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

ESTRATÉGIAS PARA MELHORIA DO CONFORTO TÉRMICO EM SALAS DE AULA DE EDIFÍCIOS DE ENSINO SUPERIOR EM GOIÁS[1]

ABREU-HARBICH, Loyde V. (1); VALE, Danielle S. (2); ROCHA, Dariane (3); MALORIE, Ebang (4); HORA, Karla E. R. (5)

(1) Universidade Presbiteriana Mackenzie; loyde.harbich@mackenzie.br
(2) Universidade Federal de Goiás, daniellesousavale@hotmail.com
(3) Universidade Federal de Goiás, darianeegomes@gmail.com
(4) Universidade Federal de Goiás, ludwinendemengane@gmail.com
(5) Universidade Federal de Goiás, karlaemmanuela@gmail.com

RESUMO

O desempenho térmico insatisfatório em edifícios de ensino superior causam desconforto nas salas de aula e afetam o desempenho dos alunos. Este estudo analisa o conforto térmico em salas de aula de edifícios escolares (CAD e CAE) implantados no Campus Colemar Natal e Silva, UFG – Goiânia, fazendo medições in situ e conduzindo simulações computacionas para desenvolver diretrizes de projeto arquitetonico mais eficientes. O procedimento metodologico consiste: a)análise do clima local; b)análise do projeto arquitetônico e seleção dos locais de medição; c) medições in situ da temperatura do ar e umidade; d) quantificação do conforto térmico pela temperatura operativa; e) comparação do conforto térmico proporcionado por meio de simulações termoenergética em três situações diferentes – 1ª sem brises e ventilação natural, 2ª com brises e ventilação natural, 3ª com brises e ar condicionado. Resultados apontaram que os dois edifícios atingiram cerca de 70% de horas confortáveis e sugerem que o brise-soleil pode reduzir a carga térmica da envoltória e melhorar o conforto térmico.

Palavras-chave: *Conforto térmico interno; Edifícios escolares; Design Builder ®.*

ABSTRACT

The unsatisfactory thermal performance of buildings belonging to higher-education institutions in Brazil causes discomfort in classrooms and affects student performance. This study analyses thermal comfort in classrooms of education buildings (Centro de aulas D and E) at Campus Colemar Natal e Silva, UFG – Goiânia, by making in situ measurements and conducting a computer simulation to develop an energy savings plan. The methodology involves: a) analysis of local climate; b) analysis of the architectural design; and selection of sites measurements; c) field measurements of the summer air temperature and humidity within the classroom; d) quantification of thermal comfort by operative temperature; e) comparison of thermal comfort analysis by thermoenergetic simulation in each classroom analyzed – 1st without solar protection and natural ventilation, 2nd with solar protection and

[1] ABREU-HARBICH, Loyde V.; VALE, Danielle S.; ROCHA, Dariane; MALORIE, Ebang; HORA, Karla E. R. Estratégias para melhoria do conforto térmico em salas de aula de edifícios de ensino superior em Goiás. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

natural ventilation, 3rd with solar protection and air conditioner. Results show that both buildings got 70% hours of thermal comfort and it suggest that brise-soleil can reduce the envelope's thermal load and improve thermal comfort. Both buildings require the use of air conditioning to obtain levels of thermal comfort.

Keywords: *Indoor Thermal Comfort; School buildings; Design Builder ®.*

1 INTRODUÇÃO

Promover o bem-estar no ambiente construído com o pouco gasto de energia é um desafio em cidades de clima tropical como Goiânia. O conforto térmico de um edifício depende da arquitetura e suas características construtivas, como layout, dimensões espaciais (incluindo altura), proporções janela-parede, sombreamento externo e propriedades térmicas dos materiais da envoltória (por exemplo, Transmitancia térmica, U, e Absortância, α). Contudo, em alguns climas, como climas tropicais, as estratégias ativas (ex. ar condicionado) são necessários em algumas estações. Para garantir conforto térmico em um ambiente interno e, ao mesmo tempo, reduzir a demanda de energia, estratégias passivas são necessárias, bem como o tratamento adequado da envoltória.

Visto que os materiais aplicados na envoltória influenciam no conforto térmico do ambiente interno, foram desenvolvidas e implementadas políticas públicas ligadas a qualidade ambiental no edifício como. Por exemplo, o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA) - instituído em 2003 pela ELETROBRAS - visa promover o uso racional da energia elétrica em edificações. Em 2014, o uso dessa certificação se tornou obrigatória para edifícios de instituições publicas federais (IMMETRO, 2010). Para edifícios escolares, os níveis de eficiencia devem atender com os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiencia Energética em Edifícios Comerciais, Serviços e Públicos (RTQ-C) (RTQ-C, 2014).

Nos últimos 20 anos, observou-se pesquisas importantes e grandes avanços científics sobre conforto térmico em edifícios escolares. Em 1999, foi avaliado conforto térmico de usuários de escolas a partir do índice PMV em Natal-RN, clima quente e seco (Aw; RUBER; KOTTEK, 2011). Os resultados sugeriram que a insatisfação com o ambiente térmico alterou a percepção dos usuários acerca dos demais itens avaliados: conforto acústico, luminoso e ergonômico (ARAÚJO, 1999). Já em Campinas, mesma região climática (Aw), o grande desconforto térmico durante o verão, que estava fortemente relacionado com o desconforto acústico (KOWALTOWSKI *et al.*, 2001).

Em Florianópolis, foram avaliados as relações entre o conforto térmico e o aumento da velocidade do ar com o uso de ventiladores de teto através dos índices PMV, o modelo Adaptativo e a Temperatura Efetiva Padrão (SET, do inglês *Standard Effective Temperature*) (DE VECCHI et al., 2013). Este estudo sugeriu que o aumento da velocidade do ar gera uma oportunidade adaptativa aos usuários, bem como uma maior aceitabilidade e satisfação térmica em climas quentes e úmidos. Em Goiânia, foi quantificado o conforto térmico em uma sala de aula de um edifício de ensino superior construído na década de 50 em diferentes situações: com ar condicionado, ventilação natural e climatizadores (ABREU-HARBICH et al., 2018). Observou-se que há necessidade do uso do ar condicionado no período da tarde para manter os níveis de conforto térmico satisfatório.

2 OBJETIVO

Este estudo teve como objetivo analisar as condições térmicas de uma sala de aula de edifícios de ensino superior em Goiânia, Goiás.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O conforto térmico é afetado por fatores humanos (atividades físicas e padrões de roupas) e parâmetros ambientais do ambiente (temperatura do ar, radiação média temperatura, velocidade do ar e umidade relativa) que dependem da clima local e materiais que compoem o envelope das construções. *O* procedimento *metodológico* utilizado *neste estudo* para estimar *sensações térmicas foram:* a) descrisção do clima e, assim, esclarecer o contexto climático local e relação entre usuários e edifícios; b)caracterização de todos os elementos da envoltória dos edifícios em estudo e selecionar os locais de medições; c) levantamento de dados climáticos de campo para calibração do modelo simulado; d) calcular o conforto térmico a partir da temperatura operativa (To) a partir dos resultados da simulação em três dimensões modelagem.

3.1 Caracterização do clima de Goiânia

Goiânia (16° 40 S; 49° 15 W; 749m) situa-se na região centro-oeste do Brasil. Possui cerca de 1 milhão e quatrocentos mil de habitantes (IBGE, 2015) e densidade habitacional igual a 1 782,5 habitantes/km^2. O clima é considerado tropical de Altitude (Aw, Ruber; Kottek 2011). O regime pluviométrico é bem definido, configurando uma estação seca (maio a outubro) e outra chuvosa (novembro a janeiro). A média da umidade relativa variam de 52%, em agosto (mês mais seco do ano), e 82%, no período de dezembro a março, podendo chegar até 14%, registrado em setembro de 2015. A temperatura média entre os anos de 2005 e 2016 é 23,59 ° C e a temperatura mais alta registrada durante esse período foi de 40,1 ° C, registrado em outubro de 2015 (ABREU-HARBICH; CHAVES, 2016).

3.2 Análise do projeto arquitetônico e seleção dos locais de medição

Neste estudo foram selecionados 2 edifícios no Campus Colemar Natal e Silva da Universidade Federal de Goiás, Centro de aulas D (CAD) e Centro de Aulas E (CAE), localizados no Setor Leste Universitário, na região central de Goiânia (figura 1).

Os critérios de seleção dos edifícios foram: a) estarem relativamente próximo; b) ter a mesma tipologia de uso como, por exemplo, possuir salas de aula, laboratório de informática, banheiros e sala de apoio ao professor; c) possuir sistema hibrido de ventilação tal como um sistema de ventilação natural através do acionamento das janelas e ar condicionado com acionamento individual em cada sala; d) ter menos de 10 anos de construção.

Para a seleção da sala de aula a ser analisada em cada edifício considerou-se: a) a orientação mais desfavorável em relação ao sol, por exemplo, com mais horas de insolação nas envoltórias do ambiente em estudo; b) número de usuários na sala ser em média 40 pessoas; c) materiais utilizados na envoltória com propriedades térmicas similares, tais como valores de transmitância térmica das paredes e da cobertura serem semelhantes.

O Centro de Aulas D (CAD) é usado por diversos cursos de graduação e pós-graduação nos três turnos (diurno, vespertino e noturno), possuindo um grande fluxo de estudantes e professores diariamente. O edifício conta com cinco pavimentos, sendo do primeiro ao quarto o pavimento tipo, abrigando doze salas de aulas em cada. O quinto pavimento é composto por auditório e área restrita a funcionários. O andar do pavimento tipo é composto por um hall de entrada e acesso para elevadores, três opções de escada que dão acesso para o corredor central, onde se encontram as entradas das salas de aula. As salas possuem janelas basculante protegidas por um brise fixo.

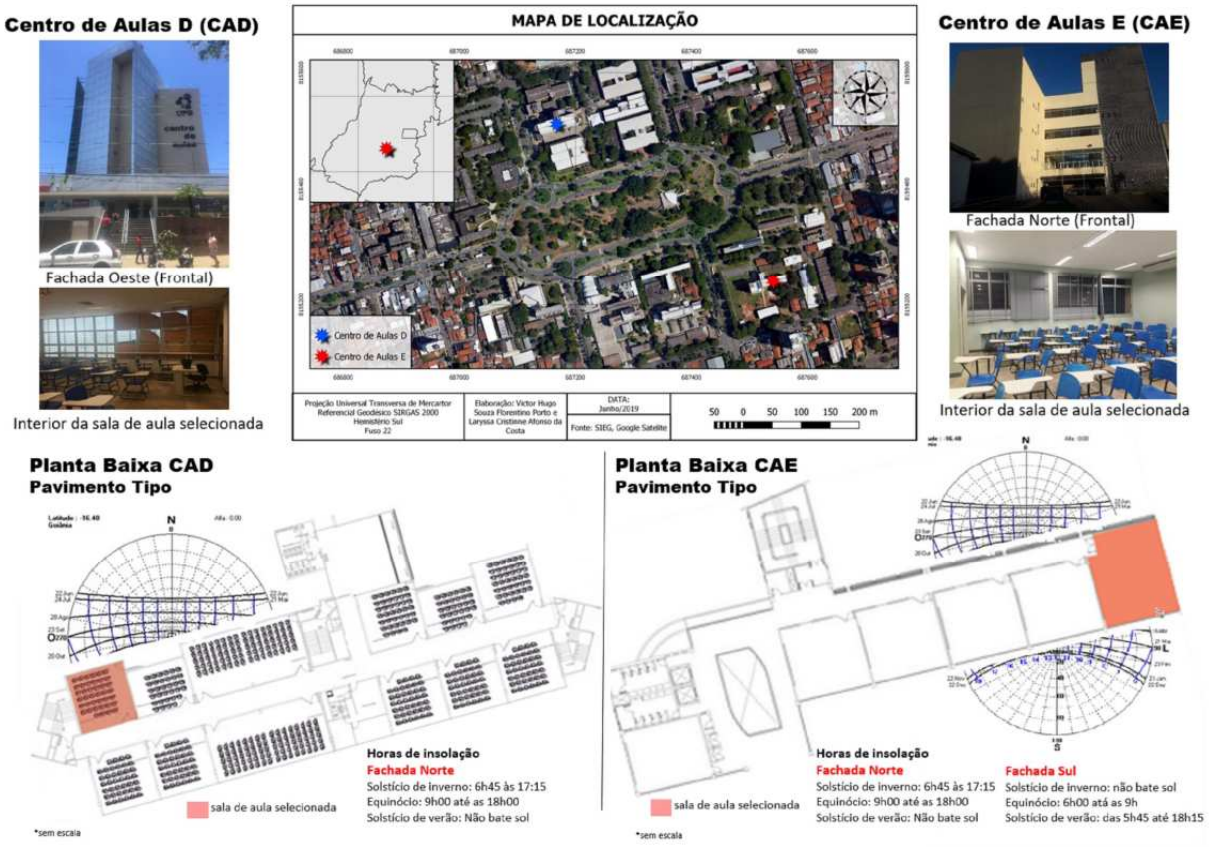


Figura 1 – Mapa de localização dos edifícios selecionados e detalhamento do Centro de Aulas D (CAD) e Centro de Aulas E (CAE) - fotos da fachada frontal e interior da sala selecionada, planta baixa do pavimento tipo e estudo de insolação.

Nesse edifício (CAD), a sala escolhida foi a 408, localizada no quarto pavimento da edificação e na fachada noroeste e sudoeste, com capacidade para 42 pessoas. Com auxilio da carta solar, observou-se que a fachada nordeste possui 9h45 de insolação no inverno, 7h30 no equinócio, e 5h30 no verão; e, a fachada sudoeste possui 4h de insolação no inverno, 5h30 no equinócio, e 6h45 no verão. Os materiais utilizados na envoltoria das paredes são argamassa interna de 2,5 cm, bloco ceramico (12x19x19) e argamassa externa de 2,5 cm, com transmitância 2.13 W/m^2.K (Weber et al. , 2017). A pintura nas paredes externas com tinta acrílica fosca. A cobertura é composta por telha metálica sanduíche e laje impermeabilizada.

O edifício Centro de Aulas E (CAE) também é usado por diversos cursos de graduação e pós- graduação nos três turnos (diurno, vespertino e noturno). É composto por quatro pavimentos. No térreo possui salas de estudos e uma secretaria de apoio aos professores. O pavimento tipo (1 a 3º andar) possue cinco salas de aula

e uma sala de informática. As portas das salas de aulas destinam ao corredor de circulação comum. Todas as salas possuem ventilação cruzada, com janelas de correr. As aberturas são protegidas com brises móveis. O edifício possui um atrio com uma cobertura trasnlucida.

Nesse edifício (CAE), a sala selecionado foi a 305, localizada no terceiro andar, na fachada noroeste, nordeste e sudeste, com capacidade para 45 pessoas. Com auxilio da carta solar, observou-se que a fachada nordeste possui 9h de insolação no inverno, 7h30 no equinócio, e 5h30 no verão; fachada nordeste possui 7h de insolação no inverno, 6h30 no equinócio, e 6h15 no verão; e, a fachada sudeste possui 2h de insolação no inverno, 4h30 no equinócio, e 7h30 no verão.

Os materiais utilizados na envoltoria das paredes do CAE e CAD são argamassa interna de 2,5 cm, bloco ceramico (12x19x19) e argamassa externa de 2,5 cm, com transmitância 2.13 W/m^2.K (Weber et al. , 2017). A pintura nas paredes externas com tinta acrílica fosca. A cobertura foi de dois tipos: laje impermeabilizada de concreto (laje de concreto e manta asfáltica); e telha sanduíche(telha de alumínio, EPS, telha de alumínio, camada de ar e laje de concreto).

3.3 Levantamento de dados de Campo

Para o levantamento de dados climáticos no interior das salas selecionadas, foram medidos a temperatura do ar e umidade relativa po um *datalogger,* modelo ICEL HT-4000, intalado em cada sala. A campanha de coleta ocorreu durante três dias seguidos na primeira semana de cada mês por seis meses (fevereiro a julho de 2019). O intervalo de coleta de dados foi de 10 em 10 min. Esses dados foram utilizados como referência para os cálculos de desempenho térmico e conforto térmico interno.

3.4 Simulações termo energéticas

Como as medições de campo foram realizadas em um curto período, foi necessário calcular fazer uma simulação computacional termoenergética atraves do software DesignBuilder, que emprega cálculos do EnergyPlus 6.0, versão 6.1.0.006 revisada em 2019. Neste estudo, os dados saida utilizados foram a Temperatura Operativa e assim calcular as horas de conforto obtidas ao longo do ano em differentes cenarios.

O modelo de construção foi projetado no próprio programa, com base de características construtivas do edifício descritas no item 3.2. Os cenários analisados foram (1) Edifício real com ar condicionado, portas e janelas fechadas; (2) Edifícios real com Ventilação Natural, portas e janelas abertas; (3) Edifício Real sem os brises, com janelas e portas abertas. A configuração funcional do edifício foi a seguinte:

- O modelo era de uma sala de aula.
- A densidade de ocupação foi de 0,81 pessoas / m2, segundo 40 alunos com atividade sedentária.
- A resistência da roupa foi de 0,44 clo no verão e 1,00 clo no inverno, de acordo com as medições de campo.
- Os fluxos de ar por pessoa e por unidade de área ocupada foram respectivamente 5 l/s e 0,6 l/s, de acordo com a NBR 16401-1 (ABNT, 2008).
- O ganho de calor devido ao uso de um projetor multimídia (Datashow) era de 5,4 W/m^2.

A sala de aula do CAD (Figura 2a) possui a operação do ar condicionado do tipo central, com acionamento individual, e do CAE (Figura 2b) a operação do ar

condicionado era do tipo split. Em ambos estudo de caso, a temperatura foi fixada em 24,5 ° C, a relatividade umidade a 50% e velocidade do vento a 0,1 m / s, segundo critérios da Associação Brasileiras de Normas Técnicas (NBR 16401, 2008) e normas internacionais (ISO 7730, 2005; ASHRAE 55, 2004). A eficiência dos aparelhos de ar condicionado foi ajustado para 3,07 W, de acordo com uma tabela de eficiência energética (IMETRO, 2010).

Na simulação da situação ventilação natural interna na sala de aula, houveram cinco trocas de ar por hora, de acordo com a NBR 16401-3 (ABNT, 2008).

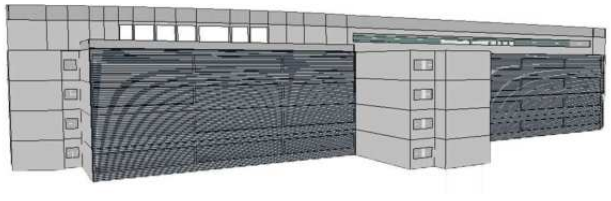
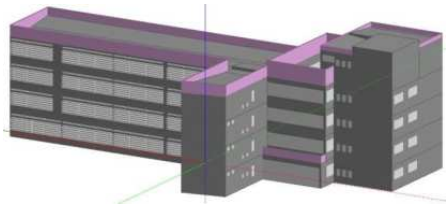
a)  b) 

Figura 02 – Detalhe da modelagem da envoltória do a) CAD e b) CAE no software Design Builder.

3.5 Análise de conforto térmico

Os índices térmicos são utilizados para descrever os efeitos térmicos sobre as pessoas no ambiente construído a partir de variáveis climáticas tais como temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, e variáveis humanas, tais como vestimenta (Clo) e metabolismo (W).

Existem dois modelos importantes utilizados para quantificar o conforto térmico: Racional (RTC, Fanger, 1977) e Adaptativo (ATC, Humphreys, 1976). Neste estudo, foi utilizado apenas o modelo adaptativo definido pela Temperatura Operativa (To).

Para considerar o ambiente confortável, utilizou-se os critérios estabelecidos pela Associação Brasileiras de Normas Técnicas (NBR 16401, 2008) e normas internacionais (ISO 7730, 2005; ASHRAE 55, 2017) para atividades sedentárias (70 W / m2) durante o verão para classificar o conforto térmico de usuários, conforme mostrado na Tabela 1. Os resultados da simulação termoenergética foram analisados a partir de horas de conforto segundo a RTQ-C (2014), onde menos acima de 90 % das horas de conforto será considerado confortável, classificação nivel A.

Tabela 1- Critérios estabelecidos pelas normas para atividade sedentária (70 W / m2) durante verão

	Categoria do edifício	To (°C)	UR (%)	Var (m/s)
ISO 7730, 2005 ASHRAE 55, 2004	A B C	24,5 ± 1,0 24,5 ± 1,5 24,5 ± 2,5	40-60	0,12 0,19 0,24
NBR 16401, 2008		22,5 a 25,5 23,0 a 26,0	65 35	0,20 0,25

4 RESULTADOS

A Figura 4 apresenta o resultado das simulações para a sala de aula estuda no CAD em diferentes períodos (primavera, verão, outono e inverno). Observa-se que para essa sala de aula em específico é necessário o uso do conforto térmico para se obter conforto térmico. Também observou-se que os protetores solares, ao reduzir a carga térmica sobre as fachadas, é capaz de reduzir as temperaturas internas e consequentemente, trazer mais conforto térmico interno. No entanto, como estratégia de eficiência energética, é possível utilizar a ventilação natural em alguns períodos do dia para reduzir os gastos com energia para resfriamento do edifício. Através da análise dos gráficos, é possível observar que ambos os modelos de

ventilação natural se excedem da zona de conforto (intervalo de 23 a 26 °C). Porém o modelo que possui a proteção de brise-soleil tem a temperatura reduzida consideravelmente devido ao aparato, não alcançando níveis tão altos quanto a ventilação natural sem brise-soleil durante todas as estações do ano.

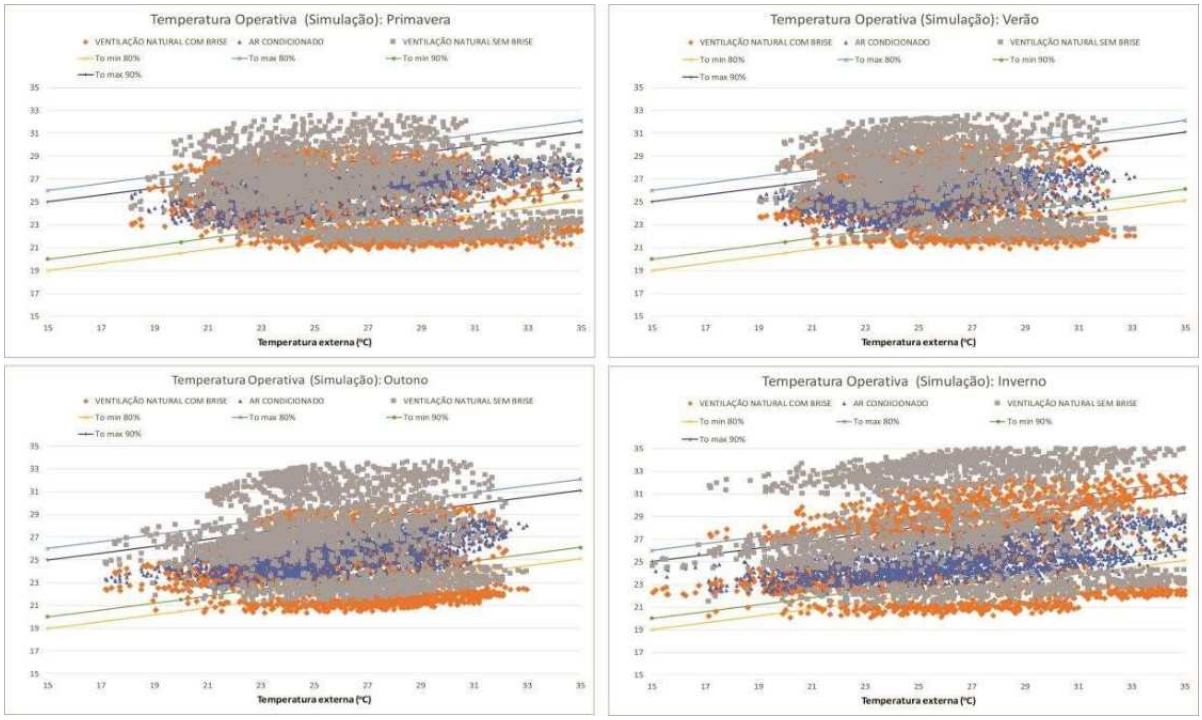
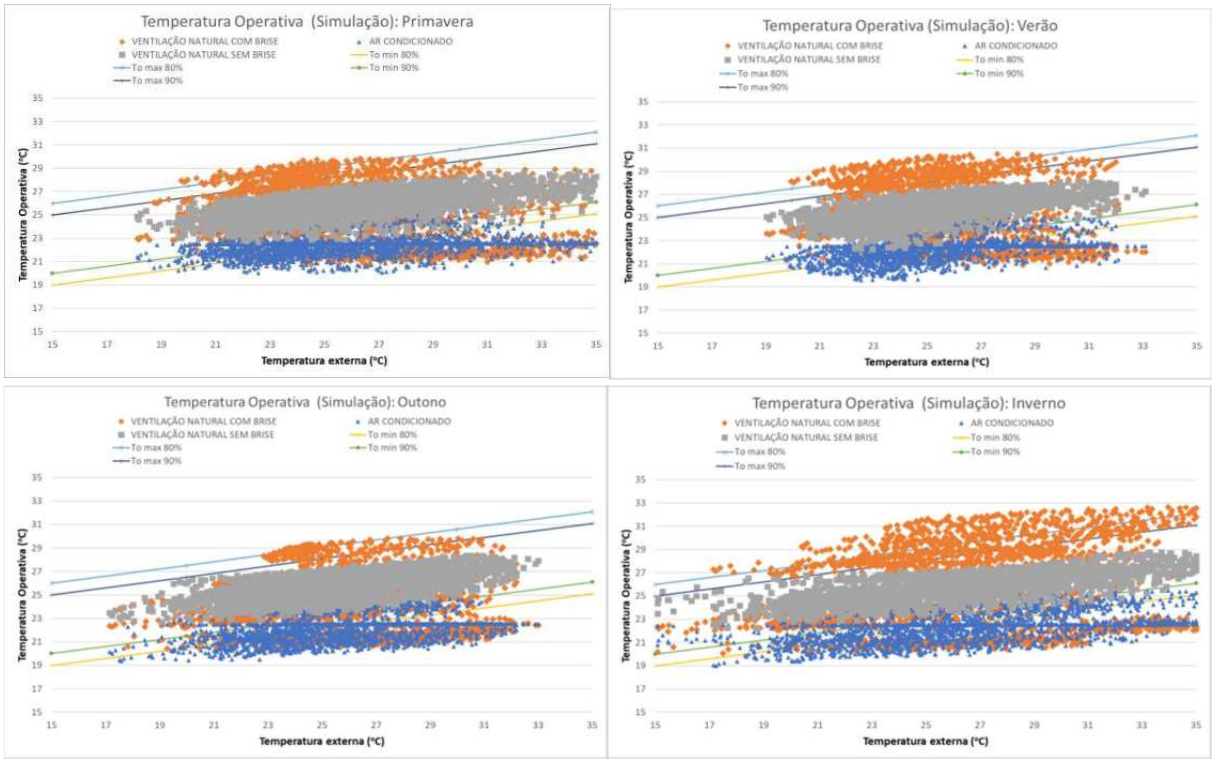


Figura 04 – Simulação de temperatura operativa nas estações do ano do CAD.



Figuras 05 – Simulação de temperatura operativa nas estações do ano do CAE.

A Figura 05 apresenta o resultado de temperatura operativa em diferentes estações para a sala estudada no CAE em diferentes períodos (primavera, verão, outono e inverno). Comparando os resultados do CAE com o CAD, nota-se que a edificação

se localiza na zona confortável (intervalo de 23 a 26 °C) com a presença de condicionador de ar. Porém o desempenho da ventilação natural com a presença do brise se mostra mais satisfatório que no CAD. Assim o brise cumpre melhor sua função e o modelo adotado possui melhor performance.

A Figura 6 apresenta os dados mensais de horas de desconforto de acordo com os cenários simulados: com ar condicionado com brise, ventilação natural com brise e ventilação natural sem brise. Observou-se que o CAD apresentas 70,7% de horas confortáveis na situação com ar condicionado com brise, 44,6% de horas confortaveis com ventilação natural com brise e 32% de horas de conforto com ventilação natural sem brise. Já o CAE apresenta 70,1% de horas confortáveis com ar condicionado com brise e 51,8% de horas confortáveis com ventilação natural com o brise. Assim, os dois edifícios podem ser classificados no nivel "C", segundo RTQ-C (2014).

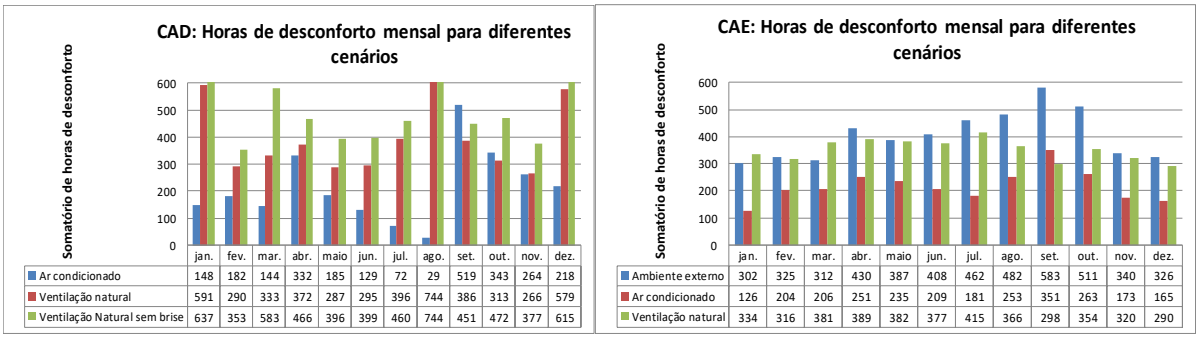


Figura 06 – Resultado de POC para cada mes nos edifícios CAD e CAE

5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa comparou as condições de conforto térmico em dois edifícios no Campus Colemar Natal e Silva da Universidade Federal de Goiás. Observou-se a necessidade do uso de ar condicionado no ambiente escolar para manter as condições conforto térmico satisfatória ao longo do ano, nos quais os dois edifícios analisados apresentaram 70% de horas confortáveis ao longo do ano. No entando, é necessario alterações no projeto arquitetonico ou melhorias no sistema de ar condicionado para que o edifícios obtenha o nivel A, com mais de 90% de satisfeitos dentro da sala de aula.

Os resultados aqui apresentados poderão ser usados para a otimização de projeto de edifícios atualmente desenvolvidos pela Universidade Federal de Goiás, buscando o atendimento das normas técnicas e consequente melhoria do desempenho termoenergético, visando a economia de recursos ambientais e financeiros.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPQ pelo apoio financeiro através das bolsas PIBIC para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABREU-HARBICH, L.V.; CHAVES, V. L.; BRANDSTETTER, M.C. G. O. **Evaluation of strategies that improve the thermal comfort and energy saving of a classroom of an institutional building in**

a tropical climate. Building and Environment. 2018.

ABREU-HARBICH, L.V.; CHAVES, V. L. Identificação do ano climático de referência para Goiânia - Goiás. *In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção*. Anais... São Paulo: ANTAC, 2016.

ABNT. NBR 16401. **Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários.** Rio de Janeiro, Brasil. 2008 (em revisão).

ARAÚJO, A. P. R. DE. O Conforto Ambiental No Planejamento Da Qualidade Dos Ambientes Escolares : Estudo De Caso Do Colégio Sagrado Coração De Maria. I*n: V Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído.* Anais...Fortaleza - CE: 1999

ASHRAE. ***Heating ventilation, and Air-conditining Application*** *SI edition*. S.l. 2013.

ASHRAE 55.Thermal environmental conditions for human occupancy. **ANSI**, v. 2017, p. 42, 2017.

DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R. **O efeito da utilização de ventiladores de teto no conforto térmico em salas de aulas com condicionamento híbrido em um local de clima quente e úmido**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 189-202, jul./set. 2013.

FANGER, P. (1970). **Thermal comfort: analysis and application in engineering**. New York: McGraw Hill.

HUMPHREYS, M. A. Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied. **Building Services Engineer**, v. 44, p. 5–27, 1976.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria 372, de 17 de setembro de 2010**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001462.pdf>. Acesso em: 01 out. 2010.

ISO. **7730: Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. Genebra: International Organization for Standardization, 2005.

Kowaltowski, D.C.C.K. ; Borges Filho, F. ; Labaki, L.C. ; Ruschel, R.C.; Bertoli, S.R.; Pina, S.A.M.G. Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares estaduais de Campinas – SP, **Relatório Científico/FAPESP, Campinas (SP**), 2001 UNICAMP.

Labaki, L.C.; Bartholomei, C.L. Avaliação de Conforto térmico e Luminoso de prédios escolares da rede pública, Campinas – SP. In: ENCAC-2001, São Pedro (SP), Anais… São Pedro (SP) (November 2001) 11–14.

RTQ-C**. Requistos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos.** Rio de Janeiro: IMETRO. 2014.

Ruber, F.; Kottek, M. Comments on: "The thermal zones of the Earth" by Wladimir Köppen (1884). **Meteorologische Zeitschrift**, v. 20, n. 3, p. 361–365, 2011