

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Arquitetura

Luísa Tristão Barbosa

Análise de desempenho térmico no edifício escolar COLUNI em Viçosa-MG

Belo Horizonte

2019

Lúsa Tristão Barbosa

Análise de desempenho térmico no edifício escolar COLUNI em Viçosa-MG

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sustentabilidade do Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Sustentabilidade do Ambiente Construído.

Área de concentração: Desempenho Térmico em edificações

Orientadora: Dr^a. Ana Carolina de Oliveira Veloso

Belo Horizonte
Escola de Arquitetura
Universidade Federal de Minas Gerais

Data da Defesa: 13/05/2019

FICHA CATALOGRÁFICA

B238a Barbosa, Luísa Tristão.
 Análise de desempenho térmico no edifício escolar COLUNI em
 Viçosa-MG [manuscrito] : / Luísa Tristão Barbosa. - 2019.
 37f. : il.

 Orientador: Ana Carolina de Oliveira Veloso.

 Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais,
 Escola de Arquitetura.

 1. Conforto térmico. 2. Simulação (Computadores). 3. Escolas -
 Edifícios. 4. Viçosa (MG). I. Veloso, Ana Carolina de Oliveira. II.
 Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47

Ficha catalográfica: Biblioteca Raffaello Berti, Escola de Arquitetura/UFMG.

Monografia defendida junto ao Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais e _____ em 13 de maio de 2019, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

Professora Dr^a. Ana Carolina de Oliveira Veloso – UFMG

Carla Patricia Santos Soares

Marina da Silva Garcia

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, professora Dr^a. Ana Carolina Veloso, pelo apoio e disponibilidade durante todo a execução deste trabalho, por todos os ensinamentos e esclarecimentos, além do grande incentivo à minha vida acadêmica.

À Patrícia Santos, pela disponibilidade em contribuir para a realização das simulações computacionais.

Ao amigo e mestre Matheus Rodrigues, por estar sempre solícito a responder minhas dúvidas.

Aos meus colegas da turma 2017/II da Especialização em Sustentabilidade do Ambiente Construído, por todos os meses de convivência.

Aos professores e funcionários da Escola de Arquitetura da UFMG, por proporcionarem a realização deste curso.

Aos membros da banca examinadora que aceitaram participar da avaliação deste estudo.

À minha família, em especial ao meu irmão Lucas, pelo apoio incondicional em todas as fases da minha vida.

RESUMO

Neste estudo foi analisado o conforto térmico do edifício escolar 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 Projeteee (Projetando Edificações Energeticamente Eficientes), o município apresenta cerca de metade do ano em desconforto térmico por frio. A definição das propriedades térmicas dos materiais da edificação foram retiradas da NBR 15220 Parte 2 (ABNT, 2005). 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 (ABNT, 2005). 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 aumento na temperatura operativa média mensal de até 16% com as janelas e portas 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 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 Projeteee 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 (ABNT, 2005). 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 confort, computer simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Localização do edifício do COLUNI no campus da UFV.	- 16
Gráfico 1	- Temperaturas médias mensais e zona de conforto de Viçosa -MG	- 17
Figura 2	- Planta baixa do térreo	- 18
Figura 3	- Planta baixa do 2º pavimento	- 18
Figura 4	- Tipos de esquadrias na circulação interna que dá acesso às salas de aula e a envoltória com cobogós	- 19
Figura 5	- Tipos de esquadrias na circulação interna que dá acesso às salas de aula e a envoltória com cobogós	- 19
Figura 6	- Tipos de esquadrias na circulação interna que dá acesso às salas de aula e a envoltória com cobogós	- 19
Figura 7	- Interior de uma das salas de aula do COLUNI	- 20
Figura 8	- Coberturas zenitais do pátio interno e anfiteatro, respectivamente	- 20
Figura 9	- Coberturas zenitais do pátio interno e anfiteatro, respectivamente	- 20
Figura 10	- Coberturas zenitais do pátio interno e anfiteatro, respectivamente	- 20
Figura 11	- Coberturas zenitais do pátio interno e anfiteatro, respectivamente	- 20
Figura 12	- Zonas térmicas da edificação modeladas	- 21
Figura 13	- Modelo computacional da edificação	- 21
Tabela 1	- Propriedades térmicas dos materiais utilizados na simulação	- 22
Tabela 2	- Propriedades térmicas dos vidros utilizados na simulação.	- 22
Figura 14	- Gráfico da influência dos diferentes padrões de abertura na temperatura operativa interna mensal da Zona 2.	- 25
Figura 15	- Gráfico da influência dos diferentes padrões de abertura na temperatura operativa interna mensal da Zona 4.	- 25
Figura 16	- Gráfico da influência dos diferentes padrões de abertura na temperatura operativa interna mensal da Zona 5.	- 26
Figura 17	- Gráfico da influência dos diferentes padrões de abertura na temperatura operativa interna mensal da Zona 9.	- 26
Tabela 3	- Propriedades térmicas dos materiais utilizados nas simulações com alterações do projeto	- 27
Tabela 4	- Alterações de projeto para adequação do conforto térmico	- 27
Tabela 5	- Percentual de horas de desconforto térmico	- 30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	08
2	OBJETIVO	10
2.1	Objetivo geral	10
2.2	Objetivos específicos	10
3	REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1	Conforto térmico	11
3.2	Estratégias de condicionamento térmico passivo para Viçosa-MG	12
3.2.1	Ventilação cruzada	13
3.2.2	Aquecimento solar passivo e inércia térmica	13
3.3.	Simulação computacional	14
4	METODOLOGIA	16
4.1	Levantamento de dados do objeto de estudo	16
4.2	Definição do modelo para simulação computacional	20
4.3	Definição das condições para simulação computacional no programa Energy Plus	23
4.4	Propostas de estratégias bioclimáticas para adequação do projeto	24
5	RESULTADOS	25
5.1	Análise da ventilação natural.....	25
5.2	Alterações de projeto	26
5.3	Análise das horas de desconforto térmico	28
6	CONCLUSÃO	34
6.1	Limitações do trabalho	35
6.2	Sugestões para trabalhos futuros	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	36

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. Além de influenciar no rendimento escolar, um projeto termicamente confortável também reflete no consumo de energia da edificação, nos casos em que há condicionamento artificial.

De acordo com a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) Standard 55 (2013), o conforto térmico é a combinação dos fatores ambientais e pessoais que proporcionam sensações aceitáveis para a maioria dos usuários do espaço.

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 (2013), é possível estimar, por exemplo, quantas horas de desconforto térmico há na edificação ao longo do ano

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, conforme observações provenientes da vivência nos espaços da instituição no período de 2009 a 2017, 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.

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, porém a edificação apresenta desconforto

térmico no inverno, conforme observações pessoais percebidas no período de fevereiro de 2009 à dezembro de 2011. 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 trabalho busca investigar o conforto térmico deste edifício ligado ao ensino, e propor soluções adequadas, caso sejam necessárias, à realidade do contexto do colégio.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho 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 existentes na edificação.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o objeto de estudo;
- Analisar a influência da ventilação natural no conforto térmico do edifício;
- Identificar as situações de desconforto térmico nas salas de aula e espaços adjacentes a partir dos resultados obtidos na simulação computacional;
- Propor soluções arquitetônicas para a adequação dos problemas de stress térmico encontrados.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Conforto térmico

Segundo Lambert, Dutra e Pereira (2014) conforto térmico é um dos aspectos do conforto ambiental que consiste na sensação de bem-estar térmico e garante a qualidade do ar no espaço.

Certas variáveis ambientais e humanas podem influenciar as trocas térmicas ente o corpo e o meio. Tais fatores ambientais consistem em temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar e as humanas em resistência térmica oferecida pela vestimenta e metabolismo gerado pela atividade. O clima também apresenta variáveis que influenciam o conforto térmico: a radiação solar, temperatura, umidade e vento.

A fim de compreender as relações entre o clima e o ser humano, há o estudo denominado bioclimatologia. Na arquitetura, busca-se adequar o espaço às condições climáticas locais com o uso de estratégias bioclimáticas, o estudo da geometria solar para proposição de proteções solares e análise do desempenho térmico de materiais da envoltória.

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 realização das atividades e ocupação humanas, assim como estabelecer metodologias para análises térmicas eficazes dos espaços.

A fim de manter a temperatura interna em torno dos 37°C e garantir a sensação de conforto térmico, o corpo humano ativa mecanismos de termoregulação devido as trocas térmicas entre o corpo e o meio: trocas secas (condução, convecção, radiação) ou úmidas (evaporação e respiração). Tais mecanismos consistem na vasoconstrição periférica, arrepios e tremores em sensação de frio, e na vasodilatação periférica, suor, e redução da atividade metabólica em sensação de calor.

Em relação ao impacto da percepção do conforto térmico no desempenho de atividades do usuário Kowaltoski *et al.* (2001) afirmam que:

O conforto térmico de um ambiente é essencial para a sensação de bem-estar e o bom desenvolvimento das atividades dos usuários.

Situações de desconforto, causadas seja por temperaturas extremas, falta de ventilação adequada, umidade excessiva combinada com temperaturas elevadas, radiação térmica devido a superfícies muito aquecidas, podem ser bastante prejudiciais, causando sonolência, alteração nos batimentos cardíacos, aumento da sudorese. Psicologicamente tem também seus efeitos, provocando apatia e desinteresse pelo trabalho. Estas situações são extremamente desfavoráveis num ambiente escolar. (Kowaltowski *et al.*, 2001, p. 21)

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. 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, a fim de proporcionar ambientes termicamente confortáveis.

3.2 Estratégias de condicionamento térmico passivo para Viçosa-MG

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 NBR 15220 - Parte 3 (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.

Como instruído pela NBR 15220 - 3 (ABNT, 2005b), as edificações da Zona Bioclimática 3, na qual está inserida o município de Viçosa-MG, 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 verificadas no Arquivo Climático de Viçosa e compilados na plataforma do Projeteee - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (2019), consistem em sombreamento e resfriamento evaporativo, estes com baixos índices de aplicabilidade, 8% e 4% respectivamente.

3.2.1. Ventilação cruzada

A ventilação cruzada é uma estratégia de condicionamento passivo que consiste no deslocamento do ar no interior do edifício através de aberturas opostas, estas funcionando como entradas ou saídas, aumentando as trocas de calor por convecção e evaporação entre o corpo e o ar interno que circula no espaço.

Segundo Frota e Schiffer (2006), é importante que as aberturas estejam bem dimensionadas e em posições apropriadas de forma a garantir uma ventilação adequada ao espaço interno. Os fatores que influenciam no fluxo de ar que circula o interior do edifício dependem da diferença de pressão do ar interno e externo, da resistência do fluxo de ar proveniente das aberturas, das obstruções internas, da forma como é a incidência do vento na edificação e do partido arquitetônico.

A ventilação natural, além de retirar o excesso de calor proveniente de diversas fontes no verão, também garante a qualidade do ar interno ao promover a renovação do ar.

3.2.2. Aquecimento solar passivo e inércia térmica

De acordo com Frota e Schiffer (2006), as fontes de calor interno dos edifícios são fundamentais para as decisões projetuais referentes ao partido arquitetônico, de acordo com a funcionalidade da edificação e do clima. As fontes que geram carga térmica no interior do edifício são: ocupação, iluminação artificial, motores e equipamentos, processos industriais e calor solar.

O aquecimento solar passivo consiste em aproveitar o ganho de calor proveniente do sol, que depende da intensidade da radiação solar incidente e das propriedades térmicas dos materiais construtivos, para aquecer o interior da edificação. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) podem ser utilizadas superfícies envidraçadas orientadas ao sol e aberturas reduzidas nas orientações

menos favoráveis. Além disso, devem-se evitar perdas de calor solar para o exterior, geralmente mais acentuadas pela cobertura e aberturas, ao mesmo tempo em que se aproveitam os ganhos de calor internos provenientes de outras fontes.

A inércia térmica consiste em amenizar as amplitudes das temperaturas no interior da edificação, ao proporcionar um atraso térmico no fluxo de calor decorrente das propriedades térmicas dos materiais da envoltória. Assim, durante o verão, os materiais absorvem o calor e devolvem ao espaço em horários mais frios, geralmente a noite, permitindo que a edificação se mantenha termicamente confortável. No inverno, esse calor armazenado liberado para o interior da edificação pode ser aproveitado a fim de manter a edificação aquecida. A inércia térmica total da edificação depende das características da envoltória, que devem ser compostos por materiais com elevada capacidade térmica.

3.3. Simulação computacional

Atualmente, existem *softwares* para a análise do desempenho térmico em edificações, como o Programa de análise e simulação de conforto térmico Analysis cst (LABEEE – UFSC), Programa de cálculo do PMC da Macquarie University - Sydney, e Comfort Calculator e PMV Tool, ambos do grupo de pesquisa Square One Segundo a NBR 15575 - Parte 1 (ABNT, 2013) para avaliação de desempenho térmico por simulação computacional recomenda-se o uso do programa Energy Plus. Em relação ao uso dos dados das propriedades dos materiais utilizados na simulação, devem-se usar os dados obtidos em laboratório, através de ensaio normalizado; na impossibilidade da realização destes ensaios, recomenda-se a utilização dos dados disponíveis na NBR 15220 - 2 (ABNT, 2005a) como referência.

Outros trabalhos que utilizaram a simulação computacional com o Energy Plus como ferramenta de análise de desempenho térmico foram Tondo (2017), Araújo e Scalco (2018) e Santos, Lima e Oliveira (2018).

Em sua pesquisa sobre a influência das estratégias bioclimáticas no desempenho térmico em edifícios escolares, Tondo (2017), a partir de simulações paramétricas, selecionou as melhores estratégias para as escolas da rede municipal de Joinville. São estas: paredes externas mais claras com absorvância solar de 0,3; paredes externas duplas com alta inércia térmica; paredes internas maciças também com alta inércia térmica; elementos de proteção solar (brises); cobertura com telha

cerâmica, lã de vidro e forro de madeira; cobertura com absorvância solar de 0,2; e o uso da ventilação durante 24h com controle por temperatura. Após uma análise de sensibilidade local, a autora obteve como resultado que, destas estratégias, as que apresentaram melhor influência no desempenho térmico das edificações escolares foram ventilação, absorvância da cobertura e material da cobertura.

Araújo e Scalco (2018) em seu artigo sobre desempenho térmico de creches padronizadas do programa proinfância em cidade de Alagoas, apresentaram como resultados a ausência de desconforto térmico por frio ao longo do ano. Entretanto, nas condições reais, as salas de aula do modelo padrão analisadas apresentaram desconforto térmico por calor superior a 70%. No modelo adaptado houve redução de até 17% no percentual de desconforto em uma das salas de aula analisadas. O modelo adaptado consta com alterações referentes à cor da cobertura, com absorvância baixa de 0,3, e com o padrão de abertura das janelas de 100% abertas. Com o acréscimo de ventilação mecânica (que não foi modelada, mas considerada como modo de estender a zona de conforto), foi possível reduzir em até mais de 50% no percentual de desconforto térmico anual em relação às condições reais.

Santos, Lima e Oliveira (2018) analisaram o desempenho térmico em uma edificação de habitação de interesse social em Curitiba-PR. Como resultado, observaram que a edificação apresenta desconforto térmico por frio na maior parte do ano, o que induz o usuário a utilizar aparelhos de aquecimento artificial. Foram propostos 4 modelos com alterações na envoltória da edificação a fim de amenizar o desconforto térmico. Foram estas: parede de concreto com bloco de 14 cm + cobertura com manta de polietileno; parede de concreto com EPS (Poliestireno expandido) + cobertura com manta de polietileno; parede de EPS + cobertura com manta de polietileno; e parede de EPS + cobertura EPS. Todas as alterações apresentaram melhoras no desempenho térmico, entretanto não foi possível solucionar o desconforto da edificação. Os melhores resultados obtidos foram a alteração da envoltória composta por parede de EPS e cobertura de manta de polietileno.

4. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo consiste na abordagem hipotético dedutiva, com modalidade de pesquisa de campo exploratória de manipulação experimental. O método de procedimento utilizado foi o de estudo de caso.

Os passos metodológicos deste trabalho consistem em 4 etapas:

- 1- Levantamento de dados do objeto de estudo;
- 2- Definição do modelo para simulação computacional;
- 3- Definição das condições para simulação computacional no programa Energy Plus;
- 4- Propostas de alterações de projeto para adequação da edificação.

4.1 Levantamento de dados do objeto de estudo

Esta etapa consiste no levantamento de dados: caracterização do desenho técnico do edifício, a partir de levantamento arquitetônico in loco e plantas baixas disponibilizadas pela Divisão de Obras da UFV, além da obtenção de dados referentes a densidade, aos padrões de ocupação, tipos de aberturas, iluminação artificial e aos materiais e estratégias de conforto térmico utilizados no edifício.

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 Parte 3 (ABNT, 2005) está localizada na zona bioclimática 3.

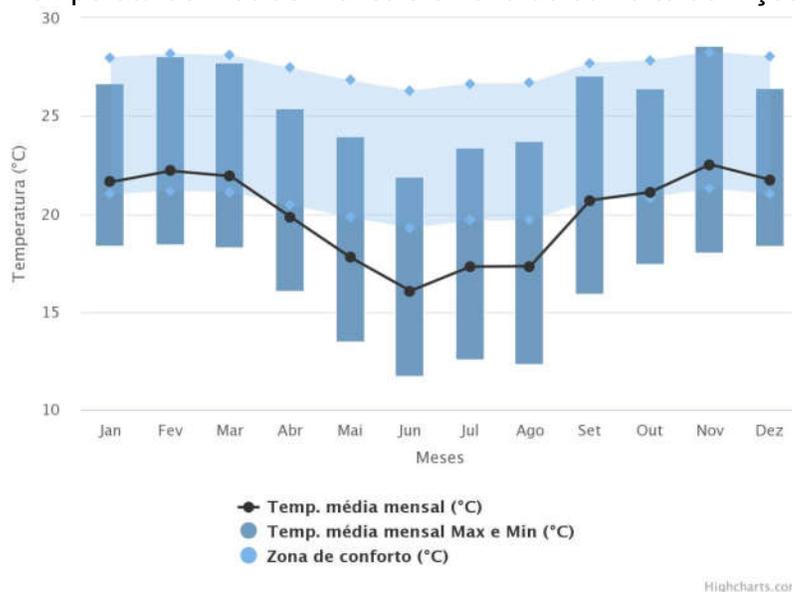
Figura 1: Localização do edifício do COLUNI no campus da UFV.



Fonte: Google Maps.

Na análise dos arquivos climáticos disponíveis no Projeteer (2019), o município apresenta 52% do ano em desconforto por frio, 32% em conforto térmico e 16% em desconforto por calor. O Gráfico 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.

Gráfico1: Temperaturas médias mensais e zona de conforto de Viçosa-MG.



Fonte: Projeteer, 2019.

O COLUNI foi criado em 1965 onde são ministradas 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 instalações¹. 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 nas Figuras 2 e 3.

¹ Segundo STEPHAN et.al (2011), os arquitetos contratados foram Acyr Santos Zama, Paulo Francisco de Oliveira, Fernando Teixeira e Aguinaldo Pacheco que, além do projeto do CAp-COLUNI, também foram responsáveis por outros edifícios no campus Viçosa da UFV, o Laboratório de Desenvolvimento Infantil e o prédio dos departamentos de Administração, Economia e Letras.

Figura 2: Planta baixa do térreo.

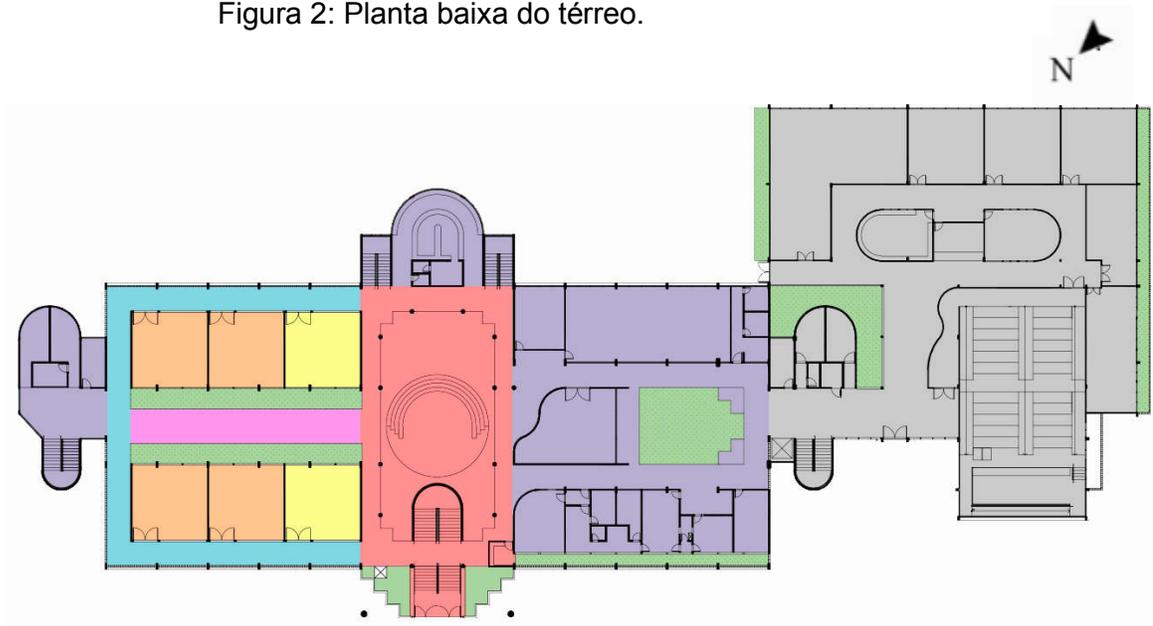
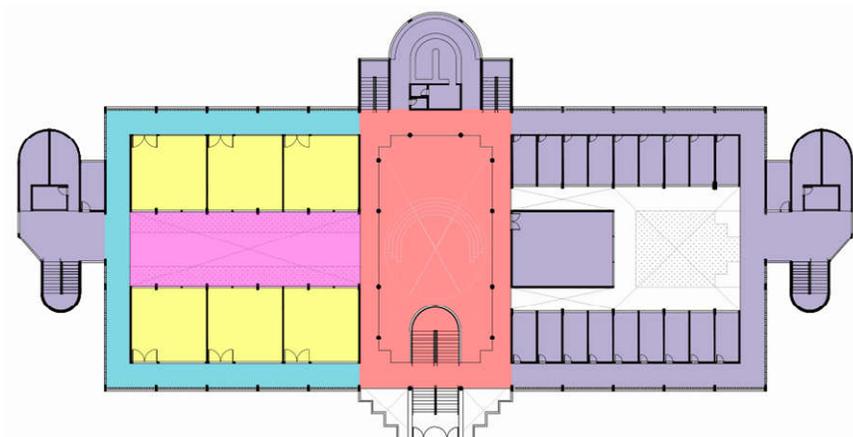


Figura 3: Planta baixa do 2º pavimento.



Legenda:

- Pátio interno
- Laboratórios
- Salas de Aula
- Anfiteatro
- Circulação interna (Envolvória de cobogós)
- Anexo
- Jardins internos
- Serviços

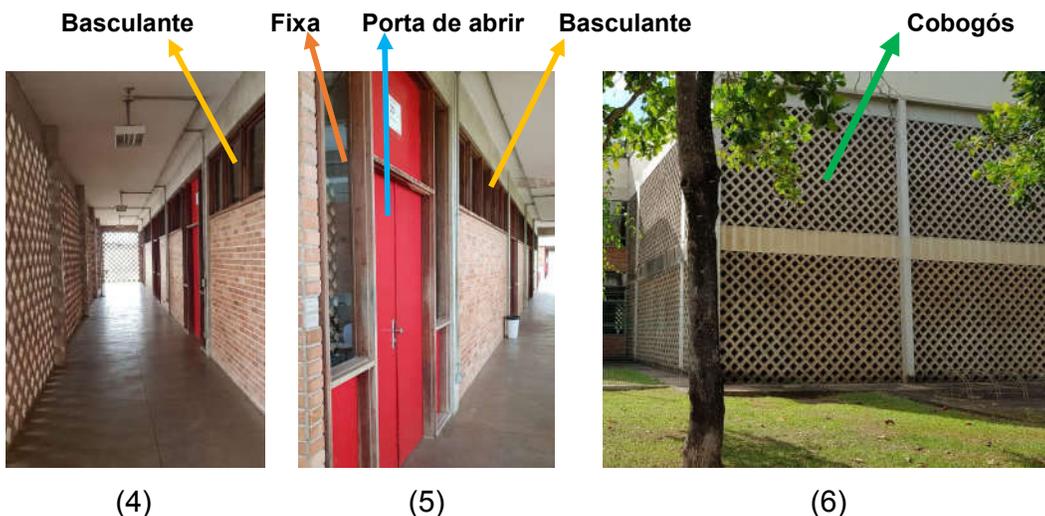
0 10 20 30 50 100

Fonte: Elaborado pela autora, a partir da planta baixa disponibilizada pela Divisão de Obras da UFV.

Os dados a seguir foram obtidos a partir de percepções observadas realizadas durante a vivência no edifício, durante 3 anos, de 2009 à 2011. 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 (FIGURA 4, 5 e 6). 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.

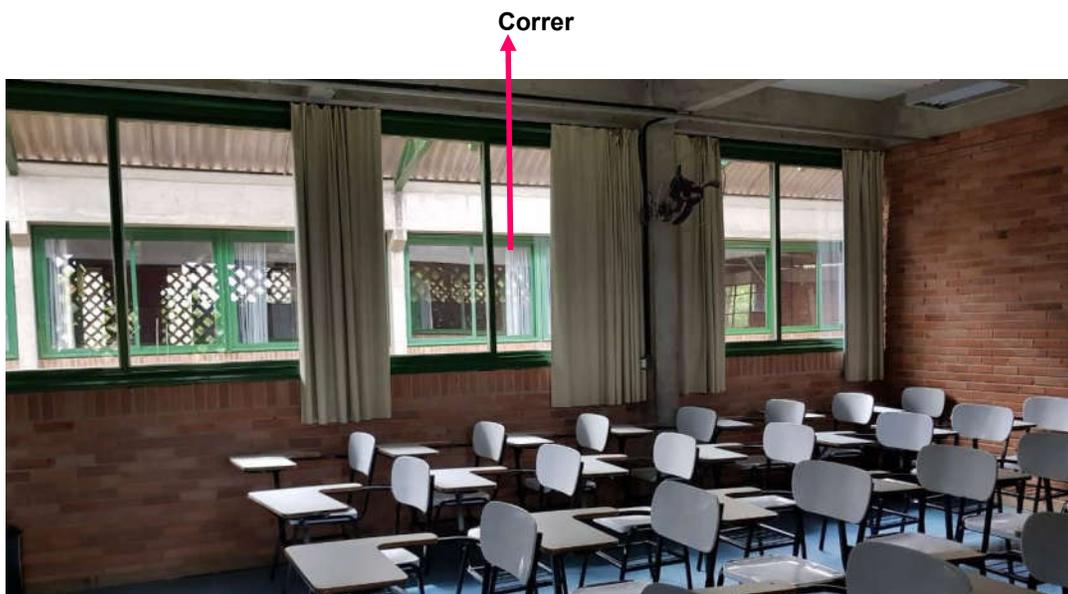
A edificação possui estrutura de concreto com paredes de tijolo aparente de 15 cm, conforme verificado no levantamento arquitetônico. Na circulação interna que dá acesso às salas (FIGURA 7), há o uso de cobogós de concreto maciço. Devido à falta de acesso ao projeto e à cobertura do edifício, foi estipulado, 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 4, 5 e 6: Tipos de esquadrias na circulação interna que dá acesso às salas de aula e a envoltória com cobogós.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2019.

Figura 7: Interior de uma das salas de aula do COLUNI.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2019.

Figuras 8, 9, 10 e 11: Coberturas zenitais do pátio interno e anfiteatro, respectivamente.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2019.

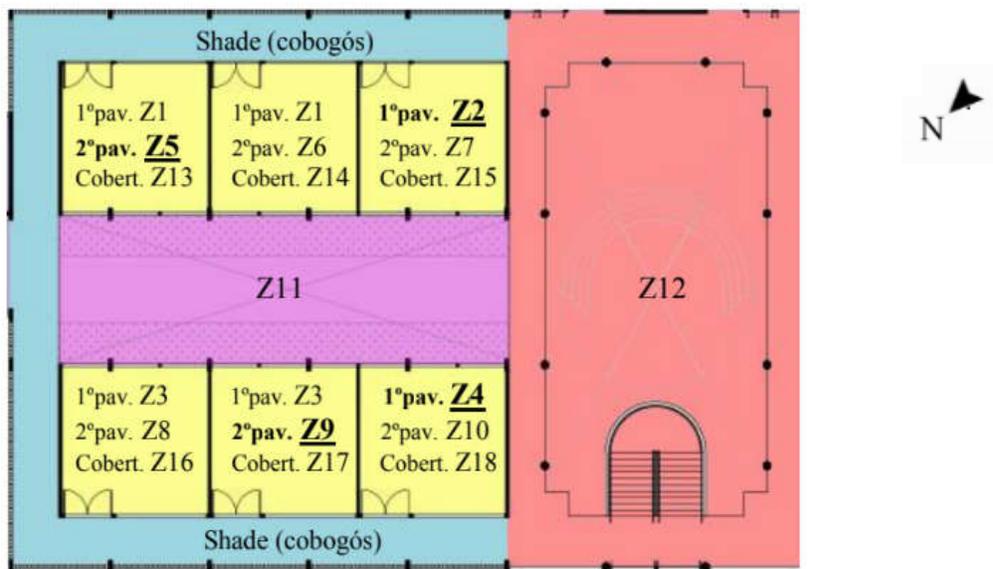
4.2. Definição do modelo para simulação computacional

O modelo foi elaborado 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.

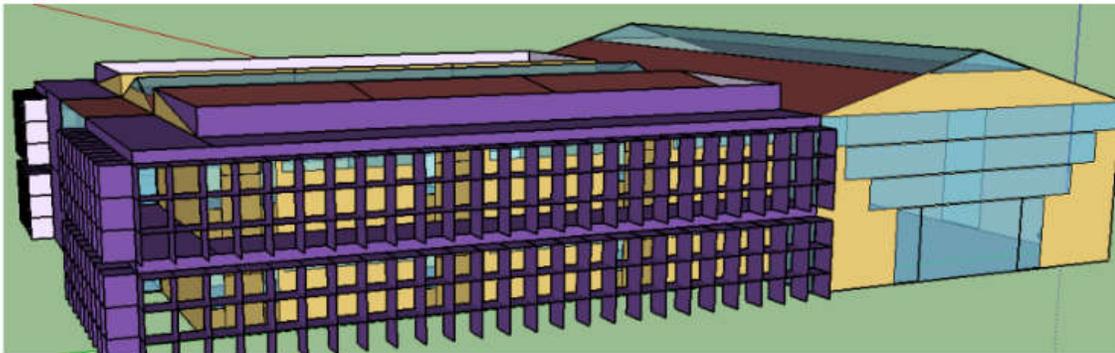
A modelagem se deu a partir da definição de 18 zonas térmicas. Foram modeladas as 8 salas de aula e espaços adjacentes, que incluem o pátio interno, o anfiteatro e os laboratórios. As coberturas das salas de aula foram modeladas separadamente. Os corredores não foram simulados, apenas os cobogós como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

Figura 12: Zonas térmicas da edificação modeladas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 13: Modelo computacional da edificação.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

As propriedades térmicas dos materiais usados, tais como condutividade térmica, densidade, calor específico e absorvância solar foram retirados da NBR 15220 (ABNT, 2005) 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]	Absorvância solar (estimado)
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

Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados obtidos na NBR 15220 e RTQ-C.

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

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados obtidos no RTQ- C do PBE Edifica.

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

4.3. Definição das condições para simulação computacional no programa Energy Plus

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 consideradas as diferenças de vãos de abertura de cada tipo de janela.

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, conforme observações, 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. Foi considerado o metabolismo de 130 W por pessoa para a atividade de estudo (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014). O padrão de iluminação foi estimado em 17 W por lâmpada. Considerando que nas salas de aula são utilizadas 9 luminárias com 4 lâmpadas cada, e que o ambiente possui 56,25 m², foi calculado o valor de 10,88 W/m² por 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, a partir das percepções obtidas no período de vivência. 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 Projeteer (2018), sendo o período de inverno considerado de abril ao início de setembro, e de verão considerado de setembro a março.

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

$$(0,31 \times T_{bs} + 14,3) < T_o < (0,31 \times T_{bs} + 21,3)$$

Onde:

T_{bs} é a Temperatura de Bulbo Seco Externa [°C].

T_o 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.

4.4. Propostas de estratégias bioclimáticas para adequação do projeto

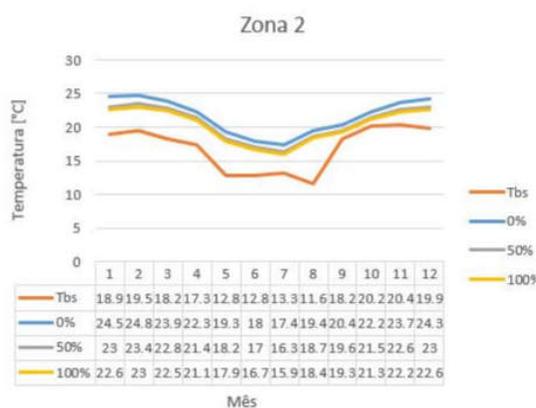
Após a revisão bibliográfica e análise dos resultados de horas de desconforto térmico obtidos com a simulação com padrão de abertura de 50%, foram simuladas possíveis alterações de projeto, a fim de compará-las com a situação real.

5. RESULTADOS

5.1 Análise da ventilação natural

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. Buscou-se, assim, propiciar salas de aula termicamente confortáveis para estes usuários da edificação. 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. Foram analisadas as Zonas 2, 4, 5 e 9.

Figura 14: Gráfico da influência dos diferentes padrões de abertura na temperatura a operativa interna mensal da Zona 2.



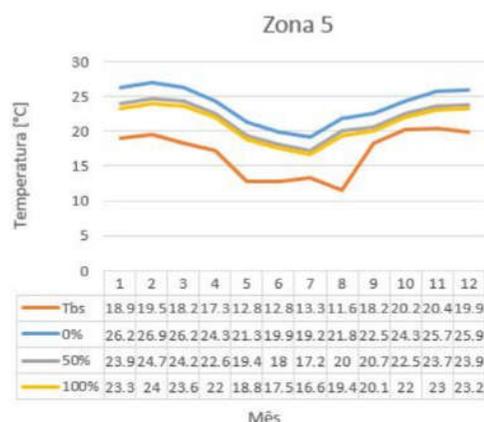
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 15: Gráfico da influência dos diferentes padrões de abertura na temperatura operativa interna mensal da Zona 4.



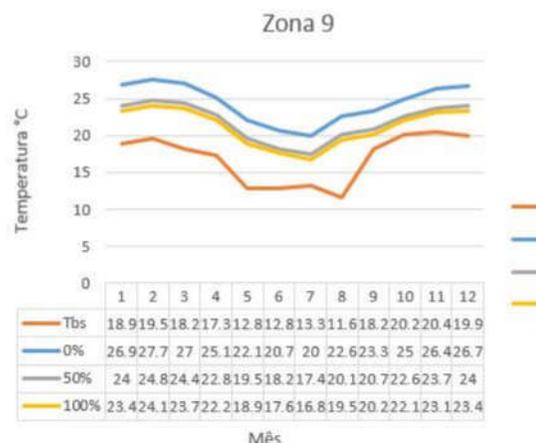
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 16: Gráfico da influência dos diferentes padrões de abertura na temperatura operativa interna mensal da Zona 5.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 17: Gráfico da influência dos diferentes padrões de abertura na temperatura operativa interna mensal da Zona 9.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

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 médias mensais 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.

5.2 Alterações de projeto

Após análise dos resultados, observou-se a necessidade de evitar a perda de calor no período de inverno e aumentar a inercia térmica da edificação. Entende-

se que as propostas de alteração de projeto 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. Além disso, buscou-se propor soluções que devem descaracterizem a edificação original. Foram realizadas as alterações de projeto (Tabela 4), com base nas estratégias bioclimáticas indicadas na NBR 15220 (Tabela 3).

Tabela 3: Propriedades térmicas dos materiais utilizados nas simulações com alterações do projeto.

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m ³]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância estimada
Lã de Rocha	0,045	100	750	-
Alumínio	230	2700	880	-
Poliestireno expandido moldado	0,04	15	1420	-
Gesso acartonado (cor laranja)	0,35	750	840	0,7

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados obtidos na NBR 15220 e RTQ-C, 2019.

Tabela 4: Alterações de projeto para adequação do conforto térmico.

Alteração	Padrão de abertura	Estratégia Bioclimática	Descrição
A.1	10%	-	Restrição das condições de ventilação. Situação real com 10% do padrão de abertura, apenas para garantir a ventilação higiênica
A.2	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.
A.3	50%	Inércia térmica	Substituição da telha de fibrocimento por telha sanduíche, composta por poliestireno expandido, alumínio e gesso na cor laranja Laje + câmara de ar + alumínio 1 cm + Poliestireno expandido + alumínio 1 cm

A.4	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
A.5	50%	Aquecimento solar passivo + Inércia térmica	Conjunto das alterações 2+3+4
A.6	50%	Inércia térmica	Aplicação de sistema <i>Drywall</i> composto por poliestireno, alumínio e gesso na cor laranja na face externa nas paredes das salas de aula + Alterações 1 e 2
A.7	10%	Aquecimento solar passivo + Inércia térmica	Restrição das condições de ventilação. Ventilação higiênica + Conjunto das alterações 1+2+3
A.8	50%	-	Fechar as janelas durante os horários em que não há ocupação.
A.9	50%	Inércia térmica	Conjunto das alterações 5+8

Fonte: Elaborado pela autora partir da NBR 15220, 2019.

5.3 Análise das horas de desconforto térmico

Os resultados da análise das horas de desconforto térmico estão na Tabela 5.

SALAS DE AULA:

A partir da análise dos resultados, observa-se que as Zonas 5, 6 e 7 tem comportamento similar, assim como as Zonas 8, 9 e 10. As salas de aula do segundo pavimento obtiveram melhor conforto térmico, em especial às Zona 8, 9 e 10, voltadas 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 Zonas 8, 9 e 10 foram as que apresentaram menor amplitude nos resultados.

A proposta 1, de manter apenas uma ventilação higiênica nas salas de aula, apresentou melhoras nos índices de desconforto térmico. Logo, apenas com a

ventilação higiênica (A.1), não seria necessária nenhuma alteração de projeto no período da tarde para a ocupação adequada dessa sala.

As alterações 2 (aquecimento solar passivo) e 3 (telha sanduíche) não apresentaram melhoras significativas no desconforto das salas de aula.

A alteração 4 (*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, 6, 7, 8, 9 e 10, localizadas no segundo pavimento, não foram representativos, apesar de conseguirem amenizar o índice de desconforto térmico no inverno de 3 a 5%.

As propostas 5 e 6 conseguiram amenizar o problema no pior cenário das salas de aula, 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 houve variações discrepantes entre os tipos de materiais isolantes utilizados no sistema *drywall*.

A alternativa 7, 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 8 não apresentou significados diferentes da alteração 4.

A proposta 1, associada às estratégias bioclimáticas na alteração 9, 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. Na Zona 4, as propostas de alterações A.1, A.4, A.5, A.6, A.7 e A.9 conseguiram deixar a sala termicamente confortável no período das aulas a tarde.

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.

LABORATÓRIOS:

Em relação aos laboratórios, a Zona 1 teve resultados semelhantes aos das salas de aula da Z2. Os laboratórios são considerados confortáveis termicamente apenas no verão. A Z1 demonstrou ser a zona com pior índice de desconforto no inverno, chegando a 84%. A Z3, apesar de estar localizada na mesma fachada da sala de aula da Zona 4, apresentou maiores índices de desconforto térmico por frio.

PÁTIO INTERNO E ANFITEATRO:

Nas Zonas 11 e 12 (pátio interno e anfiteatro, respectivamente), que possuem cobertura zenital, houve desconforto térmico do inverno e no verão, situação que não ocorre nos laboratórios e salas de aula. Na situação real, a Z11 possui 67% de desconforto térmico no inverno e 33% no verão. Na Z12 o desconforto térmico no inverno também chega a 67%, porém no verão o índice é de 45%. Nenhuma proposta foi capaz de proporcionar uma situação termicamente confortável nesses espaços, exceto na alteração A.3 no período da tarde na Zona 11. Em algumas das alterações propostas para solucionar o desconforto térmico das salas de aula, houve o efeito contrário nestas zonas. No caso da alteração 3, houve o aumento do desconforto térmico no verão de 17% na Zona 11 e 13% na Zona 12. Observa-se que, no caso das Zonas 11 e 12, a alteração 3 obteve melhores resultados, conseguindo amenizar o desconforto 10% no verão e 9% no período da tarde (Z11) e em 11% no verão e 10% no período da tarde (Z12).

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
Z1	Real	44%	84%	15%	56%	40%	48%
	A.1	43%	82%	14%	54%	41%	48%
	A.2	42%	81%	13%	53%	39%	46%
	A.3	44%	84%	15%	56%	40%	48%
	A.4	40%	76%	14%	54%	31%	42%
	A.5	37%	73%	12%	50%	29%	40%
	A.6	37%	73%	12%	50%	28%	39%
	A.7	34%	69%	9%	46%	29%	38%
	A.8	44%	84%	15%	56%	40%	48%
	A.9	37%	73%	12%	50%	29%	40%

Z2	Real	42%	82%	14%	54%	38%	46%
	A.1	41%	81%	13%	53%	40%	46%
	A.2	42%	82%	14%	54%	38%	46%
	A.3	43%	83%	14%	54%	39%	47%
	A.4	39%	74%	13%	54%	29%	42%
	A.5	36%	71%	11%	50%	28%	39%
	A.6	37%	72%	11%	49%	27%	38%
	A.7	33%	67%	8%	46%	28%	37%
	A.8	42%	82%	14%	54%	38%	46%
	A.9	36%	71%	11%	50%	28%	39%
Z3	Real	37%	74%	11%	47%	29%	38%
	A.1	35%	71%	9%	44%	28%	36%
	A.2	37%	74%	11%	47%	29%	38%
	A.3	38%	75%	11%	47%	29%	38%
	A.4	31%	63%	9%	42%	18%	30%
	A.5	31%	63%	8%	42%	18%	30%
	A.6	31%	62%	8%	41%	16%	29%
	A.7	27%	56%	6%	37%	15%	26%
	A.8	37%	74%	11%	47%	29%	38%
	A.9	31%	63%	8%	42%	18%	30%
Z4	Real	34%	67%	9%	44%	22%	33%
	A.1	30%	63%	7%	38%	20%	29%
	A.2	34%	67%	9%	44%	22%	33%
	A.3	34%	68%	9%	43%	21%	32%
	A.4	27%	55%	7%	38%	12%	25%
	A.5	27%	54%	7%	37%	11%	24%
	A.6	27%	54%	7%	35%	10%	23%
	A.7	23%	47%	5%	30%	10%	20%
	A.8	34%	67%	9%	44%	22%	33%
	A.9	27%	54%	7%	37%	11%	24%
Z5	Real	29%	57%	8%	43%	18%	30%
	A.1	26%	52%	7%	38%	16%	27%
	A.2	29%	57%	8%	43%	18%	30%
	A.3	28%	57%	7%	38%	19%	29%
	A.4	28%	53%	9%	41%	13%	27%
	A.5	24%	50%	5%	32%	13%	23%
	A.6	24%	49%	5%	32%	12%	22%
	A.7	20%	43%	4%	27%	12%	19%
	A.8	29%	57%	8%	43%	18%	30%
	A.9	24%	50%	5%	32%	13%	23%

Z6	Real	27%	56%	7%	40%	17%	28%
	A.1	24%	50%	6%	35%	16%	25%
	A.2	26%	54%	6%	38%	16%	27%
	A.3	27%	56%	6%	36%	18%	27%
	A.4	27%	53%	9%	41%	13%	27%
	A.5	24%	49%	5%	32%	13%	22%
	A.6	24%	49%	5%	32%	12%	22%
	A.7	20%	42%	4%	26%	11%	19%
	A.8	27%	56%	7%	40%	17%	28%
	A.9	24%	49%	5%	32%	13%	22%
Z7	Real	28%	56%	7%	42%	16%	29%
	A.1	25%	51%	6%	37%	15%	26%
	A.2	27%	54%	7%	39%	16%	28%
	A.3	27%	57%	6%	38%	18%	28%
	A.4	28%	53%	9%	42%	14%	28%
	A.5	24%	49%	5%	32%	13%	23%
	A.6	24%	50%	5%	32%	12%	22%
	A.7	20%	42%	4%	27%	12%	20%
	A.8	28%	56%	7%	42%	16%	29%
	A.9	24%	49%	5%	32%	13%	23%
Z8	Real	28%	56%	8%	43%	17%	30%
	A.1	25%	50%	6%	38%	16%	27%
	A.2	28%	55%	7%	42%	17%	30%
	A.3	27%	56%	6%	39%	19%	29%
	A.4	27%	51%	9%	40%	14%	27%
	A.5	23%	48%	5%	33%	12%	22%
	A.6	23%	47%	5%	32%	11%	21%
	A.7	19%	38%	4%	26%	10%	18%
	A.8	28%	56%	8%	43%	17%	30%
	A.9	23%	48%	5%	33%	12%	22%
Z9	Real	26%	54%	7%	40%	16%	28%
	A.1	23%	47%	5%	35%	15%	25%
	A.2	26%	54%	7%	40%	16%	28%
	A.3	26%	54%	6%	36%	18%	27%
	A.4	26%	50%	9%	40%	13%	27%
	A.5	23%	47%	5%	32%	11%	22%
	A.6	23%	46%	5%	31%	11%	21%
	A.7	18%	37%	4%	25%	10%	18%
	A.8	26%	54%	7%	40%	16%	28%
	A.9	23%	47%	5%	32%	11%	22%
Z10	Real	26%	53%	7%	41%	16%	28%
	A.1	23%	46%	6%	36%	15%	25%

A.2	26%	52%	7%	40%	16%	28%	
A.3	26%	53%	6%	37%	18%	27%	
A.4	26%	48%	10%	40%	14%	27%	
A.5	22%	45%	5%	32%	11%	21%	
A.6	22%	44%	5%	31%	10%	20%	
A.7	17%	35%	4%	25%	10%	17%	
A.8	26%	53%	7%	41%	16%	28%	
A.9	22%	45%	5%	32%	11%	21%	
<hr/>							
Z11	Real	47%	67%	33%	45%	23%	34%
	A.1	48%	67%	33%	46%	23%	34%
	A.2	47%	67%	33%	45%	23%	34%
	A.3	42%	67%	23%	44%	14%	29%
	A.4	56%	64%	50%	51%	42%	46%
	A.5	50%	62%	41%	46%	37%	42%
	A.6	51%	62%	44%	46%	38%	42%
	A.7	50%	62%	42%	47%	38%	42%
	A.8	47%	67%	33%	45%	23%	34%
	A.9	48%	67%	33%	46%	23%	34%
<hr/>							
Z12	Real	54%	67%	45%	46%	31%	39%
	A.1	55%	67%	46%	46%	32%	39%
	A.2	54%	67%	45%	46%	31%	39%
	A.3	48%	66%	34%	44%	21%	33%
	A.4	62%	67%	58%	52%	48%	50%
	A.5	54%	63%	48%	47%	43%	45%
	A.6	55%	63%	50%	46%	44%	45%
	A.7	55%	63%	49%	48%	43%	45%
	A.8	54%	67%	45%	46%	31%	39%
	A.9	54%	63%	48%	47%	43%	45%

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.

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos resultados obtidos na simulação computacional.

6. 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, portanto entende-se que essa estratégia deva ser adotada pelo colégio.

Entende-se que as situações de desconforto térmico no anfiteatro e pátio interno, apesar de apresentarem os piores índices, não configuram como o problema mais grave do desempenho térmico da edificação, por não serem ambientes de permanência prolongada. Entretanto, é importante proporcionar salas de aulas confortavelmente adequadas devido ao uso e tempo prolongado de ocupação nesses espaços.

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.

Assim, a contribuição deste estudo está na constatação de que a edificação, da forma como foi projetada e executada, causa um grande desconforto

térmico aos alunos e funcionários da escola. A recomendação a curto prazo para solucionar o problema do desconforto dos alunos nesta escola é uma reformulação dos horários de uso das salas, verificando quais horários e épocas do ano cada sala está confortável. A longo prazo, recomenda-se a realização de um estudo de viabilidade para o uso de aquecimento artificial nas situações extremas de frio.

Espera-se que este trabalho possa incentivar novos estudos acerca do conforto térmico nas instituições de ensino, assim como a busca por soluções de desempenho térmico adequadas nas edificações.

6.1 Limitações do trabalho

Vale ressaltar que a NBR 15220 - Parte 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.

Os laboratórios são utilizados eventualmente, e não foram consideradas cargas térmicas internas na simulação computacional.

Alguns dados foram estimados, como as características da cobertura da edificação (propriedades dos materiais e inclinação) e a absorvância dos materiais utilizados nas simulações.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Analisar o custo de implantação das alternativas de projeto propostas;
- Estudar a relação da melhora do conforto térmico, mesmo que pequena, pautada das alterações de projeto propostas, com o desempenho escolar dos alunos na edificação;
- Verificar a viabilidade econômica da instalação de um sistema de aquecimento artificial na edificação.

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.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. 2013A

ARAÚJO, M.L.T., SCALCO, V.A. Desempenho térmico de creches padronizadas do programa Proinfância em diferentes cidades alagoanas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018

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.

GOOGLE MAPS. **Localização CAp-COLUNI Viçosa-MG**. 2016. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/CAp-COLUNI/@-20.7628702,-42.8684947,1761m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xA.45d0cad45b07d:0x55c82663d4802db6!8m2!3d-20.7620737!4d-42.8648688>>. Acesso em: abr. de 2019.

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. **Arquitetura escolar**: o projeto do ambiente de ensino. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

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>> Acesso em 26 fev. 2019.

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.

STEPHAN, Ítalo; GALVARRO, Skarlen F. S.; NASCIMENTO, Bruno Dalto do; CAVALCANTE GOMES, Elaine. **Campus da Universidade Federal de Viçosa, MG**. Oito décadas de arquitetura. *Arquitextos*, São Paulo, ano 11, n. 132.07, Vitruvius, maio 2011. Disponível em <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.132/3881>> Acesso em 09 abr.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.