XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO SEGUNDO O MODELO DE CONFORTO ADAPTATIVO DA ASHRAE 55: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DUAS ESCOLAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

Cleyton Santos de Medeiros (1); Virgínia Maria Dantas de Araújo (2); Dayany Barreto Vasconcelos (3)

(1) Mestrando do PPGAU/UFRN, arquiteto e urbanista, cleytonsantosm@hotmail.com, Campus universitário – Lagoa Nova, 84 996443290

(2) Doutora, Professora do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU/UFRN, virginiamdaraujo@gmail.com, Campus universitário – Lagoa Nova, 84 994010160

(3) Mestranda do PPGAU/UFRN, arquiteta e urbanista, vasconcelosdb@gmail.com, Campus universitário – Lagoa Nova, 84 996224932

RESUMO

O conforto térmico é considerado uma exigência humana no campo da arquitetura, uma vez que este faz parte de um conjunto de aspectos necessários para prover bem-estar dos indivíduos nas edificações. Em edificações escolares, a preocupação é ainda maior com as condições de conforto térmico, pois as atividades de ensino-aprendizagem exigem ambientes adequados em seus níveis de temperatura e umidade do ar. Dessa maneira, a observação empírica de edificações situadas em regiões do clima semiárido nordestino levantou a atenção de pesquisa, no intuito de saber se o ambiente construído das escolas apresenta condições adequadas de conforto térmico. Têm-se como recorte geográfico o município de Caicó/RN como representante do semiárido potiguar. A observação se desenvolve em duas escolas de ensino médio da rede pública. O objetivo geral do trabalho é identificar o desempenho térmico de ambientes escolares utilizando a abordagem do conforto adaptativo como método de avaliação de salas de aula. Os procedimentos metodológicos são determinados pela normativa americana ASHRAE 55, a qual faz uma relação entre a temperatura operativa dos ambientes com a faixa de conforto obtido das condições externas. O levantamento de parâmetros ambientais foi feito em dois períodos do ano de 2018: o primeiro no período com condições higrotérmicas mais amenas; e o segundo, com condições extremas. Os resultados apresentados, direcionam a perspectiva comparada entre o ambiente construído das duas escolas. Tem-se que as salas de aula da escola CEJA apresentam melhor desempenho na correlação entre a zona de conforto e temperatura operativa, enquanto a EECAM apresenta menor desempenho pois as curvas de temperatura operativa ultrapassam o limite de conforto com ventilação nas duas temporalidades de registro, sendo o período vespertino o que mais apresenta desconforto térmico aos usuários. Considera-se também, nesse estudo, que aspectos da envoltória são intervenientes para o menor ou maior desempenho térmico dos ambientes internos das edificações.

Palavras-chave: Conforto térmico adaptativo; Avaliação do conforto térmico; Salas de aula; Semiárido; Caicó-RN.

ABSTRACT

The thermal comfort is considered as a human requirement in the field of architecture, since it is part in a set of necessary features that provides well-being to people inside buildings In school buildings, there is even greater concerning with thermal comfort conditions, since teaching-learning activities require environments to be adequate in their temperature and humidity levels for this activity. Thus, the empirical observation in buildings located at region from the northeastern semiarid climate arouses the attention of research in this article, with the purpose of investigate if the built environment of the school provides well conditions of thermal comfort in the inner spaces. The region of study representing the semiarid climate is the municipality of Caicó/RN/Brazil and the investigation is performed in two public high schools. This work aims to identify the thermal performance from the educational built environment having the adaptive thermal comfort approach as the evaluation method in the classrooms. The methodological procedures are driven by the

ASHRAE 55, where is found the relation within the operative temperature of the environment and the comfort zone obtained from the external climate conditions. The environmental parameters collected to develop the investigation where performed in two periods of 2018: the first period is less critical about the climate conditions and the second is more critical. The results founded put the schools in a comparative perspective within the schools, the classrooms in the CEJA school presents a better performance about the correlation within the comfort zone and the operative temperature, meanwhile the EECCAM school presents less performance because the operative temperature's behavior exceeds the comfort limit with ventilation in the two moments of data and the afternoons as the moment with more thermal discomfort. Also, in this study is considered that the envelope participates actively as the aspect of better or worse performance of thermal comfort inside the educational buildings.
Keywords: Adaptive thermal comfort; Thermal comfort evaluation; Classrooms; Semiarid; Caicó-RN.

1. INTRODUÇÃO

O conforto térmico é considerado uma exigência humana no campo da arquitetura, uma vez que este faz parte de um conjunto de aspectos necessários para prover o bem-estar dos indivíduos nas edificações. Em edificações escolares a preocupação com o conforto térmico se faz ainda mais presente, pois os usuários exercem atividades de longa duração e esforço mental de concentração para o aprendizado.

As condicionantes físicas dos sítios, especificamente aquelas relativas ao conforto térmico: temperatura do ar, umidade do ar, a ventilação e temperatura radiante, são aspectos que incidem sobre o ambiente e, por conseguinte interagem com os usuários de maneiras distintas e que geralmente é em função da arquitetura que o abriga, assim como, das condições geoclimáticas de cada região. Posto isso, a observação empírica sobre as edificações escolares da região do semiárido nordestino levantou a atenção de pesquisa sobre ambientes que podem apresentar-se como espaços de desconforto aos usuários, uma vez que o clima semiárido apresenta: baixo índice pluviométrico, alto nível de insolação, elevadas temperaturas máximas anuais e baixa umidade relativa do ar. Tais características climáticas hostis demandam cuidados especiais na produção arquitetônica desta região, na intenção de criar ambientes de proteção para aqueles que ali habitam (BORGES, 2014).

O estudo das condições de conforto térmico se desenvolve nas salas de aula de cada edificação. Diante desta conjuntura, a investigação levantada neste artigo se desenvolve com o enfoque no conforto térmico dos ambientes escolares, apresentando um estudo comparativo entre duas escolas de Ensino Médio da rede pública, a partir da avaliação do conforto térmico no ambiente construído. Tendo como recorte geoclimático o semiárido do Rio Grande do Norte, mais precisamente a cidade de Caicó, representante do clima quente e seco e situada na Zona Bioclimática 7 (ABNT, 2005).

Neste artigo, expõe-se uma análise focada na avaliação do desempenho do ambiente construído a partir dos parâmetros ambientais. Tem-se o modelo de conforto adaptativo como método de avaliação do conforto térmico dos ambientes internos, o mesmo se caracteriza por ser uma abordagem dinâmica, inserida nos estudos empíricos que se iniciaram na década de 1990, sua aplicação de pesquisas de campo junto a correlação das variáveis ambientais coletadas levou a produção de um caminho que relaciona os parâmetros ambientais do sítio ao potencial de adaptação de seus usuários.

Os teóricos (NICOL e HUMPHREYS, 2002; NICOL, 2004; DE DEAR, BRAGER e COOPER, 1998) consideram essa abordagem como uma teoria alternativa e complementar à abordagem estática, alegando que fatores para além de ambientais e fisiológicos exercem papel importante sobre as expectativas dos ocupantes e suas preferências térmicas. Considera-se assim, a dimensão de adaptação psicológica aos contextos onde as pessoas interagem com o ambiente, onde a diversidade de experiencias térmicas podem alterar suas expectativas, suas satisfações e preferências. Os modelos preditivos formulados seguindo a abordagem de conforto adaptativo combinam as características das teorias estática e adaptativa para avaliar termicamente os ambientes, logo, as variáveis intervenientes no conforto térmico: ambientais e humanas são consideradas também na abordagem adaptativa que se encontra na normativa americana (ASHRAE 55, 2017).

Logo, esta avaliação se baseia no comportamento da temperatura operativa das salas de aula, enquadrando-as em uma faixa de conforto térmico proveniente das condições climáticas externas da escola ou região em que estas edificações se encontram.

No tópico do método, são detalhados os parâmetros e ferramentas utilizados para produzir a síntese dos resultados da avaliação.

Os resultados apresentados direcionam a perspectiva comparativa entre o ambiente construído das duas escolas, portanto, observam-se que aspectos da envoltória são intervenientes para o menor ou maior desempenho térmico dos ambientes internos das edificações.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é identificar o desempenho térmico do ambiente escolar construído, utilizando a abordagem do conforto adaptativo como método de avaliação das salas de aula.

3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos para avaliar as salas de aulas das escolas em estudo são determinados pelo levantamento de variáveis ambientais nos espaços internos, uma vez que se tem como caminho de investigação o comportamento destes ambientes, no tocante às condições de conforto térmico que esses provêm aos usuários.

Avaliar o desempenho de ambientes é importante para medir a qualidade ambiental, identificar patologias, observar as respostas humanas e as condições construtivas, e devem fazer parte do processo de projeto, para evitar a repetição de erros. (KOWLTOWSKI, 2011). Neste estudo o instrumento metodológico utilizado foi o conforto adaptativo, visto que sua abordagem contemporânea melhor se adequa para as condições físicas observadas nas instituições de ensino.

3.1. ASHRAE 55 – Avaliação de ambientes naturalmente ventilados.

A normativa ASHRAE 55, pode ser utilizada para traçar recomendações para temperaturas internas aceitáveis ou para a operação e avaliação de edifícios existentes. Diante disso, os caminhos tomados para avaliação de ambientes naturalmente ventilados, utilizando a teoria do conforto adaptativo como caminho teórico-metodológico, tem-se que: a normativa americana apresenta o item 5.4 – *Determinando condições térmicas aceitáveis em espaços condicionados naturalmente com controle dos ocupantes* – o qual orienta sobre os métodos e critérios a serem aplicados para avaliar ambientes naturalmente ventilados, incluindo então, ambientes térmicos existentes no caso das salas de aula avaliadas (ASHRAE 55, 2017).

A normativa também expõe que é possível o uso de ventilação mecânica sem que o ar seja condicionado, ou seja, o uso de ventiladores ao mesmo tempo que é essencial a utilização e operação de fenestração nos ambientes, como reguladores das condições térmicas no espaço. Este caminho de avaliação do conforto é aplicado somente em espaços onde os ocupantes cumprem atividades próximas às sedentárias, com taxas metabólicas entre 1.0 a 1.3 met. Os ocupantes são livres para adaptar suas escolhas de vestimentas, e a faixa de resistência aceitável está entre 0.5 a 1.0 clo.

Como limites de aceitabilidade, foram observados os dados das Equações 1 e 2 disponíveis na seção 5.4.2.2 da ASHRAE 55.

- Limite superior de aceitabilidade térmica (80%) (°C) = 0.31 x Tmpa + 21,3 Equação 1
- Limite inferior de aceitabilidade térmica (80%) (°C) = 0.31 x Tmpa + 14,3 Equação 2

Sendo a Tmpa = Temperatura média predominante do ar, que compreende a entrada da variável de temperatura do ar externo, utilizado como valor as médias de temperaturas externas por um período de dias determinados na seção 5.4.2.1 da referida norma, que recomenda uma observação mínima dos 7 dias anteriores ao dia de observação e não mais do que 30 dias sequenciais ao dia em questão.

A avaliação dos ambientes térmicos, através da normativa americana, relaciona as temperaturas operativas dos ambientes internos e os parâmetros meteorológicos recentes do sitio onde estes ambientes se encontram, e dessa maneira, tem-se a definição da faixa de conforto térmico onde a maioria dos indivíduos se encontrarão em estado de satisfação junto ao ambiente.

As duas mais recentes versões da ASHRAE 55, já consideram os efeitos da ventilação nos ambientes como um artifício que proporciona conforto. Dessa maneira, a normativa considera e expõe uma tabela (Tabela 1) que amplia a faixa limite de temperatura operativa, de acordo com as velocidades do ar que se pode ter nos ambientes internos quando estas se apresentam acima de 0,3m/s:

Tabela 1 - Aumento das temperaturas operativas em função da velocidade do ar nos ambientes internos.

Velocidade média do ar	0.6m/s	0.9m/s	1.2m/s
Aumento do limite da To	1.2 °C	1.8 °C	2.2 °C

Fonte: ASHRAE 55, 2017.

Outro ponto importante da norma é a determinação da To (Temperatura Operativa), apresentada no Apêndice A, sendo está uma equação que relaciona Tma (temperatura média do ar) com a Trm (temperatura média radiante), na seguinte equação:

Top = A x Tma + (1 – A) x Trm Equação 3

Onde:
Top = Temperatura operativa
Tma – Temperatura média do ar
Trm = Temperatura radiante média

Participa da equação um fator "A", em função da velocidade média do ar. O fator "A" é retirado para cálculo da equação a partir da Tabela 2, abaixo:

Tabela 2 - Obtenção do fator A para cálculo da Temperatura Operativa.

Velocidade média do ar	< 0.2m/s	0.2 a 0.6m/s	0.6 a 1.0 m/s
Valor de A	0.5	0.6	0.7

Fonte: ASHRAE 55, 2017.

Considera-se então, que o levantamento das variáveis ambientais internas vai ao encontro da obtenção da Top (Temperatura operativa), a fim de que se possa avaliar o desempenho térmico que o ambiente construído apresenta, tendo como parâmetros os cálculos das faixas de conforto a partir da seção 5.4 da normativa americana e seus complementos nas demais seções.

3.2 Edificações escolares analisadas.

A seleção das edificações escolares no município de Caicó se desenvolveu através dos critérios do próprio método adotado para avaliar ambientes internos, com isso foram eleitas as duas principais instituições do Ensino Médio da rede pública na cidade, pois as demais escolas já passam por um processo de condicionamento artificial de suas salas, fato que impossibilita avaliar de forma mais realista o desempenho do ambiente construído quanto às condições de conforto nos ambientes internos.

Dessa maneira, a investigação se desenvolveu em duas instituições educacionais que tem diferenças marcantes entre suas arquiteturas. São estas:

3.2.1 – Centro Educacional José Augusto – CEJA.

A Escola Estadual Professor José Augusto, mais conhecida como Centro Educacional José Augusto (Figura 1), é uma escola de arquitetura modernista inaugurada em 1960. Na edificação as salas estão divididas entre dois blocos edificados principais, sendo o bloco 2, o setor selecionado para a investigação pelo fator de ser um bloco de dois pavimentos parcialmente sob pilotis. Estes blocos são implantados em suas maiores fachadas direcionadas em Noroeste (fachada principal) e Sudeste (fachada posterior).



Figura 1 – Foto da escola CEJA analisada na pesquisa.

A escolha das salas se deu pela disponibilidade da agenda escolar, pois as salas foram monitoradas durante o pleno funcionamento das atividades. No CEJA, foram avaliadas 4 salas, sendo a Sala 1; 2 e 3 no pavimento térreo e a Sala 4 no segundo pavimento.

3.2.2 – E. E. Calpúrnia Caldas de Amorim – EECCAM.

A Escola Estadual Professora Calpúrnia Caldas de Amorim, mais conhecida pelas suas siglas EECCAM (Figura 2), é uma escola de Ensino Médio que abriga a maior população de estudantes desse nível de escolaridade na rede estadual da cidade. A escola foi inaugurada na década de 1980 e possui elementos compositivos pré-fabricados em aço nos pórticos e cobertura, sendo a vedação de alvenaria convencional.



Figura 2 – Foto da escola EECCAM analisada na pesquisa.

A observação das salas de aula no EECCAM ocorreu nos dois setores de aulas existentes, divididos em dois blocos térreos edificados com as mesas características, com uma implantação longitudinal no sentido Norte/Sul, deixando as menores facadas no sentido Leste/Oeste. Nesta escola foram analisadas 5 salas, sendo as salas 2; 5.1 e 7 pertencentes ao bloco 1. Salas 1 e 5.2 pertencentes ao bloco 2.

3.3 Instrumentos utilizados para obtenção das Variáveis Ambientais.

A observação do comportamento das salas de aula, a partir das temperaturas operativas junto às faixas de conforto, seguindo a normativa americana só é possível a partir de variáveis ambientais coletadas no ambiente interno de cada sala. Com isso foram utilizados instrumentos que coletaram as seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura de globo (derivando em temperatura radiante média) e velocidade do ar.



Figura 3 – Medidores do tipo HOBO.

Na pesquisa foram usados 3 termohigrômetros, Figura 3, o mesmo permite o registro de dados de forma automática a partir de programação prévia. Neste estudo foram programados o levantamento no intervalo de 5 minutos a cada registro, e foram registrados o comportamento de 24 horas do ambiente das salas de aula. O aparelho utilizado foi do modelo HT – 500 Instrutherm, com resolução de 0,1 °C e exatidão da medição da temperatura de +1°C. Resolução de 0,1% de UR, e exatidão da medição de umidade relativa de +3%. Os dados registrados são depois transferidos para um computador para visualização.

O termômetro de globo foi produzido para a coleta de dados a partir de experiências prévias sobre o levantamento da temperatura radiante em outros ambientes. O globo de alumínio (GA) foi construído a partir de duas conchas (hemisférios) para refeitório (Nº 15) em que foram soldadas para formar uma esfera de 0.15m de diâmetro, com 2.0mm de espessura, como observado na Figura 4. Segundo experimentos expostos por Oliveira e Pedrini (2017), este globo de alumínio mostra-se possível de utilização em substituição ao globo de cobre, porém deve-se considerar às exigências relativas ao tempo de resposta para registro da temperatura. O conjunto de se configura como um termômetro de globo com a colocação de um datalogger dentro da esfera que registra os dados programados de temperatura radiante.



Figura 4 – Medidores do tipo HOBO.

O anemômetro digital AD 250 da Instrutherm foi utilizado no primeiro período de coletas, por questões técnicas (Figura 5), em seguida, no segundo período de levantamento foi utilizado o termoanemômetro de fio quente, mais adequado para ambientes internos com baixas velocidades do ar (Figura 6).



Figura 5 –. Anemômetro digital



Figura 6 –. Termoanemômetro

A velocidade do ar no presente estudo foi ponderada pela dificuldade de obter dados contínuos. Dessa maneira foi feita convenções e ponderações sobre a ventilação e o respectivo Fator A (ASHRAE, 2017), apresentadas nas Tabelas 3 e 4:

Tabela 3 - Ventilação das salas de aula - CEJA

SALA OBSERVADA	Período 1		Período 2	
	Velocidade do Ar (m/s)	Fator A (ASHRAE 55)	Velocidade do Ar	Fator A (ASHRAE 55)
SALA 1	0,3 sem aula 2,0 durante aulas	0,6 e 0,7	0,3 sem aula 1,3 durante aulas	0,6 e 0,7
SALA 2	0,3 sem aula 0,7 durante aulas	0,6 e 0,7	0,3 sem aula 0,6 durante aulas	0,6
SALA 3	0,3 durante aulas e sem aulas	0,6	0,3 sem aula 0,6 durante aulas	0,6
SALA 4	0,3 sem aula fechada e 2,5 durante aulas	0,6 e 0,7	0,0 - Sala sem ventilação cruzada e sem aula	0,5

Tabela 4 - Ventilação das salas de aula - EECCAM

SALA OBSERVADA	Período 1		Período 2	
	Velocidade do Ar (m/s)	Fator A (ASHRAE 55)	Velocidade do Ar	Fator A (ASHRAE 55)
SALA 1	0,8	0,7	1,0	0,7
SALA 2	0,6	0,6	1,0	0,7
SALA 5.1	1,1	0,7	0,6 a 1,0 - 0,8 média	0,7
SALA 5.2	0,4	0,6	0,7 a 1,0 - 0,85 média	0,7
SALA 7	1,1	0,7	1,3	0,7

O levantamento de parâmetros ambientais foi feito em dois períodos do ano de 2018: o primeiro no período com condições higrotérmicas mais amenas; e o segundo, com condições extremas que representa a condições de clima quente e seco com alta amplitude térmica e registro de temperaturas máximas anuais como visto no Gráfico da Figura 7.

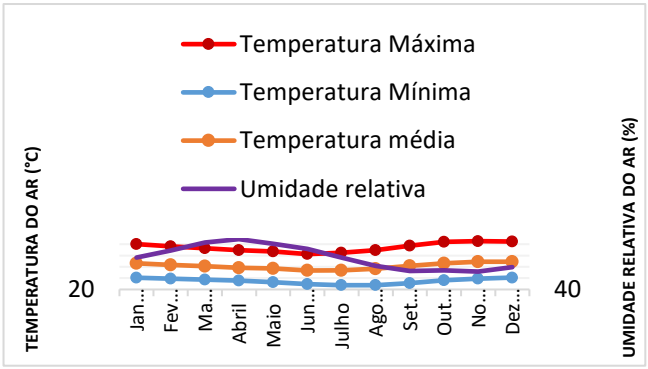


Figura 7 – Comportamento higrotérmico anual na cidade de Caicó – INMET 2018.

A escolha dos períodos de coleta de dados se desenvolveu a partir da observação do comportamento da temperatura e umidade no município de Caicó. As medições ocorreram nas seguintes situações:

Registro no período das mínimas temperaturas do ar no município de Caicó = Junho e Julho.

Registro no período quente e seco no Nordeste brasileiro, feito entre os meses de Outubro e Novembro.

O registro das variáveis ambientais se desenvolveu num período de 24h em cada sala, sendo feita a locação dos equipamentos ao fim da tarde por questões de viabilidade com a agenda escolar, registrando assim até o fim da tarde do dia seguinte. A coleta das velocidades do ar ocorreu em quatro momentos entre período da manhã e tarde e, por conseguinte, feitas ponderações registradas nas Tabelas 3 e 4.

4. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados referentes as análises realizadas nas duas escolas pesquisadas, nos dias 20/06 a 12/07/2018 (período 1) e 22/10 a 07/11/2018 (período 2), os resultados apresentados, direcionam a perspectiva comparada entre o ambiente construído das duas escolas junto a observação das curvas de comportamento das temperaturas internas de cada sala. Ao final, pontua-se que aspectos da envoltória são intervenientes para o menor ou maior desempenho térmico dos ambientes internos das edificações.

4.1. A avaliação do conforto na Escola CEJA.

4.1.1 O comportamento da temperatura do ar.

Nas Figuras 8 e 9, observa-se a temperatura do ar das salas de aula na escola CEJA, onde o primeiro período houve maior ocorrência de variação entre as salas de aula devido a eventos de chuva ocorridos durante o registro. Sobre a relação entre a temperatura do ar interna e externa, considera-se que esta relação é discrepante quando se espera que a temperatura interna seja menor, o que não ocorre devido a temperatura externa ser advinda de um arquivo climático por problemas na estação meteorológica da cidade à época. O que se pode afirmar é que a temperatura interna das salas está distante em 2°C da máxima e mínima retirada das médias externas do período. Diferente da primeira etapa de levantamento, a segunda observação apresentou pouca variação entre suas salas, no turno matutino foi registrada a maior variação entre os ambientes, enquanto no interior da sala foi registrado em torno de 29,5°C seu exterior apontava 25°C, às 8h.

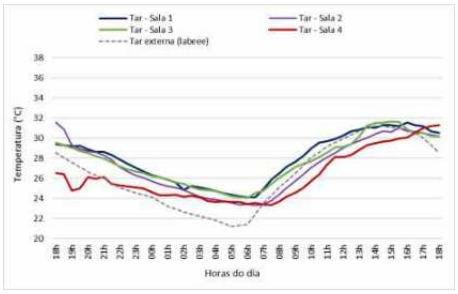


Figura 8 - Gráfico do comportamento da Temperatura do ar no período 1.

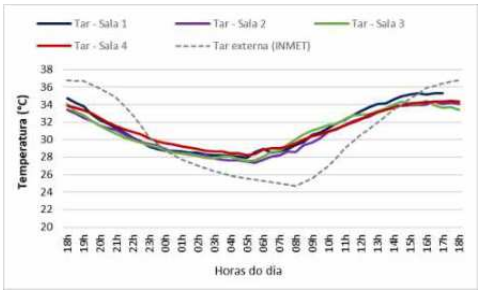


Figura 9 – Gráfico do comportamento da Temperatura do ar no período 2.

4.1.2 A síntese entre o comportamento da Top e as faixas de conforto.

Nesta análise foi elaborada uma síntese entre o comportamento da temperatura operativa e a faixa de conforto para as duas etapas de levantamento conforme apresenta as Figuras 10 e 11. Comparando os dois momentos observa-se que no primeiro período de análise ocorreu uma maior incidência de salas dentro da faixa de conforto, enquanto no segundo período de levantamento um maior número de salas permaneceu acima do limite estabelecido, comprometendo principalmente as aulas do turno vespertino da referida escola.

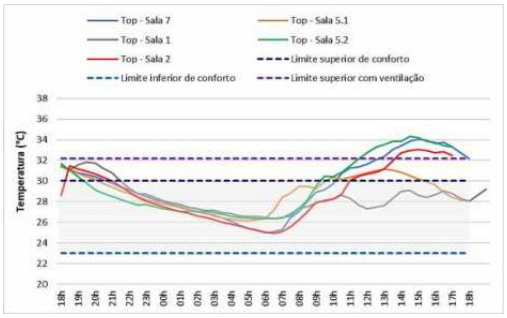


Figura 10 – Gráfico do comportamento da temperatura operativa no período 1.

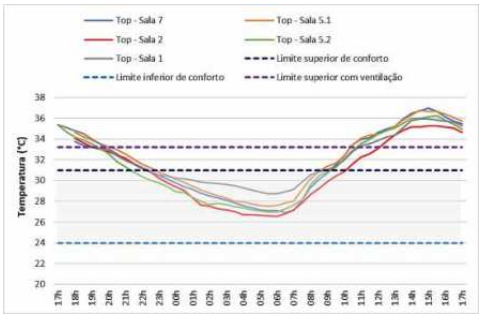


Figura 11– Gráfico do comportamento da temperatura operativa no período 2.

4.2. A avaliação do conforto na Escola EECCAM.

4.2.1 O comportamento da Temperatura do ar.

Na escola EECCAM os registros da temperatura do ar apresentaram variações significativas entre os dois momentos de levantamento, como visto nas Figuras 12 e 13. No primeiro período de observação a maior variação entre ambientes ocorreu às 6h, onde a temperatura interna registrada foi 24,8°C, enquanto seu exterior 21°C, a diferença de dados também foi vista ao longo de todo o dia entre as salas de aula, chegando-

se aos valores de 27,2°C para a sala 1 e 33,4°C para a sala 5.2, um intervalo em torno de 6°C. No período 2 de observação as temperaturas das salas tomam curvas semelhantes e se chegam aos mesmos valores das temperaturas externas entre o fim da tarde a o início da madrugada.

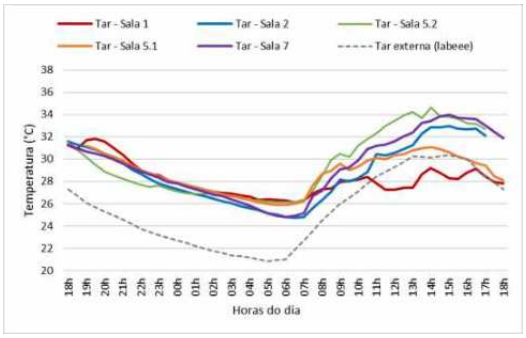


Figura 12 – Gráfico do comportamento da Temperatura do ar no período 1.

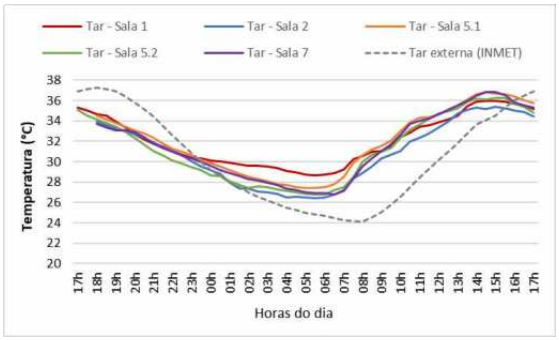


Figura 13 – Gráfico do comportamento da Temperatura do ar no período 2.

4.2.2 A síntese entre o comportamento da Top e as faixas de conforto.

Analisando individualmente o cruzamento de informações entre a faixa de conforto e a temperatura operativa, nota-se que no primeiro período de levantamento três salas ultrapassaram o limite máximo, sala 7, 5.2 e 2, sendo um maior número de horários dentro da zona (Figura 14). Durante a segunda observação (Figura 15), nota-se que os registros estão acima do limite estipulado pela temperatura operativa, 9h às 22h os registros foram superiores ao "limite superior com ventilação".

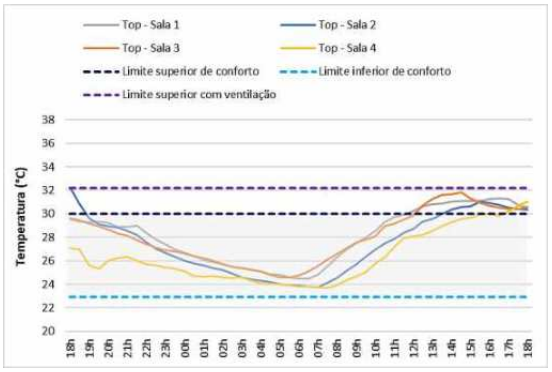


Figura 14 – Gráfico do comportamento da temperatura operativa no período 1

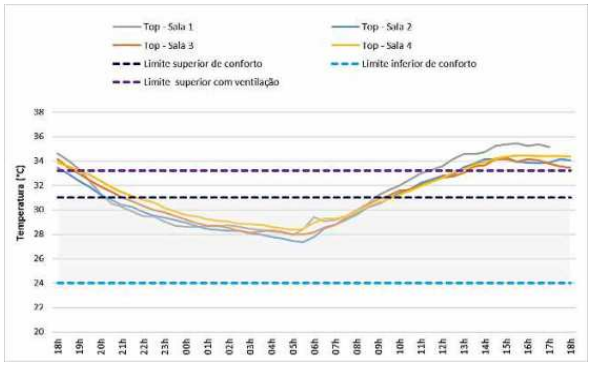


Figura 15 – Gráfico do comportamento da temperatura operativa no período 2.

4.3. Considerações sobre o conforto térmico nas escolas em perspectiva comparada.

4.3.1 Percentual de horas em conforto.



Figura 16 – Gráfico de POC no período 1.



Figura 17 – Gráfico de POC no período 2.

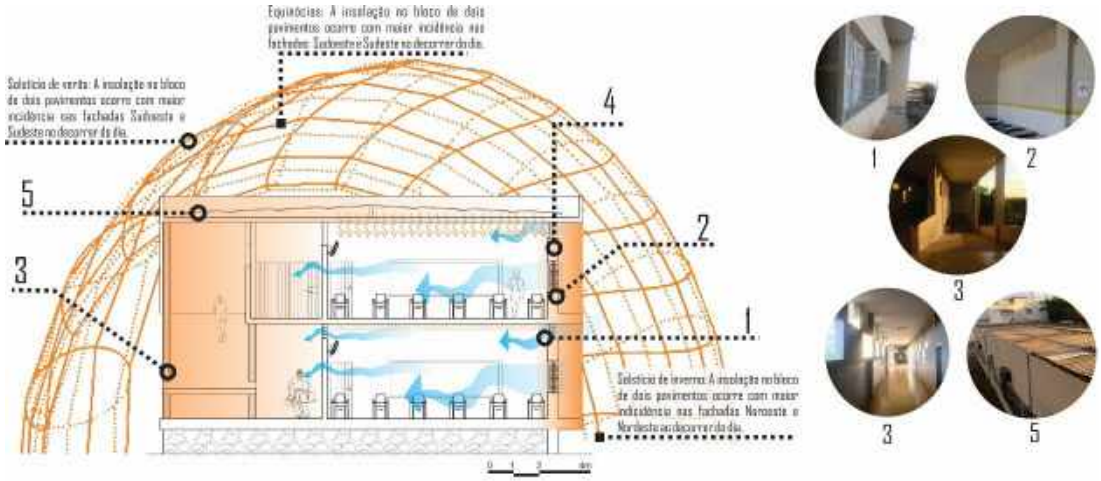
Na Figura 16 observa-se uma comparação entre o percentual de horas em conforto calculadas de forma global para as salas de aula de cada escola. desta forma sendo possível observar que na escola CEJA 17% dos alunos estavam em desconforto, enquanto na EECCAM 28%. No entanto, quando há ventilação em torno de 1m/s a escola CEJA apresenta 100% das horas de funcionamento em conforto para essa temporalidade do ano. No segundo período de análise em ambas instituições (Figura 17), foi percebido uma maior porcentagem de horas em desconforto para os usuários. No CEJA, 41% dos registros de Top apresentaram desconforto ao calor, e 23% ao calor mesmo com uso da ventilação, enquanto no EECCAM 47% de horas de análise encontraram-se acima do limite, além de 32% de horas de desconforto mesmo com ventilação.

As porcentagens de horas em conforto são próximas nas duas escolas quando analisada dentro da temporalidade de período quente e seco com alta amplitude térmica, no entanto se observa um maior percentual para a escola EECCAM. Na primeira temporalidade de registro a escola CEJA apresenta um melhor desempenho com apenas 17% de horas em desconforto e alcança 100% de horas em conforto se é utilizada ventilação na ordem de 1m/s.

Uma consideração importante a ser feita sobre o uso da ventilação nas edificações situadas em clima quente e seco é que em determinadas horas do dia essa estratégia considerada importante para atenuar o desconforto nos usuários, não se efetiva em determinados períodos do ano, pois estudos expõe que massas de ar advindas do ambiente externo acima de 33°C são capazes de potencializar o desconforto ao calor (GIVONI, 1998).

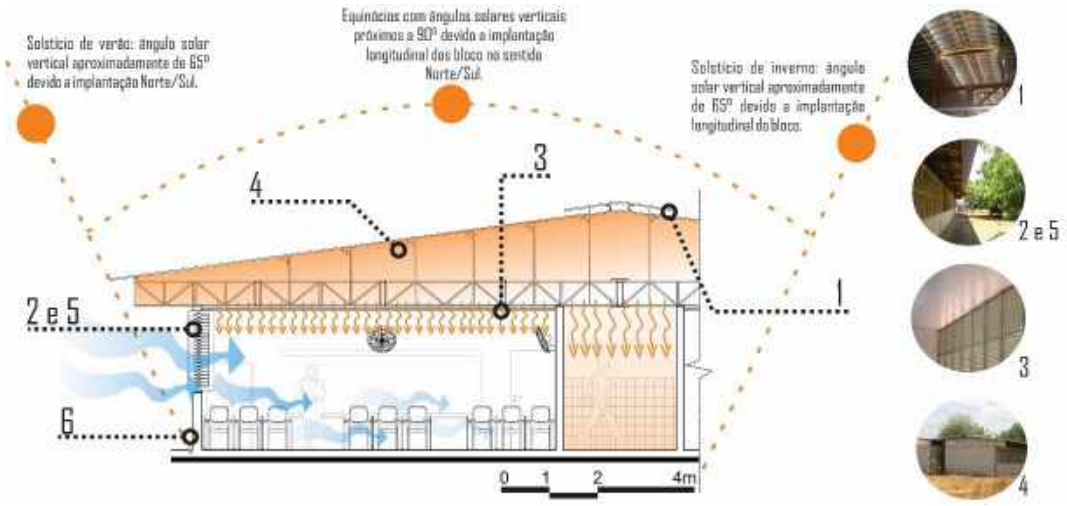
4.3.2 Considerações sobre o ambiente construído das escolas em estudo.

Entende-se que as trocas térmicas entre o ambiente construído das salas de aula e os usuários desses espaços se dá majoritariamente através da envoltória construída, dos sistemas construtivos aplicados na materialidade da arquitetura. Os diagramas das Figuras 18 e 19, apresentam análise de alguns aspectos do invólucro construído das salas de aula analisadas.



1- O maior volume das salas de aula, pelo pé direito mais alto (3,50m) junto com a ventilação cruzada contribui para a dissipação mais rápida dos ventos quentes. 2 - A ventilação nas salas de aula ocorre de forma mais efetiva por conta da disposição de elementos vazados na parte superior das paredes, o que permite uma maior possibilidade de exaustão do vento quente. Ao mesmo tempo que permite uma maior infiltração dessas massas de ar com altas temperaturas que não atenuam o desconforto ao calor nos meses de clima quente e seco mais crítico. 3 - A circulação disposta de forma linear na Fachada Noroeste, adjacente às salas de aula, permite uma proteção da radiação direta nas paredes das salas de aula. 4 - O sistema é de alvenaria convencional, porém o aumento da espessura nas paredes externas principalmente da fachada Sudeste com cerca de 40cm proporciona maior resistência à troca da radiação por condução e há um atraso térmico maior da energia de calor para dentro do ambiente. 5 - A cobertura apresenta alta condutividade da radiação por ser de fibrocimento, no entanto, essa transferência de energia é atenuada pela laje de concreto armado que oferece uma resistência e atraso térmico maior. Ao mesmo tempo, as salas do térreo recebem menos ganho de calor advinda da cobertura.

Figura 18 – Diagrama sobre aspectos da envoltória na escola CEJA.



1 - A cobertura de telha em fibrocimento não é uma solução adequada ao sistema por ser leve e de alta condutividade térmica, em baixa latitude existe uma alta taxa de carga térmica pela cobertura. 2 - A ventilação cruzada não se efetiva nessas salas de aula de forma completa, pois não há aberturas para a saída da pressão positiva das massas de ar, exceto a porta de entrada. 3 - O forro de PVC, apesar de ter baixa condutividade térmica, ainda permite a passagem da radiação advinda da cobertura para o ambiente interno da sala de aula. 4 - A infiltração de ventilação pelo ático da coberta impedida pela vedação da cobertura nas fachadas Leste/Oeste. Isso contribui para o aprisionamento do calor que passa a ser transmitido para os ambientes internos. 5 - As aberturas são protegidas, no entanto suas dimensões generosas permitem a infiltração de ar em momentos do ano em que a ventilação não atenua o desconforto térmico nos indivíduos. 6 - O sistema de alvenaria convencional com 15cm de espessura geral, composta por tijolos cerâmicos e argamassa, tem um desempenho térmico menor no aspecto de inércia térmica, provocando um menor atraso térmico e mas horas de desconforto ao calor como atesta os gráficos de POC.

Figura 19 – Diagrama sobre aspectos da envoltória na escola EECCAM.

5. CONCLUSÕES

Como resultados, tem-se que as salas de aula da escola CEJA apresentam melhor desempenho na correlação entre a zona de conforto e temperatura operativa, enquanto a EECAM apresenta pior desempenho pois os dados de temperatura operativa ultrapassam o limite de conforto com ventilação nas duas temporalidades de registro, sendo o período vespertino o que mais apresenta desconforto térmico aos usuários.

Ao mesmo tempo, no período mais crítico do ano com relação ao clima da região, as duas escolas apresentam horas em desconforto ao calor, e pode-se considerar que a ventilação mecânica ou natural não auxilia na atenuação do desconforto devido às altas temperaturas registradas acima de 33°C.

Observa-se que nos diagramas produzidos sobre a envoltória, são explanados de forma qualitativa aspectos do sistema que contribui em menor ou maior grau para o desempenho do ambiente térmico das salas de aula, onde através dos fenômenos de troca térmicas e conservação de energia o ambiente construído, as edificações em análise pode prover os espaços internos com mais ou menos horas de conforto térmico, dependendo das propriedades térmica dos sistemas construtivos. Em perspectiva comparada, pode-se considerar que a escola CEJA, construída antes da escola EECCAM apresenta, apesar da temporalidade de construção, um melhor desempenho do ambiente construído e mais horas em situações de conforto térmico para os usuários das salas de aula. Tal situação contraria situações em que as novas construções seriam ainda melhores com relação aos projetos anteriores como aponta Scheneider (apud Kowaltowski, 2011): a maioria dos estudos sobre conforto e ambiente escolar demonstra que edifícios mais novos proporcionam iluminação natural de boa qualidade, e o conforto térmico e a qualidade do ar também são melhores se comparados aos prédios mais antigos.

A faixa de conforto estipulada para os dois momentos se aproxima em seus valores sendo o intervalo de 23°C a 30°C no período 1, enquanto que no período 2 a faixa compreende o intervalo de 24 a 31°C, entende-se que pelo fato do clima semiárido apresentar alta amplitude térmica, como uma amplitude de 15°C no período 2 faz com que as médias não representem tão fielmente o comportamento da temperatura no período diurno que atinge cerca de 5°C acima do limite de 31°C estipulado pelo algoritmo da normativa. Tal fato pode não representar fielmente a tolerância às maiores temperaturas na região objeto de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT**. Desempenho térmico de edificações - parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social - NBR 15220-3**. ABNT. Rio de Janeiro, NBR15220-3, 2005b.

ASHRAE STANDARD 55 - 2017. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, Georgia: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference**. Macquarie Research Ltd., Macquarie University, Sydney, NSW 2109, Australia (1998).

GIVONI B., **Climate considerations in building and urban design**. John Wiley & Sons, Inc, New York (1998).

KOWALTOWSKI. Doris C. C. A**rquitetura escolar, o projeto do ambiente de ensino.** Oficina de textos, São Paulo. 2011.

NICOL, F; HUMPHREYS, M. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings.** Energy and Buildings. 34 pp.563-572. 2002.

NICOL, F;. **Adaptive thermal comfort standards in the hot humid tropics.** Energy and Buildings. 36 pp.627-637. 2004.

OLIVEIRA, A.; PEDRINI, A. Aplicabilidade de globos de materiais alternativos em termômetros de globo. In: XIV Encontro Nacional e X Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2017, Balneário Camboriú, **Anais...** ENCAC 2017.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e CAPES, pelas bolsas de mestrado concedidas que ajudaram a desenvolver a pesquisa.