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

DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIO ESCOLAR PADRÃO NA ZONA BIOCLIMÁTICA 8: UM ESTUDO EM VITÓRIA/ES E BELÉM/PA[1]

GOUVEIA, Gilda L. Oliveira de (1); FEYDIT, Mirella Dias (2); PEREIRA, Enzo Melo (3); LOPES, Daniella Marinho (4); PAGEL, Érica Coelho (5)

(1) Universidade Vila Velha, gilda.gouveia@ifnmg.edu.br email
(2) Universidade Vila Velha, mirellafeyditdias@gmail.com
(3) Universidade Vila Velha, enzomelop@hotmail.com
(4) Universidade Vila Velha, daniellamlopes@outlook.com
(5) Universidade Vila Velha, erica.pagel@uvv.br

RESUMO

O conforto térmico no ambiente escolar exerce papel fundamental no processo de ensino aprendizagem. O cuidado ao planejar cada edificação associado à adequada implantação bioclimática na qual será inserida, são algumas estratégias arquitetônicas adotadas para essa finalidade. Entretanto, uma prática comum no Brasil, principalmente na construção de escolas públicas, é a adoção de projetos padronizados para todo território nacional. Tal prática facilita o tempo e a aquisição de verba, porém, se faz inoportuna ao atendimento das especificações climáticas de cada lugar. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi analisar os índices de conforto térmico em uma sala de aula pertencente ao projeto padrão do Proinfância Tipo B, implantado em duas cidades localizados na mesma Zona Bioclimática. A metodologia do trabalho subdividiu-se na caracterização do objeto de estudo, simulação computacional, determinação dos indicadores de conforto térmico - faixa de conforto adaptativo da ASHRAE 55/2017 e diagrama de flutuabilidade. A avaliação demonstrou que, apesar de pertencerem a mesma ZB, os resultados obtidos são discrepantes de uma cidade para outra. O índice de desconforto ao longo do ano em Belém é maior do que em Vitória, independentemente da orientação de implantação da escola, evidenciando a necessidade de diretrizes construtivas individualizadas para cada região.

Palavras-chave: *Desempenho Térmico. Proinfância. DesignBuilder. Zona Bioclimática 8.*

ABSTRACT

Thermal comfort in the school environment plays a fundamental role in the teaching-learning process. The necessary care in planning each building associated with the appropriate bioclimatic implantation to which it will be inserted, are some of the architectural strategies adopted for this purpose. Nevertheless, a common practice in Brazil, mainly in the construction of public schools, is the adoption of standardized projects for the entire national territory. Such practice facilitates time and fundraising, however, it is inadequate to meet the climatic specifications of each location. Therefore, the objective of this work was to analyze the thermal comfort indexes in a classroom belonging to the standard project of Proinfância Tipo B, implanted in two cities belonging to the same Bioclimatic Zone (ZB). The work

[1] GOUVEIA, Gilda L. Oliveira de; FEYDIT, Mirella Dias; PEREIRA, Enzo Melo; LOPES, Daniella Marinho; PAGEL, Érica Coelho. Desempenho Térmico de Edifício Escolar Padrão na Zona Bioclimática 8: Um Estudo em Vitória/ES e Belém/PA. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

methodology was subdivided in the characterization of the study object, computational simulation and determination of the thermal comfort indicators - ASHRAE 55/2017 adaptive comfort range and buoyancy diagram. The evaluation showed that, despite belonging to the same ZB, the results change. from one city to another. The discomfort index during the year in Belém was higher than in Vitória, regardless of the orientation of the school's implementation, showing the need for individualized construction guidelines for each region.

***Keywords**: Thermal Performance. Proinfância. DesignBuilder. Bioclimatic Zone 8.*

1 INTRODUÇÃO

Senso comum que a educação no Brasil é considerada um problema social e apresenta desafios de várias ordens, dentre eles prioriza-se a qualidade do ambiente escolar. Diante disso, compreende-se que um ambiente no qual o bem-estar do indivíduo está comprometido, não pode ser visto como um lugar apropriado para o aprendizado. O espaço educativo deve ser confortável, acolhedor e estimulante, visando criar uma atmosfera propícia para o ensino (KOWALTOWSKI, 2011).

Considerando o conforto térmico parte integrante do conforto ambiental, torna-se importante fazer avaliação do ambiente construído. Nogueira et al (2005), aponta que quando submetidas a ambientes não adequados ao clima local, as reações fisiológicas dos alunos são afetadas, causando prejuízo ao processo ensino-aprendizagem. Sendo assim, recomenda que, dentre outras particularidades, as condições climáticas e ambientais sejam levadas em consideração durante a fase de projeto.

Antes da Lei de Diretrizes e Bases da Educação, em vigor desde1996, a educação infantil esteve negligenciada por parte do estado, resultando em um déficit significativo com relação a essas edificações. Com intenção de suprir essa demanda, adota-se a prática do uso de projetos padronizados, prática comum na história da arquitetura escolar brasileira, e bastante difundida sob a justificativa de se tratar de uma metodologia que proporciona redução de custos, promove agilidade ao processo construtivo e permite que os projetos de fato cheguem a regiões mais carentes do país. Diante disso, por muito tempo acreditou-se que esse seria um método eficiente de se planejar prédios públicos de forma geral (AZEVEDO; BASTOS; BLOWER, 2007).

Para apontar algumas das falhas existentes ao se adotar um único projeto e executá-lo em qualquer local do território brasileiro, o trabalho de Spagnuolo (2019) avaliou a variação dos índices de conforto térmico do projeto padrão do Proinfância tipo B quando implantados em várias cidades distintas, usando como indicador as horas em conforto obtidas na simulação térmica ao longo de um ano. A escolha das cidades se deu com base na divisão do território brasileiro em 8 Zonas Bioclimáticas (ZB), proposta pela norma brasileira de Desempenho Térmico em Edificações (ABNT, 2005). O trabalho de Spagnuolo (2019) aponta também que a divisão do território brasileiro em apenas 8 Zonas é insuficiente para caracterizar todas as regiões do Brasil. Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar os índices de conforto térmico em uma sala de aula do Projeto padrão Proinfância do Tipo B, quando implantados em duas cidades distintas, porém, pertencentes a uma mesma ZB.

2 METODOLOGIA

As etapas metodológicas são: caracterização do objeto de estudo; simulação

computacional e indicadores de avaliação de conforto térmico.

2.1 Caracterização do objeto e das cidades de estudo

Representando escolas brasileiras infantis, adotou-se como recorte do trabalho o estudo de caso do edifício padrão Tipo B do Programa Proinfância, fundado em 2007 pelo Governo Federal com a finalidade de melhorar os índices de qualidade da educação básica através de investimento em infraestrutura (FNDE, 2020). Essa escolha levou em consideração a quantidade de unidades concluídas nos estados envolvidos pela pesquisa, Espírito Santo (31) e Pará (101), assim como a quantidade de escolas construídas no Brasil (2453), sendo em todos os casos, o projeto Tipo B, adotado com maior frequência. O projeto tem capacidade para atender 224 crianças, sendo composto por cinco blocos que agrupam diversas funções: o bloco administrativo, bloco de serviços, bloco multiuso e dois blocos pedagógicos.

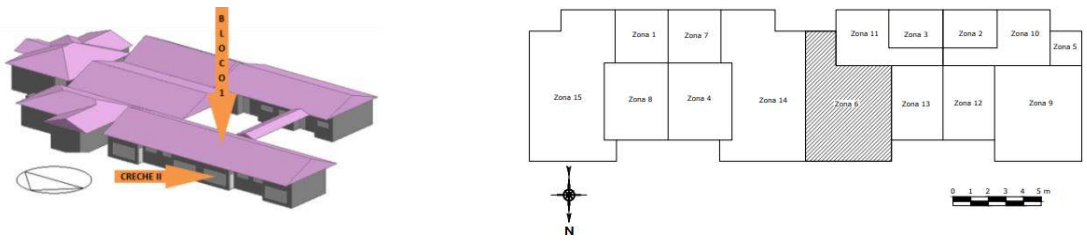
As cidades envolvidas nesse estudo, Vitória – ES, no Sudeste e Belém – PA, no Norte, pertencem a ZB 8, que por sua vez corresponde a 53,7% do território brasileiro e que possui as seguintes diretrizes construtivas: aberturas grandes (maior do que 40% da área do piso) para ventilação nas áreas consideradas de longa permanência; ventilação cruzada; sombreamento contínuo das aberturas; aberturas voltadas à direção dos ventos dominantes, observando o entorno.

Apesar das cidades pertencerem a mesma ZB, é possível observar particularidades que as diferenciam significativamente, como por exemplo, a velocidade e frequência dos ventos que é bem mais expressiva em Vitória. Além disso, Vitória conta com um clima tropical atlântico com baixo índice de precipitação pluviométrica, possui baixa amplitude térmica, com temperaturas médias anuais variando entre 21,8 °C e 28,9 °C e a umidade relativa do ar é alta durante o ano, com médias mensais variando entre 74,9% e 79,2% (INMET, 2020). Belém possui um clima equatorial decorrente da proximidade com a linha do Equador e da presença da floresta amazônica, características que tornam a localidade com alto índice pluviométrico, sem período de seca e contando ainda com um clima quente e úmido ao longo de todo o ano (SOMAR METEREOLOGIA, 2015). Belém possui baixa amplitude térmica, com temperaturas médias anuais variando entre 22,7 °C e 31,8 °C e a umidade relativa do ar é alta durante o ano, com médias mensais entre 80,1% e 89,9% (INMET, 2020).

2.2 Simulações computacionais

Para a análise das condições climáticas da cidade de Vitória - ES e Belém - PA utilizou-se o arquivo climático no formato TRY (LABEEE..., 2019). A Figura 1 mostra o modelo tridimensional do Proinfância Tipo B e a planta baixa do bloco 1, que possui a sala selecionada para estudo – Creche II, classificada pelo software como Zona 6.

Figura 1 – (a) modelo tridimensional e (b) planta baixa do bloco 1 destacando a zona 6



a) b)

Fonte: Os autores

As simulações realizadas consideraram quatro orientações possíveis da fachada onde está situada a sala de aula (Creche II): Norte, Sul, Leste e Oeste. A Tabela 1 concentra os dados de entrada utilizados para configuração do modelo no software DesignBuilder versão 6.1.0.006 (DESIGNBUILDER, 2019).

Tabela 1– Caracterização do ambiente e dos materiais construtivos

DIMENSÕES	
Área do ambiente (sala de aula da creche II)	**27,29 m²**
Área de ventilação referente a janela de correr	1,98 m²
Área de ventilação referente as portas	1,68 m²
ENVOLTÓRIA	
Paredes: tijolos com 08 furos quadrados (9 x19 x19) cm, emboço de 0,025 m	**0,14 m de espessura**
Densidade de massa aparente do bloco cerâmico	1600 kg/m3
Condutividade térmica do bloco cerâmico	0,90 W/(m.K)
Calor especifico do bloco cerâmico	0,92 kJ/(kg.K)
Densidade de massa aparente da argamassa comum do	2000 kg/m3
Condutividade térmica da argamassa comum do emboco	1,15 W/(m.K)
Calor especifico da argamassa comum do emboço	1,00 kJ/(kg.K)
Emissividade das paredes e piso (Ɛ)	0,90
Absortância (α) das paredes e piso (α)	0,30
Cobertura (laje pré-moldada maciça + telha de barro)	**laje = 0,1 m de espessura**
Densidade de massa aparente do concreto	2200 kg/m3
Condutividade térmica do concreto	1,75 W/(m.K)
Calor especifico do concreto	1,00 kJ/(kg.K)
Densidade de massa aparente da telha de barro	2000 kg/m3
Condutividade térmica da telha de barro	1,05 W/(m.K)
Calor especifico da telha de barro	0,92 kJ/(kg.K)
Vidro incolor das janelas	**0,006 m de espessura**
Transmitância térmica do vidro incolor	5,77 W/(m².K)
Moldura de alumínio das janelas	
Transmitância térmica do alumínio	5,88 W/(m².K)
CARGAS INTERNAS E PADRÃO DE OCUPAÇÃO	
Densidade de ocupação	0,36 pessoa/m²
Vestimenta	0, 50 clo
Taxa metabólica referente aos alunos - atividade	60,7 W/(pessoa.hora)
Padrão de ocupação: 12 alunos (de 1 a 2 anos) + 02 professor	
Diurno	**Noturno**
100% (07:00 hs - 11:00 hs) 0% (11:00 hs - 13:00 hs) 100% (13:00 hs - 17:00 hs)	0% (17:00 hs - 07:00 hs)

Fonte: Adaptado de FNDE (2019); NBR 15220 (2005); Nico-Rodrigues (2015) e de Spagnuolo (2019)

2.3 Indicadores utilizados para avaliar o conforto térmico

Os indicadores adotados são o intervalo de conforto térmico adaptativo e o diagrama de flutuabilidade, que serão detalhados nas próximas seções.

2.3.1 Intervalo de conforto adaptativo para 90% de aceitabilidade

A pesquisa se concentrou nos limites máximos do intervalo diário de conforto, visto que as cidades envolvidas no estudo estão submetidas a condições de desconforto por calor na maior parte do tempo, condição que ocorre quando as temperaturas operativas internas médias ultrapassam a temperatura máxima de conforto. O intervalo de conforto adotado foi o proposto pelo método adaptativo da ASHRAE 55 (2017) já utilizado em estudos brasileiros, como Nico-Rodrigues et al. (2015), onde os parâmetros envolvidos são a temperatura operativa interna neutra (TN), obtida através da Equação 1 que depende da temperatura média do ar externo (TE).

$$TN = 17,8 + 0,31 \times TE \quad (1)$$

Foi considerado o percentual de 90% de aceitabilidade, visto que o público alvo é infantil e possui maior sensibilidade térmica. Além disso, esse percentual foi adotado em outros trabalhos na região, como Nico-Rodrigues et al. (2015).

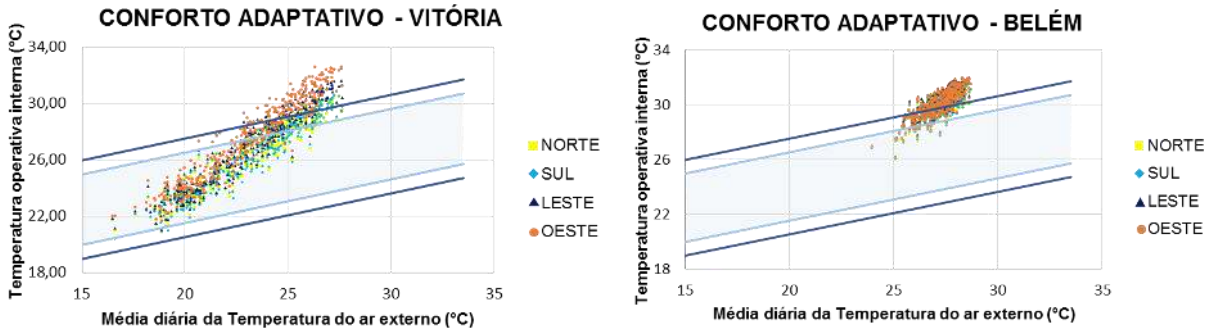
2.3.2 Diagrama de flutuabilidade

O diagrama proposto por Sicurella, Evola e Wurtz (2012) tem o objetivo de promover uma análise mais aprofundada a respeito das condições de desconforto no ambiente estudado. O diagrama relaciona a Frequência de Desconforto Térmico – FDT, com os Graus-horas de desconforto térmico – GhDT. O FDT equivale ao percentual de tempo em hora inteira em que a temperatura operativa é superior a temperatura máxima de conforto. A análise do FDT foi diária, por isso o percentual máximo de desconforto (FDT = 100%) corresponde às 24 horas do dia. O GhDT representa a soma diária dos graus obtidos ao se subtrair a temperatura operativa horária e a temperatura máxima de conforto estabelecida para o mês em referência. O diagrama caracteriza o desconforto térmico classificando-o em quatro zonas, com relação a frequência (FDT) e intensidade (GhDT), são elas: Zona 1- desconforto temporário e leve; Zona 2- desconforto frequente e leve; Zona 3- desconforto temporário e intenso e Zona 4- desconforto frequente e intenso.

3 RESULTADOS

A Figura 2 apresenta a distribuição dos dias com relação ao intervalo de conforto da Ashrae 55 (2017), para quatro orientações de fachada da Creche II.

Figura 2 – Intervalo de conforto adaptativo para cada cidade



Fonte: Adaptado *de ASHRAE 55 (2017)*

Os pontos encontram-se mais distribuídos ao longo do gráfico em Vitória do que em Belém. Entre as motivações para esse comportamento está o fato da cidade de Belém ser caracterizada por um clima equatorial onde as condições climáticas apresentam pouca variação entre as estações do ano, diferentemente da cidade de Vitória, que possui estações bem definidas.

Analisando a Tabela 2, observa-se que o percentual de dias confortáveis no ano para Vitória é muito superior comparado a Belém. É evidente também que a orientação de implantação influencia no conforto de forma mais significativa em Vitória. A orientação da sala voltada ao Sul oferece mais dias confortáveis em Vitória (249 dias ao ano), enquanto a orientação Oeste oferece apenas 169 dias em conforto térmico. Para a cidade de Belém, as fachadas mais confortáveis são voltadas ao norte e sul, por outro lado as mais desconfortáveis são a leste e oeste.

Tabela 2 – Quantidade de dias e porcentagem do ano em que a sala de aula oferece conforto em cada cidade, considerando 90 % de aceitabilidade

Orientação	**Norte**		**Sul**		**Leste**		**Oeste**	
Parâmetros	**Dias**	**%**	**Dias**	**%**	**Dias**	**%**	**Dias**	**%**
Vitória	238	65,21	249	68,22	196	53,70	169	46,30
Belém	33	9,04	32	8,77	19	5,21	25	6,85

Os autores

De acordo com o Diagrama de flutuabilidade apresentado na Figura 3 é possível observar que na cidade de Vitória, de forma geral, há uma maior concentração dos pontos que representam os dias em desconforto pertencentes as zonas 1 e 2, o que mostra que independente da estação do ano, a maior parte dos dias oferecem um desconforto leve, porém temporário (zona 1) em alguns dias e frequente (zona 2) em outros. Em contrapartida, a cidade de Belém possui maior concentração de pontos entre as zonas 2 e 4, caracterizando o desconforto, no geral, em frequente, podendo variar entre leve e intenso. A ausência de pontos na zona 3, tanto na cidade de Vitória quanto em Belém, representa que o desconforto térmico por calor sentido pelos usuários da Creche II é intenso, e também ocorre de forma frequente, ou seja, em mais de 50% do dia.

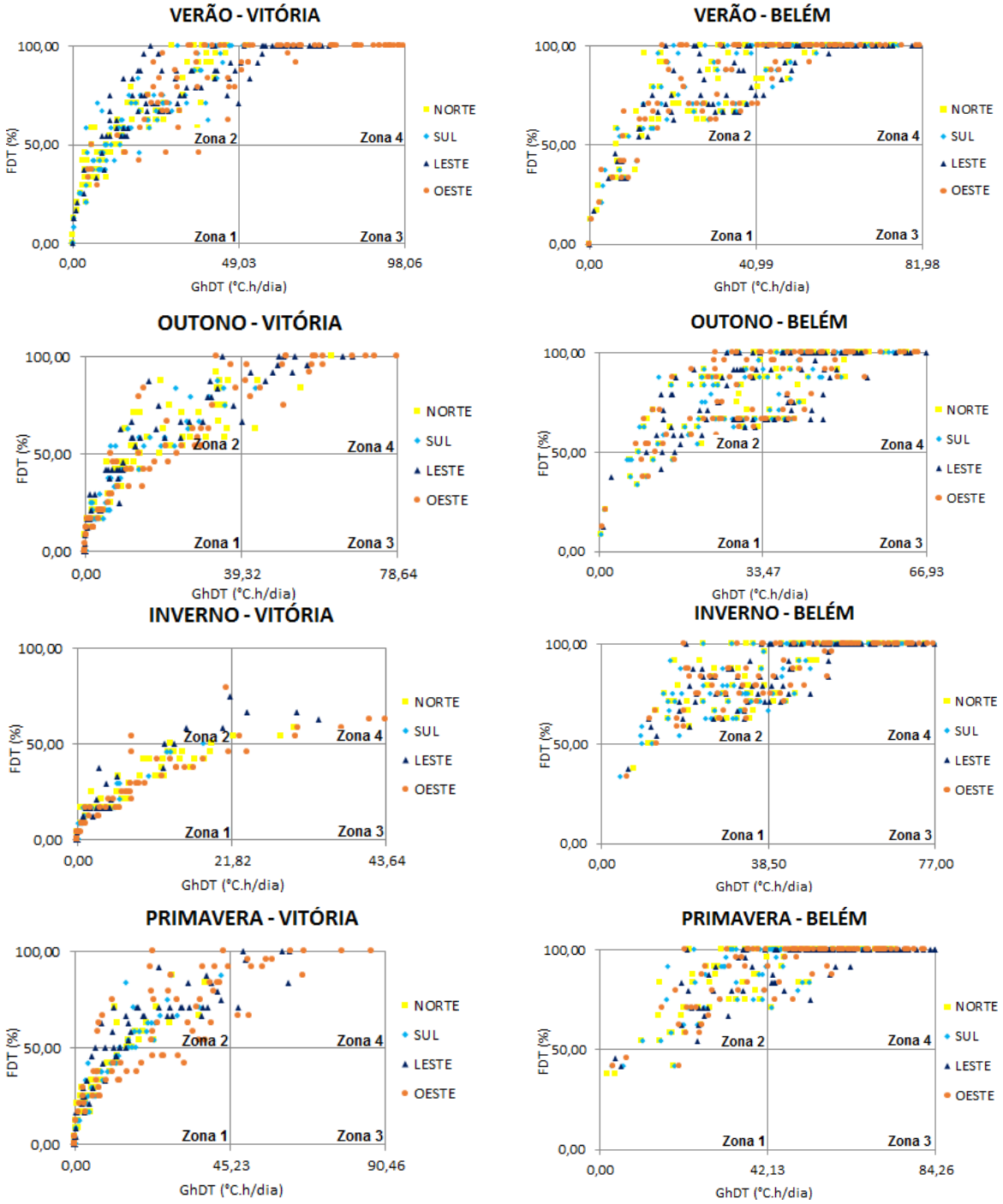
Comparando as estações do Outono e da Primavera de Vitória, observa-se que há semelhanças entre a distribuição dos pontos, porém no Outono observa-se que o desconforto é mais frequente, marcado por mais pontos contidos nas zonas 2 e 4, que possuem mais de 50% do dia em desconforto. Além disso, o outono conta com mais dias onde o desconforto ocorre durante as 24 horas do dia e ainda possui GhDT elevado, caracterizando-o como intenso. O outono da cidade de Belém apresenta uma parcela significativa de dias com desconforto frequente, observada pela quantidade de pontos no diagrama que estão bem distribuídos entre as zonas 2 e 4, com alguns poucos dias contidos na zona 1 (desconforto temporário e leve).

A estação de primavera em Belém conta com poucos dias desconfortáveis, comparado às demais estações do ano e que diferentemente da primavera de Vitória, possui poucos dias com desconforto temporário e leve (pertencentes a zona 1). Outro ponto referente a Belém, diferente da cidade de Vitória, é a quantidade de dias com desconforto durante todo o dia (FDT = 100 %).

A estação do inverno em Vitória conta com os dias mais confortáveis do ano, por esse motivo, o diagrama apresenta poucos pontos de forma geral. Durante essa estação, os dias que possuem desconforto térmico contam com FDT, no geral, inferior a 50%, o que caracteriza o desconforto como temporário e como a maior parte dos pontos estão concentrados na zona 1, onde são registrados os valores de GhDT mais baixos, entende-se que esse desconforto é do tipo leve.

Com relação ao verão de Vitória, que é a estação mais desconfortável do ano, observa-se uma quantidade significativa de pontos distribuídos ao longo da zona 2 que representam dias com desconforto frequente, porém leve. O verão é marcado também por uma quantidade grande de dias com desconforto ao longo de todas as 24 horas (frequente), representados pelos pontos situados na extremidade superior das zonas 2 e 4. Comportamento semelhante ocorre em todas as estações para a cidade de Belém, já que todos os diagramas contam com muitos pontos situados na extremidade superior das zonas 2 e 4, demonstrando que em Belém, há ocorrência de dias frequentemente desconfortáveis (FDT = 100%) ao longo de todo o ano e que esse desconforto em alguns dias é leve e em outros é intenso.

Figura 3 – Diagrama de flutuabilidade para as cidades de Vitória e Belém, por estação do ano, considerando quatro orientações de implantação



Fonte: Adaptado de Sicurella, Evola e Wurtz (2012)

4 CONCLUSÃO

O estudo evidencia que a adoção de projetos escolares padronizados provoca graves prejuízos ao conforto térmico oferecido por essas edificações, devido não considerarem as especificidades geográficas e climáticas (latitude, incidência de radiação solar, regime de ventos, rugosidade, etc) de cada região. Verifica-se que Vitória possui maior quantidade de dias confortáveis termicamente durante o ano, em relação a Belém, apresentando maior eficiência quando a fachada da Creche

II é orientada ao Sul (68,2% dos dias do ano em conforto) e maior desconforto quando voltada para a orientação Oeste (53,7% dos dias do ano). Já a cidade de Belém, devido a sua latitude próxima à linha do equador, há um equilíbrio entre as fachadas de maior conforto (norte e sul) e as de desconforto térmico (leste e oeste). Em Vitória, a estação do ano mais desconfortável é o verão, pois possui maior quantidade de dias com desconforto intenso em todas as horas do dia (FDT = 100%) e a estação mais confortável é o inverno, onde o desconforto é, em geral, leve e temporário. Em Belém, todas as estações apresentam uma grande quantidade de dias em desconforto intenso e ao longo de todo o dia (FDT = 100%). Os resultados mostram que embora Vitória e Belém pertençam a mesma Zona Bioclimática, se faz necessário o uso de estratégias distintas para cada localidade, a fim de se atingir um maior índice de conforto térmico dentro da edificação.

REFERÊNCIAS

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

AZEVEDO, G. A.; BASTOS, L. E.; BLOWER, H. S. **O moderno já passado–o passado no moderno**. *Anais do III Seminário Projetar*, 2007.

DESIGNBUILDER. 2013. DESIGNBUILDER software Ltda. Versão 3.4.0.041.

FNDE - FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Proinfância: Dados referentes ao programa.** Disponível em: https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/proinfancia. Acesso em: 10 abril 2020.

INMET - INSTITUTO METEOROLÓGICO DE METEOROLOGIA. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/. Acesso em: 10 março 2020.

KOWALTOWSKI, Doris CCK. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. Oficina de textos, 2011.

LABEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Seção downloads: ***Arquivos climáticos para simulação energética de edificações em formato EPW***. *Disponível em:* http://www.labeee.ufsc.br/downloads. Acesso em: 10 de junho de 2019.

NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida et al. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 2, p. 7-23, 2015.

NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque *et al*. Conforto térmico na escola pública em Cuiabá-MT: Estudo de Caso. **REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 14, 2005.

SICURELLA, Fabio; EVOLA, Gianpiero; WURTZ, Etienne. A statistical approach for the evaluation of thermal and visual comfort in free-running buildings. **Energy and buildings**, v. 47, p. 402-410, 2012..

SPAGNUOLO, Augusto Yuji Nojima. **Projeto padrão e conforto térmico: estudo de caso nas creches PROINFÂNCIA Tipo B**. 2019.

STANDARD, ASHRAE. Standard 55–2017 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. **American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers: Atlanta, GA, USA**, 2017.