



**WILDE LACERDA, MONUMENTO A GALILEU, 1973, ACERVO REITORIA.
FOTO: FOCA LISBOA.**

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS UNIVERSITÁRIOS:

a importância de uma perspectiva integrada para a adaptação aos novos tempos

MARINA DA SILVA GARCIA*

ISABELA CATARINA FERNANDES OLIVEIRA**

ROBERTA VIEIRA GONÇALVES DE SOUZA***

ILKA AFONSO REIS****

RESUMO Diversas transformações sociais, econômicas e ambientais se refletem no ensino e na prática universitária, sendo o ambiente universitário meio e abrigo de práticas que podem ser uma referência para a sociedade. Conhecimentos acumulados no âmbito da pesquisa podem orientar ações para maior sustentabilidade da universidade como um todo. As questões políticas de contingenciamento de verbas, as mudanças climáticas e os desafios ambientais e sanitários trazem à tona questões para a gestão universitária ligadas ao uso de seus edifícios. O presente artigo se propõe então a analisar o ambiente universitário em questões ligadas ao uso de energia e ao conforto ambiental. Questões estas que vão lidar com a economicidade dos espaços universitários e com a salubridade destes..

PALAVRAS-CHAVE Edifícios universitários. Eficiência energética em edifícios. Conforto térmico.

ABSTRACT Several social, economic and environmental changes are reflected in university teaching and practice, and the university environment houses practices that can be a reference for society. Accumulated knowledge in research can guide actions towards greater sustainability of the university as a whole. The political issues of budget constraints, climate change and environmental and health challenges raise issues for university management related to the use of its buildings. This article then proposes to analyze the university environment on issues related to the use of energy and environmental comfort. These issues will deal with the economics of university spaces and the salubrity of these spaces.

KEYWORDS University buildings. Energy efficiency in buildings. Thermal comfort.

* Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável – Escola de Arquitetura – Universidade Federal de Minas Gerais, marinagarcia.arq@gmail.com

** Graduanda na Escola de Arquitetura – Universidade Federal de Minas Gerais, isabelacatarina@outlook.com

*** Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo – Escola de Arquitetura – Universidade Federal de Minas Gerais, robertavgs@ufmg.br

**** Departamento de Estatística - Universidade Federal de Minas Gerais, ilka@est.ufmg.br

I. Introdução

Ao longo de sua história, a missão da universidade como instituição vem evoluindo, de modo a se adaptar às transformações sociais, econômicas e ambientais da civilização. A história da universidade reflete eventos que periodicamente abalam a humanidade, os quais são fatores motivadores da sua adaptação (SCOTT, 2006). Desde sua formação na Idade Média ao período pós-moderno, a missão (múltipla) da universidade evoluiu agregando o ensino, a pesquisa, a democratização, o serviço público e a internacionalização; sendo sempre o serviço à sociedade um valor fundamental (SCOTT, 2006). Atualmente, a missão da universidade tem sido entendida como o tripé: ensino, pesquisa e extensão (ALCOFORADO; COSTA; OLIVEIRA, 2020). Tendo em vista o conhecimento gerado no âmbito de sua missão, a universidade possui grande capacidade de impactar a sociedade, tanto pela formação de futuros tomadores de decisão quanto por ser referência de ações e estudos de caso que podem ser escalonados para outros níveis além de seu espaço físico, como bairros ou municípios (MOHAMMADALIZADEHKORDE; WEAVER, 2018).

No contexto global, a humanidade vem se deparando com o paradigma da busca pelo desenvolvimento sustentável, conceito estabelecido em 1987 (CMMAD, 1991), que vem se consolidando após evidências de aumento da temperatura, desertificação de regiões, enchentes, dentre outros problemas ambientais (IPCC, 2007). Assim, as agendas mundiais têm direcionado suas discussões para o tema da conservação do meio ambiente e mitigação das mudanças climáticas como forma de proteger tanto o patrimônio construído como a própria sobrevivência do homem na Terra (IPCC, 2019). Em 2015, as Nações Unidas (UN) desenvolveram 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), para promover o desenvolvimento sustentável, conhecido como Agenda 2030 (UN, 2015). Tendo em vista os intensos impactos causados internacionalmente pela pandemia do novo Coronavírus, recentemente, as

UN reforçaram a importância da busca pelos ODS como caminho para promover uma mudança profunda e sistemática em prol de uma economia mundial mais sustentável e resiliente (UN, 2020).

Somado aos desafios causados pelas mudanças climáticas, a situação mundial atual gerada pelo novo Coronavírus (*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2* ou *SARS-CoV-2*), que emergiu na cidade de Wuhan na China em dezembro de 2019, trouxe consigo a evidência de novos desafios para a civilização contemporânea (KRUGER, 2020), tendo em vista a possível permanência de infecções transmitidas pelo ar. Em 12 de março de 2020, a SARS-CoV-2 foi declarada como pandemia pela Organização Mundial da Saúde e, até o momento da escrita deste trabalho, ocasionou aproximadamente 71 milhões de casos confirmados e mais de 1,5 milhões de mortes no mundo (WHO, 2020). Os efeitos desta situação atingem todos os âmbitos da sociedade, agregando aos desafios já antes estabelecidos a necessidade de adaptações, principalmente as de ordem sanitária e econômica.

Portanto, os novos tempos para a universidade brasileira, como organização social diretamente relacionada ao contexto no qual se insere, se delineiam, dentre outros aspectos, como um período de enfrentamento de desafios relacionados ao ambiente e aos aspectos sanitários e econômicos. Ainda, no âmbito econômico, a universidade pública brasileira se insere em um contexto de recorrentes restrições orçamentárias (BRASIL, 2019 e BATISTA JR., 2019). Sendo assim, a eficiência no uso dos recursos públicos para a operação destas instituições se torna primordial para sua sustentabilidade. Tais desafios estão presentes em todas as atividades da universidade, incluindo a pesquisa, o ensino e a própria gestão de seus espaços físicos, sendo o último o foco do presente artigo.

Importante pontuar que as dimensões espaciais e acadêmicas de uma universidade são interdependentes, uma vez que as características físicas dos espaços exercem influência sobre as reações dos usuários e suas relações interpessoais, podendo favorecer ou inibir o alcance de objetivos organizacionais (OLDHAM; ROTCHFORD, 1983; EVANS; COHEN, 2004 e APPEL-MEULENBROEK *et al.*, 2018). Composições espaciais podem dar suporte à interação, à colaboração e à comunicação, contribuindo para a criatividade e a inovação (KASUGANTI, 2017). Nas universidades, por exemplo, ambientes projetados para proporcionar a convivência entre professores

e estudantes de certas áreas do conhecimento podem atuar como facilitadores para a troca de experiências e debates interdisciplinares. De maneira semelhante, a (im) permeabilidade do espaço universitário ao ambiente urbano de seu entorno pode afetar sua interação com a sociedade. Ainda, a flexibilidade das construções à adaptação para diferentes usos favorece que as atividades acadêmicas estejam alinhadas com o estado da arte das disciplinas (em constante transformação). Dentre as variadas maneiras como o espaço físico pode influenciar o projeto acadêmico, este trabalho aborda questões de uso de energia e conforto térmico dos ambientes universitários, que se relacionam com aspectos colocados pelo Plano de Desenvolvimento Institucional da UFMG (UFMG, 2018), referentes ao ambiente, à sustentabilidade, à saúde e bem-estar de seus usuários e à gestão administrativa.

1.1. Utilização de energia nas edificações das universidades

Segundo a *International Energy Agency* (IEA, 2019), a construção e operação de edifícios foi responsável por cerca de 40% do consumo final global de energia e das emissões de CO₂ do mundo em 2018. O uso, e, portanto, os custos, com energia assumem uma das maiores parcelas na operação e manutenção dos edifícios ao longo de sua vida útil (LEE; AUGENBROE, 2007). Neste sentido, a investigação de processos e tecnologias em prol da eficiência energética nos edifícios pode contribuir para a mitigação dos impactos gerados por este setor (CAO; DAI; LIU, 2016) e contribuir para a melhor gestão dos custos de operação dos edifícios (LEE; AUGENBROE, 2007). A busca pela maior eficiência energética no ambiente construído pode estar relacionada com três dos ODS: Saúde e bem-estar, Energia limpa e acessível, e Cidades e comunidades sustentáveis.

Diversas universidades no mundo já vêm direcionando seus esforços para aprimorar a eficiência energética em seus espaços físicos (PALETTA; BONOLI, 2019; KHOSHBAKHT, GOU; DUPRE, 2018 e DING *et al.*, 2018). Uma edificação pode ser considerada energeticamente eficiente se: apresentar equipamentos eficientes e materiais adequados ao local e às condições as quais está inserido; fornecer condições e serviços adequados ao uso para o qual foi projetado; e apresentar um gasto energético menor quando comparado a edificações similares (MEIER; OLOFSSON; LAMBERTS, 2002). O consumo de energia não deve ser o único critério analisado, pois o baixo

consumo de energia elétrica pode representar condições internas desconfortáveis ou poucas horas de ocupação (MEIER; OLOFSSON; LAMBERTS, 2002).

Khoshbakht, Gou e Dupre (2018) apresentaram uma revisão da literatura sobre análise energética de edifícios de Instituições de Ensino Superior (IES). Observou-se uma variação de 79 a 739 kWh/m²/ano entre as edificações analisadas, de climas subtropicais úmidos de diferentes países. Constatou-se que a atividade dos espaços estava intimamente relacionada ao uso de energia e que os laboratórios apresentaram consumo de energia consideravelmente superior a outras atividades como ensino, principalmente devido ao uso intenso de equipamentos e sistemas ar-condicionado. Estudo recente indica a adaptação do calendário acadêmico como estratégia para a redução do consumo energético dos edifícios universitários, de forma complementar a ações de retrofit (GUI; GOU; LU, 2021). Os autores verificaram 5% de redução de consumo energético a partir da adaptação de um calendário semestral para um trimestral (GUI; GOU; LU, 2021).

Ao passo que a eficiência energética dos edifícios universitários já vem sendo discutida, a atual pandemia enfatizou a necessidade da observação da capacidade de promover a saúde dos usuários e de adequação destes espaços a eventos extremos.

1.2. A saúde e o conforto térmico nos edifícios das universidades

O conceito de edifícios saudáveis apresenta-se como paradigma emergente na literatura. Um edifício saudável pode ser entendido como “um edifício, incluindo todos os seus sistemas, que promove e sustenta a saúde de seus ocupantes, como um estado de completo bem-estar físico, mental e social” (AWADA *et al.*, 2020, p. 2, tradução nossa).

Parte da capacidade de promoção da saúde dos edifícios depende da Qualidade Interna de seus Ambientes (QIA), que decorre de fatores como a qualidade do ar, iluminação, acústica, qualidade da água, organização espacial e conforto térmico, e seus efeitos psicológicos e fisiológicos nos usuários (AWADA *et al.*, 2020). Dentre os fatores que influenciam na promoção de saúde dos edifícios, o aspecto relacionado ao conforto térmico dos ambientes será o foco das análises desenvolvidas neste trabalho.

O conforto térmico é um estado de espírito no qual as pessoas se sentem satisfeitas com o ambiente térmico, o que é observado a partir de avaliações subjetivas (ASHRAE, 2013). A importância do conforto térmico baseia-se na satisfação do

homem, na conservação de energia e na produtividade. O último está associado à noção de que, quando adaptados ao ambiente físico, os sistemas regulatórios do corpo humano não são sobrecarregados, então a capacidade de participar das atividades é aprimorada (SIQUEIRA *et al.*, 2017). Em relação à sua importância para a saúde dos usuários, estudo de Siqueira *et al.* (2017) com estudantes universitários brasileiros em salas de aula com temperatura controlada mostraram que temperaturas do ar superiores a 27,9°C geraram elevação da frequência cardíaca, e que nas altas temperaturas os estudantes buscaram deixar o ambiente desconfortável mais rapidamente, reduzindo o tempo para a execução das tarefas. Piil *et al.*, (2020) constataram que a incidência solar direta em estudantes prejudicou o desempenho motor-cognitivo dos mesmos.

Do ponto de vista das estratégias para melhoria do conforto térmico de edifícios no Brasil, a insolação e a ventilação se destacam como as mais influentes, e possuem íntima relação com o consumo de energia (COSTA; FREIRE; KIPERSTOK, 2019 e Pereira; Souza, 2008). A ventilação consiste no processo de fornecer ar externo a um espaço ou edifício por meios naturais ou mecânicos (MORAWSKA *et al.*, 2020). No contexto da atual pandemia do SARS-CoV-2, Van Doremalen *et al.* (2020) indicaram que o vírus apresentou estabilidade em partículas transportadas pelo ar com meia-vida de mais de uma hora, podendo, portanto, ser potencialmente inalado por indivíduos suscetíveis e causando infecção e disseminação do vírus. Assim, em contextos sanitários extremos, como o atual, a ventilação como estratégia não só de conforto térmico, mas de promoção da saúde, ganhou maior relevância. Pesquisadores internacionais indicaram que há evidências suficientemente fortes para considerar o controle da ventilação nos ambientes internos como uma das maneiras de limitar o risco de infecção por transmissão aérea (MORAWSKA *et al.*, 2020). A ventilação dos ambientes é, portanto, um importante aspecto a ser considerado nas edificações, cuja relevância foi evidenciada na atual pandemia, mas cuja importância extrapola o contexto desta, dada a previsível recorrência de infecções transmitidas pelo ar.

Pesquisadores da Universidade de Cambridge, Bhagat *et al.* (2020), reforçam que as taxas de contaminação em ambientes internos são maiores do que as de ambientes externos, possivelmente pelo maior tempo de exposição somado às menores taxas de turbulência do ar. Os autores sugerem a consideração da concentração de CO₂ como um marcador de risco, no qual níveis de concentração acima de 750 p.p.m. podem in-

dicar ventilação inadequada e necessidade de medidas corretivas no espaço. Segundo Bhagat *et al.* (2020), a ventilação na qual ocorre a renovação do ar a partir da extração vertical do ar poluído (possivelmente contaminado) e quente próximo ao teto parece ser mais eficaz para minimizar os riscos de exposição à contaminação. Os autores sugerem a instalação de aberturas para exaustão do ar nas coberturas dos ambientes. Outras publicações científicas reiteram a importância da ventilação efetiva como forma de mitigação da transmissão do SARS-CoV-2, dada sua capacidade de remover ar exalado carregado de vírus, diminuindo assim a concentração geral e, portanto, qualquer dose subsequente inalada pelos ocupantes (SUN; ZHAI, 2020 e MORAWSKA *et al.*, 2020).

No caso dos edifícios públicos com ventilação natural, Morawska *et al.* (2020) reconhecem que a capacidade de ventilação efetiva dos ambientes depende de seu projeto arquitetônico, da utilização dos sistemas de portas e janelas, e das condições externas. Os autores concluem que as taxas de renovação de ar precisam ser estudadas individualmente para cada ambiente, que a recirculação de ar deve ser evitada e que os usuários devem ser informados de que o controle da ventilação é uma maneira efetiva para redução da transmissão do vírus (MORAWSKA *et al.*, 2020).

1.3. Objetivo do trabalho

Diante do cenário exposto, é notável a intrínseca relação entre os edifícios e o consumo de energia, assim como sua relação com o conforto térmico e com a salubridade e a saúde de seus usuários. Awada *et al.* (2020) afirmam que é possível que edifícios proporcionem bom desempenho energético e saúde aos usuários, desde que sejam operados com essa perspectiva multiobjetivo integrada. No Brasil, ainda não existe um método de avaliação da eficiência energética e conforto térmico para edifícios universitários em uso. Também não há literatura que descreva o consumo de energia elétrica de um complexo de *campi* universitários brasileiro, e a sua relação com o conforto térmico de seus usuários, para que metodologias de análise nesse sentido possam ser desenvolvidas.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi apresentar a caracterização do consumo de energia elétrica e do conforto térmico dos usuários de um *campi* universitário brasileiro, a fim de gerar o embasamento para desenvolvimento de metodologias de análise de eficiência energética de edifícios em uso desta tipologia e subsidiar a orientação de

ações no sentido de melhorar a adaptação dos edifícios das universidades públicas ao contexto atual. Um estudo de caso com edifícios de uma universidade pública federal foi desenvolvido.

2. Metodologia

A metodologia do trabalho envolveu o desenvolvimento de um estudo de caso com edifícios da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em Belo Horizonte. Inicialmente, foi realizada uma análise exploratória para analisar a pertinência da definição do estudo de caso. Em um segundo momento, foram feitas análises quantitativas a respeito do consumo de energia elétricas dos edifícios. Após essa identificação, foram aplicados questionários para a caracterização da experiência térmica¹ dos usuários nos edifícios durante os períodos de verão e de inverno. Por fim, os resultados foram analisados qualitativamente de modo a sugerir orientações para caminhos futuros. As etapas metodológicas citadas serão mais bem descritas a seguir.

¹ Termo utilizado de acordo com Giamalaki e Kolokotsa (2019).

2.1. Contextualização do estudo de caso e análise exploratória de edifícios de universidades públicas brasileiras

2.1.1. Breve apresentação do estudo de caso

A UFMG é uma instituição pública gratuita de ensino superior fundada em 1927, localizada na região Sudeste, a mais industrializada do Brasil, e possui três *campi*: o Pampulha, o Saúde (ambos em Belo Horizonte), e o Montes Claros, além de unidades isoladas na região centro-sul de Belo Horizonte (MEC; UFMG, 2017). O Pampulha é composto por 81 prédios com uma área total de 452.617 m² e o Saúde por 20, com área construída de 110.724 m².

Os edifícios da UFMG em Belo Horizonte foram construídos entre 1926 e 2018, com ambientes de ensino, laboratórios, escritórios administrativos, serviços, salas de conferência, entre outros, e são condicionados de formas variadas, com ampla utilização da ventilação natural. A Universidade conta hoje com uma edificação etiquetada pelo PROCEL Edifica, a Escola de Arquitetura, e com uma edificação em processo de

análise de eficiência energética, o anexo da Escola de Belas Artes. No entanto, ainda não possui sistema de avaliação de consumo de energia elétrica para os edifícios em uso dos *campi* como um todo. Em conversa com funcionário do Departamento de Projetos da UFMG, foi relatado que há aumento da demanda por instalação de equipamentos de ar-condicionado para conforto térmico, porém, por questões orçamentárias, a Universidade adotou a diretriz de proibir tais instalações.

Por sua escala e pluralidade de atividades, considerou-se que o uso dos *campi* da UFMG na cidade de Belo Horizonte seria pertinente para as análises a serem desenvolvidas no presente trabalho, o que foi verificado a partir da análise exploratória das características de edificações universitárias em diferentes regiões do Brasil, conforme descrito a seguir.

2.1.2. Contextualização: análise exploratória de edifícios universitários públicos

Com o objetivo de contextualizar as características comumente encontradas nos prédios de universidades públicas brasileiras, e comparar o estudo de caso (edifícios da UFMG) frente ao cenário nacional, foi desenvolvida uma análise exploratória das características arquitetônicas dos edifícios de universidades em diferentes regiões do Brasil. Essa etapa foi feita a partir do levantamento fotográfico nos *sites* das instituições e de análises visuais a partir da plataforma *online* Google Earth®. Os aspectos analisados foram a quantidade de pavimentos, características volumétricas e tipos de condicionamento de ar encontrados. Foram analisados 182 edifícios de universidades brasileiras, sendo 8 edifícios da UFMG e 174 de diferentes regiões do Brasil.

Em relação aos tipos de condicionamento de ar, considerou-se o edifício como *ventilado naturalmente* quando nenhum equipamento de ar-condicionado foi identificado nas imagens do Google Earth®. Considerou-se o condicionamento como *misto* quando aparelhos de ar-condicionado foram identificados nas fachadas, e como *artificial* quando unidades de VRF ou *chillers* foram identificados nas imagens aéreas. A Figura 1 mostra um exemplo da identificação do sistema de condicionamento de ar.

Figura 1- Exemplo de identificação do tipo de condicionamento de ar: tipo misto (unidades de ar-condicionado)



Fonte: As autoras

Os levantamentos foram realizados em uma amostra aleatória de edifícios dos *campi* das universidades públicas de cada região do Brasil, considerando ao menos duas por região. As análises comparativas com a amostra obtida da UFMG foram feitas a partir da comparação quantitativa dos dados levantados e de análises visuais das imagens coletadas.

2.2. Análise do consumo de energia elétrica dos edifícios da UFMG

A análise a respeito do consumo de energia elétrica dos edifícios da UFMG seguiu as seguintes etapas: levantamento de dados primários, organização dos dados primários para a geração de valores de consumo de energia elétrica anual de cada prédio, cálculo do *Energy Use Intensity* (EUI) (kWh/m²/ano) para os edifícios da amostra e análise estatística descritiva dos dados levantados.

A etapa de levantamento de dados primários envolveu a obtenção dos consumos anuais de energia elétrica a partir das contas da companhia distribuidora (CEMIG) junto à Pró-Reitoria de Administração (PRA/UFMG) e ao Departamento de Manutenção e Operação da Infraestrutura (DEMAI/UFMG). As contas de quatro anos (2015 a 2018) foram coletadas para a determinação de um consumo anual médio, para que o impacto de eventuais greves e paralizações fosse minimizado nas análises desenvolvidas. As características arquitetônicas dos edifícios da UFMG foram obtidas por meio dos projetos arquitetônicos, cedidos pelo Departamento de Planejamento e Projetos (DPP/UFMG).

Em um segundo momento, a contabilização e compatibilização das unidades consumidoras e dos seus respectivos edifícios foi feita, para que se pudesse posteriormente calcular o EUI de cada edifício. Tal etapa foi necessária pois, em alguns casos, houve prédios com mais de uma unidade consumidora e, em outros, unidades consumidoras que contabilizavam o consumo de mais de um prédio. Esta identificação foi realizada junto a funcionários do DEMAI.

Em um terceiro momento, realizou-se o cálculo do EUI para os edifícios da amostra a partir de planilhas eletrônicas, nas quais foram considerados o consumo de energia anual médio de 2015 a 2018 e a área construída total obtida pelos projetos arquitetônicos. Por fim, efetuou-se a análise estatística descritiva dos dados levantados e seu agrupamento em subconjuntos: divisão de prédios por tipo de atividade e análise de sua representatividade dentro do consumo do conjunto de edificações da UFMG em Belo Horizonte. Considerando que a Universidade comporta em seus espaços grande variedade de atividades e que há, ainda, diferentes tipos de atividades em cada edifício, cada prédio foi classificado a partir de sua atividade principal. *Unidades Acadêmicas* referem-se aos prédios cuja principal atividade é a de ensino e aprendizagem tradicional, *Laboratórios* referem-se aos prédios cuja principal atividade é a de laboratórios de pesquisa, *Administrativos* referem-se aos prédios cuja principal atividade é a administrativa e *Serviços/Outros* referem-se aos prédios cujas principais funções sejam diferentes das opções anteriores, como restaurantes universitários.

2.3. Questionário sobre os tipos de sistemas de ventilação e experiência térmica dos usuários da UFMG

A aplicação do questionário estruturado pretendeu investigar a inserção de sistemas de ar-condicionado em edifícios da UFMG, bem como a experiência térmica dos ocupantes, que está sujeita às memórias dos usuários sobre experiências já vividas. As questões relacionadas aos sistemas de ar-condicionado foram baseadas na revisão de literatura, onde verificou-se que sua adoção influencia no consumo de energia dos edifícios de IES e pode ser variada de acordo com os usos do espaço. A análise da experiência térmica incorporou questões sobre os Votos de Sensação Térmica (VST), Preferência Térmica (VPT) e de Aceitabilidade Térmica (VAT) (GIAMALAKI; KOLOKOTSA, 2019; RUPP; GHISI, 2019; TOE; KUBOTA, 2013). O Percentual de

Pessoas Desconfortáveis (PPD) foi calculado com base na ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013). A mesma norma indica que a satisfação térmica dos usuários pode ser estudada ao longo do tempo (três a seis meses) (ASHRAE, 2013). Assim, as questões referentes a este assunto consideraram as duas estações extremas: verão e inverno (dezembro a março e junho a setembro, respectivamente).

O questionário foi estruturado em três partes: 1) caracterização da amostra; 2) caracterização dos sistemas de ar-condicionado adotados por usos de espaços; e 3) caracterização da experiência térmica durante o inverno e o verão, por usos do espaço. Foi realizado um estudo piloto com pesquisadores e alunos do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído (LABCON/UFMG), garantindo a coerência das questões e do vocabulário. A Tabela 1 mostra os itens dos questionários. É importante ressaltar que a aplicação do questionário faz parte de pesquisa mais abrangente do cenário nacional, enquanto o presente artigo traz seus resultados estratificados para os respondentes da universidade estudada (UFMG).

Tabela 1- Itens dos questionários.

Sobre o respondente	
1) Você frequenta edifícios de instituições de ensino superior no Brasil? ¹	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
2) Sexo:	<input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Feminino <input type="checkbox"/> Não definido (ND)
3) A instituição que você frequenta é:	<input type="checkbox"/> Pública <input type="checkbox"/> Privada <input type="checkbox"/> Outro: _____
4) Que atividade você exerce nessa instituição?	<input type="checkbox"/> Professor <input type="checkbox"/> Funcionário técnico/administrativo <input type="checkbox"/> Est. graduação <input type="checkbox"/> Est. pós-graduação <input type="checkbox"/> Outro: _____
5) Qual instituição de educação superior você frequenta? _____	
Sobre os sistemas de condicionamento de ar	
6) Quais, ou qual, tipo(s) de sistema de condicionamento de ar você encontra nas Unidades Acadêmicas que você frequenta? (você pode escolher mais de uma alternativa). ²	<input type="checkbox"/> Ventilação natural <input type="checkbox"/> Ventiladores <input type="checkbox"/> Ar condicionado de janela <input type="checkbox"/> Não sei/não se aplica <input type="checkbox"/> Ar condicionado split <input type="checkbox"/> Ar condicionado central
7) Indique qual tipo de sistema de condicionamento de ar você encontra predominantemente nos ambientes das Unidades Acadêmicas que você frequenta. ²	<input type="checkbox"/> Ventilação natural <input type="checkbox"/> Ventiladores <input type="checkbox"/> Ar condicionado de janela <input type="checkbox"/> Não sei/não se aplica <input type="checkbox"/> Ar condicionado split <input type="checkbox"/> Ar condicionado central
Sobre a experiência térmica	
8) Indique qual a sua percepção em relação à sua <u>sensação</u> térmica nos ambientes das Unidades Acadêmicas que você frequenta no <u>verão</u> , em geral. ³	<input type="checkbox"/> Muito quente <input type="checkbox"/> Quente <input type="checkbox"/> Levemente quente <input type="checkbox"/> Confortável <input type="checkbox"/> Levemente frio <input type="checkbox"/> Frio <input type="checkbox"/> Muito frio <input type="checkbox"/> Não sei/não se aplica
9) Indique qual a sua percepção em relação à sua <u>preferência</u> térmica nos ambientes das Unidades Acadêmicas que você frequenta no <u>verão</u> , em geral. ³	<input type="checkbox"/> Mais quente <input type="checkbox"/> Assim mesmo <input type="checkbox"/> Mais frio
10) Indique qual a sua percepção em relação à sua <u>aceitabilidade</u> térmica nos ambientes das Unidades Acadêmicas que você frequenta no <u>verão</u> , em geral. ³	<input type="checkbox"/> Aceitável <input type="checkbox"/> Inaceitável

¹ Perguntas compulsórias. Respondentes só acessavam próximas perguntas se respondessem "Sim".

² Questões repetidas para cada tipo de uso dos espaços: Salas de aula, Bibliotecas, Laboratórios de pesquisa e informática, Laboratórios de equipamento e Gabinetes de professores/administrativos.

³ Questões também repetidas para a estação do inverno.

Fonte: As autoras

Foram considerados os mesmos tipos de uso dos edifícios utilizados nas análises de consumo de energia elétrica. As opções de sistemas de ar condicionado foram: ventilação natural, ventiladores, ar-condicionado de janela, ar-condicionado *split* e/ou ar-condicionado central. No Brasil, e na UFMG, o uso de aquecimento ativo é muito raro, por isso não foi incorporado na pesquisa. Os usos dos ambientes analisados foram: Salas de Aula, Bibliotecas, Laboratórios de Pesquisa e Informática (aqueles em que os únicos equipamentos são computadores), Laboratórios de Equipamentos (aqueles que são compostos por outros equipamentos que não computadores, geralmente com maior uso de energia) e Gabinetes de Professores/Salas administrativas. As perguntas indicaram à percepção dos respondentes, não a uma avaliação técnica realizada pelos autores.

O questionário foi aplicado com a plataforma *online* Google Forms de julho de 2019 até fevereiro de 2020. O público-alvo foi os usuários dos prédios da UFMG: alunos, professores e funcionários. Os respondentes foram contatados por e-mail e grupos de mídia social. Os e-mails foram coletados nos sites dos cursos e os grupos selecionados nas redes sociais eram aqueles normalmente frequentados por alunos, pesquisadores e professores. Todas as respostas foram voluntárias e anônimas, e foram consideradas válidas quando os respondentes indicaram frequentar os edifícios da UFMG e o questionário foi totalmente preenchido.

Considerando a complexidade de usos prediais das universidades (DING *et al.*, 2018), no que se refere à experiência térmica, o presente trabalho se concentrou em documentar e descrever as respostas relativas às edificações com atividades de ensino e aprendizagem (Unidades Acadêmicas) da UFMG. Esta escolha se deu pois estes são os edifícios nos quais os alunos passam a maior parte do tempo durante seu período na Universidade.

Com base no elevado número de usuários dos edifícios da UFMG, estatisticamente, o universo foi considerado infinito em relação à amostra.

3. Resultados e Discussão

3.1. Contextualização do estudo de caso em relação ao cenário nacional

Como resultado da análise exploratória em amostra aleatória, a Figura 2 mostra imagens de prédios de diferentes universidades do país, enquanto a Figura 3 mostra imagens de edificações da UFMG em Belo Horizonte.

A partir de uma análise visual da Figura 2, observa-se que os edifícios das universidades públicas brasileiras não são iguais entre si, porém seguem certo padrão de volumetria horizontalizada (proporcionalmente poucos andares e grande área de projeção da cobertura). Percebe-se que muitos deles apresentam elementos de proteção solar em suas fachadas. Também nota-se a presença de cores escuras em algumas fachadas e coberturas, mesmo em cidades de climas quentes (Figura 2a).

Figura 2- Imagens de edifícios de universidades públicas do Brasil.



(a) Prédio de Ciências Sociais



(b) Campus Tancredo Neves – UFSJ



(c) Campus Vitória da Conquista – UFBA



(d) Instituto de Matemática e Estatística – UFBA



(e) Centro de aulas Baru – UFG



(f) Centro de Artes e Comunicação – UFPE

Figura 3- Imagens de edifícios da UFMG



(a) Instituto de Ciências Exatas



(b) Faculdade de Farmácia



(c) Escola de Música



(d) Escola de Veterinária



(e) Faculdade de Ciências



(f) Faculdade de Odontologia

Ao analisar a Figura 3, percebe-se que os edifícios universitários não são iguais nem mesmo dentro da mesma universidade. No entanto, as semelhanças notadas no cenário nacional também foram percebidas entre os edifícios da UFMG, em relação à volumetria, presença de proteções solares e existência de envoltórias com cor escura, em alguns casos (como em parte da Figura 3a). Estas análises são um indício da pertinência do uso dos edifícios da UFMG como estudo de caso da presente pesquisa. O Gráfico 1 mostra os resultados do levantamento de número de pavimentos da amostra e a Tabela 2 mostra a estatística descritiva básica da quantidade de pavimentos levantados.

Percebe-se que a característica mais comum das edificações de universidades públicas brasileiras, no que se refere ao número de pavimentos, é a existência de prédios baixos (Gráfico 1). Este comportamento ocorre tanto no cenário nacional como na UFMG.

Gráfico 1- Números de pavimentos das Unidades Acadêmicas de universidades públicas brasileiras

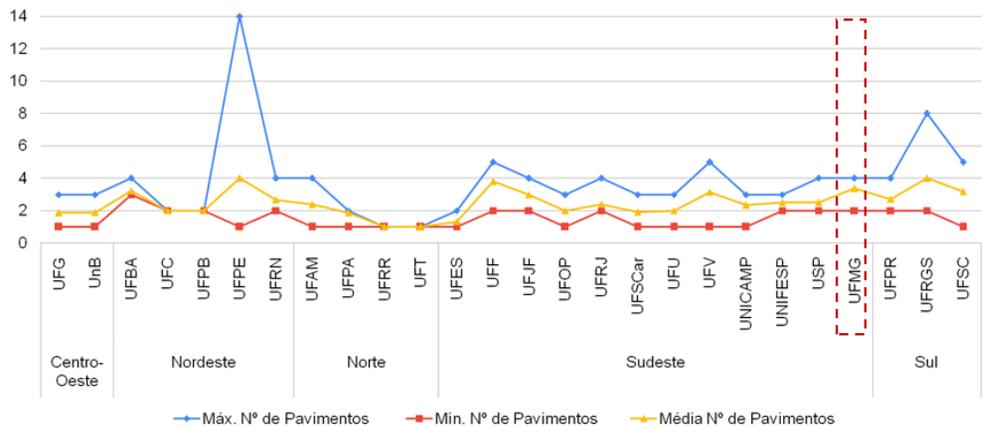
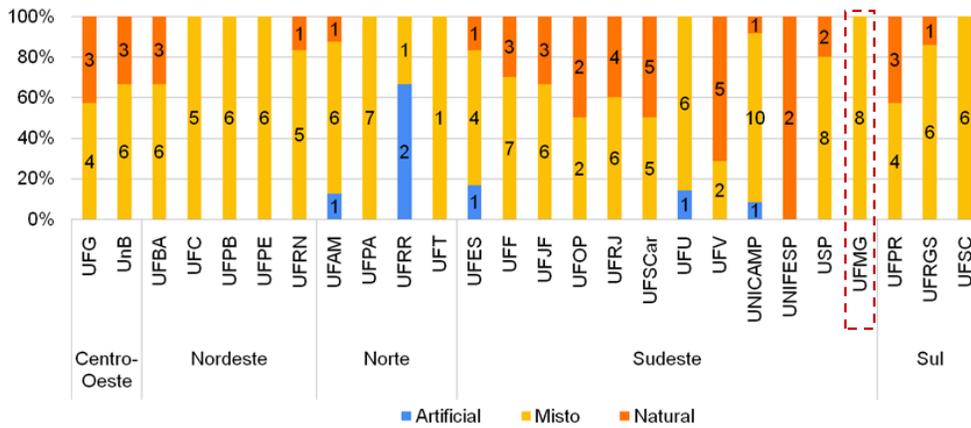


Tabela 2- Número de pavimentos dos edifícios da amostra

	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio-padrão	Coef. de variação
Brasil (n=174)	14	1	2,5	2	1,4	0,6
UFMG (n=8)	4	2	3,4	4	0,9	0,3

Com a Tabela 2, observa-se que o número de pavimentos dos edifícios foi mais variável no cenário nacional do que na UFMG. No entanto, isto pode ter ocorrido por conta da amostra selecionada. A média e mediana do número de pavimentos da UFMG nesta amostra de prédios estiveram próximas dos valores das outras universidades: entre 2 e 4 pavimentos, representando um indício da pertinência da utilização dos prédios da universidade escolhida como estudo de caso. O Gráfico 2 mostra os tipos de condicionamento de ar identificados a partir da análise visual no Google Earth®.

Gráfico 2- Tipos de sistema de ventilação dos edifícios de universidades no Brasil

Observa-se que o sistema de condicionamento de ar predominante nos edifícios universitários do Brasil é o misto, e que este também é o tipo de sistema encontrado na amostra coletada da UFMG. Ressalta-se que, neste trabalho, a categoria de sistema de ventilação misto foi considerada para prédios nos quais foram identificados aparelhos condensadores de ar individuais nas fachadas ou cobertura.

Com base nesta análise exploratória, foi possível perceber que as edificações da UFMG possuem similaridade com as edificações universitárias de outras áreas do Brasil, tanto em termos volumétricos e de tratamento de fachadas como na quantidade de pavimentos e no tipo de sistema de ventilação, corroborando assim a pertinência de utilizar seus edifícios como estudo de caso para o presente trabalho.

3.2. O consumo de energia elétrica dos edifícios da UFMG

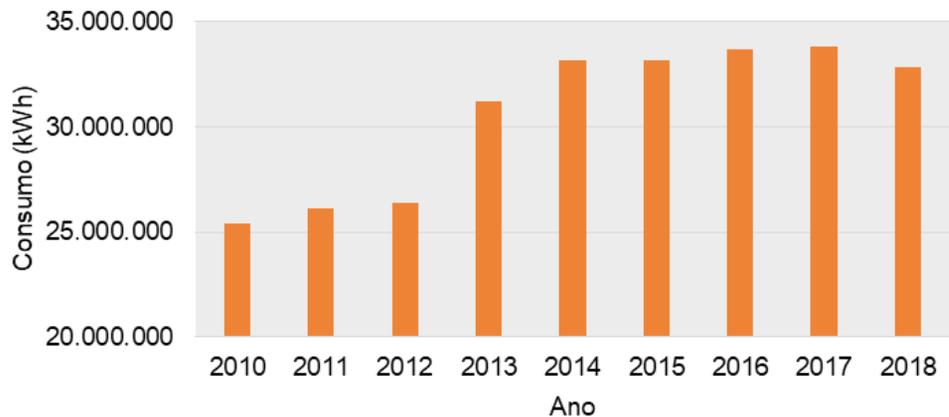
A Tabela 3 apresenta a quantidade de edifícios e de unidades consumidoras (UCs) dos *campi* da UFMG em Belo Horizonte, após as etapas de coleta de dados primários e tratamento dos dados. Para a contabilização de prédios, foram desconsideradas guaritas, casas de máquina e prédios cujos a UFMG não é responsável pelo pagamento das contas de energia elétrica, como os Hospitais do Saúde. A amostra obtida foi equivalente a 100% do universo. As Unidades Isoladas referem-se aos edifícios que se encontram ao longo da cidade, não estando concentrados nos *campi* da Pampulha nem Saúde.

Tabela 3- Quantidade de edifícios e unidades consumidoras da UFMG em Belo Horizonte

<i>Campus/Unidades isoladas</i>	Quantidade de edifícios	Frequência relativa	Quantidade de UCs*
<i>Campus Pampulha</i>	81	63,8%	55
<i>Campus Saúde</i>	7	5,5%	5
<i>Unidade Isoladas</i>	39	30,7%	10
Total	127	100%	70

*UCs: Unidades Consumidoras.

A energia utilizada pela UFMG é predominantemente elétrica, com um caso de energia solar fotovoltaica na biblioteca do Saúde. O Gráfico 3 mostra a evolução de consumo total de energia elétrica da UFMG em Belo Horizonte entre os anos 2010 e 2018. Os dados mostram um aumento médio de consumo de energia elétrica de 3% ao ano entre 2010 e 2018. O aumento considerável observado entre 2012 e 2013 foi possivelmente ocasionado pela expansão acarretada pelo programa governamental REUNI (Reestruturação e Expansão das Universidades Federais), a partir do qual houve o aumento do número de vagas e aberturas de cursos noturnos nas unidades acadêmicas; já que, na UFMG, o cronograma para realização das expansões viabilizadas pelo REUNI foi de 2008 a 2012. Entre 2013 e 2018, o aumento de consumo de energia elétrica foi de, em média, 1% ao ano, possivelmente influenciado pela desaceleração econômica do país entre 2015 e 2016, além de restrições orçamentárias governamentais que ocorrem até os dias atuais.

Gráfico 3- Evolução de consumo de energia elétrica anual nos *campi* da UFMG em Belo Horizonte, de 2010 a 2018

A partir da análise de relatórios cedidos à pesquisa pela PRA, observou-se que os custos relacionados ao consumo energético dos *campi* em Belo Horizonte representaram 71% das despesas de operação dos edifícios (considerando energia elétrica, água e esgoto), entre os anos de 2015 a 2018, com um custo médio de R\$ 18,8 milhões por ano. Tendo em conta a alta representação dos custos com energia elétrica para a operação dos *campi* e os recorrentes arrochos orçamentários (BRASIL, 2019), reforça-se a pertinência dos estudos relacionados à melhoria da eficiência energética das edificações universitárias.

O Gráfico 4 foi desenvolvido a partir dos cálculos de EUI considerando todos os 127 edifícios, e o O Gráfico 5 apresenta o EUI a partir da setorização de tipos de uso dos mesmos. O maior consumo de energia elétrica por área observado foi de 449 kWh/m²/ano (referente a um prédio de Laboratório) e o menor de 8,41 kWh/m²/ano (referente a uma Unidade Acadêmica). A média de consumo por área do conjunto de prédios foi de 86,6 kWh/m²/ano e a mediana 50,9 kWh/m²/ano.

Gráfico 4 - Frequência de ocorrência de EUI (kWh/m²/ano) da amostra de edifícios da UFMG em Belo Horizonte (n=127)

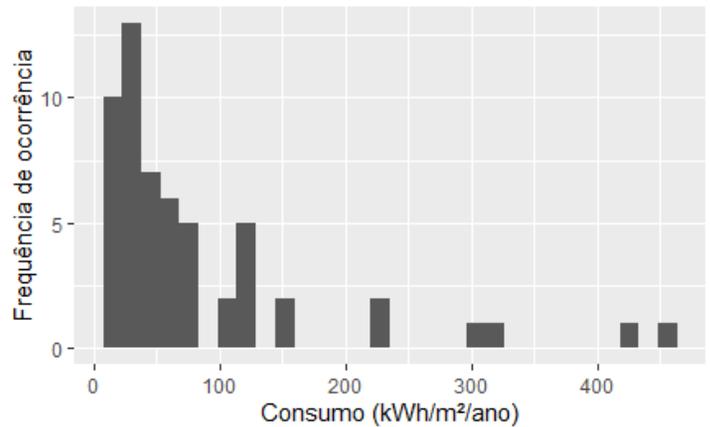
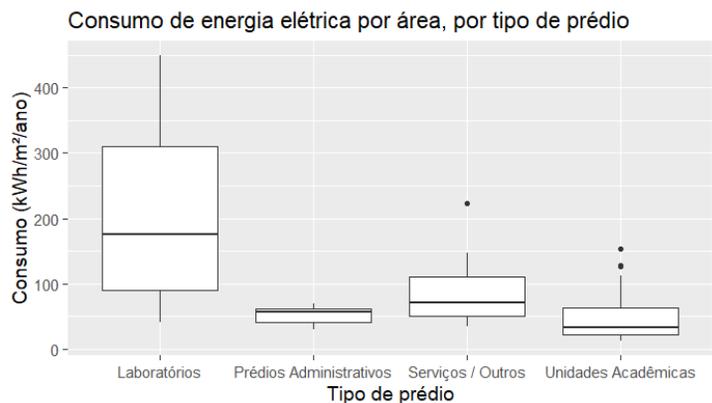


Gráfico 5 - EUI (kWh/m²/ano) por tipo de prédio (n=127)



A partir do Gráfico 4 e da diferença entre média e mediana, percebe-se que a distribuição de frequências de consumo de energia elétrica anual por área é assimétrica com cauda à direita – existe maior concentração de prédios com EUI menores do que 100 kWh/m²/ano.

A partir do Gráfico 5, pode-se observar, em relação à uniformidade de EUI, que as tipologias com maior uniformidade são, respectivamente: os prédios Administrativos, as Unidades Acadêmicas, os prédios de Serviço/Outros e, por último, os Laboratórios. Nota-se ainda que a tipologia de Laboratórios possui a maior mediana de consumo dentre todas as tipologias, como esperado, devido à existência de mais equipamentos nestes espaços, o que aumenta sua densidade de carga instalada. As Unidades Acadêmicas e os edifícios de Serviços/Outros apresentaram *outliers*, valores que se diferenciaram significativamente dos outros. Nas Unidades Acadêmicas os *outliers* foram prédios das áreas das Ciências Exatas e Biológicas, com 153 kWh/m²/ano e 121,5 kWh/m²/ano, respectivamente. Nos prédios de Serviços/Outros o *outlier* foi um restaurante universitário, com 221,6 kWh/m²/ano. De forma complementar, a Tabela 4 apresenta os valores totais de área construída (m²) e de consumo de energia elétrica anual de cada tipologia estabelecida.

Com a Tabela 4, nota-se que as Unidades Acadêmicas apresentam maior percentual tanto de área construída (80%) como de consumo anual de energia elétrica (79%) em relação ao restante das edificações da UFMG em Belo Horizonte. Nota-se também que, em relação ao EUI (kWh/m²/ano), os Laboratórios consomem, em média, aproximadamente 3 vezes mais do que as demais tipologias (com aproximadamente 150 kWh/m²/ano), além de apresentarem a maior relação entre proporção de consumo e proporção de área – ou seja, representam pouco percentual em relação à área total construída (3%), e um percentual mais de duas vezes maior em relação ao consumo energético total (7%).

Tabela 4- Área construída total e consumo anual total de energia elétrica das edificações da UFMG em Belo Horizonte

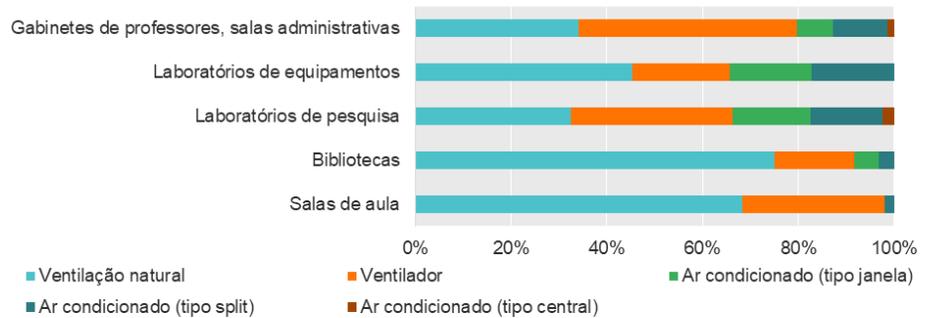
Tipologias	Qt.	Área Construída (m ²)	Proporção em relação à área total (%)	Consumo anual total (kWh/ano)	Proporção em relação ao consumo total (%)	EUI (kWh/m ² /ano) geral da tipologia
Uni. Acadêmicas	37	438.598,90	80%	25.397.035,25	79%	57,90
Laboratórios	20	16.074,00	3%	2.390.735,75	7%	148,73
Administrativos	6	30.984,00	6%	2.048.108,00	6%	66,10
Serviços/Outros	64	59.411,94	11%	2.507.503,33	8%	42,21
Total	127	545.068,84	100%	32.343.382,33	100%	

Tendo em vista a significativa influência das Unidades Acadêmicas no consumo geral de energia elétrica da UFMG, e, portanto, também no custo de operação, considera-se que prédios com esta atividade devem ser estudados de modo aprofundado. Portanto, a seção seguinte do trabalho irá apresentar os resultados sobre a experiência térmica dos usuários de Unidades Acadêmicas.

3.3. Respostas dos usuários de Unidades Acadêmicas da UFMG em relação ao tipo de sistema de condicionamento de ar sua experiência térmica no verão e no inverno

Foram obtidas, ao todo, 108 respostas válidas de usuários da UFMG. Aproximadamente 70% dos respondentes foram mulheres e 30% homens. Aproximadamente 6% indicaram ser professores, 47% alunos de graduação, 39% alunos de pós-graduação, 5% funcionários técnico-administrativos e 2% outros (geralmente pesquisadores).

Em relação aos tipos de sistema de condicionamento de ar encontrados nas Unidades Acadêmicas da UFMG, a ventilação natural foi indicada como a mais encontrada (52% das respostas), sendo seguida pelo uso de ventiladores (35%). O uso de aparelhos de ar-condicionado foi pouco expressivo nas Unidades Acadêmicas da UFMG, representando 6%, 5% e 2% para aparelhos do tipo janela, *split* e central, respectivamente. Para a melhor compreensão a respeito da distribuição do uso de sistemas de ventilação nas edificações, o Gráfico 6 mostra os sistemas de condicionamento de ar indicados como encontrados predominantemente em cada tipo de ambiente das Unidades Acadêmicas da UFMG.

Gráfico 6- Sistemas de condicionamento de ar indicados como predominantes pelos usuários de Unidades Acadêmicas da UFMG, por tipo de ambiente

De acordo com as respostas dos usuários, a ventilação natural é predominante em aproximadamente 70% de salas de aula e bibliotecas, ambientes utilizados pela maioria dos alunos frequentadores destes edifícios, enquanto a utilização de aparelhos de ar-condicionado é mais comum em laboratórios (ambos os de pesquisa e informática e os de equipamentos), seguido pelos gabinetes de professores, ou seja, em ambientes de caráter mais restrito (Gráfico 6). Sabe-se que, assim como o projeto arquitetônico, o tipo de condicionamento de ar utilizado nos ambientes tem forte influência tanto no consumo de energia elétrica quanto no conforto térmico dos usuários (KHOSHBAKHT, GOU; DUPRE, 2018 e COSTA; FREIRE; KIPERSTOK, 2019) Assim, em seguida serão expostos os resultados a respeito da experiência térmica dos usuários. Na Tabela 5, são apresentados os resultados de VST e PPD calculados com base nos votos dos usuários de Unidades Acadêmicas da UFMG, por ambiente.

Tabela 5- Valores de Votos de Sensação Térmica (VST) e Percentual de Pessoas Desconfortáveis (PPD) calculado com base nos votos, dos usuários de Unidades Acadêmicas da UFMG, por ambiente

			Salas de aula	Bibliotecas	Laboratórios de pesquisa	Laboratórios de equipamentos	Gab. de prof./ Salas administ.
UFMG	Verão	VST	2,4	1,7	1,4	1,3	1,5
		PPD	90,1	62,3	46,6	40,7	48,3
	Inverno	VST	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4
		PPD	11,6	10,6	9,5	10,9	8,0

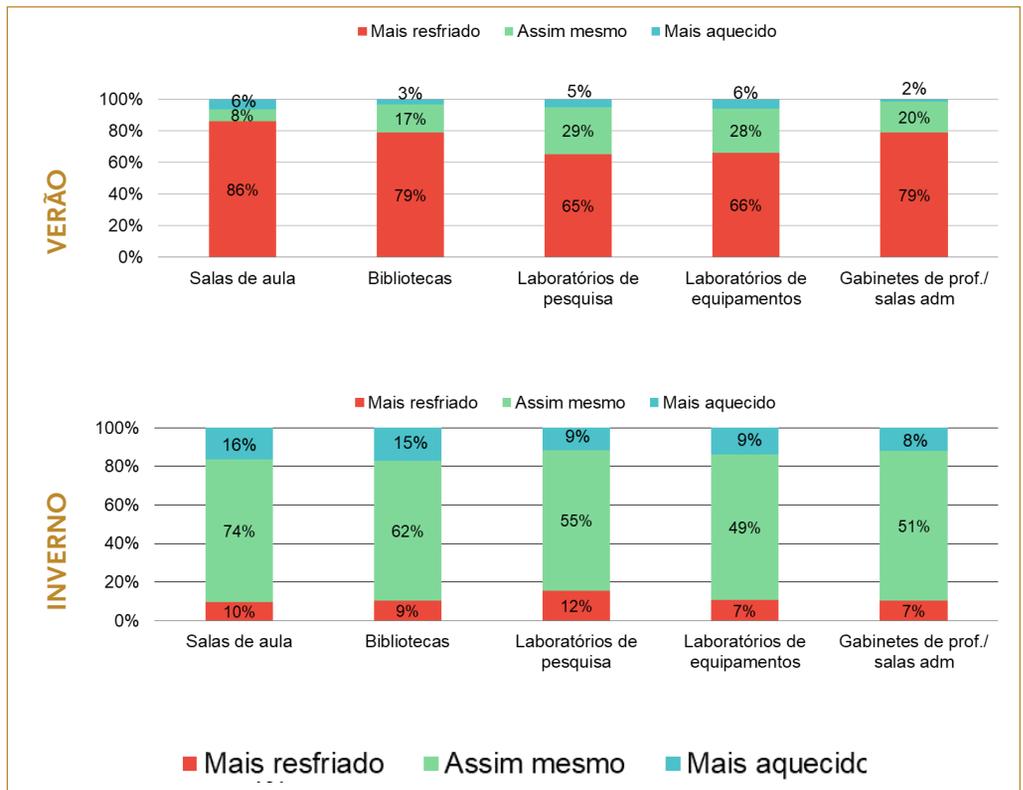
* Em azul: valores de VST indicativos de desconforto por frio; Em vermelho: valores de VST indicativos de desconforto por calor; Em verde: valores de VST indicativos de neutralidade térmica.

Observando a Tabela 5 e considerando os limites indicados pela literatura para o conforto térmico de VSTs entre $-0,5$ e $+0,5$ (ASHRAE, 2013), nota-se que, no verão, há valores indicativos de forte desconforto térmico por calor em todos os ambientes, sendo as Salas de aula os ambientes com situação mais crítica, seguidos pelas Bibliotecas, Gabinetes e, por fim, Laboratórios. O desconforto térmico por calor nas Salas de aula no verão atingiu o percentual máximo de 90% de pessoas insatisfeitas, quando o recomendável pela literatura seria no máximo 10% (ASHRAE, 2013). No inverno, as respostas dos usuários indicaram leve desconforto por frio nas Salas de aula e valores indicativos de neutralidade térmica nos demais ambientes. Os valores de PPD para o período do inverno se aproximaram do limite indicado pela literatura em todos os ambientes. O Quadro 1 apresenta os resultados em relação à preferência térmica indicada pelos usuários, para os períodos de verão e inverno, por ambiente.

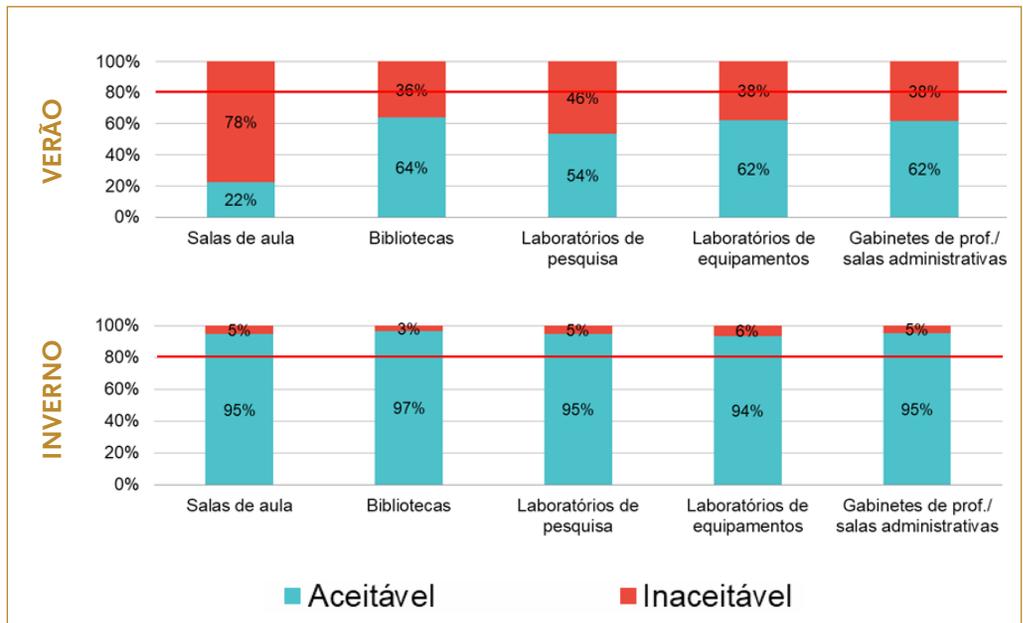
Os usuários das Unidades Acadêmicas da UFMG indicaram preferir, em sua maioria, que todos os ambientes fossem mais resfriados durante o verão, com destaque para os ambientes de Salas de aula, Bibliotecas e Gabinetes de professores e salas administrativas. No inverno, a maioria dos usuários apontaram preferência pela manutenção das condições térmicas como “estão” em todos os ambientes. O Quadro 2 apresenta os resultados referentes à aceitabilidade térmica, no verão e inverno, por ambientes, indicada pelos respondentes.

Observou-se, nas Unidades Acadêmicas da UFMG, que nenhum ambiente alcançou o nível mínimo de 80% de aceitabilidade (ASHRAE, 2013) durante o verão. Pelo contrário, nas Salas de aula, aproximadamente 80% dos usuários descreveram o ambiente térmico como inaceitável neste período. Nos outros ambientes, os percentuais de inaceitabilidade variaram entre 36% e 46%. No inverno, todos os ambientes ultrapassaram o nível mínimo estabelecido pela normativa internacional, de 80%.

Quadro 1- Preferência térmica em ambientes de Unidades Acadêmicas da UFMG



Quadro 2- Aceitabilidade térmica em ambientes de Unidades Acadêmicas da UFMG



3.4. Abordagem integrada sobre eficiência energética e conforto térmico para a adaptação dos edifícios universitários aos novos tempos

A partir dos resultados de EUI obtidos para os prédios da UFMG, percebe-se que, comparativamente, o EUI dos prédios analisados está próximo aos consumos mais baixos de *campi* universitários de outras partes do mundo: EUI médio de 86,6 kWh/m²/ano frente ao intervalo de 79 a 739 kWh/m²/ano indicado por Khoshbakht, Gou e Dupre (2018). No entanto, é importante ressaltar o conceito de eficiência energética de Meier, Olofsson e Lamberts (2002), o qual indica que o baixo consumo energético pode ser indicativo de baixo conforto térmico ou de poucas horas de uso do edifício. Reforça-se que o conforto térmico nos ambientes exerce influência na saúde e na produtividade dos usuários (SIQUEIRA *et al.*, 2017), e, portanto, deve ser analisado.

No caso das Unidades Acadêmicas da UFMG, a partir das respostas do questionário sobre a experiência térmica, foram observados problemas de acentuado desconforto por calor no verão em todos os ambientes, principalmente nas Salas de aula. Considerando que o ensino e aprendizagem fazem parte da missão das universidades, que estas atividades requerem elevado nível de concentração (SINGH *et al.*, 2019) e que ocorrem principalmente nas Salas de aula, os resultados deste trabalho apontam para a necessidade do planejamento de ações corretivas para a melhor o conforto térmico, e, assim, a saúde e desempenho, dos usuários das Salas de aula da UFMG.

Tendo em vista ainda as recomendações de pesquisadores em relação à efetiva ventilação que garanta a renovação de ar como uma das formas de reduzir os riscos de contágio no caso de eventos extremos de saúde pública, como a atual pandemia de SARS-CoV-2; e o fato de que as Salas de aula da UFMG (ambientes que possuem maior densidade de ocupação) possuem predominante uso da ventilação natural, os resultados deste estudo apontam para a necessidade de análises mais aprofundadas a respeito das condições de ventilação natural nestes ambientes. A capacidade de extração do ar poluído (e possivelmente contaminado) nas camadas superiores das salas deve ser analisada, conforme indicações de Bhagat *et al.* (2020).

Considerando a proibição de instalação de novos aparelhos de ar-condicionado para conforto térmico nos ambientes da universidade estudada, o aumento de temperaturas externas observados nos últimos anos (IPCC, 2019) e a forte indicação de preferência

térmica por ambientes mais resfriados obtida pelos questionários, infere-se que, caso não haja uma estratégia para a melhoria da ventilação natural dos espaços da UFMG, assim que houver disponibilidade de verba, haverá significativo aumento da instalação de ar-condicionado nos prédios. Este aumento, se ocorrer de forma não planejada, poderá aumentar substancialmente e rapidamente os custos de operação dos edifícios, impactando assim na gestão da Universidade como um todo.

De modo a contribuir para a melhor utilização dos recursos públicos, minimizar os impactos ambientais e garantir o adequado conforto térmico aos usuários, faz-se pertinente que estratégias de adaptação considerem estratégias arquitetônicas para a melhoria da ventilação natural dos ambientes. Ainda, recomenda-se que seja analisada a possibilidade da adequação das atividades acadêmicas às alterações de temperatura externa nos meses e horas de calor mais críticos. Pereira e Souza (2008) mostram que os meses mais críticos em relação à temperatura na cidade de Belo Horizonte são de novembro a março e a carta solar da cidade, representada em Brasil (2012), mostra que as horas mais críticas são no período da tarde, entre as 14h e as 17h.

Tendo em conta que os maiores índices de desconforto de acordo com as respostas dos questionários se deram por calor no verão, indica-se que, nos meses de novembro, dezembro e março, as atividades acadêmicas sejam adaptadas de modo a evitar a utilização das salas de aula da UFMG no período das 14h às 17h. Tal indicação é corroborada pela pesquisa de Gui, Gou e Lu (2021) em *campi* da Austrália, que aponta que o padrão de ocupação dos edifícios universitários deve ser levado em consideração na gestão energética e nas políticas de redução da pegada de carbono dos *campi*. Por conta da baixa utilização de ar-condicionado nos edifícios da UFMG, a adaptação de calendário possivelmente não acarretaria significativa redução de consumo de energia elétrica, mas, baseado nas respostas dos questionários, em Pereira e Souza (2008) e na carta solar da cidade, infere-se que traria maior conforto térmico aos seus usuários.

4. Considerações Finais

Os novos tempos apresentam desafios complexos para o aumento da resiliência de nossa sociedade, principalmente nos âmbitos ambiental, sanitário e econômico, que demandam a adaptação de todos os setores e organizações, incluindo as universidades. Considerando a atividade de cultivo de conhecimento e de formação de pessoas, essa adaptação se torna ainda mais necessária no contexto universitário. Os desafios atuais tangem variadas áreas do conhecimento e impactam as universidades tanto em suas atividades de pesquisa, ensino e extensão como na gestão de seus espaços físicos, necessários para a atividade universitária, sendo este o foco do presente trabalho.

Os espaços físicos das universidades e seu projeto acadêmico-institucional possuem interdependência, na qual as decisões sobre aspectos espaciais exercem influência nas possibilidades de interações entre os corpos docente, discente e a sociedade. Os aspectos espaciais afetam tanto a qualidade do desenvolvimento das tarefas finalísticas das instituições quanto o custo orçamentário decorrente destas tarefas e também na saúde e no bem-estar dos usuários, aspectos que devem sempre fazer parte do planejamento institucional das universidades. Portanto, a análise integrada da eficiência energética destes espaços junto aos aspectos de conforto térmico se delinea como uma temática importante com potencial para afetar o desdobramento futuro de seu projeto institucional.

Este trabalho apresentou, então, a caracterização do consumo energético de um complexo grupo de edifícios de uma universidade pública federal, aliada à experiência térmica de seus usuários, a partir de um estudo de caso na UFMG. Esta caracterização, inovadora na literatura nacional, estabelece embasamento para trabalhos científicos futuros de análise e delineamento de estratégias para melhoria da eficiência energética dos edifícios universitários, assim como fornece *insights* para novas direções de pesquisa e atuações de adaptação destes edifícios aos novos tempos.

Os levantamentos realizados indicam que, na UFMG, os prédios de Laboratórios se destacaram como os de maior densidade de consumo energético, enquanto as Unidades Acadêmicas foram as com maior proporção, por serem as mais numerosas. Tendo em vista a alta utilização de ar-condicionado nos Laboratórios, trabalhos futuros para a melhoria da eficiência energética nestes edifícios podem verificar a adequação

das características físicas da envoltória a fim de minimizar a absorção de calor externo pelos ambientes. A adoção de equipamentos de ar-condicionado mais eficientes, aliada a investigações junto aos usuários para a definição de *setpoints* de temperatura mais adequados, poderá gerar importante economia de recursos na utilização desses espaços.

Nas Unidades Acadêmicas, os níveis de desconforto térmico foram mais acentuados nos ambientes onde há predominância de ventilação natural, sendo as Salas de aula os ambientes mais críticos. A ventilação natural, por sua vez, foi indicada pela literatura como importante estratégia arquitetônica para proporcionar o conforto térmico e para manter a salubridade dos ambientes, minimizando as chances de infecções de doenças transmitidas pelo ar. Portanto, medidas de adaptação dos edifícios também devem analisar a efetividade da ventilação natural dos ambientes universitários. Estudos futuros nesse âmbito podem investigar a existência e implantação de ventilação cruzada nos ambientes, o nível de manutenção das esquadrias, a conscientização dos usuários, assim como a inserção de exaustores para extração de ar quente nas salas dos últimos andares. Ainda, a adaptação de atividades acadêmicas fora dos horários de maior temperatura externa do ar pode ser uma estratégia barata a ser estudada para proporcionar maior conforto térmico dos usuários nas Salas de aula.

O presente estudo verificou, também, baixo consumo energético e altos níveis de desconforto térmico no verão nos edifícios de Unidades Acadêmicas. Como principal conclusão, indica-se que métodos e procedimentos de análise da eficiência energética de edifícios universitários públicos brasileiros utilizem a abordagem integrada entre eficiência energética e conforto térmico para que os espaços sejam adaptados de forma mais adequada aos desafios econômicos, ambientais e sanitários dos novos tempos, sendo assim mais resilientes. Espera-se que os pontos abordados neste trabalho possam ser utilizados para nortear estudos tanto na UFMG como em outras universidades públicas brasileiras, principalmente nas cidades com climas similares ao investigado.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do CNPq.

Referências

ALCOFORADO, J. L. M.; COSTA, C. R. DA; OLIVEIRA, J. G. DE. O papel da universidade é ensinar a pensar bem. **Trabalho & Educação**, v. 29, n. 1, p. 171–180, 2020.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2013.

APPEL-MEULENBROEK, R.; CLIPPARD, M.; PFNÜR, A. The effectiveness of physical office environments for employee outcomes: an interdisciplinary perspective of research efforts. **Journal of Corporate Real Estate**, v. 20, n. 1, p. 56–80, 2019.

AWADA, M.; BECERIK-GERBER, B.; HOQUE, S.; et al. Ten questions concerning occupant health in buildings during normal operations and extreme events including the COVID-19 pandemic. **Building and Environment**, article in press, 2020.

BATISTA JR., O. A. A balbúrdia do contingenciamento. **Boletim UFMG**, n. 2059, p. 2, 2019. Disponível em: <<https://ufmg.br/comunicacao/publicacoes/boletim/edicao/2059/a-balburdia-do-contingenciamento>>. Acesso em: 14 dez. 2020.

BHAGAT, R. K.; DAVIES WYKES, M. S.; DALZIEL, S. B.; LINDEN, P. F. Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19. **Journal of Fluid Mechanics**, v. 903, p. 1–18, 2020.

BRASIL. **Decreto n. 9.741, de 29 de março de 2019**. Dispõe sobre a programação orçamentária e financeira, estabelece o cronograma mensal de desembolso do Poder Executivo federal para o exercício de 2019 e dá outras providências. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/KujrwoTZC2Mb/content/id/69237336/doi-e-2019-03-29-decreto-n-9-741-de-29-de-marco-de-2019-69237302>. Acesso em: 14 dez. 2020.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Portaria n. fl 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

CAO, X.; DAI, X.; LIU, J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. **Energy & Buildings**, v. 128, p. 198–213, 2016.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso Futuro Comum**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

COSTA, M. L.; FREIRE, M. R.; KIPERSTOK, A. Strategies for thermal comfort in university buildings - The case of the faculty of architecture at the Federal University of Bahia, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 239, p. 114–123, 2019.

DING, Y.; ZHANG, Z.; ZHANG, Q.; et al. Benchmark analysis of electricity consumption for complex campus buildings in China. **Applied Thermal Engineering**, v. 131, p. 428–436, 2018.

EVANS, G. W.; C. S. Environmental Stress. **Encyclopedia of Applied Psychology**, Three-Volume Set, v. 1, p. 815–824, 2004.

GIAMALAKI, M.; KOLOKOTSA, D. Understanding the thermal experience of elderly people in their residences: Study on thermal comfort and adaptive behaviors of senior citizens in Crete, Greece. **Energy & Buildings**, v. 185, p. 76–87, 2019.

GUI, X.; GOU, Z.; LU, Y. Energy & Buildings Reducing university energy use beyond energy retrofitting: The academic calendar impacts. **Energy & Buildings**, v. 231, p. 1–11, 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). 2019 **Global Status Report for Buildings and Construction**. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems: Summary for Policymakers Approved Draft**. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2020.

_____. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_spm.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2020.

KASUGANTI, A. R. Organizational Learning: The Role of the Physical Environment. **Psychological Studies**, v. 62, n. 4, p. 357–369, 2017.

KHOSHBAKHT, M.; GOU, Z.; DUPRE, K. Energy use characteristics and benchmarking for higher education buildings. **Energy & Buildings**, v. 164, p. 61–76, 2018.

KRÜGER, E. Contágio versus condição climática: análise correlacional entre casos e fatalidades pela COVID-19 em capitais brasileiras. In: ENTAC, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

LEE, S.H.; AUGENBROE, G. Energy Performance Evaluation of Campus Facilities. In: COBRA 2007, Londres. **Anais...**Londres: RICS, 2007.

MEIER, A.; OLOFSSON, T.; LAMBERTS, R. What Is an Energy-Efficient Building? In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Foz do Iguaçu - Paraná - Brasil: 2002.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Relatório de gestão do exercício de 2016**. Belo Horizonte, 2017.

MOHAMMADALIZADEHKORDE, M.; WEAVER, R. Universities as Models of Sustainable Energy Consuming Communities? Review of Selected Literature. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 9, p. 1–17, 2018.

MORAWSKA, L.; TANG, J. W.; BAHNFLETH, W.; et al. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? **Environment International**, v. 142, p. 1–7, 2020.

OLDHAM, G. R.; ROTCHFORD, N. L. Relationships Between Office Characteristics and Employee Reactions: A Study of the Physical Environment. **Administrative Science Quarterly**, v. 28, n. 4, p. 542, 1983.

PALETTA, A.; BONOLI, A. Governing the university in the perspective of the United Nations 2030 Agenda: The case of the University of Bologna. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 20, n. 3, p. 500–514, 2019.

PEREIRA, I. M.; SOUZA, R. V. G. Proteção solar em edificações residenciais e comerciais - desenvolvimento de metodologia. In: ENTAC 2008 - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008, Fortaleza. **Anais....** Porto Alegre: ANTAC, 2008. v. I. p. 1-2000.

PIIL, J. F.; CHRISTIANSEN, L.; MORRIS, N. B.; et al. Direct exposure of the head to solar heat radiation impairs motor-cognitive performance. **Scientific Reports**, v. 10, p. 1–10, 2020.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Avaliação de modelos preditivos de conforto térmico em escritórios no clima subtropical brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 2, p. 91–107, 2019.

SCOTT, J. C. The Mission of the University: Medieval to Postmodern Transformations. **The Journal of Higher Education**, v. 77, n. 1, p. 1–39, 2006.

SINGH, M. K.; OOKA, R.; RIJAL, H. B.; et al. Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years and way forward. **Energy & Buildings**, v. 188-189, p. 149–174, 2019.

SIQUEIRA, J. C. F.; DA SILVA, L. B.; COUTINHO, A. S.; RODRIGUES, R. M. Analysis of air temperature changes on blood pressure and heart rate and performance of undergraduate students. **Work**, v. 57, n. 1, p. 43–54, 2017.

SUN, C.; ZHAI, Z. The efficacy of social distance and ventilation effectiveness in preventing COVID-19 transmission. **Sustainable Cities and Society**, v. 62, 2020.

TOE, D. H. C.; KUBOTA, T. Development of an adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in hot-humid climates using ASHRAE RP-884 database. **Frontiers of Architectural Research**, v. 2, n. 3, p. 278–291, 2013.

UNITED NATIONS. **Resolution adopted by the general assembly on 25 September 2015**. 2015. Disponível em: <www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 14 dez. 2020.

_____. **The Sustainable Development Goals: Our Framework for COVID-19 Recovery**. 2020. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/sdgs-framework-for-covid-19-recovery/>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Plano de desenvolvimento institucional 2018-2013**, Belo Horizonte, 372p., 2018.

VAN DOREMALEN, N.; BUSHMAKER, T.; MORRIS, D. H.; et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. **The new england journal of medicine**, p. 1–3, 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WMO). **Coronavirus disease (COVID-19) pandemic**. 2020. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019?gclid=CjwKCAiAt9z-BRBCEiwA_bWv-KAACoI3uaK5iTkkpXjs-keIMSX4rAYqqzdUCngWcD6a-lXlqUxB-hoCy38QAvD_BwE>. Acesso em: 14 dez. 2020.