ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Conforto Ambiental em Edificação Histórica Adaptada para Uso Educacional em Clima Subtropical Úmido

Environmental Comfort in Historic Building Adapted for Educational Use in Humid Subtropical Climate

Marcos Vinicius Antonio dos Santos
Universidade do Estado do Rio de Janeiro | Petrópolis | Brasil | mvantonio@icloud.com
Patricia Regina Chaves Drach
Universidade do Estado do Rio de Janeiro | Petrópolis | Brasil | patricia.drach@gmail.com
Sabrina Andrade Barbosa
Universidade do Estado do Rio de Janeiro | Petrópolis | Brasil | sandrade@esdi.uerj.br

Resumo

O desempenho de um edifício está relacionado à sensação de conforto de seus usuários. Este estudo tem como objetivo investigar a adaptação térmica, luminosa e acústica de estudantes em um edifício histórico residencial com uso atual educacional, durante o tempo de aula. Foram aplicados questionários a 150 alunos ao longo do ano em duas salas naturalmente ventiladas, nos turnos da manhã e da tarde. Os questionários foram aplicados no início e no final das aulas para determinar as variações das respostas relacionadas ao processo de adaptação. Foram incluídas perguntas sobre características gerais dos participantes, tipo de vestimenta, tempo de permanência e posicionamento na sala, entre outras. Simultaneamente, dados sobre acústica, iluminação e temperatura do ar foram coletados através de equipamentos durante o período de aula. Os resultados indicaram divergências entre os dados coletados e a percepção térmica, acústica e lumínica dos usuários. Os entrevistados apontaram mudanças entre os estados de conforto e desconforto, no início e no final das aulas, quando as condições do ambiente sofreram poucas/nenhuma alterações. As respostas parecem indicar que os usuários conseguiram se adaptar ao ambiente imposto.

Palavras-chave: Conforto ambiental. Petrópolis. Edifício educacional histórico. Clima subtropical. Desempenho.

Abstract

The performance of a building is related to the feeling of comfort of its users. This study aims to investigate the thermal, light, and acoustic adaptation of students in a historic residential

Como citar:
SANTOS, M. V. A.; DRACH, P. R. C.; BARBOSA, S. A. Conforto Ambiental em Edificação Histórica Adaptada para Uso Educacional em Clima Subtropical Úmido. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

building with current educational use, during class time. Questionnaires were applied to 150 students throughout the year in two naturally ventilated rooms, in the morning and afternoon shifts. The surveys were applied at the beginning and end of classes to determine variations in responses related to the adaptation process. The questions included were about the general characteristics of the participants, type of clothing, period of stay and positioning in the room, among others. Simultaneously, data on acoustics, lighting and air temperature were collected using equipment during the class period. The results indicated divergences between the data collected and the users' thermal, acoustic, and light perception. Respondents pointed out changes between states of comfort and discomfort, at the beginning and end of classes, when the environmental conditions underwent few/no changes. The responses seem to indicate that users were able to adapt to the imposed environment.

Keywords: Environmental comfort. Petrópolis. Historic educational building. Subtropical climate. Performance.

INTRODUÇÃO

O desempenho de um edifício está intrinsecamente relacionado com a sensação de conforto dos seus usuários. Em espaços educativos, onde seus usuários tendem a permanecer por um período longo dentro da edificação, o conforto ambiental é um objetivo essencial para garantir a aprendizagem e melhorar a produtividade [1]. Assim, em ambientes educacionais, as condições térmicas, a qualidade e a quantidade de iluminação e os níveis de ruído têm sido destacados como fatores importantes para o desempenho dos alunos [2]. Tais ambientes demandam ainda mais atenção quando se trata de edificações históricas. Além da importância de manter a identidade cultural de uma região, a reutilização de um edifício histórico é também uma oportunidade para reduzir as emissões de carbono de uma nova construção. A partir de recente revisão de literatura, Moon, Mesquita e Barbosa [3] apontaram um número reduzido de estudos sobre conforto ambiental em tipologias educacionais históricas no Brasil.

Manasrah, Guldiken e Reed [4] investigaram a adaptação da percepção térmica de alunos em salas de aula aquecidas, na Holanda. Os autores apontaram que os participantes retinham uma memória térmica da última exposição, adaptando-se gradualmente à medida que a atividade avançava. É importante ressaltar, entretanto, que o estudo focou apenas nas condições térmicas. Assim, é possível reforçar a necessidade de investigar para as áreas subtropicais, também a sensação de conforto em edifícios históricos com ventilação natural.

As pesquisas apresentadas nos trabalhos de Zomorodian, Tahsildoost e Hafezi [5], Vidhushini, et al. [6], e Bernardi e Kowaltowski [7] abordam o comportamento e a percepção dos usuários em relação aos prédios escolares, destacando a relevância contemporânea das demandas de aclimatização em edifícios para a saúde e bem-estar de seus usuários. Assim, tendo em vista a importância da manutenção do conforto ambiental em ambientes educacionais, a falta de investigações em edificações históricas e a necessidade de entender a adequação da percepção dos usuários, este estudo tem como principal objetivo investigar a adaptação térmica, luminosa e acústica dos alunos ao longo do tempo de aula em duas salas de aula ventiladas naturalmente. Além disso, busca comparar a percepção dos usuários com os dados

obtidos simultaneamente durante as aulas, promovendo uma discussão sobre a capacidade dos seres humanos de se adaptarem gradualmente ao ambiente ao qual são expostos.

METODOLOGIA

A cidade de Petrópolis (Lat. -22,5 S, Long. 43,1 W) está a 823 m de altitude. O clima, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é subtropical úmido – Cfa com verões amenos e chuvosos com invernos mais secos. A temperatura média da cidade é de 19,7°C. Petrópolis possui relevância histórica pela proximidade com a capital do estado, Rio de Janeiro, e por ter sido sede dos retiros de veraneio do Imperador Dom Pedro II ao final do século XIX. O estudo foi realizado em um casarão histórico que abriga desde 2017 o Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1), localizado no centro histórico de Petrópolis. O edifício foi originalmente construído para uso residencial no início do século XX, e a sua reutilização, como edifício universitário, foi implementada sem um estudo prévio quanto ao cumprimento dos parâmetros de conforto térmico, acústico e lumínico.



Figura 1: Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Estado do Rio de Janeiro Fonte: os autores.

O casarão com ventilação natural foi construído em 1918 como casa de veraneio com aproximadamente 900 m quadrados divididos em dois pavimentos. As duas salas avaliadas para esse estudo estão localizadas no piso térreo (Figura 2). Ambas as salas possuem piso de madeira e paredes acabadas com 25 centímetros de espessura. O pé-direito é de 4,3 m e as duas salas possuem janelas do chão ao teto, com abertura média de 1,6m x 2,55m na sala 1 e de 2m x 2,55m na sala 2.



Figura 2: Planta Baixa e salas avaliadas da universidade estudada. Fonte: os autores.

Para este estudo, 150 alunos foram convidados a responder questionários baseados no trabalho de Mishra, Derks, Loomans e Kort [1] durante dezesseis aulas, considerando turnos da manhã e da tarde, nas 4 estações do ano: (14 de abril de 2023 - outono, 21 de junho de 2023 - inverno, 26 de setembro de 2023 - primavera e 15 de março de 2024 - verão). Os questionários foram aplicados no início e no final das aulas aos mesmos alunos. Além das características gerais dos alunos, os questionários incluíram diversas questões como quais roupas utilizavam, posição dos assentos e forma de chegada no campus. Além disso, questões sobre a percepção dos alunos em relação à temperatura do ar, iluminação natural e satisfação com as condições acústicas foram incluídas. Essas questões foram respondidas por meio de escala Likert com cinco opções de respostas (ótima, boa, satisfatória, ruim e insatisfatória).[1]

Adicionalmente, durante as mesmas aulas, simultaneamente foram realizadas medições *in loco* de temperatura e umidade do ar, iluminância e níveis de pressão sonora das salas, por meio dos equipamentos Data Logger Manual da Série HOBO® MX2300, luxímetro Instrutherm modelo LD-550.2 e decibelímetro Instrutherm modelo DEC 500. Quatro equipamentos de cada um dos dispositivos foram posicionados nas salas de forma distribuída. A Figura 3 apresenta a localização dos equipamentos nos ambientes avaliados.

[1] A pesquisa foi previamente autorizada pelo Comitê de Ética Brasileiro sob o número 18062819.0.0000.5282

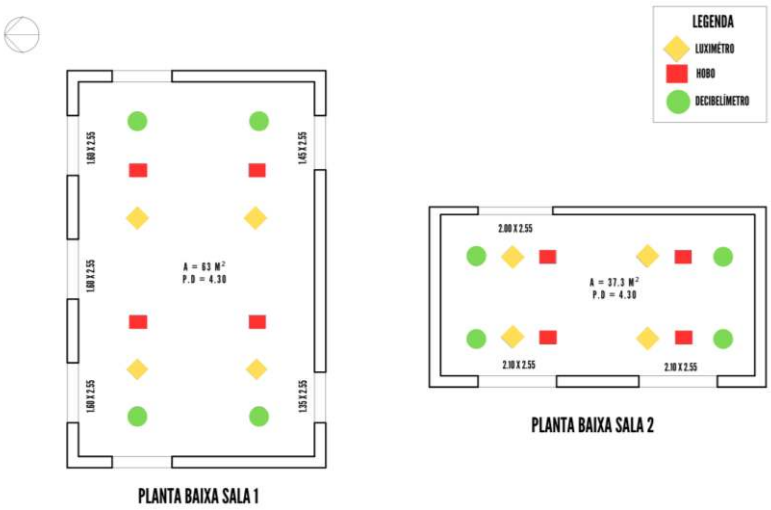


Figura 3: Planta Baixa com legenda com a posição dos aparelhos. Fonte: os autores.

As medições de temperatura e umidade do ar das salas foram registradas em intervalos de 5 minutos. Para as medições de iluminâncias, os dados foram coletados a cada 60 minutos e o luxímetro posicionado a 0,75 m de altura do plano do piso e distante de 1m das paredes. Para os registros de pressão sonora, o decibelímetro foi configurado para fazer uma média dos níveis medidos a cada 30 minutos. Para as medições no início e final das aulas (Tabelas 1, 2 e 3), os dados foram coletados durante 10 minutos. Durante as coletas, as janelas permaneceram abertas em todas as estações do ano.

RESULTADOS

Com base nas respostas obtidas a partir dos questionários, foi observado que 74% dos usuários eram do sexo feminino e 86% tinham entre 18 e 23 anos. Dos respondentes, 22% (n=34) modificaram sua vestimenta durante a aula; desses, 54% adicionaram uma peça de roupa e 46% retiraram uma peça de roupa.

CONFORTO TÉRMICO

Os valores de temperatura média do ar medidos nas salas (Tabela 1) indicam que a Sala 2 apresentou valores inferiores, se comparados àqueles medidos na Sala 1, em todos os momentos avaliados. Isso está relacionado ao menor tempo de recebimento de radiação solar direta nesta sala, por estar localizada no lado oeste do edifício. Além disso, esse resultado pode ser devido à vegetação circundante, que impede que uma parcela da luz solar entre na sala em todas as estações.

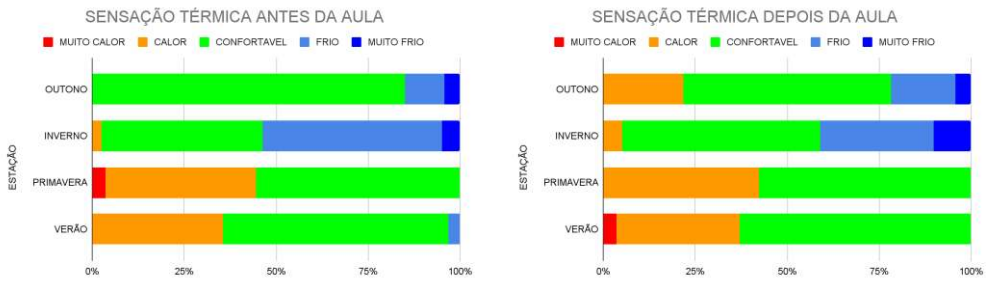
Tabela 1: Temperaturas médias do ar

Estação do ano	Ambiente	Período	Média ao início das Aulas (°C)	Média ao Final das Aulas (°C)	Média Geral Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)
Outono 14/04/2023	Sala 1	Manhã Tarde	21.2 24.7	24.8 23.9	18.5 19.9	79.9 81.2
	Sala 2	Manhã Tarde	21.2 24.7	24.8 23.9	16.9 18.2	79.7 81.4
Inverno 21/06/2023	Sala 1	Manhã Tarde	17.1 19.5	19.2 18.5	18.5 19.9	71.2 67.5
	Sala 2	Manhã Tarde	17.1 19.5	19.2 18.5	16.9 18.2	71.2 67.3
Primavera 26/09/2023	Sala 1	Manhã Tarde	23.7 26.3	24.7 27.3	25.8 26.8	74.4 63.7
	Sala 2	Manhã Tarde	24.3 26.2	26.8 26.1	24.2 26.2	70.1 64.1
Verão 15/03/2024	Sala 1	Manhã Tarde	23.6 26.5	25.9 27.7	27.6 29.9	75.9 71.3
	Sala 2	Manhã Tarde	23.8 25.8	25.5 28.5	24.6 27.0	78.4 76.4

Fonte: os autores.

As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados dos votos da sensação térmica dada pelos alunos no início e após as aulas, respectivamente. Foi observado que em todos os momentos de avaliação, a percepção de 'muito frio' foi dada por alguns dos alunos nas aulas da manhã (Figura 4). Contudo, a percepção dos usuários sobre as condições térmicas mudou ao longo do tempo. Os alunos passaram a indicar a percepção de mais calor ao final das aulas, o que pode ser explicado pelo ganho de calor interno gradativamente nas salas pelo elevado número de estudantes presentes no ambiente. O aumento do número de pessoas na sala pode ter reduzido a percepção de "frio" e "muito frio" e aumentado o percentual de percepção de "conforto" (Figura 5).

Figuras 4 e 5: Sensação térmica dada pelos alunos (a) no início e (b) final das aulas



A B

Fonte: os autores.

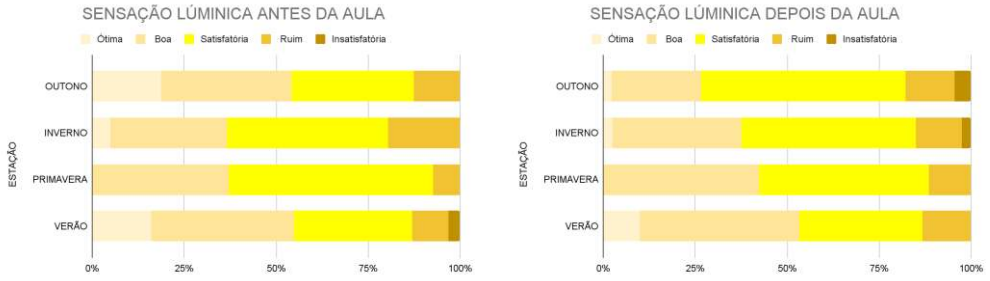
Foi observado que a percepção também mudou de acordo com as estações do ano. Cerca de 85% dos usuários sentiram conforto térmico durante o outono, sem a necessidade de adicionar ou retirar qualquer roupa, enquanto no inverno esse percentual era de 43%, o menor entre todas as estações. Houve também, de maneira geral, uma maior percentagem de trocas de roupa reportadas na Sala 2 (21%), o que indica a maior probabilidade de esta ser menos confortável do que a Sala 1, onde este valor foi de 13%.

Entretanto, ao perguntar como os alunos da Sala 2 se sentiam durante as quatro estações, cerca de 65% (n=97) julgou a sala como confortável e, apenas 35% julgou a sala como desconfortável, tanto para o frio ou calor. Assim, comparado com os dados dos aparelhos, percebeu-se uma alta percentagem de sensação de conforto térmico pelos usuários na Sala 2, que pode estar associada ao processo de adaptação.

CONFORTO LUMÍNICO

Em relação às condições de iluminação nos ambientes (Figuras 6 e 7), foi percebido que em todas as estações mais de 40% dos usuários as consideraram “satisfatória” durante o tempo de aula.

Figuras 6 e 7: Sensação lumínica dada pelos alunos no início(a) e (b) final das aulas



A B

Fonte: os autores.

A Sala 1 recebeu 52% dos votos de ''satisfatório'' em todas as estações, indicando que o cômodo tem maior probabilidade de ser mais confortável que a Sala 2, onde este valor foi de 48%. Isso pode ser explicado pelo fato da Sala 1 ter três aberturas posicionadas para o Norte, uma para leste e outra para oeste. A Sala 2 contém apenas três aberturas, todas voltadas para oeste e com bloqueio parcial dado pela vegetação, portanto, com um menor índice de permeabilidade solar, o que resultou em um percentual inferior de conforto, se comparado ao resultado observado na Sala 1. Assim, é possível inferir que a entrada de luz solar que atingiu a sala indiretamente devido ao entorno e à localização do ambiente resultou em melhores percepções de iluminação deste ambiente. Além disso, é notável que uma maior percentagem de respostas ''ótimo'', ''bom'', ''satisfatório'' foi dada pelos alunos nas aulas da manhã. Isso pode estar relacionado ao aumento da quantidade de iluminação no ambiente ao longo do período de aula (conforme Tabela 2), o que ocorreu contrariamente à Sala 2.

Tabela 2: Iluminâncias medidas nas salas de aula analisadas

Estação do ano	Ambiente	Período	Média ao início das Aulas (lux)	Média ao Final das Aulas (lux)	Média Geral (lux)
Outono 14/04/2023	Sala 1	Manhã	340	601	751
		Tarde	716	364	674
	Sala 2	Manhã	238	673	604
		Tarde	648	264	684
Inverno 21/06/2023	Sala 1	Manhã	769	1669	666
		Tarde	1139	476	657
	Sala 2	Manhã	769	1669	646
		Tarde	1139	416	632
Primavera 26/09/2023	Sala 1	Manhã	904	1704	705
		Tarde	2224	1728	694
	Sala 2	Manhã	1777	2764	695
		Tarde	2759	1679	732
Verão 15/03/2024	Sala 1	Manhã	1195	1846	804
		Tarde	1549	1089	794
	Sala 2	Manhã	1706	2228	703
		Tarde	1556	1352	696

Tabela com as médias dos 4 pontos de iluminância medidos durante as estações em cada sala.
Fonte: os autores.

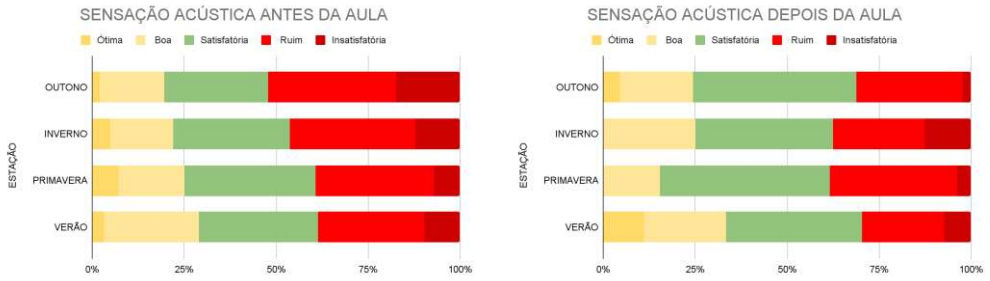
Outro dado interessante é que 25% dos usuários mudaram de lugar na sala devido à incidência direta da luz solar em suas mesas causar ofuscamento. De acordo com a NBR 5413 [8] para ambientes escolares a média de lux ideal é de 200 a 500 lux e como resultado obtido (Tabela 2) todas as medições ultrapassaram essa medida. A percepção em relação às condições luminosas também mudou com as estações do ano. Cerca de 87% dos estudantes não trocaram de lugar durante o inverno, sendo esta portanto, a estação com o maior percentual de conforto lumínico reportado pelos respondentes. Como Petrópolis é uma cidade com baixa radiação direta nesse período, é possível que a radiação difusa local promova melhores condições de iluminação nos ambientes.

No entanto, o uso de iluminação artificial foi necessário no final do turno da tarde, momento em que a quantidade de iluminância diminuiu durante as aulas. Isso foi observado pelos usuários, que reportaram que a iluminação natural se mostra insuficiente para determinadas atividades propostas nas salas, como aulas de desenho técnico.

CONFORTO ACÚSTICO

Os resultados referentes à percepção acústica dos usuários (Figuras 8 e 9) resultou em um alto índice de insatisfação com o ruído ambiente, onde em geral, cerca de 83% dos usuários sentiram desconforto em ambas as salas com ruídos como trânsito urbano, vozes dentro da sala e até sons naturais. Um número expressivo de usuários (n=35) relatou que se sentar próximo às janelas aumenta o desconforto acústico em ambos os ambientes. Dos respondentes que avaliaram como “ruim” ou “insatisfatória” as condições acústicas dos ambientes, 52% estavam sentados próximos a uma janela ou porta aberta.

Figuras 8 e 9: Sensação Acústica dada pelos alunos no (a) e (b) final das aulas



A B

Fonte: os autores.

Foi observado que a percepção também mudou de acordo com o tempo de permanência dos usuários em sala. Ao final das aulas em todas as estações a porcentagem de satisfação aumentou se comparada aos votos no início das aulas. Assim, é possível supor um processo de adaptação dos usuários aos ruídos durante o tempo de duração das aulas. É interessante notar que os ruídos observados e avaliados como “ruim” ou “insatisfatório” foram trânsito urbano, vozes dentro da sala, incluindo sons naturais.

O valor médio de nível de pressão sonora em edifícios de ensino é estipulado pela NBR 10.152 [9] como entre 35 a 40 dB. Os resultados médios em ambas as salas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Níveis de pressão sonora medidos nas salas analisadas

Estação do ano	Ambiente	Período	Média ao início das Aulas (dB)	Média ao Final das Aulas (dB)	Média Geral (dB)
Outono 14/04/2023	Sala 1	Manhã	61.9	65.5	57.5
		Tarde	62.5	62.8	59.5
	Sala 2	Manhã	61.2	66.5	63.2
		Tarde	62.8	62.9	62.9

Inverno 21/06/2023	Sala 1	Manhã Tarde	56.2 59.2	62.6 60.3	62.6 63.4
	Sala 2	Manhã Tarde	56.2 59.2	62.6 60.3	64 63.3
Primavera 26/09/2023	Sala 1	Manhã Tarde	54.6 63.6	57.0 50.7	56.4 60.0
	Sala 2	Manhã Tarde	58.2 65.5	59.8 64.2	63.0 62.0
Verão 15/03/2024	Sala 1	Manhã Tarde	72 60.5	64.8 64.3	64.0 62.0
	Sala 2	Manhã Tarde	59.8 59.9	63.2 54.9	71.0 72.0

Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

O estudo teve como objetivo investigar a adaptação térmica, luminosa e acústica dos alunos ao longo do tempo de aula de um edifício histórico com ventilação natural reutilizado como universidade. Apesar das condições térmicas durante as aulas permanecerem semelhantes, os resultados indicaram que houve alterações na percepção térmica ao final das aulas pelos alunos, quando houve uma tendência dos usuários se sentirem mais aquecidos e consequentemente sentirem menos desconforto térmico pelo frio.

Destaca-se que o edifício, que possui suas janelas altas, tem um grande potencial de recebimento da luz natural. Os resultados obtidos indicaram que, embora os embora os valores de iluminância se tornem excessivos em alguns pontos dos ambientes pelas manhãs, o aumento de iluminância pareceu não afetar de forma negativa a percepção dos alunos, cuja maioria reportou sensação de conforto quanto a este parâmetro.

Da mesma forma, observa-se que o ruído, embora notado pelos alunos, não foi considerado um incômodo ao longo da aula. De fato, em geral, verificou-se que as sensações ‘ótima’, ‘boa’ e ‘satisfatória’ aumentam consecutivamente entre as estações de outono, inverno e primavera, ocorrendo um declínio no verão, quando esse percentual foi menor, mesmo o ambiente não sofrendo nenhuma alteração considerável em relação à pressão sonora durante todas as estações. Isso indica que os usuários tendem a se adaptar ao ambiente ao longo do tempo, sugerindo uma falsa sensação de conforto acústico.

Assim, conclui-se que o edifício histórico que abriga o Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Estado do Rio de Janeiro ainda necessita de adaptações para melhor acomodar seus alunos e funcionários. O casarão proporciona conforto térmico, acústico e luminoso em diferentes índices ao longo das estações.

Esse estudo permitiu identificar a adaptação do usuário, relacionando o desempenho ambiental da edificação estudada com a percepção dos seus usuários. Contudo, é preciso considerar que ainda são necessárias mais investigações que considerem uma coleta durante mais períodos do ano. Além disso, esse artigo avaliou apenas duas salas de aula e outros ambientes podem revelar resultados diversos.

REFERÊNCIAS

[1] Mishra ,A. K., Derks M.T.H, Kooi L., Loomans M.G.L.C, Kort H.S.M . (2017). **Analysing thermal comfort perception of students through the class hour, during heating season, in a university classroom**. Building and Environment,125.2017: p.464-474.

[2] Guevara ,G., Soriano G., and Rodrigues, I.M. (2021).**Thermal comfort in university classrooms: An experimental study in the tropics**. Building and Environment, 187: p.1-13.

[3] Moon, B. S. K; Mesquita, C.B. and S. A. Barbosa (2022). **Estamos preocupados com o desempenho ambiental de edifícios históricos no Brasil?**. PARC Pesq. em Arquit. e Constr. 13: p.1-24.

[4] Manasrah, A; Guldiken, R. and K Reed (2016). **Thermal Comfort and Perception Inside Air-Conditioned Areas. Building and Environment**1: p. 1-8.

[5] Zomorodian, Z. S; Tahsildoost, M. and M. Hafezi (2016). **Thermal comfort in educational buildings: A review article. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 59: p.895-906.

[6] R Vidhushini, et al. **A Study on Thermal and Acoustic Comfort in an Institutional Building.** IOP Conference Series, vol. 1210, no. 1, 1 July 2023, pp. 012009–012009.

[7] Bernardi, Núbia, and Doris C. C. K. Kowaltowski. **Environmental Comfort in School Buildings.Environment and Behavior, vol. 38**, no. 2, Mar. 2006, pp. 155–172

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.152**: Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edifcações. Rio de Janeiro, 2020.