento de 5% a 8% na temperatura operativa média mensal com o padrão de 0% em relação ao de 100%, de 9% a 15% na Zona 4, de 9% a 13% na Zona 5, e de 11% a 16% na Zona 9.

Assim, observa-se que a Zona 2, localizada no térreo, voltada para a fachada sudoeste, apresenta as temperaturas operativas mais baixas e a menor variação em relação à influência da ventilação natural. Além disso, a Zona 9, localizada no segundo pavimento, voltada para fachada noroeste, apresentou maior variação das temperaturas. Os resultados da análise das horas de desconforto térmico são demonstrados na tabela 5.

A partir da análise dos resultados, observa-se que as alterações 1 (aquecimento solar passivo) e 2 (telha sanduíche) não apresentaram melhoras significativas no desconforto das salas.

A alteração 3 (*drywall*) apresentou melhora em certas situações de algumas zonas. A Zona 2 apresentou melhora de 12% no inverno e a Zona 4 passou a ser termicamente confortável no período da tarde. Os resultados das Zonas 5 e 9 não foram representativos.

As propostas 4 e 5 conseguiram amenizar o problema no pior cenário, o da Zona 2 durante o inverno, com uma melhora de 11% no índice de desconforto. Entretanto, os índices de desconforto mantiveram-se altos nessa zona. Percebe-se que não houveram variações discrepantes entre os tipos de materiais isolantes utilizados no sistema *drywall*.

A alternativa 6, de fechar as janelas durante os horários em que não há ocupação, não representou nenhuma alteração nas horas de desconforto. Entende-se que a edificação não é capaz de armazenar o ganho de calor gerado pelas pessoas e iluminação artificial durante o período de ocupação. Consequentemente, a alteração 7 não apresentou significados diferentes da alteração 4.

A proposta 8, de manter apenas uma ventilação higiênica nas salas de aula, apresentou melhoras nos índices de desconforto térmico. Essa proposta, associada às estratégias bioclimáticas na alteração, obteve os melhores resultados, chegando a diminuir o pior índice de desconforto térmico do cenário real, de 82% para 67%. As alterações foram capazes de diminuir em 13% o desconforto no período da manhã na Zona 2, em 14% na Zona 4, em 16% na Zona 5 e em 15% na Zona 9.

As Zonas 5 e 9, salas de aula do segundo pavimento, obtiveram melhor conforto térmico, em especial a Zona 9, voltada para a fachada noroeste. A sala no térreo voltada para noroeste, Zona 4, apresenta melhor desempenho do que a voltada para sudoeste, Zona 2. Percebe-se a importância da orientação solar e do contato com o solo nos resultados. A Zona 9 foi a que apresentou menor amplitude nos resultados.

Na Zona 4, todas as propostas de alterações conseguiram deixar a sala termicamente confortável no período das aulas a tarde, exceto a A6. Assim, apenas com a ventilação higiênica, não seria necessária nenhuma alteração de projeto no período da tarde para a ocupação adequada dessa sala.

Conforme os resultados, observa-se que a ventilação natural funciona bem no período de verão, e que em todas as salas de aula analisadas não há desconforto térmico por calor. Entretanto, no inverno, a edificação chega a apresentar valores de desconforto de até 82%.

Apesar dos índices de conforto térmico aumentarem com as alternativas de projeto, esse aumento não foi expressivo, mesmo utilizando estratégias de inércia térmica e aquecimento solar e altos índices de absorvância.

Tabela 5: Percentual de horas de desconforto térmico

Zona Térmica	Alteração de projeto	Condições Climáticas			Horário de aulas		
		Ano todo	Inverno	Verão	Manhã	Tarde	Manhã+Tarde
Z2	Situação Real	42%	82%	14%	54%	38%	46%
	A1	42%	82%	14%	54%	38%	46%
	A2	43%	83%	14%	54%	39%	47%
	A3	39%	74%	13%	54%	29%	42%
	A4	36%	71%	11%	50%	28%	39%
	A5	37%	72%	11%	49%	27%	38%
	A6	42%	82%	14%	54%	38%	46%
	A7	36%	71%	11%	50%	28%	39%
	A8	41%	81%	13%	53%	40%	46%
A9	33%	67%	8%	46%	28%	37%	
Z4	Situação Real	34%	67%	9%	44%	22%	33%
	A1	34%	67%	9%	44%	22%	33%
	A2	34%	68%	9%	43%	21%	32%
	A3	27%	55%	7%	38%	12%	25%
	A4	27%	54%	7%	37%	11%	24%
	A5	27%	54%	7%	35%	10%	23%
	A6	34%	67%	9%	44%	22%	33%
	A7	27%	54%	7%	37%	11%	24%
	A8	30%	63%	7%	38%	20%	29%
A9	23%	47%	5%	30%	10%	20%	
Z5	Situação Real	29%	57%	8%	43%	18%	30%
	A1	29%	57%	8%	43%	18%	30%
	A2	28%	57%	7%	38%	19%	29%
	A3	28%	53%	9%	41%	13%	27%
	A4	24%	50%	5%	32%	13%	23%
	A5	24%	49%	5%	32%	12%	22%
	A6	29%	57%	8%	43%	18%	30%
	A7	24%	50%	5%	32%	13%	23%
	A8	26%	52%	7%	38%	16%	27%
A9	20%	43%	4%	27%	12%	19%	
Z9	Situação Real	26%	54%	7%	40%	16%	28%
	A1	26%	54%	7%	40%	16%	28%
	A2	26%	54%	6%	36%	18%	27%
	A3	26%	50%	9%	40%	13%	27%
	A4	23%	47%	5%	32%	11%	22%
	A5	23%	46%	5%	31%	11%	21%
	A6	26%	54%	7%	40%	16%	28%
	A7	23%	47%	5%	32%	11%	22%
	A8	23%	47%	5%	35%	15%	25%
A9	18%	37%	4%	25%	10%	18%	

Legenda: Verde: resultados que estão dentro do limite das horas de desconforto (igual ou menor à 20%).

Vermelho: horas de desconforto que não atendem ao estabelecido pela ASHRAE Standard 55.

5. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos observa-se que o uso eficaz da ventilação natural para o resfriamento dos ambientes é uma boa estratégia no período de verão, mas deve-se utilizar essa estratégia com cautela no inverno nos municípios com baixas temperaturas, para evitar a perda de calor interno dos ambientes. Observou-se também que orientação solar e as baixas temperaturas do solo influenciaram diretamente no conforto térmico das salas de aula. Mesmo com as alterações propostas para aumentar a inércia térmica das paredes, pisos e cobertura, e proporcionar aquecimento solar passivo, não foi possível tornar a edificação termicamente confortável durante todo o ano. Embora tenha sido possível amenizar as situações de baixas temperaturas internas, estas não foram significativas, principalmente no período da

manhã no inverno. Percebeu-se que apenas mantendo uma ventilação higiênica, é possível diminuir este desconforto térmico no frio.

As alterações propostas não foram capazes de suprir as necessidades térmicas do edifício, devido às suas características físicas, como a orientação solar da edificação e das aberturas e a forma da edificação. A área das fachadas e das aberturas também influenciam nesse aspecto, visto que a edificação apresenta o uso extenso de cobogós e pouco uso de vidro nas fachadas para aquecimento solar passivo. Além disso, o aquecimento passivo proveniente das coberturas zenitais no pátio interno e anfiteatro não é suficiente, devido à grande dimensão desses espaços, para ser aproveitado nas salas de aula. Outro fator que deve ser considerado é a forma como ocorre a ventilação, de modo que o calor produzido é facilmente dissipado.

Vale ressaltar que a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) apresenta diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo recomendadas para a fase de projeto de habitações unifamiliares de interesse social. Não há muitos trabalhos ou normas que estudam conforto térmico em edifícios escolares já existentes.

Com este estudo verificou-se que a edificação da forma como foi projetada e executada causa um grande desconforto aos alunos e funcionários da escola. Uma alternativa para solucionar o problema do desconforto térmico dos alunos nesta escola é uma reformulação dos horários de uso das salas, verificando quais horários e épocas do ano cada sala está confortável. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), cabe ao arquiteto integrar o uso de sistemas naturais e artificiais nas edificações, ponderando os limites de exequibilidade e a relação custo benefício de cada solução. Assim, recomenda-se também a realização de um estudo de viabilidade para o uso de aquecimento artificial nas situações extremas de frio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASHRAE; (2013). ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, EUA.
- DUARTE, V. C. P. *et al.* Desempenho térmico de Edificações. Apostila – Laboratório de Eficiência Energética e Edificações, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2016.
- DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Building Energy Software Tools Directory**. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm>. Acesso em: 20 fev. 2019.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. T. **Manual de Conforto Térmico**. 7ª ed. São Paulo, Studio Nobel, 2006.
- INMETRO, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C)** Brasil, 2013.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, Lucila C.; PINA, Silvia A. Mikami G. **Conforto e ambiente escolar**. Cadernos de Arquitetura. Bauru, DAUP/FAAC/UNESP, n. 3 jul./dez. 2001. Disponível em <<http://www.dkowaltowski.net/1051.pdf>> Acesso em 02 de abr. de 2018.
- LATECAE - Laboratório de Tecnologias em Conforto Ambiental e Eficiência Energética. **Arquivos climáticos**. Disponível em: <<http://www.latecae.ufv.br/pt-BR/downloads>>. Acesso em: Dezembro de 2018.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014. Disponível em <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf> Acesso em 02 abr. 2018.
- PEREIRA, Iraci Miranda; LOURA, Rejane Magiag. **Curso de Introdução à Modelagem Termoenergética de Edificações com os Softwares Energy Plus e Open Studio**. Apostila – Universidade Federal de Minas Gerais, 2012a.
- _____. **Curso Avançado de Modelagem Termoenergética de Edificações com os Softwares Energy Plus e Open Studio**. Apostila – Universidade Federal de Minas Gerais, 2012b.
- PROJETEE. **Dados Climáticos de Viçosa, MG**. Disponível em: < http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=MG++Vi%C3%A7osa&id_cidade=bra_mg_vicosa.836420_inmet > Acesso em 26 fev. 2019. 2019a
- _____. **Estratégias Bioclimáticas**. Disponível em: < <http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/>> Acesso em 26 fev. 2019. 2019b
- SANTOS, Jéssica Mara; LIMA, Ludmylla Faria de; OLIVEIRA, Raquel Diniz. Análise do desempenho térmico em habitação unifamiliar de interesse social em Curitiba. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.
- TONDO, Gabriela Hanna. **Influência das Estratégias Bioclimáticas no Desempenho Térmico em Edifícios Escolares**. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2017.