2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

SIMULAÇÃO DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS DE PRÉDIO ESCOLAR EM BELO HORIZONTE (MG)

SILVA, Wesley C. (1); DINIZ, Clarice C. (2); OLIVEIRA, Raquel D. (3); LIMA, Frederico R. S. (4)

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Departamento de Engenharia Mecânica (DEM),wesleycecis@gmail.com
(2) CEFET-MG, DEM, claricecddiniz@gmail.com
(3) CEFET-MG, Departamento de Engenharia Civil (DEC) e DEM, raqueldo@gmail.com
(4) CEFET-MG, DEM, fredericoromagnoli@gmail.com

RESUMO

As condições de conforto térmico propiciadas em um ambiente podem impactar na satisfação de um indivíduo e, consequentemente, na execução de tarefas e produtividade. Nesse sentido, o presente estudo objetivou analisar as condições de conforto térmico do prédio principal escolar, naturalmente ventilado, do CEFET, situado em Belo Horizonte (MG). As condições térmicas do edifício foram simuladas com auxílio do software Design Builder®, em diferentes horas do dia, durante um ano de referência. Os resultados mostraram um percentual médio de horas anual de desconforto por calor de 69%, no primeiro pavimento, de acordo com a faixa de conforto adaptativa da ASHRAE 55/2017. Os resultados obtidos poderão referendar estratégias passivas e/ou ativas para a tomada de decisões em futuras ações de melhoria dos espaços analisados ou de empreendimentos similares.

Palavras-chave: *Conforto térmico. Simulação computacional. Ventilação natural. Escola.*

ABSTRACT

The conditions of internal thermal comfort play an important role in user satisfaction and, consequently, in the execution and productivity of their task. This study aims to analyze the thermal comfort conditions of the CEFET school main building, natural ventilated, in Belo Horizonte (Brazil). A building model thermal simulation was performed using the Design Builder®. Its internal thermal conditions were analyzed hourly, over a reference year. The results show an annual average of heat discomfort hours around 69% on the first floor, according to the adaptive comfort range of ASHRAE 55/2017. These results could ground passive and/or active strategies proposal for decision making in future actions to improve these or similar spaces.

Keywords: Thermal comfort. Building simulation. Natural ventilation. Building School.

SILVA, Wesley C; DINIZ, Clarice C; OLIVEIRA, Raquel D; LIMA, Frederico R. Simulação das condições térmicas de prédio escolar em belo horizonte (MG). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

O conforto térmico é uma condição subjetiva humana capaz de influenciar a sensação de bem-estar e o desempenho metabólico humano (KEELING *et al.*,

2016). A avaliação da influência da temperatura no desempenho de atividades permitiu a Cui *et al.* (2013) concluírem que o desconforto devido à variação frequente de temperatura pode prejudicar o processo de aprendizado.

Segundo Mcdowall (2007), a manutenção do conforto térmico é diretamente influenciada pela vestimenta usada pelo o indivíduo, pelos fatores relacionados ao clima local (temperatura, umidade relativa, velocidade do ar), características construtivas do espaço, orientação geográfica, cor das superfícies da envoltória, área envidraçada além dos materiais constituintes do piso, parede e cobertura.

Os recursos computacionais são amplamente utilizados para a análise de conforto térmico do ambiente com base na estimativa do seu desempenho térmico. Assim, é possível verificar as interações entre o ambiente e suas adjacências, a partir das suas propriedades construtivas, características climáticas locais, além de avaliar as rotinas de funcionamento e ocupação do edifício (MAZZARELA *et al.*, 2009).

Dos Santos *et al.* (2017) analisaram o conforto térmico em escolas públicas na cidade de João Pessoa (PB). Os resultados mostraram que a orientação geográfica e as características construtivas favoreciam a retenção de calor nos ambientes. Intervenções passivas foram sugeridas para melhorar as condições ambientais dos usuários de escolas públicas do país.

Estudos simulados das condições de conforto térmico em diferentes edificações naturalmente ventiladas do CEFET Campus Nova Gameleira, em Belo Horizonte - MG, indicaram a necessidade de soluções passivas e/ou ativas complementares para se atingir um percentual de horas mais expressivo dentro da faixa de conforto adaptativa da ASHRAE 55/2017 (OLIVEIRA *et al.*, 2019; FREITAS; OLIVEIRA; LIMA, 2019; DUARTE; LIMA; OLIVEIRA, 2019).

A ventilação natural pode ser uma estratégia benéfica para o resfriamento e manutenção térmica do espaço ocupado especialmente em regiões de clima quente e úmido (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010). Do ponto de vista higiênico o arejamento é essencial, pois permite a renovação de ar, assegurando bons níveis de oxigênio, retirando possíveis gases tóxicos e agentes patógenos que são nocivos à saúde humana (MORALES MAYA *et al*., 2014).

Neste contexto, o objetivo deste artigo foi verificar as condições de conforto térmico das salas de aula, naturalmente ventiladas, do prédio principal do CEFET Campus Nova Gameleira, em Belo Horizonte (MG).

2 MÉTODOS

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, propôs-se quatro etapas metodológicas:
1) Caracterização do objeto de estudo;
2) Construção do modelo representativo da edificação;
3) Simulação computacional;
4) Análise das condições de conforto térmico dos ambientes.

2.1 Caracterização do objeto de estudo

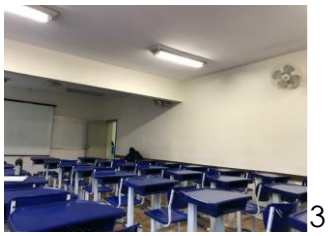
O objeto em estudo refere-se a uma edificação que compõe o CEFET Nova Gameleira (Figura 1), localizado em Belo Horizonte (MG). Trata-se do prédio mais antigo deste campus, que foi construído em 1960 para o funcionamento, na época, da Escola de Veterinária, posteriormente, vinculada à Universidade Federal de MG (UFMG, 2020). O prédio dispõe de dois andares (Figura 2), com aproximadamente

1.835m² o primeiro andar e 3.260m², o segundo, além de um subsolo com 153m² composto por espaços técnicos. Sua estrutura dispõe principalmente de salas de aula (Figura 3) e de apoio.

Figuras 1, 2 e 3 – Implantação, Fachada Principal e Vista da Sala 123



*

2

3

*Fonte: Adaptado de GOOGLE MAPS® (2020); Fonte: Os autores (2, 3)

Adicionalmente, a edificação abriga, também, laboratórios de informática, sala de professores e auditório no primeiro pavimento (Figura 4) além da previsão de gabinetes para professores no segundo andar, atualmente em reforma para adequação a este novo uso.

Figura 4 – Planta do 1° Pavimento

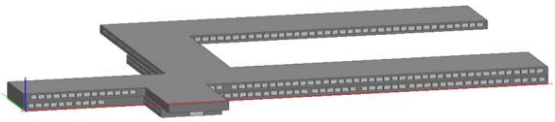


Fonte: Adaptado de SINFRA (2018)

2.2 Construção do modelo representativo

O modelo representativo do objeto deste estudo foi modelado no *software* Design Builder® como um bloco inteiro, dividindo-se internamente em zonas térmicas que representam cada ambiente da construção (Figura 5).

Figura 5 – Modelo representativo do objeto de estudo



Fonte: Adaptado de Design Builder® (2020)

2.3 Simulação Computacional

O *software* Design Builder®, versão 2.3.6.005, foi utilizado para simular as condições anuais de conforto térmico do objeto deste estudo. Para tanto considerou-se o arquivo climático *Tipical Meterological Year* (TMY) para a cidade de Belo Horizonte (MG). Os dados apresentados no arquivo meteorológico foram avaliados utilizando o *software* Climate Consultant 6.0®, afim de se conhecer as direções e as intensidade dos ventos para o clima desta localidade. A análise de regime de vento pode ser observada na figura 7.

Como dados de entrada estipulou-se as rotinas e densidade de uso e ocupação de cada zona, bem como as suas respectivas cargas internas. Os dados sobre os materiais de construção utilizados foram coletados em campo tendo em vista que o projeto fornecido (SINFRA, 2018) não acompanhava um memorial descritivo. A transmitância térmica da envoltória foi calculada de acordo com a equação estabelecida na NBR 15.220-2 (ABNT, 2005). A absortância à radiação solar das suas superfícies externas foi medida no local, de acordo com o procedimento descrito por Sagoi *et al.* (2010), com o auxílio do Espectrofotômetro portátil de Refletância Alta II, da marca Vernier, com incerteza de ±0,10 (PEREIRA *et al.*, 2016).

As cargas térmicas internas dos ambientes (iluminação e equipamentos) foram quantificadas por meio de visita *in loco*. A taxa metabólica das pessoas que ocupavam o ambiente foi definida como atividade de escritório (escrevendo) equivalente a 60 W/ m² por pessoa (ASHRAE, 2017). Para os períodos com temperaturas mais elevadas (de janeiro a abril e de setembro a dezembro), considerou-se as vestimentas de camisa manga curta e calça comprida, resultando um valor de 0,5 clo. Para os períodos mais frios (de maio a agosto) as vestimentas de blusa leve com mangas longas, calça comprida e casaco, gerando 1,0 clo. Considerou-se 41 pessoas por sala, incluso alunos e professor ao passo que nas salas de apoio considerou-se 2 pessoas por ambiente. Como dado de saída utilizou-se as temperaturas operativas (TO) dos ambientes selecionados para referência (Figura 4).

2.4 Análise das condições de conforto térmico e possíveis melhorias

O prédio escolar principal, objeto deste estudo, dispõe de salas ventiladas naturalmente e alguns espaços administrativos condicionados artificialmente. Considerou-se nesta pesquisa apenas os ambientes sem climatização artificial conforme indicado na Figura 4. Desta forma, definiu-se ambientes de referência para cada fachada. As TOs obtidas na simulação para as 8.760 horas do ano foram analisadas, com base na faixa de conforto adaptativa estabelecida na ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017) com 80% de aceitação, para verificação das condições de conforto térmico dos ocupantes na edificação objeto deste estudo. Desta forma obteve-se o número de horas anuais em conforto e em desconforto por frio e/ou calor.

3 RESULTADOS

As visitas *in loco* realizadas no objeto de estudo tiveram como propósito coletar dados para serem utilizados como informações de entrada na simulação. Assim, para as salas de aula, o horário de funcionamento considerado foi das 07h00 às 21h00, durante a semana e, das 08h00 às 12h00, aos sábados, enquanto nas salas de apoio, a referência adotada foi das 08h00 às 18h00, de segunda a sexta. Os materiais constituintes da sua envoltória, apresentados na Tabela 1, foram aferidos em campo e suas propriedades térmicas foram calculadas conforme a NBR 15.220 (2005). As superfícies externas da envoltória apresentaram uma camada lisa de pintura na cor beje com absortância solar de 0,44.

As janelas utilizadas na edificação foram de correr (uma folha fixa e outra, móvel) e a rotina de abertura considerada foi de 50%, durante o período de ocupação, de forma que, para os dias de verão, definiu-se de 07h00 às 21h00 e, para o inverno de 09h00 às 18h00. O vidro utilizado foi do tipo incolor 4mm com película da marca 3M® com 69% de luz visível transmitida.

Tabela 1 – Constituintes construtivos da envoltória

Materiais da envoltória	Espessura [m]	Transmitância térmica [W/m²K]
Cobertura telha metálica	0,0065	
Câmara de ar	0,050	1,290
Laje de concreto maciço	0,150	
Forro de gesso	0,020	
Fachadas: (argamassa interna)	0,020	
Bloco cerâmico 8 furos (3x2cm)	0,100	1,940
Argamassa externa	0,020	

Fonte: Os autores

Em relação às cargas internas, as lâmpadas utilizadas nas salas de aula e de apoio foram a Turbo LED T8 Aledis® com 21W de potência e 4000K de temperatura de cor. Considerou-se uma média de 7,9W/m² para os ganhos de iluminação e, 9,5 W/m² nas salas de aula relativos aos equipamentos. Para as salas de apoio considerou-se dois computadores cada um com potência de 20,5W e monitores da marca Dell®, modelo P2317H com 18W, totalizando 38,5W cada máquina. Sendo assim para a prefeitura adotou-se 4,2W/m² e para a Coordenação de laboratórios 1,0W/m²

Os dados de entrada especificados foram utilizados na simulação computacional possibilitando obter as horas em conforto e desconforto dos ambientes. Os resultados obtidos para as salas de aula 123,125,114,122, prefeitura do campus e para a coordenação dos laboratórios de informática podem ser observados na Figura 6.

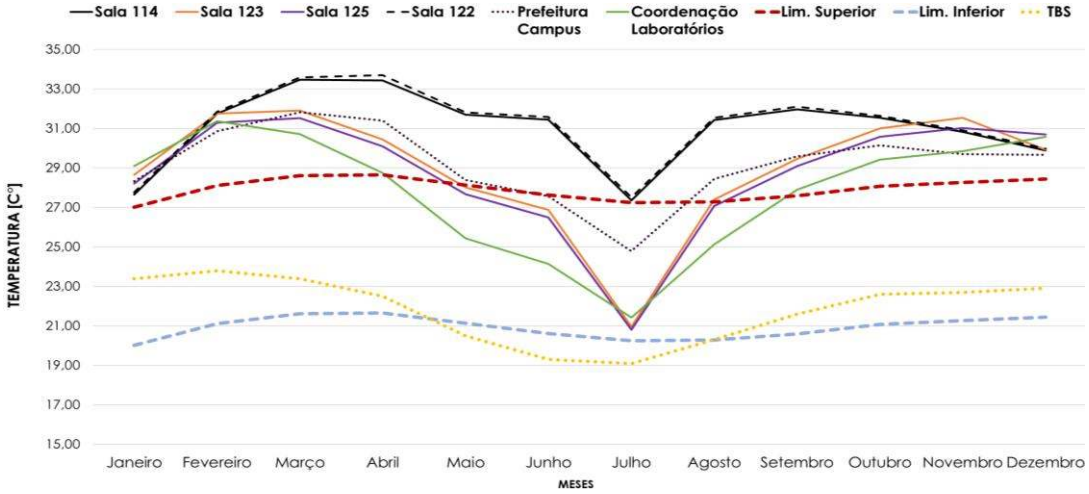
Durante o mês de julho, observou-se uma grande redução das temperaturas operativas (TOs) nos ambientes devido as férias escolares, nos últimos 15 dias. Observa-se também que as TOs da sala123 são ligeiramente mais altas do que na sala 125. Isso pode ser justificado pelo fato de que a sala 123 possui apenas uma parede voltada para o exterior na direção Sudeste (SE) e possui uma área envidraçada significativa, interferindo assim na troca de calor com o meio externo, enquanto a sala 125 apresenta duas paredes externas (SE e Sudoeste - SO), favorecendo, portanto, uma troca térmica maior.

Os resultados obtidos para as salas 114 e 122 voltadas para a fachada Noroeste (NO) mostram que as temperaturas das salas nesta orientação foram maiores do que àquelas verificadas na sala 123. Isso pode ser explicado pelo fato de que a fachada NO estar exposta ao sol na parte da tarde, quando as temperaturas normalmente são mais altas, juntamente com a pouca intensidade de vento (Figura 7).

As TOs da prefeitura durante o inverno foram maiores do que a coordenação dos laboratórios. Isso pode ser explicado pela posição e pelo período de incidência dos raios solares durante o inverno, que afetam mais a região da prefeitura do que a coordenação dos laboratórios. Cabe ressaltar que a prefeitura deste campus recebe sol a maior parte da manhã, enquanto a coordenação do laboratório recebe menor incidência solar na parte da manhã e na parte tarde.

A análise dos dados também permitiu a estimar o percentual de horas confortáveis ou não ao longo do ano, em cada ambiente (Tabela 2). Verifica-se que a fachada NO apresenta 84,4 % de horas desconfortáveis devido ao calor, considerando um ano de referência. Isso reforça os dados apresentados na Figura 6, nas quais as temperaturas dos ambientes voltados para NO apresentaram TOs próximas e, às vezes, acima do limite superior da faixa de conforto aceitável.

Figura 6 – Perfis de temperatura operativa dos ambientes, limites de conforto e temperatura de bulbo seco (TBS)



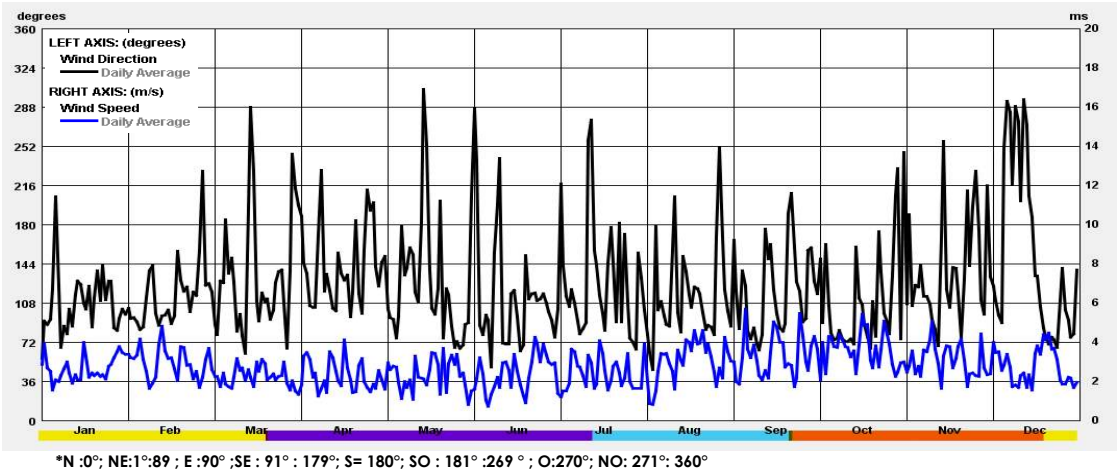
Fonte: Os autores

A média da diferença do número de horas de conforto térmico para os ambientes voltados para as fachadas NO e SE são de aproximadamente 16,45%, ou seja,aproximadamente 1441 horas por ano. Essa distinção se deve à localização das salas de aula, já que a fachada NO tem maior incidência solar à tarde.

Ao comparar os dados da Tabela 2 para os ambientes voltados para a direção SO e Nordeste - NE, constata-se que a fachada SO propiciou o maior número de horas de conforto térmico em comparação com a NE, fato que também pode ser notado nas Figuras 6 e 7. Tal condição pode ser explicada pela posição do sol durante o inverno, uma vez que a incidência solar na região NE tende a ser maior do que no SE e, também, pela direção média e intensidade do vento que permite o contato com a superfície externa da sala, propiciando uma troca de calor maior com o espaço.

A Figura 6 e a análise apresentada na Tabela 2 indicaram que o maior número de horas de desconforto térmico devido ao calor ocorreu na sala 122. A partir de uma análise da Figura 7, observa-se baixa intensidade de vento para a orientação NO, na qual a fachada das salas 144 e 122 estão orientadas. O segundo pavimento não foi avaliado devido a ociosidade das salas, em virtude de reforma em andamento.

Figura 7 – Análise de regime de vento EPW



Fonte: Os autores

Em síntese, as condições de desconforto observadas neste estudo também foram pontuadas por Oliveira *et al.* (2019), Freitas, Oliveira e Lima (2019), Duarte, Lima e Oliveira (2019). Em diversos edifícios desta mesma Instituição verificou-se estratégias de projeto inadequadas para garantir condições termicamente confortáveis. Ademais, por se tratar de edificações existentes as opções para a otimização das condições térmicas dos ambientes por meios passivos são mais restritas além de apresentarem maior grau de intervenção com maior custo operacional em comparação com a fase de concepção do projeto.

Tabela 2 – Percentual de horas de conforto e desconforto anuais

Fachada	**Zona Térmica**	**Horas de desconforto**				**Horas de conforto**	
		Frio (horas)	**%**	**Calor (horas)**	**%**	**Horas**	**%**
Noroeste	Sala 114	0	-	7284	83,20	1476	16,80
Noroeste	Sala 122	0	-	7395	84,40	1365	15,60
Sudeste	Sala 123	244	2,80	6053	66,30	2707	30,90
Sudeste	Sala 125	287	3,30	5744	62,30	3016	34,40
Nordeste	Prefeitura	21	0,20	5834	66,40	2926	33,40
Sudoeste	Coord. Lab.	114	1,31	4354	49,70	4292	48,99

Fonte: Os autores

5 CONCLUSÕES

Os métodos empregados neste estudo resultaram na estimativa das condições anuais de desconforto térmico dos ambientes analisados. A semelhança de outros estudos, os ambientes voltados para noroeste apresentaram temperaturas operativas (TO) mais elevadas, e, portanto, o maior número de horas em desconforto térmico por calor ao longo do ano em comparação com as demais direções.

As possíveis razões para a não adequação dos ambientes do edifício às faixas de conforto térmico foram: a posição do edifício, que possibilitou alta incidência solar nas fachadas durante o dia incrementando os ganhos térmicos bem como a alta densidade de ocupação dos ambientes, fator que demonstrou grande influência no aumento da TO dos ambientes além da baixa intensidade de vento. Este trabalho contribuiu para ampliar a base de análise das condições de conforto térmico propiciadas pelas edificações escolares possibilitando auxiliar a tomada de decisões em futuras ações de melhoria dos espaços. Sugere-se estudar estratégias passivas e/ou ativas para melhorar as condições de conforto térmico deste edifício.

O uso de brises pode ser testado para reduzir a incidência direta de raios solares nos ambientes e sistemas de condicionamento de ar adequados podem contribuir para a redução da temperatura interna. Complementarmente, recomenda-se medição *in loco* das temperaturas internas para calibração do modelo possibilitando, portanto, resultados mais fidedignos ao comportamento real da edificação.

AGRADECIMENTOS

Ao CEFET MG pelo apoio financeiro e disponibilização de dados para esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ASHRAE AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING NGINEERS, INC. **Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2017.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. Ventilação Natural Em Edificações. Rio de Janeiro - RJ: PROCEL EDIFICA - EFICIÉNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2010. p. 101

CUI, Weilin; CAO, Guoguang; PARK, Jung Ho; OUYANG, Qin; ZHU, Yingxin. Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance. **Building and Environment**, Volume 68, 2013, p. 114-122.

DESIGN BUILDER® SOFTWARE LTD. Stroud, 2020. Disponível em: <https://designbuilder.co.uk/>. Acesso em: 02 jun. 2020.

DOS SANTOS, Gabrielle D.; DOS SANTOS, Joel S.; DA SILVA; Ingrid A.; FURTADO, Gil D.; GONZAGA, Bruno S. Estudo das condições de conforto térmico em escolas públicas municipais de tempo integral na cidade de João Pessoa–PB. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 3, 2017, p. 01-10.

DUARTE, M. A.; LIMA, F. R. S.; OLIVEIRA, R. D. Estudo do desempenho energético e de estratégias para a geração de conforto térmico em refeitório estudantil. In: Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – XV ENCAC E XI ELACAC, 2019, João Pessoa. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 1271-1280.

FREITAS, L. F.; OLIVEIRA, R. D.; LIMA, F. R. S. Análise das condições de conforto térmico dos usuários em ambientes naturalmente ventilados: simulação aplicada à edificação escolar pública. In: XV ENCAC E XI ELACAC, 2019, João Pessoa. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 950-960.

KEELING, T. P.; ROESCH, E. B.; CLEMENTS-CROOME, D. Cognitive appraisals affect both embodiment of thermal sensation and its mapping to thermal evaluation. **Frontiers of Psychology** 7(800), 2016, p.1-12.

MAZZARELA, L.; PASINI, M. Building energy simulation and object-oriented modelling: Review and reflections upon achieved results and further developments. In: Building Simulation – 11th International IBPSA Conference, 2009, Glasgow. **Proceedings**... Glasgow: IBPSA, 2009. p. 638-645.

MCDOWALL, R. **Fundamentals of HVAC Systems**. Oxford: Elsevier, 2007. 241p. 1 ed.

MORALES MAYA, Catalina. Efeito da distribuição dos usuários no comportamento da ventilação natural em espaços educativos. 2014. Dissertação (mestrado) - Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

OLIVEIRA, R. D.; FREITAS, L. F.; LIMA, F. R. S.; DUARTE, M. A.; ARAÚJO, M. C. Análise das condições de conforto térmico dos usuários: avaliação de ambientes naturalmente ventilados em campus universitário. In: International Building Performance Simulation Association - IBPSA, 2019, Mendoza. **Proceedings**... Mendoza: IBPSA, 2019. p. 33-52.

PEREIRA, C. D.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S.; GHISI, E. Avaliação experimental do espectrômetro Alta II e sua aplicação na normatização brasileira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, out./dez. 2017. p. 197–213.

SAGOI, J. M.; RAMOS, G.; LAMBERTS, R. Análise das medições de absortância através do Espectrômetro alta II. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 2010, Canela. **Anais.** Canela: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, 2010. p. 1-9.

SINFRA SUPERINTENDÊNCIA DE INFRAESTRUTURA. ***As Built* do Prédio 1**. Belo Horizonte: CEFET MG, 2018.

UFMG UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **UFMG e Belo Horizonte**: Muitas histórias para contar – História 14 de agosto de 2017. Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/ufmg-e-belo-horizonte-muitas-historias-para-contar>. Acesso em: 14 jun. 2019.