

UNIVERSIDADE VILA VELHA-ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E CIDADE

**IMPACTO DAS ABERTURAS NO CONFORTO TÉRMICO EM
AMBIENTE ESCOLAR PADRÃO POR VENTILAÇÃO NATURAL**

GILDA LAYSA OLIVEIRA DE GOUVEIA

VILA VELHA
MAIO/2021

UNIVERSIDADE VILA VELHA-ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E CIDADE

**IMPACTO DAS ABERTURAS NO CONFORTO TÉRMICO EM
AMBIENTE ESCOLAR PADRÃO POR VENTILAÇÃO NATURAL**

Dissertação apresentada a Universidade Vila Velha como pré-requisito do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade, para obtenção do grau de Mestra em Arquitetura e Cidade.

GILDA LAYSA OLIVEIRA DE GOUVEIA

VILA VELHA
MAIO/2021

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central / UVV-ES

G719i

Gouveia, Gilda Laysa Oliveira de.
Impacto das aberturas no conforto térmico em ambiente
escolar padrão por ventilação natural / Gilda Laysa Oliveira de
Gouveia. – 2021.
184 f. : il.

Orientadora: Érica Coelho Pagel.
Coorientador: Ramon Silva Martins
Dissertação (mestrado em Arquitetura e Cidade) - Universidade
Vila Velha, 2021.
Inclui bibliografias.

1. Arquitetura. 2. Ambiente escolar. I. Pagel, Érica Coelho.
II. Martins, Ramon Silva. III. Universidade Vila Velha. IV. Título.

CDD 720

GILDA LAYSA OLIVEIRA DE GOUVEIA

**IMPACTO DAS ABERTURAS NO CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTE ESCOLAR PADRÃO POR
VENTILAÇÃO NATURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Cidade para a obtenção do grau de Mestra em Arquitetura e Cidade.

Aprovada em 28 de maio de 2021,

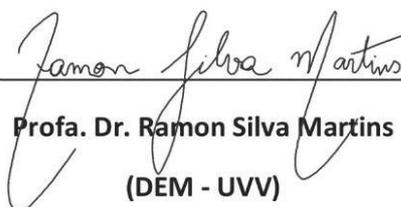
Banca Examinadora:



Profa. Dra. Érica Coelho Pagel

(PPGAC - UVV)

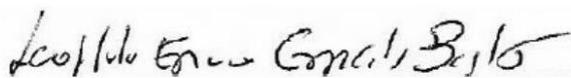
Orientadora



Profa. Dr. Ramon Silva Martins

(DEM - UVV)

Co-orientador



Prof. Dr. Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

(PPGAC/UVV)

Examinador Interno

Edna Aparecida
Nico Rodrigues

Assinado de forma digital por Edna Aparecida Nico Rodrigues
DN: cn=Edna Aparecida Nico Rodrigues, ou=UFES, ou=PPGAU,
email=edna.rodrigues@ufes.br, c=BR
Data: 2021.12.22 15:16:45 -03'00'

Dra. Edna Aparecida Nico Rodrigues

(PPGAU/UFES)

Examinadora Externa

RESUMO

GOUVEIA, Gilda Laysa Oliveira De, M.Sc, Universidade Vila Velha – ES, maio de 2021. **Impacto das aberturas no conforto térmico em ambiente escolar padrão por ventilação natural.** Orientadora: Erica Coelho Pagel, Coorientador: Ramon Silva Martins

É senso comum que a educação no Brasil é considerada um problema social e apresenta desafios de várias ordens, dentre eles, a qualidade do ambiente escolar. Considerando que a padronização da arquitetura é um dos grandes desafios a serem superados pelo Brasil e que essa prática impacta diretamente no conforto térmico, este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento térmico de um projeto padrão de alcance nacional implantado em duas cidades pertencentes a Zona Bioclimática 8, Vitória e Belém, a partir da proposição de modelos de aberturas. O projeto estudado é o Tipo B do programa Proinfância que conta com 4350 unidades implantadas entre os anos de 2007 e 2021 em todo o território nacional. As análises foram feitas por meio de simulação térmica, utilizando como indicadores de conforto o modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2013) e os diagramas de flutuabilidades (SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012) que juntos permitem avaliar tanto o percentual de conforto existente, por meio do intervalo de conforto adaptativo, quanto a intensidade e frequência do desconforto diário, por meio do GhDT e do FDT, respectivamente. Além disso, foi levantado também quais seriam o consumo energético e o custo financeiro para tornar estas escolas confortáveis o ano inteiro. Em síntese, os resultados obtidos mostraram que o projeto padrão apresentou os percentuais de (57,5-Norte; 67,1-Sul; 57,3-Leste; 52,3-Oeste)(%) de dias em conforto ao longo do ano por orientação de implantação para a cidade de Vitória e (19,7-Norte; 21,1-Sul; 4,7-Leste; 4,4-Oeste)(%) para Belém, sendo que a partir da adoção dos novos modelos de janelas esses percentuais aumentaram consideravelmente em proporções que variaram entre 17% e 56% para Vitória e entre 112% e 1400% para Belém. Os aumentos se deram à medida que os modelos de janelas tiveram suas áreas disponíveis para ventilação aumentadas, seguindo a ordem M1-M2-M3-M4, sendo o melhor resultado obtido pela janela M4 em todas as combinações. Em relação às diferentes condições analisadas para as portas, foi observado, de forma geral, que usar a porta aberta (PA) ou fechada (PF)

influenciou pouco no conforto térmico, no entanto, adotar as portas do tipo baia (PB) ou veneziana (PV), em muitos dos casos apresentaram resultados positivos, assim como o uso do elemento Sombreador, tanto em Vitória quanto em Belém. Em relação às orientações de implantação, na maior parte dos casos estudados a orientação Sul apresentou os melhores resultados, enquanto a orientação Oeste os piores níveis de conforto térmico. Por fim, apesar das alternativas avaliadas terem reduzido significativamente os níveis de desconforto térmico, nenhum dos casos estudados apresentou conforto térmico em tempo integral, considerando o parâmetro analisa de 90% de aceitabilidade, proposto pela ASHRAE 55, sendo assim, sem o devido condicionamento térmico do ambiente, a adoção de projetos padrão é inadequada, podendo prejudicar os usuários e o desenvolvimento das atividades escolares diárias.

Palavras-chave: Conforto térmico. Projeto padrão. Simulação térmica.

ABSTRACT

GOUVEIA, Gilda Laysa Oliveira De, M.Sc, Universidade Vila Velha – ES, may 2021. **Impact of openings on thermal comfort in a standard school environment by natural ventilation.** Advisor: Erica Coelho Pagel, Co-advisor: Ramon Silva Martins.

It is common sense that education in Brazil is considered a social problem and presents challenges of several orders, among them, the quality of the school environment. Considering that the standardization of architecture is one of the great challenges to be overcome by Brazil and that this practice has a direct impact on thermal comfort, this work aims to evaluate the thermal behavior of a standard project with national scope implemented in two cities belonging to the Bioclimatic Zone 8, Vitória and Belém, from the proposition of opening models. The project studied is the Type B of the Proinfância program, which has 4350 units implemented between 2007 and 2021 throughout the country. The analyzes were performed by means of thermal simulation, using as comfort indicators the adaptive model of ASHRAE 55 (2013) and buoyancy diagrams (SICURELLA, EVOLA and WURTZ, 2012) that together allow to assess both the percentage of existing comfort, through the adaptive comfort interval, as the intensity and frequency of daily discomfort, through the GhDT and FDT, respectively. In addition, what would be the energy consumption and the financial cost to make these schools comfortable throughout the year was also raised. In summary, the results obtained showed that the standard design presented the percentages of (57.5-North; 67.1-South; 57.3-East; 52.3-West)(%) of days in comfort throughout the year by implementation guidance for the city of Vitória and (19.7-North; 21.1-South; 4.7-East; 4.4-West)(%) for Belém, and from the adoption of the new window models these percentages increased considerably in proportions that varied between 17% and 56% for Vitória and between 112% and 1400% for Belém. order M1-M2-M3-M4, with the best result being obtained by the M4 window in all combinations. Regarding the different conditions analyzed for the doors, it was observed, in general, that using the open (PA) or closed (PF) door had little influence on thermal comfort, however adopting the bay (PB) or shutter type doors (PV), in many of the cases presented positive results, as did the use of the Shader element, both in Vitória and Belém. West the worst levels of thermal comfort. Finally, although the alternatives evaluated have significantly reduced the levels of thermal discomfort, none of the cases studied showed full-time thermal comfort, considering the

parameter analyzes of 90% acceptability, proposed by ASHRAE 55, thus, without proper thermal conditioning environment, the adoption of standard projects is inadequate, which can harm users and the development of daily school activities.

Keywords: Thermal comfort. Standard design. Thermal simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escola Modelo da Luz: a) Planta baixa do nível térreo e b) Configuração geométrica da fachada.	26
Figura 2 - Grupo Escolar Visconde Congonhas do Campo: a) Planta do nível térreo com as salas de aula identificadas pelo número 1 e b) Configuração geométrica da fachada.	27
Figura 3 - Centro Educacional Carneiro Ribeiro: a) Escola-classe I, b) Escola-classe II, c) Escola-classe III, d) Escola-classe IV e e) Escola-parque.....	30
Figura 4 - Traços da arquitetura moderna empregados no CECR.....	31
Figura 5 - Escola de Guarulhos: a) Análise esquemática da implantação em planta baixa, b) Fachada Sudeste, c) Pátio próximo a quadra de esportes.	32
Figura 6 - a) CIPE Nelson Rodrigues e b) CAIC na cidade de Maringá, atual CAP/UEM.....	35
Figura 7 - a) CEU Jambeiro, b) CEU Capão Redondo, c) CEU Vila Alpina e d) CEU Três Lagos.	37
Figura 8 - Perspectiva frontal dos projetos padronizados do Proinfância: a) Tipo B, b) Tipo C, c) Tipo 1 e d) Tipo 2.....	39
Figura 9 - Exemplos de janelas em ambientes escolares brasileiros em que o acesso visual externo a sala é comprometida.	43
Figura 10 - Exemplos de sombreadores em escolas de ensino infantil e fundamental: a) e d) sombreadores horizontais fixos externos; b) e c) sombreadores verticais articulados externos.	46
Figura 11 - Apresentação do peitoril ventilado.	47
Figura 12 - Exemplos de escolas de educação infantil brasileiras do sistema privado.	49
Figura 13 - Modelo de conforto adaptativo.....	53
Figura 14 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	56
Figura 15 - Relação entre a incidência do fluxo de ar e a localização das aberturas.	61
Figura 16 - Proinfância Tipo B: a) Fachada frontal, b) Pátio central, c) Parquinhos e vista externa de	67
Figura 17 - Planta baixa do projeto Tipo B destacando a Creche II.	68

Figura 18 - a) Velocidades predominantes de Vitória, (b) Velocidades predominantes de Belém, c) Frequência dos ventos em Vitória e d) Frequência dos ventos em Belém.	71
Figura 19 - a) Carta solar de Vitória e b) Carta solar de Belém.....	73
Figura 20 - Corte esquemático da janela com a pivotante horizontal.....	76
Figura 21 - a) Fluxograma representando os quatro modelos de janela estudados e b) Fluxograma representando todas as associações a partir dos modelos de janelas.	80
Figura 22 - a) Representação gráfica do modelo e b) Divisão das zonas térmicas...83	83
Figura 23 - a) Localização, b) Visão do acesso, c) Planta baixa e d) Vista das salas de aula Noroeste com ar-condicionado instalado na Escola Proinfância Tipo B, Região Metropolitana de Vitória, Serra, Espírito Santo, Brasil.	88
Figura 24 - a) Conjunto (Hobo + abrigo) e b) Data logger HOBO, modelo U12-013. 89	89
Figura 25 - Registro interno e externo: a) Temperatura média horária do ar e b) Umidade relativa média horária.....	91
Figura 26 - Médias horárias das temperaturas do ar interno registradas e simuladas referentes a sala de aula estudada.	94
Figura 27 - Análise das flutuações da temperatura operativa para um período de 24 horas.	98
Figura 28 - Diagrama de fluutuabilidade para FDT e GhDT	99
Figura 29 - Exemplos genéricos de Diagramas de fluutuabilidades: a) Dias com mais desconforto frequente (FDT=100%) e intenso (zona 4) e b) Dias com mais desconforto temporário e leve (zona 1).....	100
Figura 30 - Temperaturas de conforto, temperaturas do ar externo e temperaturas neutras mensais referentes a Vitória e Belém.....	105
Figura 31 - Intervalo de conforto térmico adaptativo referente aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para as cidades de Vitória e Belém ..	108
Figura 32 - Diagramas de fluutuabilidades referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação do verão.	116
Figura 33 - Somatório de GhDT e FDT referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação do verão.	118
Figura 34 - Diagramas de fluutuabilidades referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação do outono.	120

Figura 35 - Somatório de GhDT e FDT referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação do outono.	122
Figura 36 - Diagramas de fluatubilidades referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação do inverno	125
Figura 37 - Somatório de GhDT e FDT referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação do inverno.	127
Figura 38 - Diagramas de fluatubilidades referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação da primavera.	130
Figura 39 - Somatório de GhDT e FDT referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação da primavera.	132
Figura 40 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada.....	137
Figura 41 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão aberta.	140
Figura 42 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta baia.....	142
Figura 43 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta veneziana.	144
Figura 44 - GhDT e FDT médios anuais referentes aos modelos de janelas com e sem o uso do elemento sombreador.	155
Figura 45 - Consumo energético anual.	158
Figura 46 - Custo financeiro anual.	159

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela: Características dos projetos do Programa Nacional Proinfância.	38
Tabela 2 - Limites de velocidade do ar interior nas edificações para o inverno e o verão.	59
Tabela 3 - Unidades do Proinfância por tipologia e situação de execução no Brasil.	65
Tabela 4 - Recomendações da NBR 15220 para a Zona Bioclimática 8.....	69
Tabela 5 - Diagnóstico do conforto anual em Vitória e Belém.....	74
Tabela 6 - Temperatura média mensal do solo para Vitória e Belém.....	82
Tabela 7 - Dados gerais de entrada para a configuração das simulações.	85
Tabela 8 - Controle das aberturas para as simulações.	86
Tabela 9 - Intervalo para o índice de incertezas associados aos métodos matemáticos NMBE e CVRMSE, recomendados pela ASHRAE (2002).	93
Tabela 10 - Índices de incerteza de viés médio normalizado (NMBE), bem como o coeficiente da porcentagem do erro quadrático médio CVRMSE usando três métodos.....	95
Tabela 11 - Médias mensais das temperaturas do ar externo, temperaturas neutras e intervalos de conforto térmico baseado no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55 (2013).	104
Tabela 12 - Quantitativo de conforto térmico anual referente aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada.....	110
Tabela 13 - Percentual de aumento no quantitativo anual de dias em conforto referentes aos modelos de janelas propostos em função do modelo padrão.	113
Tabela 14 - GhDT máximos referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada	115
Tabela 15 - Somatórios de GhDT e FDT referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada por estações do ano.	135
Tabela 16 - GhDT e FDT anuais máximos e mínimos referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada.	139
Tabela 17 - Percentual anual de dias em conforto térmico referentes aos modelos de janelas associados às condições relativas à porta principal.....	146
Tabela 18 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados às condições relativas à porta principal.	148

Tabela 19 - Percentual anual de dias em conforto térmico referentes aos modelos de janelas associados às condições relativas à porta principal com ou sem o uso do elemento sombreador.	151
Tabela 21 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados às condições relativas à porta principal com ou sem o uso do elemento sombreador para Vitória.	152
Tabela 22 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados às condições relativas à porta principal com ou sem o uso do elemento sombreador para Belém.	153
Tabela 23 - Alíquotas referentes aos impostos associados à Tarifa final do KWh. .	158

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de esquadrias e suas características.	62
Quadro 2 - Características de Vitória e Belém.	70
Quadro 3 - Modelos das aberturas e elemento sombreador.	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	22
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1	CONTEXTO HISTÓRICO ESCOLAR BRASILEIRO E A ARQUITETURA PADRONIZADA	24
2.2	A JANELA NO AMBIENTE ESCOLAR	40
2.3	CONFORTO TÉRMICO	49
2.3.1	MODELO ADAPTATIVO DA ASHRAE 55	52
2.4	ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO - NBR 15220	54
2.5	VENTILAÇÃO NATURAL NO INTERIOR DO EDIFÍCIO	57
2.5.1	LOCALIZAÇÃO, DIMENSIONAMENTO E TIPOLOGIA DAS ABERTURAS	60
3	METODOLOGIA	64
3.1	DETERMINAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO E DAS CIDADES ENVOLVIDAS NA PESQUISA	64
3.1.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO PADRÃO TIPO B DO PROGRAMA NACIONAL PROINFÂNCIA	66
3.1.2	APRESENTAÇÃO DAS CIDADES ESCOLHIDAS	69
3.2	MODELOS DE ABERTURAS E ELEMENTO SOMBREADOR	74
3.3	SIMULAÇÃO TÉRMICA COMPUTACIONAL	79
3.3.1	CONFIGURAÇÕES NO NÍVEL DO SÍTIO	81
3.3.2	MODELAGEM DA GEOMETRIA	82
3.3.3	CONFIGURAÇÕES NO NÍVEL DO EDIFÍCIO	83
3.4	PROCEDIMENTOS ENVOLVIDOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	87
3.4.1.1	PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO	89
3.4.2	METODOLOGIA DA CALIBRAÇÃO	91
3.4.3	RESULTADOS DO EXPERIMENTO DE CAMPO E DA CALIBRAÇÃO	93
3.5	AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO	95
3.5.1	INTERVALO DE CONFORTO ADAPTATIVO CONSIDERANDO 90% DE ACEITABILIDADE	96

3.5.2	FREQUÊNCIA DE DESCONFORTO TÉRMICO – FDT	96
3.5.3	GRAUS-HORAS DE DESCONFORTO TÉRMICO – GHDT	97
3.5.4	DIAGRAMA DE FLUTUABILIDADE	99
3.6	CONSUMO ENERGÉTICO (KWH) E CUSTO FINANCEIRO (R\$) PARA O RESFRIAMENTO DAS HORAS DESCONFORTÁVEIS	100
4	RESULTADOS	103
4.1	DETERMINAÇÃO DAS TEMPERATURAS DE CONFORTO.....	104
4.2	ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO,	106
4.2.1	CONFORTO ADAPTATIVO	106
4.2.2	DIAGRAMA DE FLUTUABILIDADE	114
4.3	ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO, CONSIDERANDO A ASSOCIAÇÃO ENTRE MODELOS DE JANELAS E DIFERENTES CONFIGURAÇÕES E PADRÕES DA PORTA DE ACESSO A SALA DE AULA.....	139
4.4	ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO, CONSIDERANDO A ASSOCIAÇÃO ENTRE MODELOS DE JANELAS, CONDIÇÕES DE USO DA PORTA PRINCIPAL E USO DO ELEMENTO SOMBREADOR.....	150
4.5	CONSUMO ENERGÉTICO (KWH) E CUSTO FINANCEIRO (R\$).....	157
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	161
6	REFERÊNCIAS	174

1 INTRODUÇÃO

A melhoria dos índices que avaliam a educação é uma das principais etapas para a evolução do ser humano e, conseqüentemente, desenvolvimento de uma nação. Isso porque o acesso ao conhecimento forma um sujeito reflexivo, capaz de mudar efetivamente seus hábitos, assim como uma convivência coletiva em um espaço que transcenda o ambiente escolar tradicional podendo configurar uma excelente oportunidade para a promoção de debates que complementem a formação de um cidadão ativo, comprometido com ações sustentáveis, com o bem estar do próximo, capaz de se reinventar profissionalmente. A escola pode e deve fazer parte da vida de todos, não só oferecendo um direito previsto na Constituição Brasileira, mas sendo um agente transformador de vidas. Para tanto, é fundamental que o edifício escolar seja estimulante, acolhedor e confortável (KOWALTOWSKI, 2011).

A construção do edifício escolar brasileiro vem sendo discutida desde os anos de 1930, quando o educador Anísio Teixeira defendia que a escola deveria ser dotada de condições materiais, pois sem instalações adequadas não poderia haver trabalho educativo, dessa forma, a base física, o prédio, deveria ser o planejamento preliminar para qualquer programa de educação, tornando-se indispensável para a realização de todos os demais planos de ensino (DÓREA, 2000). Contudo, devido a diversos fatores, como falta de vagas para todos, baixo investimento em políticas públicas educacionais, entre outros, a construção das escolas acabou, na maior parte das vezes, sendo executada da forma mais rápida e econômica possível, sem prezar necessariamente por condições mínimas de conforto e sem um planejamento eficiente para atender ao devido fim (MORAIS, 2013).

Diante desse cenário, diversos autores vêm discutindo sobre os impactos que a arquitetura escolar brasileira tem gerado ao usuário e ao processo de ensino-aprendizagem. Entre as conclusões, todos eles destacam que a edificação interfere de várias formas na relação ensino aprendizagem, podendo contribuir positivamente, se bem projetada, ou causar danos relativos ao bem-estar do aluno que, infelizmente, podem impactar no desenvolvimento de todas as atividades realizadas ao longo da sua vida estudantil, entre outros danos (SPAGNUOLO, 2019; MILAN,

2015; KOWALTOWSKI, 2011; FILHO *et al.*, 2007; NOGUEIRA *et al.*, 2005; BERNARDI; KOWALTOWSKI, 2002; HATHAWAY, 1998).

A especialista em arquitetura escolar Kowaltowski (2011) relata que algumas condições fundamentais para que os alunos consigam desenvolver bem suas atividades diárias vem sendo constantemente negligenciados na maior parte das escolas brasileiras, principalmente na rede pública de ensino. A autora salienta que entre os principais problemas identificados nos edifícios escolares, está o desconforto térmico, gerado por fatores como salas de aula com pouco aproveitamento da ventilação natural, orientação de implantação inadequada, localização e tamanho de aberturas ineficientes, falta de dispositivos sombreadores, entre outros.

Segundo Bertolotti (2007), as atividades realizadas na escola, principalmente tradicional, são caracterizadas como atividades que demandam de olhar fixo por longos períodos. Assim, se o aluno só encontra situações desfavoráveis como janelas muito pequenas, mal localizadas ou grandes demais, desconforto e aquecimento excessivo, esse estudante pode adquirir problemas de saúde como comprometimento da visão e, por extensão, prejuízo na aprendizagem.

Temperaturas elevadas no ambiente, falta de ventilação adequada, umidade excessiva combinada com temperaturas elevadas, radiação térmica devida a superfícies aquecidas são fatores que podem trazer prejuízos à saúde do aluno. A maior parte das escolas brasileiras enfrentam problemas com calor excessivo no verão e/ou frio no inverno, questões relacionadas a incorreta orientação das aberturas e inexistência de elementos sombreadores ou elementos mal dimensionados (BERNARDI; KOWALTOWSKI, 2001).

Sabendo que as condições de conforto são fundamentais para o bom desenvolvimento das atividades diárias então, torna-se indispensável a retomada da discussão acerca do projeto arquitetônico escolar como ator principal capaz de levar conforto aos usuários (KOWALTOWSKI, 2011). Nesse contexto, é possível indicar a janela como um elemento arquitetônico chave para elevar o conforto no interior do ambiente. A janela pode ser utilizada no projeto de forma muito versátil,

considerando seus diversos tamanhos, tipos, materiais, localizações e funcionalidades, sendo um dos principais meios para direcionar a ventilação e iluminação natural ao ambiente podendo impedir a incidência solar indesejada. No entanto para que a janela possa oferecer o seu potencial máximo de eficiência, é fundamental que ela seja escolhida a partir de estudos preliminares da região, como frequência, velocidade e direção dos ventos dominantes, trajetória solar, entre outras avaliações técnicas necessárias (SANTO, 2014) .

É conveniente destacar a importância na adoção de estratégias de condicionamento térmico passivo em projetos de edificações escolares, principalmente públicas, a fim de torná-las mais confortáveis termicamente, visto que a grande maioria das escolas públicas não tem acesso a sistemas de climatização artificial. Na tentativa de prever e amenizar questões de desconforto térmico no ambiente escolar, o governo tem incentivado, por meio de manuais e cartilhas, o uso intensivo da ventilação natural por meio de janelas mais eficientes em projetos novos, assim como adequação em aberturas de escolas já existentes (BRASIL, 2006; BRASIL, 2009). Tal decisão é justificada por estudos como Trindade *et al.* (2010) que recomendam o uso da ventilação natural como a melhor estratégia passiva para elevar o desempenho térmico das edificações em regiões de clima quente úmido.

Para avaliar quais são as estratégias de condicionamento térmico passivas recomendadas para cada cidade, foi realizada uma divisão do país em oito grupos, reunidos a partir de características climáticas similares, trata-se do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, abordado na primeira norma brasileira a tratar de desempenho do ambiente construído, a NBR 15220 - Desempenho Térmico da Edificação, publicada em 2005. A norma traz também diretrizes projetuais específicas para a adaptação da construção ao meio em que está inserida. As recomendações referem-se ao tamanho e sombreamento das aberturas, ao tipo de paredes e coberturas e as estratégias para condicionamento térmico passivo (ABNT, 2005).

É importante esclarecer que a norma foi elaborada de forma a atender edificações unifamiliares de interesse social, no entanto devido a inexistência de outros documentos reguladores que englobem todas as tipologias existentes no Brasil, a

NBR 15220 tem sido constantemente utilizada para auxiliar profissionais a promover maior conforto ao ser humano (RORIZ, 2012).

A NBR 15220, embora tenha fornecido grande contribuição a construção civil, carece de diversas reformulações, assim como o Zoneamento Bioclimático que divide um país muito diversificado em apenas oito zonas, o que prejudica consideravelmente algumas edificações. Com relação à isso, existe, desde o ano de 2012, um Grupo de Discussão formado pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) que vem discutindo o atual cenário com o objetivo de aumentar a quantidade de Zonas Bioclimáticas, levando a uma redução nas divergências climáticas entre cidades pertencentes a uma mesma zona e conseqüentemente obter diretrizes construtivas mais específicas para cada situação (RORIZ, 2012).

Em âmbito mundial, existe a norma americana ASHRAE 55 - Thermal Environmental Conditions for human Occupancy que aborda o conforto térmico adaptativo estabelecendo intervalos de temperatura do ar máximos e mínimos interno do ambiente, considerando a aceitabilidade térmica para um dado percentual de ocupantes. A recomendação internacional é muito utilizada em diversos países devido a sua metodologia envolver os diversos fatores ligados ao ser humano e ao ambiente que impactam no conforto térmico, além disso, trata-se de uma regulamentação que está constantemente passando por reformulações a fim de atualizar seus procedimentos e corrigir eventuais falhas. Alguns dos estudos desenvolvidos em escolas brasileiras que abordam a ASHRAE 55 são: Spagnuolo (2019), Milan (2015) e Filho *et al.* (2007).

Segundo Pereira e Assis (2010), a teoria do conforto adaptativo é a metodologia mais adequada para avaliar ambientes naturalmente ventilados no Brasil, principalmente porque a norma considera dados da região onde a edificação será implantada e considera uma série de fatores no seu processo de análise, como vestimenta e atividade exercida referentes aos usuários e temperatura, radiação térmica, umidade e velocidade do ar, onde alguns desses tem limites estabelecidos pela norma para que ela possa ser adotada como metodologia de análise (LAMBERTS *et al.*, 2008). Além disso, a norma considera a possibilidade de condicionamento térmico do

edifício apenas pelo uso da ventilação natural ou só usando o condicionamento artificial ou a partir da adoção de ambos (ASHRAE 55, 2013).

Mesmo com o auxílio da norma, é fundamental avaliar cada projeto individualmente, considerando as variáveis atreladas ao mesmo, pois mesmo considerando a credibilidade da ASHRAE 55, a pesquisa de Cândido *et al.* (2010), destinada a estudar o conforto em regiões de clima quente úmido, conclui, por meio de experimentos de campo realizados para verificar a preferência e aceitabilidade do fluxo do ar na opinião do usuário, que os valores de velocidade máximas recomendadas pela ASHRAE 55 são inferiores aos desejados pelo usuários.

A elaboração de normativas relacionadas ao desempenho do edifício e ao conforto térmico para o usuário foi também impulsionada por crises energéticas, em que o mundo passou a entender a enorme necessidade de um consumo energético consciente e a perceber que o desempenho das edificações poderia contribuir significativamente para reduzir o consumo, principalmente com o uso do ar-condicionado (HUMPHREYS *et al.*, 2013; CÂNDIDO *et al.*, 2011). Conforme relata Stavrakakis *et al.* (2012), uma edificação ventilada naturalmente consome, em média, 40% menos energia em relação a um edifício com ar-condicionado.

Em relação à toda a problemática levantada sobre a arquitetura escolar brasileira, Kowaltowski (2011) argumenta que a falta de individualidade ao elaborar os projetos e construir as escolas trouxe e continua trazendo muitas consequências negativas, visto que todas as diretrizes relacionadas ao desempenho do edifício recomendam que sejam levadas em consideração características pessoais e ambientais regionais. O processo de construção de escolas brasileiras, no entanto, é tipicamente padronizado e, apesar de todas as evidências, tal prática continua sendo adotada, consistindo na construção de escolas por todo território nacional a partir de um projeto arquitetônico padrão.

Entre os programas de construção de escolas padronizadas propostos pelo governo federal, está o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil (Proinfância), implantado no ano de 2007, cuja missão principal era melhorar os índices de qualidade da educação

infantil por meio de investimento em infraestrutura, um programa que segue em vigor até o ano corrente, 2021, construindo milhares de escolas infantis padronizadas por todo território brasileiro (BRASIL, 2021).

De acordo com Azevedo *et al.* (2007), por muito tempo acreditou-se que a construção padronizada era uma forma eficiente para a construção de prédios públicos em geral, isso porque o processo gera redução de custos, promove agilidade ao processo construtivo; permitem que os projetos, de fato, cheguem a regiões mais carentes do país, onde a mão de obra técnica é escassa, entre outros fatores. No entanto, Kowaltowski (2011) destaca que a padronização dos projetos não consegue contemplar particularidades da região onde a escola será construída, como condições climáticas e ambientais, padrões culturais e sociais, necessidades específicas da comunidade, utilização de técnicas e matérias construtivos disponíveis da localidade por isso, muitas vezes, o edifício acaba fadado a se tornar um objeto obsoleto, já que os materiais e técnicas construtivas exigidos no projeto demandam fornecedores específicos e mão de obra especializada, dificultando os processos de licitação e onerando a obra.

Em resumo, observa-se que a história da arquitetura escolar brasileira é marcada pela criação de uma série de diretrizes projetuais propostas pelos órgãos governamentais sem consulta a comunidade e sem pesquisas aprofundadas acerca das reais demandas do ambiente escolar, acarretando a implantação de inúmeras escolas que após a ocupação fica evidente que não atendem como deveriam a comunidade em que estão inseridas (KOWALTOWSKI *et al.*, 2002). A opção pelo projeto padrão retira da sociedade a oportunidade de pensar uma nova construção de forma coletiva, superando falhas anteriores e se aproximando cada vez mais do produto ótimo para atender suas necessidades (KOWALTOWSKI, 2011).

De acordo com o último censo, o ano de 2020 contou com um total de 47,3 milhões de alunos matriculados na educação básica que compreende os níveis de ensino infantil, fundamental e médio, além disso, o censo mostrou que o número de matrículas em creches aumentou em torno de 19,8% entre os anos de 2015 e 2020. Desses 47,3 milhões de alunos, 48,4% são atendidos pelos municípios brasileiros, 32,1% pela rede estadual, menos de 1% pela rede federal e 19% são alunos da rede

privada de ensino. Diante dos dados, focando na escola pública, é possível inferir que mais de 80% (38,3 milhões) dos estudantes brasileiros, em 2020, frequentaram uma escola pública, dessa forma, pensando nessa escola como o ambiente físico em que as crianças e adolescentes passam no mínimo quatro horas por dia, durante cerca de 13 anos de suas vidas, esse espaço público necessita ser incluído no debate educacional e ser reconhecido como fator interferente no cotidiano escolar (BRASIL, 2010).

1.1 OBJETIVOS

Avaliar o impacto da janela no conforto térmico em edifícios escolares naturalmente ventilados.

Para isso, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar um referencial teórico abordando os conceitos envolvidos na pesquisa;
- Investigar o desempenho térmico de uma sala de aula padrão, utilizando como estudo de caso o projeto Tipo B do Programa Proinfância do Governo Federal, por meio de simulações computacionais, considerando a combinação entre diferentes tipos de aberturas;
- Avaliar os resultados obtidos para as cidades de Vitória e Belém, pertencentes a Zona Bioclimática 8, tendo como referência a norma internacional Ashrae 55 (2013), indicadores de conforto térmico, consumo energético do ambiente e custo financeiro anual.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado em cinco capítulos, sendo eles:

- O capítulo 1, que compreende a introdução, justificando a importância da pesquisa, além de apresentar os objetivos estabelecidos;
- O capítulo 2 corresponde ao referencial teórico, onde são abordados conceitos e informações que contribuíram para a compreensão e realização da pesquisa. São discutidos o contexto histórico escolar brasileiro e a arquitetura padronizada, a dinâmica do uso da janela no ambiente escolar, o conforto térmico visando o edifício escolar brasileiro, o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e a ventilação natural como estratégia de condicionamento térmico passivo elevar o desempenho das salas de aula;
- O capítulo 3 apresenta a caracterização do objeto de estudo e das cidades envolvidas no presente e estudo, descreve o processo metodológico adotado, abordando alguns conceitos pontuais, como simulação térmica, indicadores de conforto e calibração;
- O capítulo 4 reúne a discussão dos resultados encontrados, sendo apresentados por meio de tabelas, quadros, figuras e textos;
- O capítulo 5 apresenta a conclusão que reúne as principais constatações observadas ao longo do desenvolvimento desse trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresentará definições e discussões e os pontos de vista de diversos autores acerca dos conceitos que permeiam o trabalho. A proposta é mostrar para o leitor um pouco sobre: a arquitetura escolar (seção 2.1), trazendo um pouco do contexto histórico e da situação atual no Brasil; o processo de padronização das escolas brasileiras (seção 2.2); a relação entre a janela e o ambiente escolar, destacando sua importância como elemento construtivo (seção 2.3); conforto térmico e o modelo adaptativo (seção 2.4); e a ventilação natural no interior do edifício (seção 2.4).

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO ESCOLAR BRASILEIRO E A ARQUITETURA PADRONIZADA

A época do Império foi marcada por escolas que possuíam o viés pedagógico voltado à educação religiosa, cuja função era promover a leitura e a escrita daqueles poucos cidadãos que tinham acesso a ela. O estudo ocorria dentro das paróquias, na casa das pessoas que transmitiam o conhecimento, em cômodos de comércio, sendo comum a alguns desses ambientes a falta de iluminação e ventilação adequadas para o exercício da atividade. Dessa forma as características dos ambientes destinados a atividades escolares ao longo do país possuíam características similares entre si e o espaço físico não era tratado como uma prioridade (ORNSTEIN; BORELI, 1995).

Entre o fim do século XIX e o início do século XX, surge, nos Estados Unidos e em países da Europa, a iniciativa de conceber um lugar específico para o funcionamento das atividades de ensino, sendo difundida posteriormente para o resto do mundo, (BUFFA; PINTO, 2002). No Brasil, também a partir do fim do século XIX, políticos e educadores passaram a discutir a importância de um ambiente que pudesse ser utilizado como casas escolares, despertando assim a necessidade e o interesse pelo

edifício escolar propriamente dito (SOUZA, 1998). Assim, surgiram as primeiras construções com padronização em planta (projetos-tipo) executadas em vários pontos de São Paulo. Os objetivos principais eram obter um projeto que permitisse baixo custo e rápida execução para que fossem facilmente replicados. Para identificar e promover a particularidade a cada escola, arquitetos eram contratados para desenhar fachadas distintas umas das outras (BUFFA; PINTO, 2002).

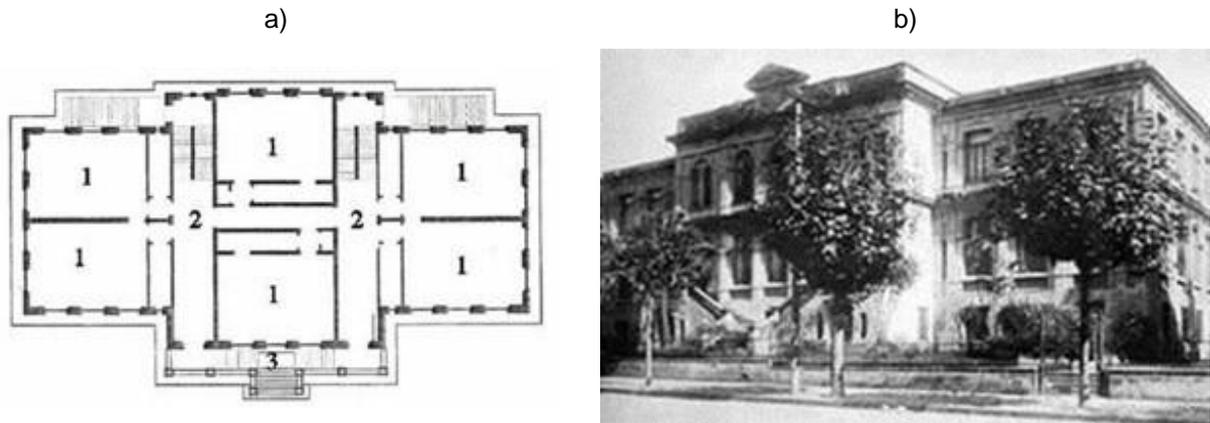
Entre o fim do século XIX e o ano de 1920, ocorreram, no Brasil, as construções dos primeiros edifícios escolares, sendo executados projetos para os Grupos Escolares e para as Escolas Normais. A arquitetura predominante do período correspondia ao estilo clássico, com edifícios imponentes de eixos simétricos, pé-direito alto, andar térreo acima do nível da rua e com longas escadarias, tendência seguida também pelos edifícios escolares da época que acabavam sendo destinados ao fim escolar, mas não necessariamente pensados para atender as demandas e particularidades inerentes às atividades escolares.

Seguindo o estilo clássico, o primeiro edifício escolar construído no Brasil foi a Escola Modelo da Luz, cujo projeto arquitetônico foi elaborado por Ramos de Azevedo. A edificação de geometria bastante simples se destacava pela monumentalidade comparada as demais edificações do entorno, retratando bem uma característica das grandes construções do período. Entre as particularidades construtivas que marcaram a arquitetura escolar desse momento estão as esquadrias dispostas de forma simétrica nas fachadas; as janelas com grandes áreas de ventilação e o peitoril com o mínimo de um metro, contribuindo para o efeito monumento; uso de frontão na fachada principal do prédio, delimitando seu eixo e marcando a entrada principal da edificação (REIS, 2002).

A construção da escola teve início em 1893 e, em 1º de fevereiro de 1895, foi oficialmente denominada Escola Modelo da Luz surgindo o primeiro modelo de escola padronizada do Brasil, tornando-se o marco inicial da história da padronização da arquitetura escolar brasileira, uma prática adotada em obras públicas até o ano de 2021. A primeira Escola Modelo da Luz foi implantada no bairro da Luz, cidade de São Paulo, e posteriormente o projeto foi replicado em outros

estados brasileiros. A **Figura 1**, apresenta a planta do nível térreo e a configuração geométrica da edificação (CRE, 2021).

Figura 1 - Escola Modelo da Luz: a) Planta baixa do nível térreo e b) Configuração geométrica da fachada.



Fonte: a) Buffa e Pinto, (2002) e b) CRE, (2021)

Durante a Primeira Guerra Mundial, a partir de 1912, a produção de projetos arquitetônicos escolares foi interrompida, sendo retomada de forma intensificada a partir de 1920, quando equipes compostas por profissionais como médicos, professores, pedagogos e arquitetos criaram algumas diretrizes para a construção dos edifícios, constituindo um documento identificado como Códigos de Educação que também abordava outras questões relacionadas a educação (CORRÊA *et al.*, 1991).

O período entre 1921 e 1950 foi impactado por manifestações e revoluções que iriam aumentar a relevância da arquitetura escolar brasileira, entre elas a Reforma do Distrito Federal (1928), à época cidade do Rio de Janeiro, considerada uma das mais radicais no Brasil, que incluiu um grande plano de construções escolares. Seguindo a reforma na educação em 1930, foi criado o Ministério dos Negócios da Educação e Saúde Pública, importante órgão representativo para a educação, e em 1934, a construção de mais escolas recebeu uma grande impulsionada, causada pela destinação de 10% da arrecadação tributária dos municípios para a educação, exigência que se tornou Lei por meio da primeira Constituição Brasileira (1934) (BASTOS, 2009).

Ainda, entre os anos de 1930 e 1936, ocorre a universalização da escola pública, onde o acesso à educação pública passa a ser um direito de todos, paralelo a isso, a população passa por um crescimento demográfico, fatores que culminaram na necessidade de espaços escolares mais amplos, porém a falta de escolas ainda era um problema, principalmente em São Paulo (FARIA, 2000). Na tentativa de atender as demandas, os projetos eram mais simples, de fácil execução e econômicos, entretanto, as tipologias construtivas estavam mais próximas às demandas de um ambiente escolar, além de privilegiar a discussão sobre questões relacionadas ao conforto ambiental, como efeitos da insolação e da ventilação. As plantas apresentavam, de forma inédita nos grupos escolares, a divisão de ambientes por função, organizando os espaços de forma que ambientes que precisassem de mais silêncio ficassem mais isolados, ao passo que vinham à frente da edificação áreas de atendimento ao público (GERMINAL, 2021).

Uma das escolas construídas entre os anos de 1921 e 1950 foi o Grupo Escolar Visconde Congonhas do Campo, situado na cidade de São Paulo, executado no ano de 1937 seguindo algumas das diretrizes estabelecidas no período, a escola foi projetado pelo arquiteto José Maria da Silva Neves que priorizando o conforto ambiental, manteve as salas de aula alocadas somente em um dos lados do hall, ainda que a solução demandasse mais recurso financeiro, ressaltando assim as novas prioridades da arquitetura escolar (MELO, 2012).

Figura 2 - Grupo Escolar Visconde Congonhas do Campo: a) Planta do nível térreo com as salas de aula identificadas pelo número 1 e b) Configuração geométrica da fachada.



Fonte: Buffa e Pinto, 2002.

A década de 1930 contou com o educador Anísio Teixeira, que se tornou referência no Brasil por atingir tantos marcos relacionados a educação, entre eles a construção de 28 novos edifícios escolares, executados entre o ano de 1934 e 1935 quando esteve à frente de setores da educação pública. Todas as escolas foram projetadas por uma equipe de arquitetos, liderada por Enéas Silva, cuja responsabilidade era propor partidos arquitetônicos distintos entre si, a localização e as necessidades de cada escola e ainda buscando a organização do espaço de forma que atendesse às expectativas da nova pedagogia e os novos hábitos de higiene, visto que, se os objetivos da escola pública vinham se modificando, tornar-se-iam necessárias as alterações do estilo da arquitetura escolar (DÓREA, 2000).

O educador defendia o planejamento de edificações escolares absolutamente articuladas aos objetivos do ensino, sendo o prédio um ponto de partida para a realização de qualquer plano de ensino propriamente dito, visto que sem instalações adequadas, não seria possível a realização de um trabalho educativo bem-sucedido. Anísio Teixeira tentava mostrar a importância do edifício escolar como um meio material, sólido, capaz de contagiar as pessoas a partir do primeiro contato, diferentemente das teorias e outras condições, que não menos importantes, precisam de tempo, de atenção, de interesse para produzirem o efeito esperado pelos educadores (DÓREA, 2000).

Mesmo com a construção de mais escolas pelo Brasil, levantamentos estatísticos mostravam que continuava havendo alto índice de escassez da educação pública oferecida a população, então para resolver essa questão, contornando uma série de outros problemas como falta de terreno, de recursos financeiros etc. Anísio propôs um plano de construções escolares adaptado às condições disponíveis. Tratava-se de um sistema escolar que previa edificações com duas finalidades: escolas nucleares ou escolas-classe, que demandariam um prédio adequado, porém simples e econômico, onde o conteúdo seria transmitido e os parques escolares ou escolas-parque, seria um parque com a finalidade de promover a interação social entre os alunos, com educação física, aulas de música, educação sanitária e assistência alimentar, complementando a formação da criança como cidadã.

Tal estratégia visava desafogar a escola-classe, criando mais turnos de atendimento e assim conseguir receber mais alunos e ao mesmo tempo expandir a possibilidade de atendimento por meio de diversas atividades que poderiam ser realizadas simultaneamente nos parques. Contudo a proposta de Anísio Teixeira não foi efetivada durante esse período, sendo continuada a prática de construção que vinha sendo empregada (BASTOS, 2009).

Seguindo para o ano de 1950, marcado pelos ideais defendidos por Anísio Teixeira, ainda mais sólidos, a arquitetura escolar, denominada moderna, preservando algumas características das escolas anteriores, mas pregando que a escola pública deveria ser racional, com espaço otimizado e atender a mais pessoas. Com isso o estado da Bahia, onde Anísio Teixeira ocupava o cargo de Secretária da Educação e Saúde, sendo empregada, recebeu a construção de um novo modelo de escola, muito semelhante ao planejado na década anterior para o Rio de Janeiro.

Tratava-se de centros educacionais populares, a serem construídos nas periferias, compostos das escolas-classe e escolas-parque, visando atender não só os alunos em tempo integral, como oferecer saúde básica para a comunidade carente da cidade de Salvador. Consistia em um projeto padronizado, de autoria dos arquitetos Diógenes Rebouças e Hélio Duarte, onde as escolas-classe seriam construídas em pavilhões ao longo de quatro edifícios com um conjunto de edifícios centrais adequados as atividades das escolas-parque, a distribuição dos alunos era planejada para que cada escola-parque atendesse, simultaneamente, ao quantitativo de alunos referentes a quatro escolas-classe (ANELLI, 2004). Devido a diversos fatores, principalmente financeiro, dos 10 centros planejados, ocorreu a construção de apenas um deles, o Centro Educacional Carneiro Ribeiro (CECR) (**Figura 3**), localizado no bairro da Liberdade, em Salvador, cuja construção iniciou em 1950, quando foram concluídas as escolas-classe I, II e III e foi concluída em 1964 com a entrega da escola-classe IV (ESCOLA-PARQUE, 2019).

Figura 3 - Centro Educacional Carneiro Ribeiro: a) Escola-classe I, b) Escola-classe II, c) Escola-classe III, d) Escola-classe IV e e) Escola-parque.

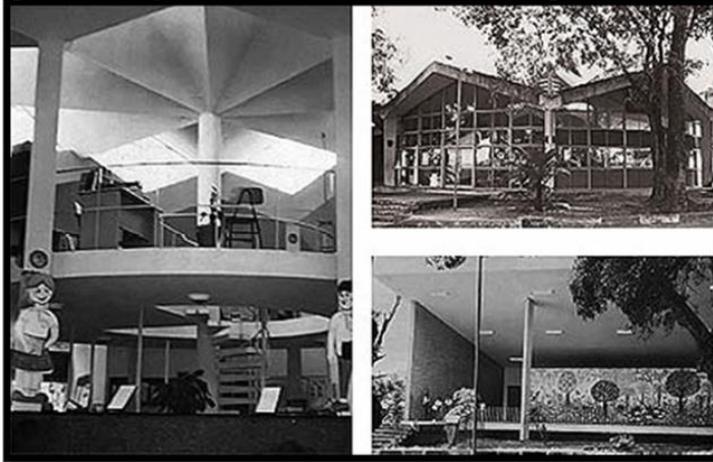


A **Figura 3d** apresenta a vista aérea do Centro Educacional Carneiro Ribeiro, onde é possível observar o ginásio de esportes, situado no prédio a esquerda da imagem, com cobertura em abóbada, ao seu lado, encoberto pela árvores, está o anfiteatro, ao lado direito da foto está implantado um prédio destinado a algumas atividades socializantes e áreas de apoio e entre os dois, a frente da imagem, está o pavilhão de atividades de trabalho, lembrando que as escolas classe, mostradas pelas **Figura 3a, b, c e d** ficavam espalhadas ao redor desse conjunto, compondo o CECR.

IPAC, 2014; Escola-parque, 2019; Rebouças, 1999.

A construção da CECR, usufruindo dos avanços da industrialização, contou com diversos materiais e elementos construtivos característicos da arquitetura moderna (**Figura 4**), como o vidro, o ferro, os telhados de várias águas e o concreto armado aplicado às marquises (AZEVEDO, 2002). Os ambientes eram projetados de forma a transmitir visibilidade, expondo o interior do prédio para fora, por meio do uso de vidro, porém havia uma preocupação com relação à privacidade, por isso as esquadrias adotadas possuíam dimensões pequenas (REIS, 2002).

Figura 4 - Traços da arquitetura moderna empregados no CECR



Fonte: Bastos, 2019.

O Centro Educacional Carneiro Ribeiro possuía traços inerentes à arquitetura moderna, priorizando a racionalidade, a funcionalidade, o baixo custo e objetivando uma melhor organização do espaço, além de atender as expectativas das novas conquistas pedagógicas e dos novos hábitos de higiene (DÓREA, 2000).

A década de 60 do século passado foi tomada por uma arquitetura escolar com propostas modernistas, apresentando maior qualidade espacial, implantação de blocos diferentes a fim de facilitar a fluidez e tornar os espaços mais abertos, através dos vidros e utilização de brises. Arquitetos como Afonso Eduardo Reidy e Oscar Niemeyer se destacaram nesse período com projetos de edifícios públicos em geral (BUFFA; PINTO, 2002). A arquitetura do período prezava ainda pelo uso de elementos estruturais mais imponentes, como pórticos, além do abandono dos adornos e da arquitetura associada exclusivamente ao contexto histórico, arquitetos como Artigas se destacaram pelo uso de pilares acabados com cores primárias para que houvesse maior percepção do espaço, tais características contribuíam para a conformação de uma arquitetura que prezava pela qualidade visual do ambiente, com o objetivo de estimular os indivíduos por meios de alteração dos padrões formais dos espaços (MAHFUZ, 2006).

Como exemplo de uma escola desse período, a **Figura 5**, apresenta a Escola de Guarulhos, implantada no estado de São Paulo, em 1960, cujo projeto arquitetônico pertence a Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi (REIS, 2002). Por meio da **Figura 5c** é possível perceber como o pátio coberto e a quadra são espaços amplos sustentados por uma estrutura arrojada, com pilares de cores marcantes utilizados estrategicamente para despertar o interesse visual e o apreço pela estética do edifício, além disso nota-se a presença da iluminação natural no interior do ambiente, que ocorre através de zenitais configurados a partir de subtrações na laje nervurada. O projeto utiliza pilares como brises verticais para contribuir no combate

a insolação indesejada na fachada das salas de aula e também elementos vazados de concreto (cobogós), privilegiando a entrada de ventilação natural através da fachada nordeste (ARCHDAILY BRASIL, 2021).

Figura 5 - Escola de Guarulhos: a) Análise esquemática da implantação em planta baixa, b) Fachada Sudeste, c) Pátio próximo a quadra de esportes.



A **Figura 5b** mostra a fachada sudeste com pilares atuando como brise vertical, além de elemento estrutural. Na **Figura 5c** se destaca a entrada de luz natural e os pilares com cores primárias.

Fonte: ArchDaily Brasil, 2015; Mahfuz, 2006.

Segundo Ferreira e Mello (2006), ainda entre 1950 e 1960, iniciou-se em São Paulo a construção de alguns edifícios escolares contemporâneos com propostas não convencionais, como fechamentos por venezianas industriais translúcidas e telas metálicas, diferente da utilização convencional de alvenaria e elementos vazados de concreto. Dessa forma, nesse período, quatro tipologias de arquitetura escolar se destacavam: escolas compactadas e verticais; horizontais com a quadra em seu centro; dispostas em mais de um volume; escolas longitudinais.

Entre os anos de 1960 e 1990, intensifica-se a necessidade de uma nova concepção arquitetônica para os edifícios escolares, com construções mais simples, com menor custo e prazo de construção. Essa necessidade se torna mais evidente a partir do ano de 1971, quando o Estado assume a responsabilidade pelo ensino fundamental e se vê forçado a planejar com maior agilidade onde as escolas seriam implantadas, quantos e quais alunos ela atenderia e quanto custariam. Além disso, a década de 1970 foi marcada por um aumento significativo na quantidade de fábricas, fazendo

com que as mulheres começassem a lutar por creches para deixar seus filhos enquanto elas trabalhavam, assim foi necessária a criação de um lugar para que as crianças fossem “cuidadas”, visto que a intenção era prestar um serviço com foco exclusivamente assistencialista (FARIA, 1999).

Assim, para elevar a produtividade na fase construtiva das escolas, arquitetos como Artigas defendiam que os projetos englobassem as novas técnicas e os novos elementos construtivos, como elementos pré-fabricados (ARTIGAS, 1999). Ficou acordado, então, que o novo modelo de escola deveria conter um corredor amplo que daria acesso às demais dependências da escola, as paredes seriam com alvenaria de blocos de concreto aparente e o teto de laje pré-moldada, com coberturas de telha de fibrocimento, tentando resumir o ambiente escolar a um edifício simplista que pudesse ser replicado em maior escala e assim conseguisse abranger a maior parte da população (XAVIER *et al.*, 1893).

Em toda a história da arquitetura escolar brasileira, nota-se que houve um interesse em recorrer a processos de padronização na construção de escolas, assim como de prédios públicos em geral, sempre pautado no discurso da economia financeira, e no benefício da construção em massa para atender a população de uma forma mais democrática, porém essa prática foi intensificada a partir da década de 80 do século passado, quando foram construídos, no estado do Rio de Janeiro, durante o primeiro governo Leonel Brizola e sob a orientação de Darcy Ribeiro, mais de 500 escolas denominadas Centros Integrados de Educação Pública (CIEPs) (MIGNOT, 2001).

O projeto ambicioso, cuja inspiração vinha da escola-parque da década de 50 do século 20, é de autoria do arquiteto Oscar Niemeyer e visava a educação integral, além de atender a comunidade local, amenizando problemas sociais onde fosse instalado e oferecendo para a população uma escola com mais qualidade (GOMES, 2010). Tratava-se de uma arquitetura padronizada, de construção racional, executada com estruturas pré-moldadas, disposta em blocos modulares de forma linear, transmitindo a sensação das grandiosas obras institucionais do arquiteto Oscar Niemeyer. Dessa forma, o projeto seria um ícone da modernidade, assim como um símbolo para a educação pública do estado, por isso foi construída em pontos de grande visibilidade do Rio de Janeiro (AZEVEDO *et al.*, 2007). O primeiro CIEP,

denominado Nelson Rodrigues, foi construído em Nova Iguaçu – RJ e, assim como os demais, na primeira metade dos anos 80 (**Figura 6a**) (MIGNOT, 2001).

Entre os anos de 1980 e 1990, um grupo de mulheres se dedicou a estudar sobre a infância e passou a assessorar governos progressistas, levando os mesmos a se comprometerem com a construção de creches, se eleitos. Como fruto dessas lutas, em 1988 a educação infantil começou a ser reconhecida pelo Estado, fazendo parte da Constituição Brasileira. Em 1990 é então lançado o Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA), tornando, pela primeira vez, o acesso de crianças de 0 a 6 anos de idade a creches e pré-escolas um direito previsto em documento constitucional, além disso, o documento destaca que é dever do Estado assegurar esse direito (CAMPOS *et al.*, 1995).

Ainda em 1990, com o início do mandato do novo presidente Fernando de Collor, surgiu outro edifício escolar padronizado, o Centro Integrado de Atenção à Criança e ao Adolescente (CIAC), planejado para ser o grande ícone da educação na Era Collor, o grandioso projeto do arquiteto João Figueiras Lima, conhecido por “Lelé”, foi planejado para ser uma versão aprimorada dos CIEPs do Rio de Janeiro. A estrutura de atendimento à população era muito semelhante a que vinha sendo empregada pelos CIEPs, oferecendo um atendimento integrado à criança e a família, porém a grande diferença entre os dois projetos é que enquanto os CIEPs tiveram alcance estadual, os CIACs foram planejados para ser implantados em toda a parte do país, tratando-se de uma iniciativa em nível nacional que vislumbrava a construção de cinco mil prédios escolares (AZEVEDO *et al.*, 2007). Entretanto, em 1992, com o *impeachment* do presidente na época, o projeto que já vinha perdendo o prestígio foi desativado, tendo poucas unidades executadas de acordo com o projeto original (EKERMAN, 2008).

Após a posse do novo presidente da república, Itamar Franco, em 1992, o Ministério da Educação e do Desporto (MEC) assume a responsabilidade pela construção das escolas, solicitando do arquiteto João Figueiras Lima uma reformulação do projeto padrão anterior, cuja nova denominação seria Centros de Atenção Integral à Criança, (CAICs) (SOBRINHO, 1995). O projeto continuaria com suas estruturas pré-moldadas,

sendo implantados por todo país, seguindo a lógica da padronização, mas com a proposta de um edifício mais simples (AZEVEDO *et al.*, 2007).

Em 1995, com o início do governo Fernando Henrique Cardoso (1995 a 2003), o projeto da construção padronizada dos CAICs foi desativado, de forma que as escolas em funcionamento deixaram de atender as crianças em tempo integral, além dos vários serviços prestados à comunidade que também foram suspensos, os prédios que tiveram a construção iniciada no governo Collor foram inaugurados pelo atual governo, porém destinadas a outros fins, como a implantação de outras modalidades de ensino, a exemplo do Colégio de Aplicação Pedagógica (CAP) da Universidade Estadual de Maringá (UEM) que passou a oferecer ensino fundamental e médio a partir de 1995, funcionando em um dos prédios padrão CAIC, o CAIC/UEM, situado no estado do Paraná (**Figura 6b**) (EKERMAN, 2008). Em relação às condições de conforto, tanto o projeto anterior quanto o atual contaram com a presença de *sheds*, importante elemento arquitetônico que tem a função de permitir a entrada de luz, beneficiando o ambiente com a iluminação natural, além de evitar a incidência direta dos raios solares e contribuir com a ventilação natural reduzindo os índices de desconforto térmico. Tal elemento esteve presente frequentemente nos projetos do arquiteto Lelé (PEREN, 2006).

Figura 6 - a) CIPE Nelson Rodrigues e b) CAIC na cidade de Maringá, atual CAP/UEM.

a)



b)



Fonte: a) SEM, 2021; b) SERJ, 2021.

Com relação à educação infantil, entre os anos de 1990 e 1995, o MEC criou a Comissão Nacional de Educação Infantil (CNEI) cuja responsabilidade era formular e implementar políticas na área. Em 1994, na Conferência Nacional de Educação para Todos, foi aprovada a Política Nacional de educação Infantil. No ano de 1996, ocorre uma grande reestruturação imposta pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação

(LDB - 1996) que dividiu o sistema educacional brasileiro em dois grandes grupos, a educação básica (ensino infantil, fundamental e médio) e a educação superior, isso fez com que a educação infantil perdesse por completo o aspecto assistencialista e passasse a ser vista sob a ótica pedagógica (FARIA, 1999). A Lei determinou ainda que as idades pertenciam a cada modalidade e a quem caberia à responsabilidade pela gestão, entre os governos municipal e estadual.

A partir do novo cenário da educação brasileira, em que o governo do estado passou a ser responsável pelo ensino médio (15 a 17 anos) e as prefeituras passaram a ser responsáveis pelo ensino fundamental (6 a 14 anos) e infantil (0 a 5 anos) recebendo contribuição financeira do Estado, surgiu a partir do ano de 2000, sob a iniciativa da prefeitura municipal da cidade de São Paulo, um projeto padrão denominado Centro Educacional Unificado (CEU), projetado pelos arquitetos Alexandre Delijaicov, André Takiya e Wanderley Ariza República (ANELLI, 2004). O edifício proposto, traz como particularidade uma monumentalidade que remete aos prédios das primeiras décadas da República e assim sem a presença de muros, a edificação se destaca, apresentando total contraste com seu entorno, como pode ser observado na **Figura 7a**, que mostra o CEU Jambeiro, situado na cidade de Guaianazes, zona leste de São Paulo.

De acordo com dados da prefeitura de São Paulo, os mais de 50 CEUs em funcionamento, que estão espalhados pelo município de São Paulo, têm como principal objetivo ofertar a população uma educação integral, gerada como um reflexo melhorado das propostas do educador Anísio Teixeira para as escolas-parque, na década de 50. Assim, os Centros Educacionais oferecem mensalmente, além de educação, atividades de cultura, esporte, lazer e recreação para o desenvolvimento de bebês, crianças, adolescentes, jovens, adultos e idosos.

A **Figura 7** apresenta alguns dos CEUs distribuídos pela cidade de São Paulo, são o CEU Jambeiro (**Figura 7a**), o CEU Capão Redondo – Professor Dr. Celso Seixas Ribeiro Bastos (**Figura 7b**), o CEU Vila Alpina (novo) – Professora Virgínia Leone Bicudo **Figura 7c** e o CEU Três Lagos (**Figura 7d**) (PREFEITURA SÃO PAULO, 2021).

Figura 7 - a) CEU Jambeiro, b) CEU Capão Redondo, c) CEU Vila Alpina e d) CEU Três Lagos.



Fonte: Prefeitura São Paulo, 2021.

Algumas regulamentações de cunho pedagógico impostas pela LDB de 1996, como adequação de dias letivos e carga-horária anual contribuíram para aumentar a necessidade de mais escolas no Brasil, de modo que a partir de 1990 começou a surgir uma série de projetos arquitetônicos escolares, mantendo alguns processos de padronização em nível estadual e outros nacional (KOWALTOWSKI, 2011). Após a LDB, fez-se necessário destinar uma atenção especial para a educação infantil que por tantos anos foi negligenciada por parte do governo (BRASIL, 2013).

Na tentativa de reparar as fragilidades da educação infantil, por meio de uma resolução, em 24 de abril de 2007, o governo federal lançou o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil (Proinfância), cuja missão principal é melhorar os índices de qualidade da educação infantil por meio de investimento em infraestrutura, um programa que se encontra em vigor até o ano corrente, 2021. A responsabilidade em tornar o programa uma realidade cabe ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), uma autarquia federal responsável por executar políticas educacionais, gerenciando, transferindo recursos e prestando assistência técnica aos estados, municípios e ao Distrito Federal, para garantir uma educação de qualidade a todos, buscando assim, atender a missão do MEC (BRASIL, 2021).

A proposição do Proinfância, na prática, consiste em promover a construção do edifício escolar e a compra de mobiliários e equipamentos adequados ao funcionamento da rede física, atuando a partir de uma parceria entre governo federal e municípios brasileiros, sendo que a esfera federal tem o compromisso de disponibilizar o recurso financeiro e o projeto arquitetônico escolar e os municípios são integralmente responsáveis pela gestão do recurso, compra dos móveis e equipamentos e implantação da obra. Com relação à arquitetura escolar empregada, são disponibilizados cinco projetos distintos entre si, sendo quatro deles construídos de forma padronizada por todo território brasileiro, o Tipo B, C, 1 e 2 e um projeto próprio (Tipo A) que pode ser proposto pelo município para que seja feita uma análise de viabilidade do mesmo (BRASIL, 2021). As diferenças entre os projetos correspondem basicamente à quantidade de alunos atendidos e a dimensão do terreno em que a escola será construída, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela: Características dos projetos do Programa Nacional Proinfância.

Tipologia	Alunos atendidos	Dimensões do terreno
Tipo A (próprio)	Não há exigência	Não há exigência
Tipo B (padrão)	Até 224	Mínimo de (40 x 70) m
Tipo C (padrão)	Até 120	Mínimo de (45 x 35) m
Tipo 1 (padrão)	Até 376	Mínimo de (40 x 70) m
Tipo 2 (padrão)	Até 188	Mínimo de (45 x 35) m

O projeto próprio (Tipo A) deve ser analisado pelos órgãos competentes

Fonte: Adaptado de FNDE, 2021.

De acordo com o Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão (SIMEC), até o ano de 2021, foram acordadas 7679 unidades entre as diferentes tipologias existentes em todo o território nacional, destas 4350 foram concluídas, 1038 foram canceladas e 2291 estão passando por algum dos tramites do processo (SIMEC, 2021).

A

Figura 8 apresenta a perspectiva frontal de cada um dos projetos padronizados do Proinfância.

Figura 8 - Perspectiva frontal dos projetos padronizados do Proinfância: a) Tipo B, b) Tipo C, c) Tipo 1 e d) Tipo 2.



Fonte: BRASIL, 2021.

Analisando a trajetória da arquitetura escolar brasileira, percebe-se a forte presença da padronização dos projetos escolares, situação sempre justificada por uma série de fatores, como economia pela produção em massa; redução de custos com projetos e de tempo de execução; maior facilidade em obter uma equipe de execução treinada devido a repetição, entre outros (BRASIL, 2021). No entanto, nos últimos anos vem crescendo as discussões em torno dos fatores negativos ligados ao processo de padronização, como problemas relacionados ao conforto térmico, acústico e lumínico, rejeição por parte da comunidade, visto que a edificação não atende necessariamente às necessidades locais, uma série de patologias decorrentes da etapa construtiva que nem sempre segue o projeto, sendo fiscalizada apenas pelos municípios, implantação da edificação totalmente equivocada, entre outras questões. Alguns autores têm chamado atenção para o prejuízo que essa escola padronizada tem causado à sociedade, principalmente no que diz respeito ao processo de ensino aprendizagem.

Segundo Kostof (1995), o edifício é executado como se fosse um produto em série, tornando-se um carimbo estampado na área urbana, sendo considerado inadequado para servir aos anseios daquela sociedade e colaborando negativamente para a paisagem urbana. De acordo com Kowaltowski (2011), o projeto padrão muitas vezes está fadado a se tornar um objeto obsoleto, visto que os materiais e técnicas construtivas exigidos no projeto demandam de fornecedores específicos e mão de obra especializada, dificultando os processos de licitação e onerando a obra, além disso, a opção pelo projeto padrão retira da sociedade a oportunidade de pensar

uma nova construção, superando falhas anteriores e estando cada vez mais próximo do produto ótimo para atender suas particularidades.

Barros (2002) salienta que essa construção de escolas em massa vem sendo prejudicial aos usuários, visto que condições climáticas e ambientais particulares das regiões de implantação não são levadas em consideração, comprometendo o conforto ambiental no espaço escolar, assim como a falta de flexibilização do projeto padrão compromete a implantação do edifício, acarretando prejuízos derivados da incidência solar e do baixo aproveitamento da ventilação natural. O autor destaca ainda que os projetos arquitetônicos padronizados não levam em consideração a dimensão e localização do lote, a topografia e condições geológicas do terreno que serão sempre distintas de uma região para outra e impactam na implantação da edificação.

2.2 A JANELA NO AMBIENTE ESCOLAR

O elemento construtivo janela é definido, segundo a norma técnica, como “um “caixilho”, geralmente envidraçado, destinado a preencher um vão, em fachadas ou não. Entre outras, sua finalidade é permitir a passagem da iluminação e/ou ventilação de um recinto para outro” (NBR 10820, 1989). O dicionário brasileiro da língua portuguesa complementa definindo a janela como uma abertura praticada à meia altura das paredes externas de um prédio e que, guarnecida por um caixilho pode abrir-se para permitir a entrada de ar e luz natural (AURÉLIO, 2010). De acordo com o autor Munari (1996), as janelas vão além de elementos arquitetônicas inertes, sendo capazes de conferir movimento aos ambientes, visto que permitem a lenta transformação dos espaços ao proporcionar iluminação aos mesmos, além de servir de passagem para os olhares e os diálogos.

Como benefícios oriundos do correto uso das janelas, podem ser citados, além da ventilação e iluminação natural, a possibilidade de interação com o ambiente externo, seja de forma visual ou física, ligação entre ambientes, melhoria das condições de salubridade do local, harmonização estética das fachadas, transmitir

segurança ao ambiente, entre outros. No entanto, Nico-Rodrigues (2015) salienta que o uso incorreto desse elemento pode prejudicar sua eficiência, pois sua funcionalidade acaba não sendo totalmente explorada, dessa forma, é recomendável que a escolha do modelo de janela leve em considerações também fatores de ordem técnica, como tamanho, controle da abertura para ventilação, localização no projeto, material construtivo, modelo da janela etc. Além disso, para uma janela com máxima eficiência, faz-se necessário atentar para os avanços tecnológicos, responsáveis por diversas modificações em torno da mesma, referentes a seu tamanho, ao material e as partes constituintes. Elementos como vidros, persianas, venezianas e brises são exemplos de produtos que tem se diversificado no mercado e são capazes de otimizar a função das janelas, contribuindo para a manutenção de temperaturas agradáveis e privacidade no interior dos ambientes (NICO-RODRIGUES, 2015).

Localizar bem as janelas está diretamente relacionado a utilização da ventilação cruzada, estratégia fundamental para proporcionar a renovação do ar dentro do ambiente, prevenindo a formação de fungos e mofo prejudiciais a saúde e reduzindo a quantidade de toxinas presentes no ar (KOWALTOWSKI, *et al.*, 2002). Albatici e Passerini (2011) destacam que escolher a janela em consonância aos condicionantes da região favorece também o desempenho térmico do edifício, reduzindo assim o consumo de energia e melhorando o conforto térmico para o usuário, condições extremamente interessantes em edificações escolares públicas, dada a longa permanência dos usuários e a escassez de recursos para um condicionamento artificial.

Nico-Rodrigues (2015) ressalta a importância da janela como elemento para promover iluminação natural aos ambientes, condição fundamental para a saúde, bem-estar e produtividade dos indivíduos, visto que ela ativa funções fisiológicas positivamente no ciclo biológico humano, além disso, a luz natural está diretamente ligada a economia de energia.

A partir de alguns estudos comparando diferentes modelos de janelas, foram observados resultados relevantes, que vem mostrando os benefícios para a sociedade em escolher o modelo de janela adequado a cada situação.

A pesquisa de Santo (2014) avaliou dois modelos de janela em um edifício residencial, sendo que uma delas oferece a possibilidade de ventilação constante ao ambiente, através de uma das folhas da janela em veneziana de alumínio (modelo B), que também funciona como sombreador, enquanto a outra (Modelo A) tem a área de ventilação toda envidraçada, sem sombreador e sem possibilidade de ventilação quando está totalmente fechada. Entre os resultados, a autora, observou uma redução do período em que ocorre desconforto de aproximadamente 46% adotando o modelo B em detrimento do A.

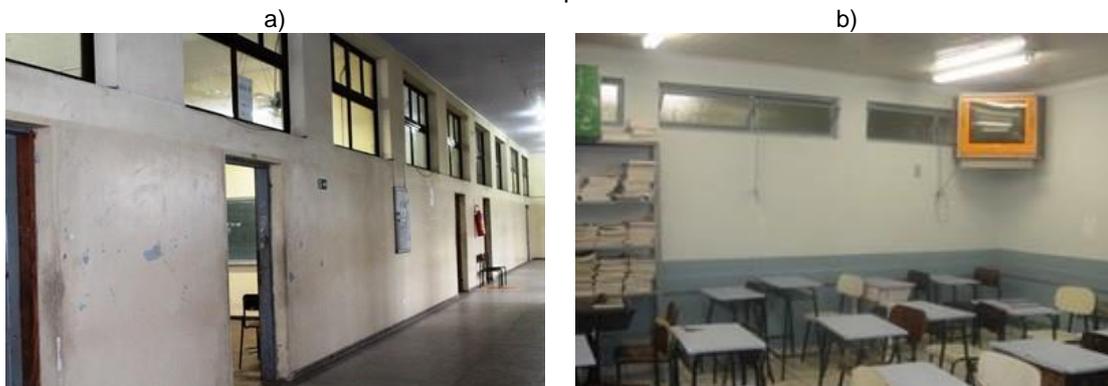
Outro trabalho, avaliou por meio da comparação entre um modelo de janela comumente utilizado em residências multifamiliares da cidade de Vitória - ES, constituída apenas por panos envidraçado sem sombreador e um modelo de janela proposto com adoção de dispositivos de sombra e oferecendo a possibilidade de manter a ventilação de conforto, higiênica e noturna, obtendo resultados que evidenciam a influência do modelo de janela no desempenho térmico do edifício e consequentemente no conforto térmico para o usuário (NICO-RODRIGUES, 2015).

Foram evidenciados uma série de aspectos importantes para a determinação do modelo de janela adequado, além de vários benefícios que essa escolha agrega ao dia a dia das pessoas. Nesse sentido a janela se configura um elemento fundamental para promover melhores condições de habitabilidade nas edificações, principalmente nos edifícios escolares públicos, onde os usuários permanecem boa parte da sua vida e os recursos para promover qualquer ação de condicionamento térmico forçado, como uso de ar-condicionado, são extremamente escassos.

Historicamente, a utilização das janelas vem sendo modificada, de tal forma que anteriormente a ênfase maior era a questão da segurança e proteção do ambiente, mantendo um nível de ventilação higiênica, entretanto, nos últimos anos esse uso está mais relacionado às questões do conforto ambiental oferecido aos usuários, principalmente em regiões de clima quente e úmido, onde a adoção da ventilação natural como estratégia de condicionamento térmico passivo tem se mostrado eficiente (LIMA et al., 2019). Paralela a essa mudança de foco, as dimensões das janelas também foram sendo alteradas. De acordo com Kowaltowski *et al.* (1999), por muito tempo foram adotadas, em edifícios escolares, janelas com dimensões

pequenas, pouca área para ventilação e peitoril bem alto, cujas razões eram manter a segurança do ambiente, principalmente, quando a fachada era voltada para a rua, proporcionar a ventilação higiênica ao recinto e impedir que o ambiente externo dispersasse os alunos que deveriam destinar a atenção exclusivamente ao professor. A **Figura 9** ilustra dois exemplos de escolas brasileiras com janelas pequenas e peitoris extremamente altos, impossibilitando totalmente o acesso visual ao exterior da sala.

Figura 9 - Exemplos de janelas em ambientes escolares brasileiros em que o acesso visual externo a sala é comprometida.



Fonte: a) Casa Vogue, 2020; b) Governadoria do Rio Grande do Sul, 2020.

Segundo Kowaltowski (2011), devido a mudanças pedagógicas no âmbito da educação brasileira e ao surgimento de normativas técnicas de desempenho, nacionais e internacionais, entre outros fatores, o modelo de janela usual no edifício escolar, assim como a própria concepção do projeto arquitetônico vem passando por transformações positivas, no entanto, a autora infere que muitos dos parâmetros necessários para se elevar as condições de conforto no ambiente escolar ainda são negligenciados em novos projetos, em projetos antigos que ainda são executados e em escolas que deveriam passar por adaptações relativamente simples. Em relação às escolas públicas tais parâmetros são ainda mais negligenciados, principalmente com a prática, comum no Brasil, da arquitetura escolar padronizada, procedimento que não permite levar em consideração particularidades da região onde a escola será implantada (BARROS, 2002).

Alguns estudos vêm discutindo a relação entre as condições do espaço escolar físico e o processo de ensino aprendizagem e confirmam que o edifício pode ser utilizado como um aliado as ferramentas disponíveis para a educação, no entanto,

quando mal planejado, torna-se um fator que dificulta o sucesso dos alunos, fazendo com que eles produzam menos do que poderiam (FILHO *et al.*, 2007; KOWALTOWSKI *et al.*, 2002; NOGUEIRA *et al.*, 2005 e BARROS, 2002).

Considerando o impacto das condições ambientais internas do prédio escolar em relação ao processo de ensino aprendizagem e reconhecendo a janela como um elemento arquitetônico extremamente versátil e funcional, torna-se interessante estabelecer condições de melhorias para esse edifício por meio de alterações nos modelos de janelas. Diante disso, vale a pena discutir algumas recomendações referentes ao uso das janelas na arquitetura escolar.

Seldin escreveu em 2001, sobre a importância da altura do peitoril das janelas em edificações escolares infantis, visto que essa altura deve permitir o contato visual das crianças com o ambiente externo a sala de aula. Além disso, é destacada também a importância do cuidado ao escolher o material construtivo das janelas, garantindo a segurança aos usuários.

Outro ponto importante é com relação ao controle de abertura das janelas que deve estar sempre disponível ao usuário para que o mesmo consiga alterar as condições do ambiente sempre que necessário (BRASIL, 2006).

Adequar a localização da janela e demais aberturas (portas e vãos) aumenta a fluidez entre os ambientes, permitindo um melhor fluxo de pessoas e contribui com um grande princípio da educação, o estímulo por meio da comunicação, seja pela visão, audição ou pelo olfato, ferramenta muito utilizada no ambiente escolar, principalmente na educação infantil (KOWALTOWSKI, 2011).

Spagnuolo (2019) chama atenção para a importância em adotar janelas com dispositivos sombreadores dimensionados para o local onde serão implantados, ou seja, que levem em consideração as particularidades ambientais da região, entre outros fatores, para que assim os elementos arquitetônicos (janela e sombreador) possam oferecer eficiência máxima. Nico-Rodrigues (2015) alerta ainda para o cuidado ao associar as janelas aos sombreadores, evitando que eles impeçam totalmente a entrada da iluminação natural no ambiente.

Os sombreadores são elementos arquitetônicos, constituídos de vários modelos e materiais construtivos, que tem por finalidade primordial direcionar a incidência solar que entra no ambiente, evitando a ocorrência de ofuscamento, e, simultaneamente, permitir a ventilação natural e o acesso visual do espaço externo. Eles podem ser articulados ou fixos, externos ou internos e horizontais e/ou verticais, sendo os elementos articulados ou externos mais eficientes. Os sombreadores articulados podem ser manipulados a fim de direcionar a incidência solar conforme a necessidade, para isso é fundamental que eles possam ser facilmente controlados, já os dispositivos externos são melhores porque dissipam o calor absorvido do lado de fora do ambiente. É importante destacar que os dispositivos utilizados internamente, como cortinas, blackouts e persianas, assim como externos mal dimensionados, acabam gerando prejuízos ao ambiente, visto que ao impedir a entrada da luz solar indesejada, tornam o ambiente dependente do condicionamento e da iluminação artificial, elevando o consumo energético, além de prejudicar a ação da ventilação natural. Quanto à posição, se vertical e/ou horizontal, assim como o dimensionamento geral do elemento, depende da relação entre as fachadas e a trajetória do sol ao longo do dia (LAMBERTS *et al.*, 2014).

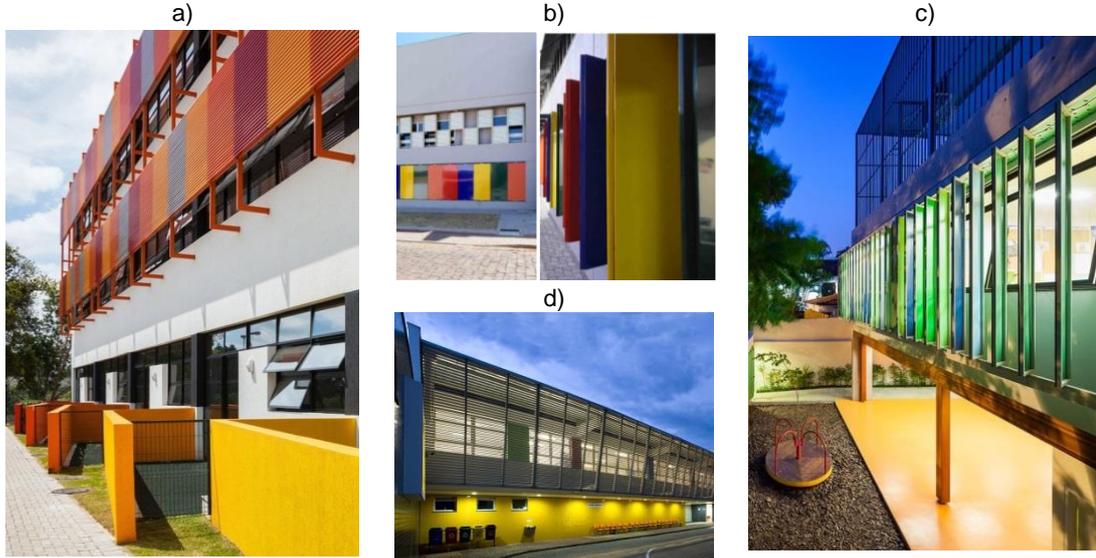
Contudo, vale a pena reforçar a importância de analisar cada situação específica em particular para obter resultados melhores, visto que as recomendações expostas são gerais (NICO-RODRIGUES, 2015). A

Figura 10 apresenta alguns modelos de dispositivos sombreadores utilizados em escolas de ensino infantil e fundamental, no Brasil, da rede privada (

Figura 10a, c e d) ou construída a partir da parceria entre prefeitura e o setor privado (

Figura 10b).

Figura 10 - Exemplos de sombreadores em escolas de ensino infantil e fundamental: a) e d) sombreadores horizontais fixos externos; b) e c) sombreadores verticais articulados externos.



Fonte: a) Casa Vogue, 2016; b) Knob, 2018; c) Galeria da Arquitetura, 2012 e d) Galeria da Arquitetura, 2016.

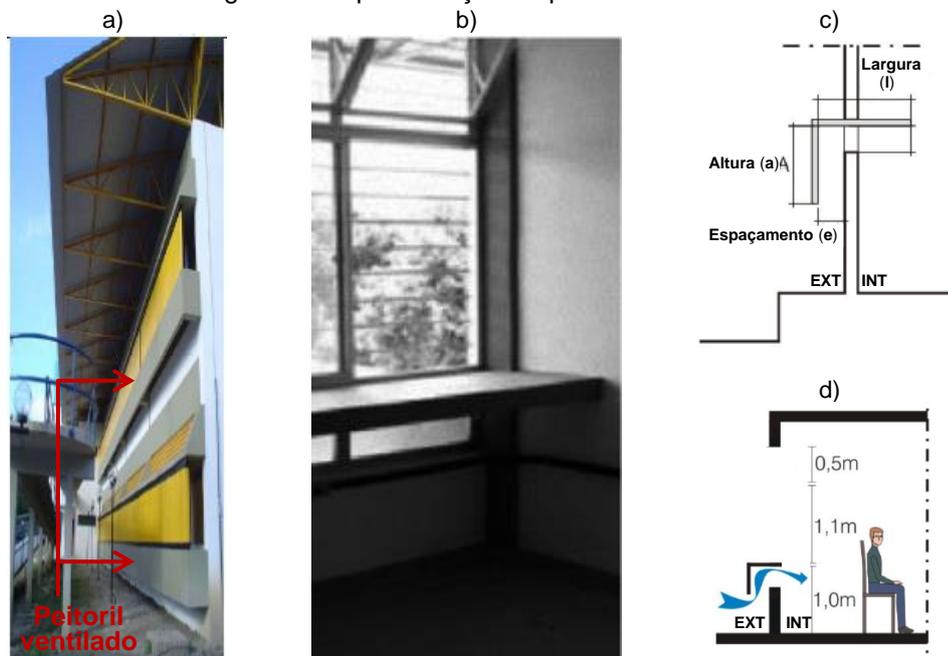
Ao avaliar o uso de elementos sombreadores móveis, instalados externamente a janela, em uma escola pública padronizada de educação infantil, Spagnuolo (2019), observou relevante redução no desconforto térmico com edificações nas ZBs 4, 6 e 8, principalmente, para fachadas voltadas a Leste e Oeste.

Kowaltowski *et al.* (1999), reúne alguns parâmetros de projeto visando escolas brasileiras, entre eles, estão o uso da iluminação e da ventilação natural. Com relação à ventilação natural, Nico-Rodrigues (2008) aponta que o uso de janelas sem elementos vazantes e bloqueadores da radiação solar apresenta desempenho desfavorável para o conforto térmico, quando se considera a ventilação natural como estratégia passiva de condicionamento térmico.

Com relação a elementos vazantes associados às janelas, é possível destacar o peitoril ventilado, cuja função é exatamente complementar o fluxo de ar proporcionado pelas janelas, oferecendo a possibilidade de ventilação contínua (ARAÚJO, 2011). O dispositivo consiste em um elemento, geralmente executado em concreto, com formato de “L” invertido que sobrepõe uma abertura localizada no peitoril abaixo das janelas. A abertura é protegida das chuvas pelos planos verticais e horizontais do “L”. Devido a dimensão reduzida da abertura, é possível que ela

fique aberta em tempo integral, contribuindo com a ventilação noturna sem comprometer a segurança do ambiente” (BITTENCOURT, 2008). Entre as mais diversas formas, o peitoril ventilado pode ser ortogonal, inclinado ou curvo, sendo o modelo ortogonal o mais usual (OITICICA, 2010). Para a construção do elemento arquitetônico, algumas dimensões devem ser determinadas, o espaçamento (e), a altura (a) e a largura (l), conforme pode ser acompanhado na **Figura 11c**. A **Figura 11a** e **b** apresentam o exterior e o interior de uma sala de aula onde foi adotado o peitoril ventilado ortogonal e a **Figura 11d** mostra o insuflamento de ar proporcionado pelo dispositivo.

Figura 11 - Apresentação do peitoril ventilado.



Fonte: Bittencourt et, al., 2007; Oiticica, 2010.

Alguns trabalhos, como Bittencourt *et al.*, (2008); Leal *et al.*, (2006); Oiticica, (2010) e Bittencourt *et al.*, (2007) vem estudando o peitoril ventilado e obtendo bons resultados, principalmente, em ambientes como escritórios e escolas, destacando, entre outras vantagens, sua capacidade de direcionar o fluxo de ar para a altura das pessoas sentadas. Alguns desses estudos apontam ainda que a eficiência é mais significativa em regiões de clima quente úmido, onde o sombreamento e a ventilação natural são as melhores estratégias de condicionamento térmico passivo.

Bittencourt *et al.* (2008), obteve um aumento em torno de 60% na velocidade de vento após a adoção do peitoril ventilado ortogonal em uma sala de aula com configuração considerada típica.

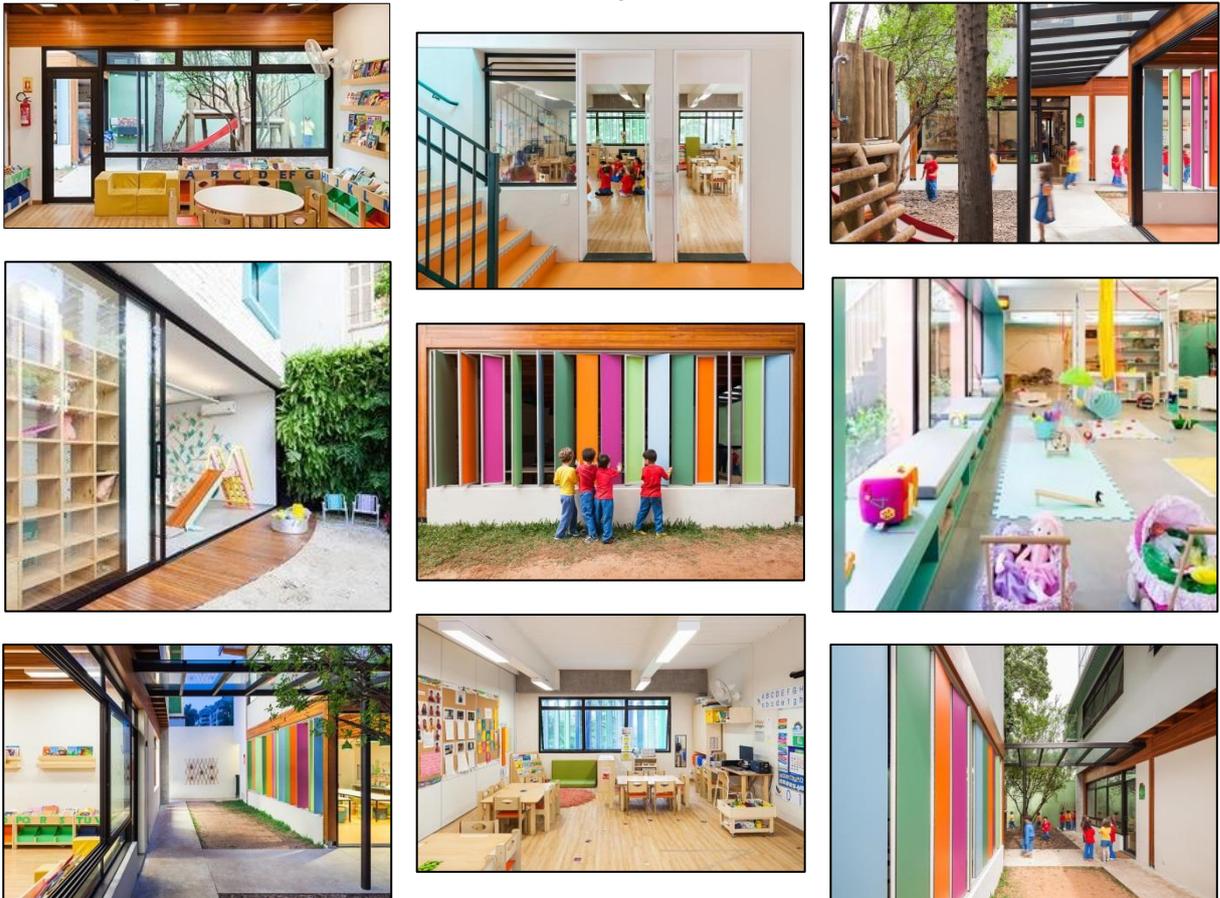
Segundo Kowaltowsk (2011), os principais problemas observados no ambiente escolar, em relação ao conforto térmico, são salas de aula com pouco aproveitamento da ventilação natural, orientação de implantação inadequada, disposição e tamanho de aberturas ineficientes e falta de dispositivos sombreadores.

Diante dessa observação a autora aponta a janela como um elemento com grande potencial de contribuição para a melhoria desse ambiente, visto que o sombreamento e a ventilação natural são consideradas as estratégias bioclimáticas mais eficientes (BAKER, 1987; SCHILLER *et al.*, 1988), e que a ventilação natural está intimamente relacionada a zona de conforto (MALLICK, 1996), então propor janelas mais eficientes, determinadas a partir de análises técnicas, é um bom caminho para projetar edifícios escolares com melhor desempenho e consequentemente mais confortáveis para os alunos.

A arquiteta vai além ao referir-se ao uso das janelas nos prédios escolares infantis, inferindo que os locais que conectam os ambientes devem ser otimizados, principalmente quando conectam o interior das salas de aula com os pátios, assim ela sugere a janela como um elemento de ligação entre esses ambientes, indicando modelos e localização inusitadas, utilidades variadas, por exemplo, o planejamento de bancos junto ao peitoril das janelas. Com isso a sala de aula passará a oferecer mais possibilidades de uso e, de forma estratégica, a janela servirá como meio para ajudar a desconstruir o espaço escolar tradicional, além de todas as demais vantagens.

A **Figura 12** apresenta alguns exemplos de projetos que utilizaram a janelas e outros elementos arquitetônicos para funcionalidades diversas, explorando a versatilidade dos mesmos, inclusive em relação às práticas pedagógicas.

Figura 12 - Exemplos de escolas de educação infantil brasileiras do sistema privado.



Fonte: Casa Vogue, 2016; Galeria da Arquitetura, 2012; Galeria da Arquitetura, 2016.

2.3 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico pode ser explicado como uma sensação reconhecida pelo ser humano que expressa satisfação térmica, podendo ser experimentada a partir da associação entre fatores humanos e ambientais ASHRAE 55 (2004), no entanto, conforme relata Nico-Rodrigues (2015), as ações humanas são motivadas por questões ambientais, de tal forma que o impacto das condições ambientais para o conforto térmico é muito grande.

Os primeiros estudos direcionados ao conforto térmico surgiram na década de 70 do século XX, desenvolvidos por Povl Ole Fanger. Os estudos consistiam em avaliar um grupo de pessoas em câmaras climatizadas, ajustando as condições relacionadas ao homem e ao ambiente, como resultados a sensação térmica é caracterizada

entre sete pontos, muito frio (-3), frio (-2), um pouco frio (-1), (neutro = conforto) (0), (um pouco calor) (+1), (calor) (+2) e (muito calor) (+3) (BENTON *et al.*, 1990; DE DEAR, 2004). Em seguida, essa teoria do conforto térmico estático foi questionada, sendo investigada por diversas pesquisas que também discutiram a aplicabilidade do modelo em ambientes naturalmente ventilados (NICOL, 2002; LAMBERTS *et al.*, 2011). Com isso, a partir de 1976, o modelo adaptativo passou a ser estudado de forma mais significativa, impulsionado também pela necessidade de economia no consumo energético em meio à crise mundial do petróleo (HUMPHREYS *et al.*, 2013). Desde então, o conceito de conforto adaptativo vem se fortalecendo e está presente em uma série de estudos científicos, envolvendo edificações de diversas tipologias e finalidades, entre elas os edifícios escolares, abordados nas pesquisas de Spagnuolo (2019), Nogueira *et al.* (2005), Filho *et al.* (2007), Kowaltowski *et al.* (2002) e Milan (2015), entre outros.

De acordo com LAMBERTS *et al.* (1997), a discussão acerca do conforto térmico passou a englobar temas correlatos, que a partir da modernização e da globalização se tornaram novas preocupações para o homem, como eficiência energética, saúde ocupacional e produtividade, além de ser responsável, geralmente, pela maior parte das reclamações dentre os fatores que compõem o conforto ambiental, principalmente no Brasil que é caracterizado por um clima tropical com temperaturas bastante elevadas na maior parte do país (NOGUEIRA *et al.* (2005).

O termo adaptativo faz referência a ações que os usuários são capazes de executar para se aproximarem do seu nível de preferência térmica, reforçando assim, o papel ativo do ser humano ao longo do processo (NICOL, 2002). Além disso, para promover a adequação térmica do edifício devem ser levadas em consideração, por exemplo, a atividade exercida no local, o gênero, idade e biótipo dos usuários para que sejam estabelecidos fatores como a taxa metabólica e a dissipação de calor para o ambiente (LAMBERTS *et al.*, 2014; DE DEAR; BRAGER, 1998;). De forma genérica os índices de conforto tentam sintetizar em parâmetros estatísticos essas variáveis, tentando prever em formas de cartas e nomogramas, as condições do usuário e do ambiente (FROTA; SCHIFFER, 2003; LAMBERTS *et al.*, 2014).

De Dear e Brager (2002) destacam que o conforto térmico é uma sensação atingida de forma particular, assim é perfeitamente possível que um mesmo ambiente provoque sensações térmicas diferentes em cada indivíduo ou que pessoas diferentes submetidas a ambientes térmicos diferente sintam o mesmo nível de conforto, isso caracteriza muito bem a interdependência entre homem e ambiente nesse contexto. Sendo assim, as normas técnicas caracterizam o nível de conforto térmico em um ambiente por níveis distintos de aceitabilidade, visando satisfazer o maior quantitativo de usuários em cada nível.

Segundo Brager e De Dear (2001), a sensação de conforto também é influenciada pela rotina de condicionamento térmico do ambiente. Indivíduos submetidos a ambientes climatizados artificialmente, em geral, são mais críticos com relação ao nível de aceitabilidade comparado a pessoas submetidas a ambientes naturalmente ventilados. De acordo com os autores, pessoas submetidas rotineiramente a ambientes com condicionamento forçado, tem menor resistência a oscilações de temperatura, assim são mais sensíveis ao desconforto, entretanto, pessoas que utilizam rotineiramente ambientes ventilados naturalmente, tem maior resistência a oscilações de temperatura, além de estarem adaptados a promover ações para melhoria da sensação de desconforto, tais como acionar ventiladores, abrir portas e janelas, reduzir a intensidade da atividade que realiza a fim de diminuir a taxa metabólica, lavar o rosto, entre outras ações.

Lamberts *et al.*, (2014) afirmam que um ambiente confortável promove ao usuário um bem-estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo, condições indispensáveis para o bom desenvolvimento de atividades diárias, dessa forma, deve ser uma condição inerente ao ambiente escolar. Frota e Schiffer (2003) relatam que os primeiros estudos desenvolvidos em 1916, pela Comissão Americana de Ventilação, constataram que em certos ambientes de trabalho, o aumento da temperatura de 20°C para 24°C reduz o rendimento das pessoas em 5% e em um ambiente com temperatura do ar de 30°C e umidade de 80%, a produtividade dos usuários cai cerca de 28%.

No contexto escola, Kowaltowski (2011) considera que o Brasil vem reconhecendo falhas em projetos escolares, assim como vem tentando propor soluções, porém

algumas das estratégias adotadas ainda são pautadas em países muito diferentes do Brasil e chama atenção para a importância em propor soluções que levem em consideração as particularidades da região em questão, visando a promoção de mais conforto térmico aos usuários. Conhecer fatores climáticos e ambientais, como frequência e velocidade dos ventos, trajetória solar, caracterização climática, entre outros fatores, são fundamentais no processo de projeto para uma edificação ideal. Nesse contexto, o projeto escolar padronizado, utilizado comumente no país, acaba sendo muito prejudicado, visto que o Brasil é constituído de uma vasta diversidade climática, o que torna impossível a elaboração de um único projeto que seja eficiente ao ser implantado em todo território nacional (KOWALTOWSKI *et al.*, 2002).

De Dear *et al.* (1997) constataram que há distinção no grau de termorregulação corporal entre os usuários de edifícios residenciais e as pessoas que utilizam edifícios com outra atividade fim, por exemplo, escola, escritório etc. Segundo o autor essa diferença se deve ao fato dos usuários que estão em casa terem maior oportunidade de adequar o ambiente, assim como suas condições pessoais, em casa o acesso a abertura de janelas para melhoria da ventilação, adequação da vestimenta, utilização de ventiladores, entre outras ações, são mais facilitadas. Dito isso, é possível inferir o quão importante é, que o edifício escolar ofereça condições para que os usuários possam também promover adaptações, a fim de elevar os índices de conforto, somado a isso, é indispensável que os projetos arquitetônicos escolares sejam planejados reconhecendo as limitações dessas ações e ofereça os recursos necessários a promoção desse conforto térmico, tão importante para o bom desempenho das atividades estudantis.

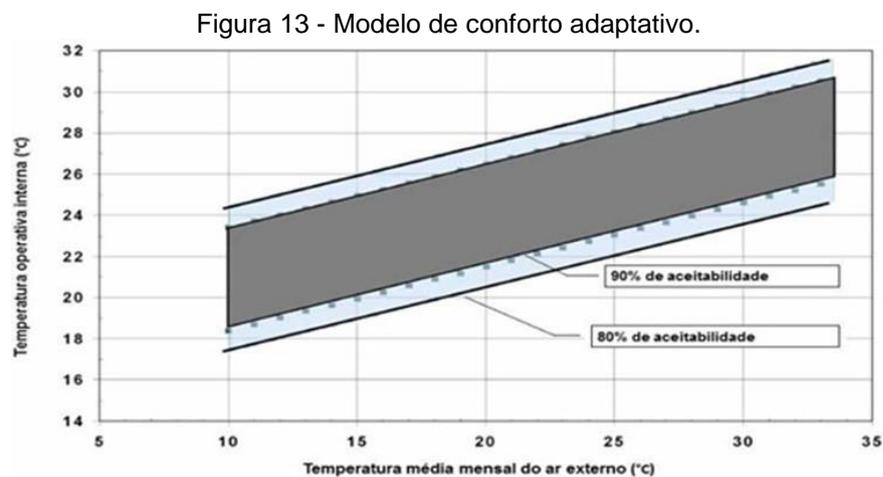
2.3.1 Modelo adaptativo da Ashrae 55

No final do século XX com a crescente emissão de carbono e as condições climáticas ficando cada vez mais severas no mundo inteiro, surgiram pesquisas para reavaliar o conforto térmico, gerando uma reformulação da norma americana ASHRAE Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, onde, a partir da versão de 2004, foi apresentado um método para calcular os

índices de conforto térmico em edificações naturalmente ventiladas (DE DEAR, 2011). Os resultados foram obtidos a partir de uma avaliação mais consistente, considerando o uso de ar-condicionado, a ventilação natural ou utilizando os dois recursos, visto que os resultados nas pesquisas de campo indicaram diferença nos índices de adaptabilidade do usuário em relação ao ambiente à medida que se variava o tipo de condicionamento (BRAGER; DE DEAR, 2001).

Em síntese, a norma aborda condições relacionadas ao ambiente e a fatores pessoais de forma a tornar as condições térmicas aceitáveis para 80% ou mais dos ocupantes de ambientes internos projetados para ocupação humana por períodos não inferiores a 15 minutos, considerando pressões atmosféricas equivalentes a altitudes superiores a 3,00 m. Os fatores ambientais abordados são temperatura, radiação térmica, umidade e velocidade do ar e os fatores pessoais são relacionados a atividade exercida e a vestimenta (LAMBERTS *et al.*, 2008).

A **Figura 13** apresenta o gráfico com o modelo adaptativo considerando 80% e 90% de aceitabilidade por parte dos usuários.



Fonte: ASHRAE 55, 2004.

Lembrando que 80% de aceitabilidade é associada a situações gerais (gera um intervalo de conforto maior) e 90% de aceitabilidade é recomendado para ambientes onde os usuários são mais sensíveis ao desconforto ou que haja interesse em manter o ambiente oferecendo níveis de conforto maiores que o anterior (gera um intervalo de conforto menor). O modelo adaptativo pode ser aplicado em ambientes naturalmente ventilados, considerando que a temperatura do ar externo varie entre

10 °C e 33,5 °C. Como a temperatura operativa interna ao ambiente está diretamente ligada à média da temperatura do ar externo, ela é consequentemente limitada também (ASHRAE 55, 2004).

Entre os anos de 2004 e 2013, a norma passou por uma revisão e entre as alterações estão a inclusão de um incremento na velocidade do ar entre 0,6 m/s e 1,2 m/s para elevar o limite máximo de aceitabilidade térmica em locais, de clima quente e úmido, com temperatura operativa interna superior a 25°C. A alteração a respeito da velocidade do ar para melhoria no conforto térmico é uma estratégia interessante para as edificações escolares públicas brasileiras dadas a escassez de recurso para implantação e manutenção de equipamentos de climatização (BRASIL, 2007), devido a isso, o governo passou a recomendar a utilização da velocidade do ar e orientar formas de inseri-la nos projetos escolares por meio da publicação de manuais (BRASIL, 2006; BRASIL, 2009).

A norma americana tem sido considerada a melhor ferramenta para avaliar o conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados no Brasil, apresentando resultados mais coerentes quando comparados a outras normativas que avaliam o desempenho do edifício (PEREIRA e ASSIS, 2010; MILAN, 2015).

2.4 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO - NBR 15220

A crise energética vivida no Brasil em 2001 levou o país a sofrer altas taxações entre outras medidas drásticas a fim de reduzir o consumo energético, gerando como resultado uma economia em torno de 20% sobre o total anteriormente consumido (CÂNDIDO *et al.*, 2011).

Diante disso, devido às alterações climáticas e o baixo suporte financeiro destinado a infraestrutura do setor energético, com intenção de tomar medidas menos agressivas e mais eficazes, surgiu a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia que reuniu diretrizes específicas para a avaliação das condições climáticas brasileiras, tendo como foco principal a redução no consumo

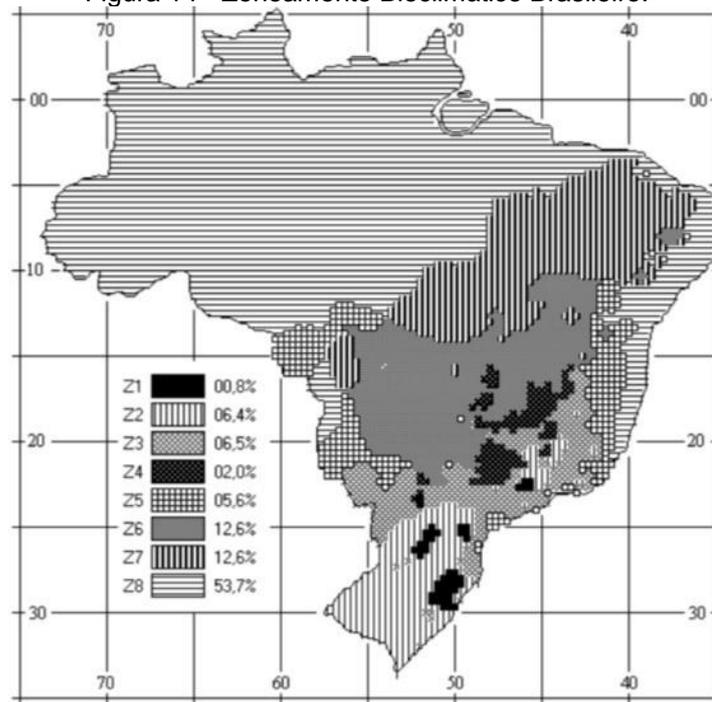
energético por meio da melhoria do desempenho dos edifícios. A partir disso, em 2005 surgiu a NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações, a primeira norma brasileira a abordar a temática, sendo dividida em cinco partes:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento Bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Entre as partes constituintes, está o “Zoneamento Bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social” (parte 3), trata-se da divisão do território brasileiro em oito Zonas Bioclimáticas (ZB) com base no diagrama psicrométrico proposto por Givoni. A divisão foi feita a partir das normais climatológicas de 330 municípios, gerando uma caracterização climática de cada um deles e um agrupamento das regiões com clima relativamente homogêneo, de forma a gerar oito zonas (**Figura 14**) (MARTINS *et al.*, 2012).

Entre as demais recomendações da NBR 15220, está a indicação da ventilação natural como estratégia de condicionamento térmico passivo para elevar o desempenho térmico das edificações. A estratégia é indicada em sete, das oito zonas brasileiras, excetuando-se a zona 1 que compreende a região mais fria do país.

Figura 14 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



Fonte: ABNT, 2005.

Para as ZBs 2, 3 e 5 é recomendada a ventilação cruzada, que pode ser obtida a partir do fluxo de ar que atravessa as aberturas (portas, janelas, vãos, frestas etc.) do ambiente. Para as ZBs 4, 6 e 7 é indicada a ventilação seletiva nos períodos mais quentes ou sempre que a temperatura do interior do ambiente ultrapassar a temperatura exterior. Por fim, para a ZB 8 é sugerida a ventilação permanente em função das condições climáticas mais severas que dificultam o bom desempenho do edifício (ABNT, 2005).

A respeito da divisão do território brasileiro em oito zonas, estudos como Roriz (2012) levantam fragilidades, justificando que o zoneamento atual não contempla bem as particularidades climáticas existentes no território brasileiro, sendo que as cidades sem normais climatológicas podem ser ainda mais prejudicadas devido a adoção do processo de interpolação dos dados. Devido a questionamentos como esse um Grupo de Discussão formado pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) vem discutindo essa divisão, desde o ano de 2012, a fim de propor uma revisão da mesma (RORIZ, 2012).

Roriz (2012) alerta que a NBR 15220 vem sendo constantemente utilizada para avaliar o desempenho térmico de edificações de diversas tipologias, devido a

inexistência de normas brasileiras que englobem edificações gerais. No entanto, o autor salienta sobre a importância do cuidado na interpretação dos dados, visto que a norma é direcionada para residências unifamiliares de interesse social e pode levar a análises equivocadas quanto ao desempenho de outras edificações, por outro lado, análises complementares à luz da NBR 15220 que possam ser utilizadas para avaliar a confiabilidade e servir como suporte para reformulações da mesma, podem ser positivas.

A proposta de uma normativa como a NBR 15220 representa um marco inicial para que mais discussões sobre desempenho, conforto térmico e temas afins sejam implementadas e venham a se consolidar por meio de outros instrumentos reguladores. É importante reconhecer as limitações e continuar submetendo a norma a reformulações, no entanto é fundamental reconhecer que, atualmente, no Brasil, existe um documento que direciona profissionais diversos, traçando recomendações construtivas para todo o território brasileiro que elevam o desempenho de edificações e conseqüentemente oferecem mais conforto térmico aos usuários.

2.5 VENTILAÇÃO NATURAL NO INTERIOR DO EDIFÍCIO

O fenômeno da renovação do ar pode ocorrer tanto pela ventilação quanto pela infiltração de ar no ambiente. De acordo com a Ashrae 62 (2001), a ventilação consiste na introdução intencional de ar do exterior para o interior do edifício, podendo ocorrer também através do fluxo de ar de um ambiente para o outro, de forma intencional ou não.

A ventilação é dividida em natural ou forçada, sendo que a natural corresponde ao ar que é direcionado de forma intencional por meio das aberturas para o interior do ambiente ou de forma espontânea motivada pela diferença na densidade do ar interno e externo, gerada pela diferença de temperatura (efeito chaminé) ou pela diferença de pressão no ar, que pode ser positiva ou negativa, dependendo do impacto do vento no edifício. Já a ventilação forçada ou mecânica é decorrente da utilização de aparelhos como ventiladores, insufladores e exaustores (ASHRAE 62,

2001). Infiltração é a denominação para o fluxo de ar do exterior para o interior da edificação, podendo ocorrer de forma natural (por diferença de pressão) ou por meios artificiais (ASHRAE 62, 2001).

De acordo com Raja *et al.* (2001) as edificações contam tanto com a ventilação quanto com a infiltração para a renovação do ar no ambiente, no entanto a atenção maior é destinada a garantir que a ventilação natural forçada seja direcionada ao interior dos ambientes, sendo comumente identificada por ventilação cruzada (MORAIS, 2013). Com relação ao fluxo de ar direcionado ao ambiente, é interessante considerar no projeto, sempre que possível, a ventilação noturna, visto que vários autores indicam a mesma como um diferencial na melhoria do desempenho térmico dos edifícios (CÂNDIDO *et al.*, 2009; DE VECCHI *et al.*, 2013; LAMBERTS *et al.*, 2014). É importante salientar que independente do mecanismo de entrada do ar no edifício, ele não se mistura, necessariamente, com todo o ar dos ambientes por onde circula, podendo aparecer zonas e estagnação de ar dentro dos ambientes que prejudicam principalmente a qualidade do ar interior (MORAIS, 2013).

A velocidade do ar, especialmente nas zonas onde se encontram as pessoas no interior do edifício, é uma das variáveis que mais influencia no conforto térmico, tanto em estações do ano mais quentes quanto nas mais frias (TOLEDO, 1999). No Brasil, país localizado em região tropical, a finalidade principal da infiltração de ar nos ambientes é aumentar a dissipação de calor do corpo humano, seja por convecção ou por evaporação, principalmente quando temperaturas e umidades elevadas ocorrem simultaneamente (MORAIS, 2013). É conveniente manter a velocidade do ar elevada também para amenizar a sensação de pele úmida, uma das principais causas de desconforto em climas quentes, nesse caso, o fluxo de ar proporciona ao indivíduo o resfriamento fisiológico, efeito denominado por Givoni (1962) como “ventilação de conforto”.

À medida em que o ar se movimenta com maior velocidade, a temperatura máxima de conforto também aumenta, ocorrendo uma aparente redução na temperatura operativa interna (MORAIS, 2013) Assim, Alamar (1968) sugere a adoção de alguns valores para a velocidade do ar no interior das edificações em períodos de inverno e verão, conforme segue apresentado na **Tabela 2**. O objetivo é estabelecer um limiar

entre velocidades muito altas que podem gerar desconforto por frio, derrubar materiais escolares, bater portas de salas de aula etc. e velocidade muito baixas que transmitam a sensação de abafamento, “ar parado”, desânimo e mal-estar.

Tabela 2 - Limites de velocidade do ar interior nas edificações para o inverno e o verão.

Período do ano	Velocidade do ar interior	Sensação
Inverno	< 0,10	desagradável
	0,10 - 0,20	agradável
	> 0,2	desagradável
Verão	< 0,2	desagradável
	0,20 - 0,55	agradável
	0,55 - 1,10	Agradável (curta permanência)
	> 1,10	desagradável

Fonte: Alamar (1968)

Sobre a aplicação dos limites de velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos, Cândido *et al.* (2010) inferem que os mesmos devem ser adotados com cautela, respeitando a condição climática da região, visto que experimentos de campo realizados para verificar a preferência e aceitabilidade do fluxo de ar na opinião dos usuários, mostraram que os valores de velocidades máximas recomendadas pela Ashrae 55 são inferiores aos desejados pelos usuários. No entanto em climas frios, esses parâmetros provavelmente seriam interessantes. Bedford (1948) apud Toledo (1999) sugere como limite mínimo o valor de 0,1 m/s quando a temperatura do ar alcançar até 12°C, possibilitando ainda que os usuários percebam a movimento do ar e não tenha a sensação de abafamento e em ambientes com temperatura do ar variando entre 12°C e 30°C, o autor recomenda que a velocidade mínima seja de 0,6m/s

Para o uso da ventilação eficiente em prol do conforto é fundamental também garantir que o fluxo de ar atinja o plano de trabalho dos usuários e a zona de ocupação da edificação. Diante disso, é importante compreender a diferença entre o fluxo de ar e as trocas de ar. O número de trocas de ar de um ambiente não necessariamente determina o padrão e velocidade do fluxo de ar, sendo assim, em relação ao conforto térmico, o fluxo de ar é importante e para que ele atinja a zona de atividades do ambiente é recomendável que as aberturas de entrada do ar sejam posicionadas a uma altura entre 0,5m e 1,5m acima do piso (REED, 1953).

Entre os parâmetros ligados a obtenção da ventilação cruzada no interior do edifício, estão o posicionamento, a dimensão e o tipo das aberturas que serão discutidos a seguir.

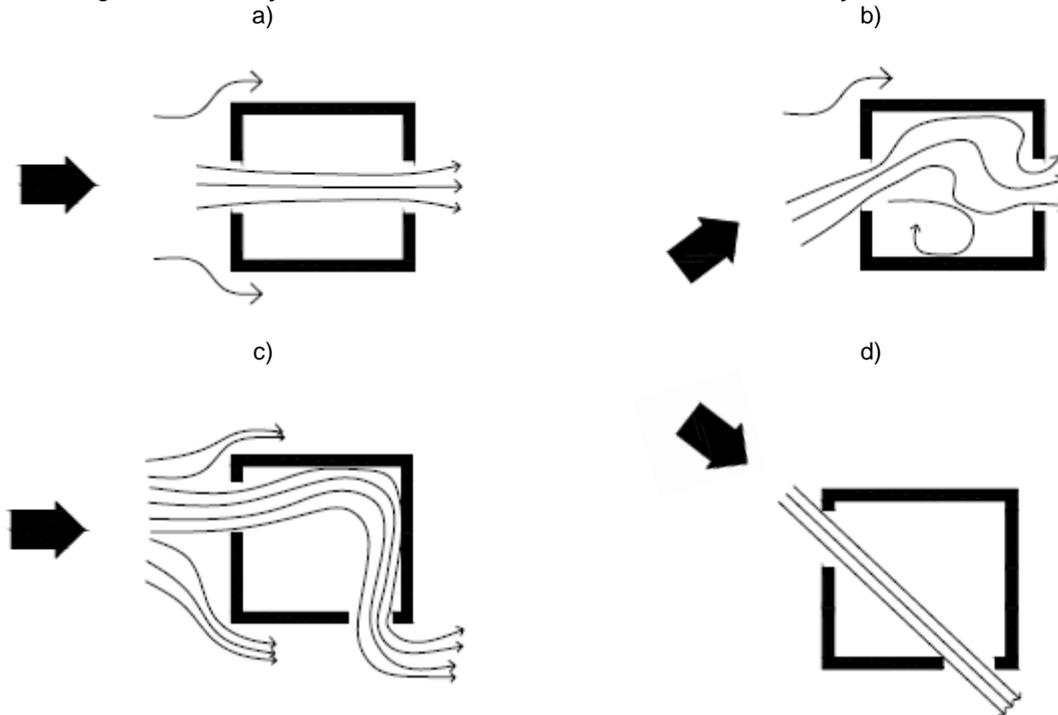
2.5.1 Localização, dimensionamento e tipologia das aberturas

Um estudo realizado por Givoni (1962) avaliou a ventilação no interior dos ambientes, considerando aspectos como a dimensão das aberturas (entrada e saída); a ventilação cruzada, com diferentes posicionamentos da edificação; cômodos com abertura única; cômodos com duas aberturas em paredes opostas; cômodos com duas aberturas em paredes adjacentes. Entre as conclusões obtidas estão:

- A partir de um determinado valor mínimo, para incidências de vento perpendiculares e à sotavento das aberturas, o tamanho da mesma teve pouca influência, de forma que a média da velocidade do ar interno permaneceu quase constante, passando a apresentar aumento significativo com a alteração da incidência do vento para 45°. Aumentando o tamanho apenas da entrada ou saída de ar, apresentou melhoria considerável. Aumentar o tamanho das duas aberturas (entrada e saída de ar) surtiu pouco efeito, além disso, o acréscimo na velocidade do ar interno é proporcionalmente muito inferior ao aumento da abertura, tornando a estratégia desinteressante.
- Considerando a ventilação cruzada e uma área de abertura total constante, os resultados são interessantes, de forma que em um quarto com duas janelas, uma na direção do vento e outra na direção oposta (paredes opostas), a velocidade média do vento aumentou cerca de 2,5 vezes em relação ao quarto com uma janela ou duas janelas no mesmo lado (sob mesma pressão) e de mesma área.
- A eficiência da ventilação no interior do ambiente é, também, influenciada pela direção com que o vento incide na abertura (entrada de ar) e o eixo através da abertura. Para as janelas dispostas em paredes opostas **Figura 15a e b**, a

velocidade do ar interno foi mais alta com o vento na direção de 45° em relação à direção de 90°. Para as janelas dispostas em paredes adjacentes (**Figura 15c e d**), a velocidade foi mais alta com o vento na direção perpendicular. O espaço interno que o vento ocupa no ambiente é maior e mais efetivo quando o vento é forçado a mudar de direção por algum fator (**Figura 15b e c**).

Figura 15 - Relação entre a incidência do fluxo de ar e a localização das aberturas.



Fonte: Adaptada de Givoni, 1976 apud Morais, 2013.

Outra consideração feita por Givoni (1976) foi que se as entradas de ar forem maiores que as saídas, o fluxo de ar no interior da edificação diminui, no entanto é distribuído melhor no ambiente. Já, o contrário, entradas menores que saídas, eleva a velocidade do ar, porém faz com que ele fique concentrado em uma pequena seção do ambiente, fenômeno denominado “efeito venturi”.

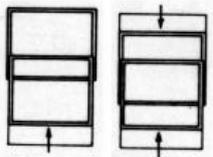
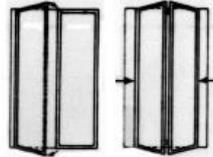
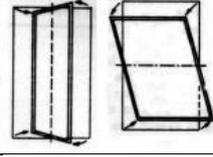
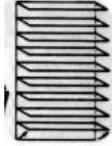
Além de localizar e dimensionar as aberturas, a correta escolha do tipo de esquadria também influencia na ventilação do ambiente, por isso, elas devem ser bem especificadas. Como o fluxo de ar natural é inconstante, mudando de sentido e direção a todo o momento, as esquadrias devem ser projetadas para aproveitar ao máximo o movimento do ar e oferecer ao usuário a possibilidade de direcionar e

orientar o vento, assim como regular sua intensidade sempre que desejar (MORAIS, 2013).

De acordo com Mascaró (1991), o tipo e o desenho da esquadria impactam diretamente no desempenho do edifício, visto que ele determina a área efetiva de abertura, da qual é determinada a área máxima de ventilação; a possibilidade de ser regulável pelo usuário no período quente e frio; a possibilidade de separação do fluxo de ventilação para conforto e ventilação higiênica; a contribuição na distribuição do fluxo de ar pelo local; a estanqueidade ao ar e à chuva entre outros.

O **Quadro 1** apresenta alguns dos diversos modelos de esquadria disponíveis no mercado.

Quadro 1 - Tipos de esquadrias e suas características.

Sistema de abertura	Características	% de abertura	Figura
Janela de guilhotina	Formada por uma ou mais folhas que podem ser movimentadas por deslizamento vertical, no plano da janela	50% de área útil de ventilação	
Janela de correr	Formada por uma ou várias folhas que podem ser movimentadas por deslizamento horizontal, no plano da janela	50% de área útil de ventilação	
Janela sanfonada – (Camarão) vertical e horizontal	Formada por duas ou mais folhas articuladas entre si que, ao se abrirem, dobram-se uma sobre as outras, por deslizamento horizontal ou vertical de seus eixos de rotação	Dependendo do ângulo de abertura pode-se ter 100% área útil de ventilação	
Janela pivotante horizontal e vertical	Formada por uma ou várias folhas que podem ser movimentadas mediante rotação em torno de um eixo vertical e não coincidente com as laterais das folhas	100% de área útil de ventilação	
Janela projetante deslizante – (Maxim-ar)	Formada por uma ou mais folhas que podem ser movimentadas em torno de um eixo horizontal, com translação simultânea desse eixo	Dependendo do ângulo de abertura pode-se ter 100% área útil de ventilação	
Janela Basculante	Possui eixo de rotação horizontal, centrado ou excêntrico e não coincidente com as extremidades superior ou inferior da janela	Dependendo do ângulo de abertura pode-se ter 100% área útil de ventilação	

Fonte: Adaptado de Nico-Rodrigues, 2015; NBR 10820, 1989; Neves, 2006; Morais, 2013.

As esquadrias de correr ou do tipo guilhotina, por exemplo, tem área de ventilação reduzida, podendo contribuir com no máximo 50% da área total da abertura para a ventilação, enquanto os modelos pivotantes horizontais ou verticais e os basculantes podem contribuir com até 100% da sua área de abertura para a ventilação, ou seja, permitem total abertura, além de possibilitar ao usuário o direcionamento do fluxo de ar.

As janelas basculantes também permitem modificar a direção do fluxo de ar e podem permitir uma separação entre as correntes de ar frio e quente quando o sistema de aberturas permite abrir as folhas separadamente.

Em condições climáticas dos países da parte central da Europa, foi desenvolvido um estudo envolvendo a flutuabilidade da ventilação quando se varia o sistema de abertura. O resultado mostrou que a janela pivotante horizontal atingiu melhor desempenho quando comparadas as janelas de guilhotina, de abrir, de tombar e pivotante vertical, isso se deve pela entrada de ar ocorrer separadamente, melhorando as condições térmicas (GRABE, 2013).

Com relação ao benefício que as aberturas podem oferecer ao edifício em relação à ventilação natural, peitoril ventilado é mais uma vez indicado como elemento chave. Bittencourt e Cândido (2005) sugerem o uso do dispositivo, proposto pelo arquiteto Glauco Campelo, como possibilidade de incremento para complementar o fluxo de ar proporcionado pelas esquadrias, salientando que ele produz uma corrente de ar próxima ao plano de trabalho dos alunos e por isso se configura uma solução interessante para edifícios escolares, além de contribuir com a ventilação noturna.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa pode ser classificada como aplicada ou tecnológica, contando com uma abordagem quantitativa e qualitativa acerca do conforto térmico em edifícios escolares padronizados ventilados naturalmente. Além disso, foram levantados quais recursos seriam necessários para tornar estas escolas confortáveis termicamente durante todo o ano, partindo do pressuposto que elas apresentam desconforto em algum momento. Em resumo, os procedimentos metodológicos adotados compreenderam os seguintes tópicos:

- 3.1. Determinação do objeto de estudo e das cidades envolvidas na pesquisa;
- 3.2. Modelos de aberturas e elemento sombreador;
- 3.3. Simulação térmica computacional;
- 3.4. Procedimentos envolvidos na calibração do modelo computacional;
- 3.5. Indicadores para avaliar o conforto térmico;
- 3.6. Consumo energético (kWh) e custo financeiro (R\$) para o resfriamento das horas desconfortáveis.

3.1 DETERMINAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO E DAS CIDADES ENVOLVIDAS NA PESQUISA

O interesse inicial para a realização da pesquisa era estudar de forma mais aprofundada o desempenho térmico das escolas públicas que são implantadas em larga escala no Brasil. A partir do levantamento sobre os programas nacionais mais recentes que ainda estão em vigor, foi verificado que um dos programas que mais tem disseminado estas edificações pelo Brasil é o Proinfância, assim surgiu como recorte para o desenvolvimento deste trabalho o estudo de caso de um dos edifícios padronizados do Programa. Continuando o estudo sobre o programa, foi verificado que o Proinfância foi iniciado disponibilizando cinco projetos padronizados distintos entre si, sendo um deles um projeto próprio, proposto pelo município em que a

escola será implantada (Tipo A) e os outros quatro (Tipos B, C, 1 e 2) projetos padrões, então foi verificado que havia uma quantidade de projetos acordados entre governo federal e municípios, expressivamente superior do Tipo B em relação aos demais, tornando este o objeto de estudo desta pesquisa. Segundo o Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão (SIMEC), até o ano de 2021, foram acordadas 7679 unidades entre as diferentes tipologias existentes em todo o território nacional, destas 4350 foram concluídas, 1038 foram canceladas e 2291 estão passando por algum dos tramites do processo **Tabela 3**. É possível verificar, também na **Tabela 3**, que a tipologia mais difundida, o projeto Tipo B conta com 3459 convênios firmados no Brasil, contra 369 do Tipo A; 1465 do Tipo C; 1333 do Tipo 1 e 1053 do Tipo 2.

Tabela 3 - Unidades do Proinfância por tipologia e situação de execução no Brasil.

Tipologias	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo 1	Tipo 2	Total
Concluída	223	2579	1125	208	215	4350
Contratação	0	4	1	22	9	36
Execução	33	139	34	558	422	1186
Inacabada	6	452	170	85	73	786
Licitação	2	20	6	16	21	65
Cancelada	101	234	122	345	236	1038
Paralisada	4	31	7	99	77	218
Total	369	3459	1465	1333	1053	7679

Fonte: Adaptado de SIMEC, 2021.

Outra motivação para a escolha em estudar um projeto padronizado é verificar quais são os impactos que a adoção de um projeto único, a ser implantado em qualquer região do Brasil, pode causar aos usuários, sob a perspectiva do conforto térmico, além de averiguar qual o consumo energético demandado por uma edificação, que não leva em consideração questões regionais, para promover um ambiente confortável termicamente ao longo de todo o ano, obtendo por fim, os custos financeiros anuais gerados aos cofres públicos. Sendo assim, da necessidade de avaliar esse impacto, surgiu a decisão em escolher duas cidades que possuam particularidades climáticas a fim de comparar os resultados obtidos em cada caso. Somado a isto, foi definido que as cidades deveriam pertencer a mesma Zona Bioclimática brasileira, desta forma, seria possível analisar também os danos causados, sob a ótica do desempenho das edificações escolares brasileiras, pela divisão do território brasileiro em apenas oito ZB, visto que conforme discutido por

Martins *et al.* (2012) e por Roriz (2012), o ZB brasileiro apresenta falhas graves. Uma delas é considerar regiões com características climáticas muito distintas pertencentes a uma mesma zona, levando assim a recomendações estratégicas passivas iguais para cidades que tem comportamentos climáticos distintos, tornando as estratégias ineficientes para algumas delas.

Para definir a ZB a ser priorizada por este estudo, foi simplesmente analisada a representatividade de cada zona diante do território brasileiro, ficando definido que o trabalho abordaria a zona 8, visto que ela compreende a maior área territorial do Brasil, cerca de 53,7% do país, conforme indica o mapa na Erro! Fonte de referência não encontrada.14.

Focando no objetivo em comparar resultados entre duas cidades com características distintas entre si e realizando um breve estudo sobre a disponibilidade de informações inerentes ao processo de simulação computacional, ficou definido que o estudo abordaria duas capitais entre as 16 pertencentes a ZB 8. Para definir quais seriam as capitais adotadas, foram realizadas algumas pesquisas a fim de avaliar a caracterização climática das mesmas, além de investigar a expressividade de implantação do projeto Tipo B do Proinfância dentro do estado de cada capital.

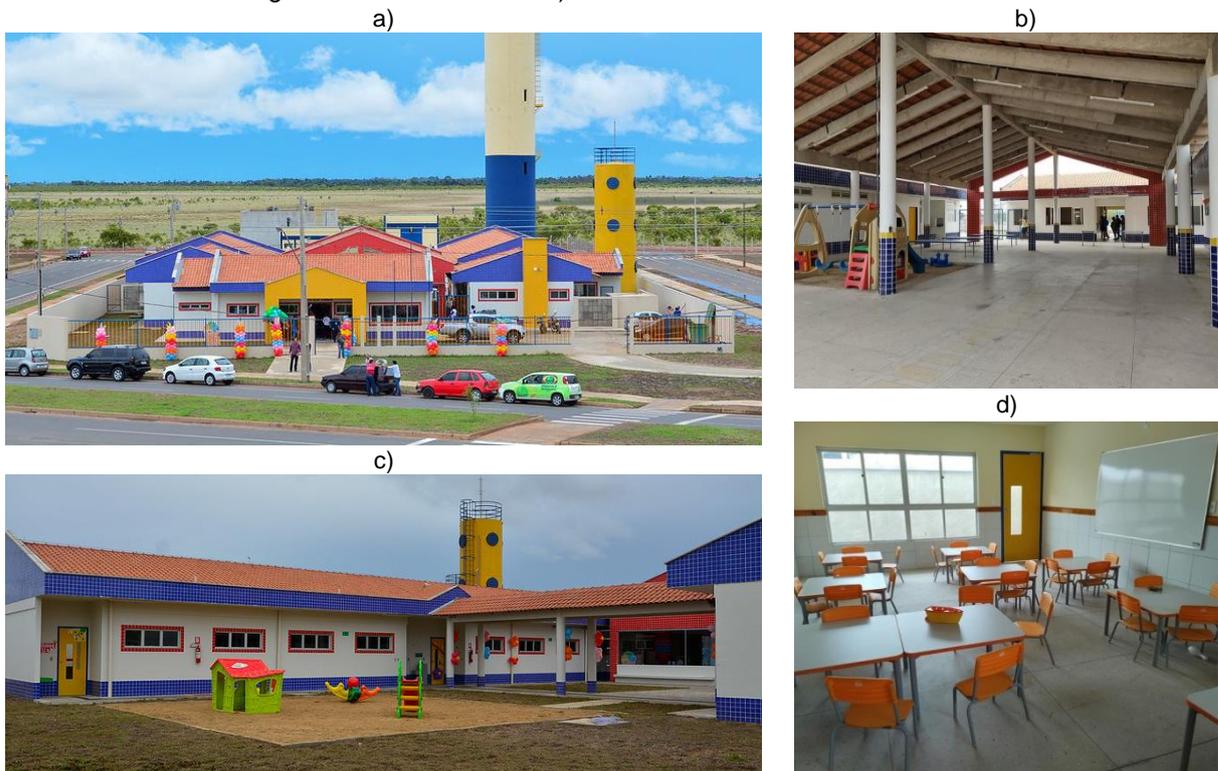
Observando os dados levantados, observou-se que entre os estados contidos na ZB 8 que possuíam a maior quantidade de escolas do Tipo B construídas estavam os estados do Espírito Santo e do Pará, os quais têm como capitais Vitória e Belém respectivamente, que também foram apontadas como cidades com características significativamente distintas, inclusive por pesquisas como a de Roriz (2012) que propõe uma revisão do Zoneamento Bioclimático brasileiro de forma que o território fosse dividido em 20 ZB, onde a cidade de Vitória pertenceria a ZB 10 e a cidade de Belém pertenceria a ZB 17. Com isto, as cidades de Vitória e Belém se tornaram parte componente deste estudo.

3.1.1 Caracterização do projeto padrão Tipo B do Programa Nacional Proinfância

O projeto adotado para esse estudo, o Tipo B, é composto por cinco blocos que agrupam as diversas funções necessárias para o funcionamento da escola. São eles o bloco administrativo, de serviços, multiuso e pedagógicos. Os espaços de maior permanência das crianças, que são os ambientes de maior interesse neste estudo, são o bloco pedagógico I, onde estão as creches I e II, que atendem crianças com idade entre 0 e 2 anos, e seus respectivos espaços complementares e o bloco pedagógico II, onde estão a Creche III e a pré-escola que atendem as crianças com idade entre 2 e 6 anos e seus respectivos espaços complementares. Todas as salas de aula possuem acesso por uma porta principal que fica em uma parede oposta a parede em que está situada a única janela da sala, garantindo a ventilação cruzada ao ambiente, assim como uma porta que permite acesso ao solarium de cada sala.

A seguir estão apresentadas a fachada frontal (Erro! Fonte de referência não encontrada.**a**), o pátio central (Erro! Fonte de referência não encontrada.**b**), um pátio descoberto com parquinho (Erro! Fonte de referência não encontrada.**c**) e a parte interior de uma das salas de aula (Erro! Fonte de referência não encontrada.**d**) de um prédio escolar do Proinfância Tipo B.

Figura 16 - Proinfância Tipo B: a) Fachada frontal, b) Pátio central, c) Parquinhos e vista externa de algumas salas de aula e d) Interior de uma das salas de aula.

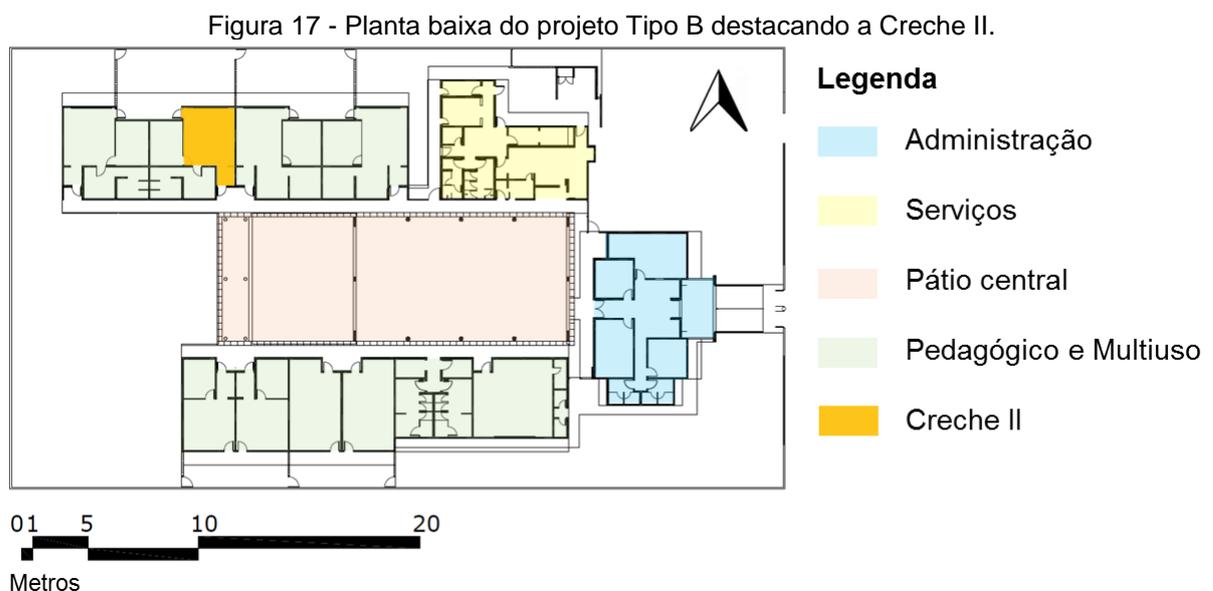


Fonte: BRASIL, 2021.

O projeto conta ainda com um pátio central coberto de uso misto, onde as crianças praticam atividades físicas e fazem suas refeições. Esse pátio e a torre que aloca o reservatório de água são elementos que promovem parte do sombreamento recebido pela edificação, além disso, a cobertura em telha cerâmica conta com beirais de no mínimo 1,20 metros que também contribuem com o sombreamento em torno do prédio.

Dentro do projeto Tipo B, devido às limitações de tempo e as exigências do processo metodológico adotado, foi selecionada uma sala de aula, a Creche II, a partir da qual todas as análises posteriores foram desenvolvidas.

A referida sala possui 27,29 m² de área, pode atender até 12 alunos com 02 professores em cada turno, matutino e vespertino e foi escolhida pela sua disposição no projeto arquitetônico, estando situada na parte central da fachada lateral direita, o que impede a incidência solar direta nas paredes externas, evitando resultados obtidos em situações extremas. A **Figura 17** apresenta a Creche II em destaque na planta baixa do projeto Tipo B.



Fonte: BRASIL 2021.

Com relação ao sistema construtivo e materiais utilizados, a edificação é executada de forma convencional contando com estrutura em concreto armado, alvenaria de tijolo

cerâmico vazado com 08 furos e dimensões nominais de 19 cm de largura, 19 cm de altura e 09 cm de profundidade, laje pré-moldada e telhas de barro (modelo colonial). A janela da sala de aula é feita de vidro simples e caixilharia de alumínio, com sistema de correr e partes baixas fixas para permitir às crianças ver o exterior e as portas são tradicionais de madeira, permitindo entrada de ar apenas pelas frestas, quando fechadas (FNDE,2019).

3.1.2 Apresentação das cidades escolhidas

As duas capitais abordadas por esta pesquisa pertencem a ZB 8, onde estudos científicos sugerem o uso da ventilação natural como principal estratégia passiva para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos bioclimáticos que ofereçam maiores índices de conforto aos usuários das edificações, além de outros benefícios. Segundo a NBR 15220 (2005), para atingir maior desempenho térmico, as edificações implantadas nestas cidades devem atender aos requisitos listados na **Tabela 4**.

Tabela 4 - Recomendações da NBR 15220 para a Zona Bioclimática 8.

Estratégias passivas	Verão		Ventilação cruzada
	Inverno		Ventilação cruzada
Diretrizes construtivas	% de área de abertura em função da área do piso		Grandes (> 40%)
	Sombreamento das aberturas		Sombrear aberturas
	Transmitância térmica – U (W/m ² .K)	≤ 3,6	Paredes leves e refletoras
		≤ 4,3	Coberturas leves e refletoras
	Atraso térmico – φ (h)	≤ 4,3	Paredes leves e refletoras
≤ 2,3 FT		Coberturas leves e refletoras	
Fator solar – FS _o (%)	≤ 4,0	Paredes leves e refletoras	
	≤ 6,5	Coberturas leves e refletoras	

Obs.: O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes.

Fonte: NBR 15220, 2005.

Além das recomendações listadas, inerentes a um projeto arquitetônico termicamente eficiente, serão apresentadas algumas das particularidades de cada cidade estudada (**Quadro 2**) a fim de conhecê-las e conseguir relacionar as mesmas com os resultados que serão apresentados.

Quadro 2 - Características de Vitória e Belém.

Vitória	Belém
	
<p>Região: Sudeste Latitude: 20° 19' 10" Sul Longitude: 40° 20' 17" Oeste Clima: Tropical Amplitude térmica: 22,4°C (jun.) e 27,4°C (fev.) Umidade relativa: 74,9% (ago.) e 79,2% (nov.)</p>	<p>Região: Norte Latitude: 1° 28' 21" Sul Longitude: 48° 30' 9" Oeste Clima: Equatorial Amplitude térmica: 25,8°C (fev.) e 27,1°C (nov.) Umidade relativa: 80,1% (out.) e 89,9% (fev./abr.)</p>

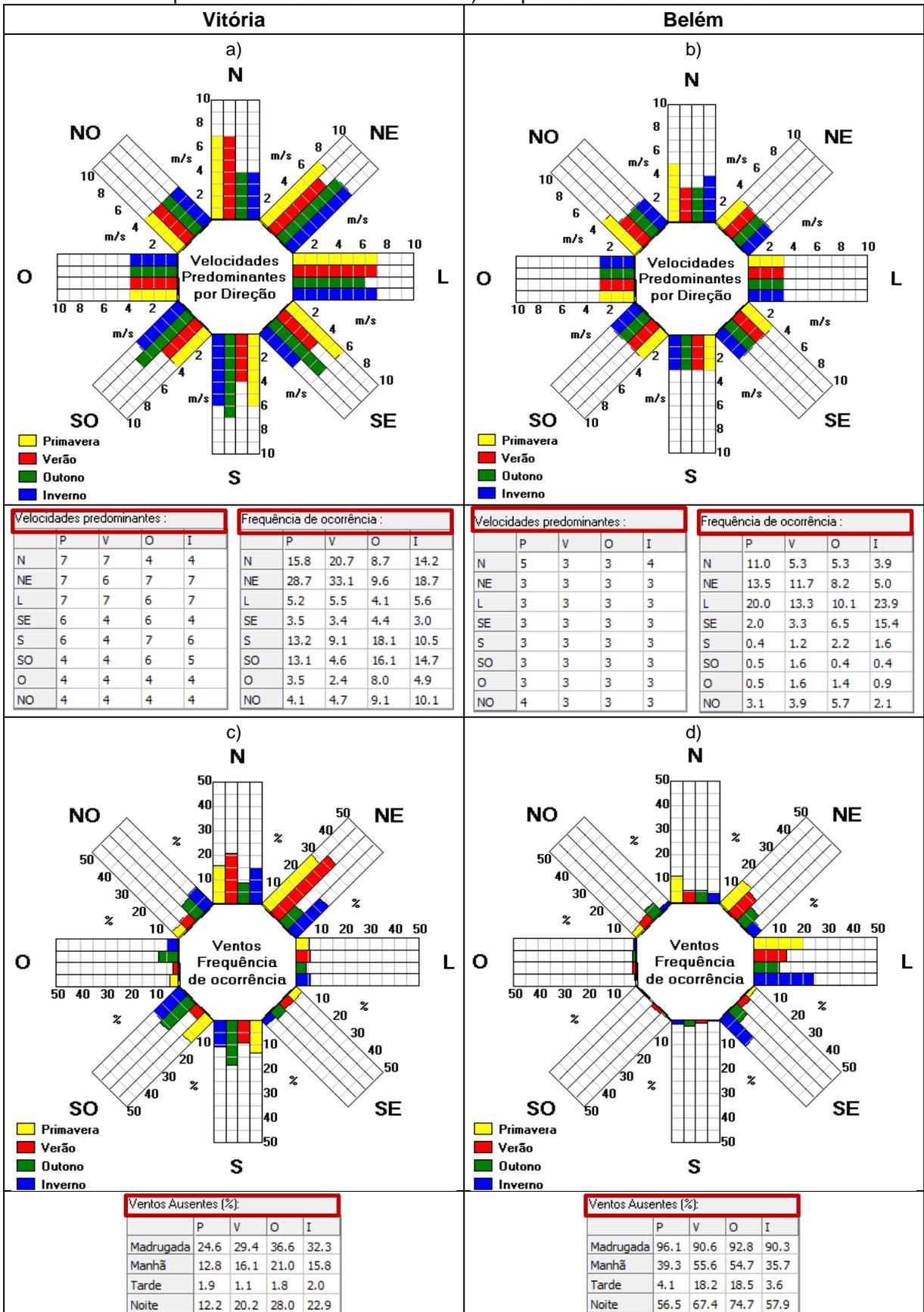
Obs.: As temperaturas e umidades relativas médias mensais são referentes a dados obtidos entre os anos de 1981 e 2010.

Fonte: INMET, 2021; NBR 15220, 2005.

Em relação à cidade de Vitória é possível inferir ainda que a ocorrência de chuvas se concentra, principalmente, entre os meses de outubro e janeiro, sendo que o município está entre as duas capitais brasileiras com menores índices de precipitação pluviométrica ao ano (1252 mm/ano), enquanto Belém é considerada a cidade mais chuvosa do Brasil (2889 mm/ano), sem período de seca. Ambas contam com um clima, considerado na maior parte do tempo, quente e úmido (Somar Meteorologia, 2015; IHGES, 2020). A diferença entre a amplitude térmica e a variação da umidade relativa de ambas, mostradas no **Quadro 2**, retrata a variabilidade das condições climáticas ao longo das estações em cada cidade, visto que Belém possui um clima homogêneo ao longo de todo o ano, de forma que a diferença entre as estações é muito sutil, entretanto, em Vitória, ocorrem maiores variações, fazendo com que o verão seja, claramente, a estação mais quente do ano, seguido do outono, da primavera e do inverno que é a estação mais fria do ano.

Para avaliar as condições dos ventos em cada cidade, a **Figura 18** apresenta a rosa dos ventos com a velocidade e frequência de ocorrência dos ventos predominantes por direção e estação do ano.

Figura 18 - a) Velocidades predominantes de Vitória, (b) Velocidades predominantes de Belém, c) Frequência dos ventos em Vitória e d) Frequência dos ventos em Belém.



Fonte: Software Analysis SOL-AR, versão 6.2, (LABEEE, 2021).

A rosa dos ventos mostra que tanto a frequência de ocorrência quanto a velocidade dos ventos é maior em Vitória comparado a Belém, sendo que em Belém essa velocidade além de baixa é, em geral, constante ao longo do ano com relação às direções e estações, apresentando basicamente três pontos a se destacar, são eles a estação da primavera, onde a velocidade do vento que vem da direção Norte chega a 5 m/s e da direção Noroeste que chega a 4 m/s e o inverno, onde a velocidade do vento chega a 4 m/s vindo da direção Norte.

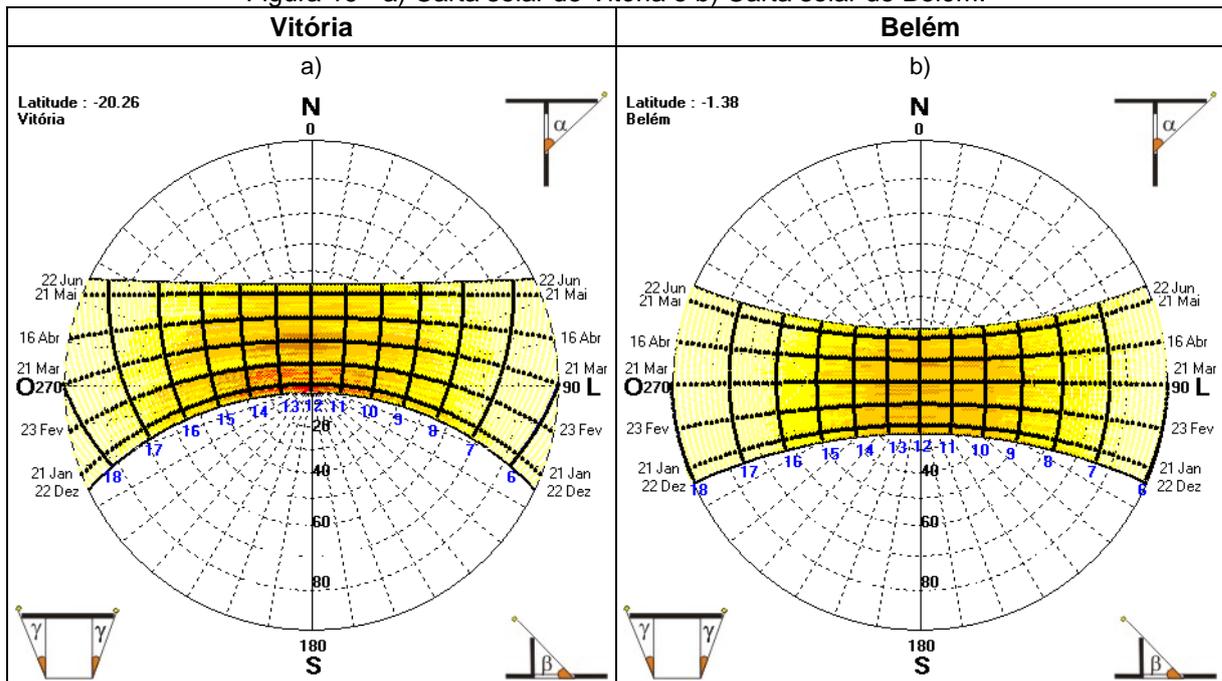
Nas demais direções e estações do ano, a velocidade do vento é praticamente uniforme, podendo alcançar aproximadamente apenas 3 m/s. Esse comportamento também contribui diretamente para a homogeneidade do clima ao longo do ano em Belém. A ocorrência dos ventos em Belém também é escassa, de forma geral, atuando de forma mais significativa nas direções Leste e Nordeste.

De forma geral, levando em consideração a ocorrência e a velocidade dos ventos, é possível inferir que as direções Norte, Nordeste e Sul são as mais beneficiadas pela ventilação natural, em Vitória, sendo possível que a velocidade do vento atinja aproximadamente 7 m/s em alguns casos.

Segundo o INMET (2021), Vitória conta com cerca de 2225 horas de sol por ano e Belém com aproximadamente 2230 horas. Assim para observar como estão distribuídas estas horas durante os dias ao longo do ano, é possível consultar a carta solar de cada cidade, mostrada na **Figura 19**.

Fazendo o uso da carta solar, identifica-se, por exemplo, qual horário do dia em que o sol irá adentrar por uma abertura, quando essa abertura contará com o sombreamento proveniente de uma edificação vizinha, se o uso de elementos sombreadores é viável, entre outras análises.

Figura 19 - a) Carta solar de Vitória e b) Carta solar de Belém.



Fonte: Software Analysis SOL-AR, versão 6.2, (LABEEE, 2021).

A carta solar de Vitória mostra que, durante todo o ano, as fachadas voltadas para a orientação Leste contam com a maior incidência solar durante o período matutino enquanto as fachadas voltadas a oeste sofrem maior incidência solar no período vespertino, sendo as duas orientações as maiores responsáveis pelos índices de desconforto térmico obtidos no município de Vitória. Para as fachadas voltadas às orientações Norte e Sul, a incidência solar é diferente na estação do verão com relação às demais estações do ano, isto se deve à inclinação solar. O estudo da incidência solar de Vitória mostra que as fachadas voltadas ao Norte recebem insolação ao longo de todo o dia por aproximadamente sete meses ao ano, entre os meses de março e setembro, enquanto a orientação Sul recebe insolação durante todo o dia por aproximadamente três meses ao ano, entre novembro e janeiro. Apesar da frequência da insolação ser menor para as fachadas voltadas ao Sul, trata-se de um período em que a intensidade da insolação é maior (LAMBERTS *et al.*, 2014).

A carta solar correspondente à latitude de Belém reflete a influência da proximidade à linha do Equador por meio da incidência dos raios solares. É possível observar que nos meses de março e setembro, os raios solares são refletidos em um ângulo quase perpendicular, coincidindo com os equinócios, já nos demais meses esses

ângulos sofrem maior oscilação, atingindo o valor mínimo de 70° na trajetória dos solstícios, em junho e dezembro (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Finalizando os dados referentes a cidade de Vitória e Belém, a **Tabela 5** aborda, em porcentagem, a quantidade de horas no ano em que ocorre conforto e desconforto térmico em Vitória e Belém, segundo o trabalho de Goulart (1998). Além disso, ele classifica quais estratégias podem ser adotadas para combater cada parcela do desconforto, mostrando que nos dois casos a ventilação é a estratégia mais eficiente, que combateria 61% das horas em desconforto na cidade de Vitória e 89% em Belém.

Tabela 5 - Diagnóstico do conforto anual em Vitória e Belém.

Cidade		Vitória	Belém
Conforto (%)		17,8	0,7
Desconforto (%)	Ventilação natural	61,0	89,0
	Resfriamento Evaporativo	3,8	2,6
	Massa térmica para Resfriamento	4,3	4,2
	Ar Condicionado	2,7	9,2
	Massa térmica para Aquecimento / Aquecimento Solar	17,8	0,0
	Aquecimento Solar	0,1	0,0
	Aquecimento Artificial	0,0	0,0

Fonte: Goulart, 1998.

A tabela foi construída partindo do pressuposto que o desconforto pode ser combatido em algumas situações por mais de uma estratégia, sendo assim, seria contabilizado mais vezes, por isto a soma entre o percentual de conforto e desconforto pode superar a 100%.

3.2 MODELOS DE ABERTURAS E ELEMENTO SOMBREADOR

Para avaliar o conforto térmico oferecido pelo projeto padrão Tipo B aos alunos, assim como, o consumo energético e os custos financeiros, as aberturas foram abordadas como foco principal para as análises, visto que elas impactam diretamente para o uso eficiente da ventilação natural, estratégia passiva que se destaca para o aumento dos índices de conforto em climas quente e úmido. O

estudo avaliou o impacto sob o desempenho da sala de aula ao modificar as configurações da janela e também ao associar os modelos propostos a diferentes padrões para a porta principal da sala e ao uso de um elemento sombreador. O modelo de janela padrão (M1), utilizada no projeto, é constituída por folhas de vidro simples e caixilharia de alumínio, com sistema de correr e partes baixas fixas de forma a permitir às crianças ver o exterior. É uma configuração de janela comumente adotada em escolas infantis. As portas padronizadas são de madeira e não possuem abertura para permitir a ventilação natural quando fechada.

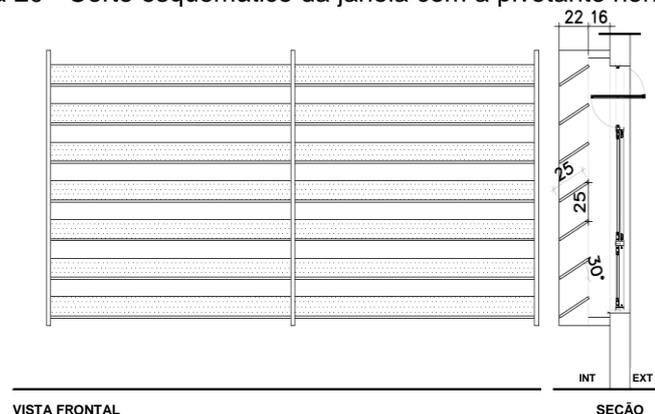
Mantendo o aspecto geral, o material construtivo e a disposição da janela padrão (M1) dentro do projeto, foram propostos três novos modelos visando aumentar a área para entrada/saída de ar e proporcionar ventilação contínua ao ambiente, mostrando assim que pequenas intervenções no âmbito do projeto arquitetônico poderiam promover grandes melhorias nos índices de conforto térmico. As janelas propostas são compostas pelo redimensionamento de alguns dos sistemas de aberturas já utilizados e por arranjos entre elementos simples, como janelas com sistema de abertura pivotante horizontal e peitoril ventilado, capazes de contribuir para a ventilação natural com 100% da sua área de abertura, além do resfriamento convectivo noturno da edificação. Dessa forma, os três modelos de janelas mantêm o sistema de abertura de correr, com três folhas em vidro fixas e três móveis, havendo a adição do sistema pivotante horizontal no caso do modelo (M2), do peitoril ventilado para o modelo (M3) e de ambos os elementos para o modelo (M4). O modelo do peitoril ventilado adotado foi ortogonal e curto visto que esse seria o modelo mais seguro e eficiente a ser adotado dada a dinâmica de uso interno e externo da sala e as dimensões disponíveis para execução. A escolha desse elemento, executado em concreto, deu-se por ser um dispositivo que proporciona ventilação permanente ao ambiente, sem comprometer a segurança do imóvel, além de mostrar bons resultados quando utilizados em regiões de clima quente e úmido, contribuindo com um aumento de até 60% na velocidade do vento, conforme observou Bittencourt *et al.* (2007) nas escolas da cidade de Maceió - Al).

Com relação aos padrões estabelecidos para a porta principal da sala de aula, foram investigados quatro cenários, onde a porta padrão foi mantida fechada (PF), aberta (PA), substituída por uma porta de madeira do tipo baia (PB) e substituída por uma

porta, em alumínio, com veneziana na parte inferior (PV). A porta com veneziana (PV) foi adotada visando ampliar a ventilação cruzada no ambiente, visto que manter a porta aberta com alunos nesta faixa etária pode ser um problema e também para promover a ventilação cruzada noturna quando associada aos modelos de janelas munidos da pivotante horizontal e do peitoril ventilado. Já a porta baia, além de elevar a ventilação cruzada no ambiente é um modelo muito usado na arquitetura escolar, pois permite que a parte inferior da porta fique fechada mantendo a segurança e controle das crianças, enquanto a metade superior da porta contribui para a ventilação do ambiente.

O elemento sombreador adotado combina brises horizontais e verticais compostos por planos de sombreamento móveis, tal dispositivo foi testado no trabalho de Spagnuolo (2019) associado ao modelo de janela padrão do Proinfância e apresentou melhoria significativa dos índices de conforto térmico para a edificação em todas as orientações de implantação de fachada avaliadas (Norte, Sul, Leste e Oeste) na ZB 8. Devido a esse resultado, surgiu o questionamento sobre qual seria o impacto do uso do referido sombreador associado às configurações de aberturas propostas. O dispositivo conta com hastes móveis que podem ser facilmente manipuladas pelos usuários contribuindo para o conforto adaptativo, além de proporcionar entrada de luz natural e acesso visual externo à sala quando desejado. É importante ressaltar que o sombreador proposto foi planejado para manter um distanciamento das janelas suficiente para permitir a livre abertura do sistema pivotante horizontal instalado na parte superior dos modelos de janelas M3 e M4, conforme é possível conferir no corte esquemático (**Figura 20**).

Figura 20 - Corte esquemático da janela com a pivotante horizontal.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao pensar nos elementos que comporiam as novas aberturas e no arranjo entre os mesmos, foi priorizado, entre outros fatores, que houvesse algum percentual de circulação do ar permanente (24 horas por dia) dentro da sala de aula em todos os cenários, valorizando assim a ventilação durante a noite que é responsável pelo resfriamento convectivo noturno do edifício, tal estratégia se torna um elemento chave em projetos como este, pois o material construtivo empregado na alvenaria possui elevada inércia térmica, ou seja, as paredes retém muito calor durante os períodos mais quentes do dia, então é interessante que sejam submetidas ao ar mais frio da noite para que possam eliminar o calor armazenado e armazenar ar frio para auxiliar na manutenção das temperaturas mais baixas durante o dia (GIVONI, 1994).

A ampliação da área para ventilação natural em todos os casos avaliados foi motivada também pela atual circunstância em que o mundo se encontra, a pandemia causada pelo COVID-19. É fundamental destacar que além de todos os outros fatores já discutidos, o adequado dimensionamento das aberturas e conseqüentemente melhor uso da ventilação natural está também ligado a esta questão de saúde pública, visto que estudos como de Oliveira *et al.* (2021) vem mostrando que a ventilação natural tem grande potencial na redução da propagação do vírus, de forma que a utilização dessa estratégia passiva tem se tornando uma exigência para que escolas e outros estabelecimentos possam exercer suas atividades durante esse período.

O **Quadro 3** Quadro 3 - Modelos das aberturas e elemento sombreador. modelos de aberturas (janelas e portas) e o elemento sombreador adotados nesta pesquisa, assim como seus dados técnicos.

Quadro 3 - Modelos das aberturas e elemento sombreador.

Casos	Janela padrão (M1)	Janela com pivotante (M2)	Janela com peitoril ventilado (M3)
Imagens			
Dados técnicos	Largura da janela = 3,60 m Altura da janela = 1,60 m (0,40 m sistema fixo + 1,20 m sistema de correr) Peitoril da janela = 0,50 m Área da janela = 5,76 m ² Área de ventilação natural = 1,98 m ² Pé direito = 3,00 m Percentual da área de abertura em função da área de piso = 19,57 %	Largura da janela = 3,60 m Altura da janela = 1,60 m (0,40 m sistema fixo + 0,80 m sistema de correr + 0,40 m sistema pivotante) Peitoril da janela = 0,50 m Área da janela = 5,76 m ² Área de ventilação natural = 2,48 m ² Pé direito = 3,00 m Percentual da área de abertura em função da área de piso = 21,40 %	Largura da janela = 3,60 m Altura da janela = 1,20 m (1,20 m sistema de correr) Peitoril da janela = 0,50 m + 0,20 m peitoril ventilado Área da janela = 4,32 m ² Área de ventilação natural = 2,70 m ² Pé direito = 3,00 m Percentual da área de abertura em função da área de piso = 22,21 %
Casos	Janela com pivotante e peitoril ventilado (M4)	Elemento sombreador	Porta padrão fechada (PF)
Imagens			
Dados técnicos	Largura da janela = 3,60 m Altura da janela = 1,20 m (0,80 m sistema de correr + 0,40 m sistema pivotante) Peitoril da janela = 0,50 m + 0,20 m peitoril ventilado Área da janela = 4,32 m ² Área de ventilação natural = 3,20 m ² Pé direito = 3,00 m Percentual da área de abertura em função da área de piso = 24,04 %	Largura da janela = 3,60 m Altura do sombreador = Altura da janela Largura do sombreador = 0,25 m Ângulo = 30° Distância entre os planos = 0,25 m Distância da parede = 0,16 m	Largura da porta = 0,80 m Altura da porta = 2,10 m Área da porta = 1,68 m ² Área de ventilação natural = 0% Pé direito = 3,00 m Percentual da área de abertura em função da área de piso = 0%
Casos	Porta padrão aberta (PA)	Porta tipo baía (PB)	Porta com veneziana (PV)
Imagens			
Dados técnicos	Largura da porta = 0,80 m Altura da porta = 2,10 m Área da porta = 1,68 m ² Área de ventilação natural = 1,68 m ² Pé direito = 3,00 m Percentual da área de abertura em função da área de piso = 6,15 %	Largura da porta = 0,80 m Altura da porta = 2,10 m (0,95 m veneziana + 1,15 m porta padrão) Área da porta = 1,68 m ² Área de ventilação natural = 0,76 m ² Pé direito = 3,00 m Percentual da área de abertura em função da área de piso = 2,78%	Largura da porta = 0,80 m Altura da porta = 2,10 m (1,05 m baía + 1,05 m porta padrão) Área da porta = 1,68 m ² Área de ventilação natural = 0,84 m ² Pé direito = 3,00 m Percentual da área de abertura em função da área de piso = 3,07%

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2021.

3.3 SIMULAÇÃO TÉRMICA COMPUTACIONAL

A simulação computacional, adotada na metodologia, foi priorizada devido a possibilidade de estudar quantos cenários sejam necessários para se chegar à solução ótima, além de ser uma ferramenta em crescente uso no estudo de estratégias para a melhoria dos índices de conforto térmico, promovendo a chance de interferências desde a fase de projeto da edificação (SILVA, 2001).

Os casos avaliados neste estudo tiveram como elemento principal os quatro modelos de janelas (M1, M2, M3 e M4) (

Figura 21a).

Em seguida, partindo de cada um dos modelos, as simulações foram executadas alternando as condições para as portas (PA, PF, PB e PV) (16 simulações), sendo que cada associação entre modelo de janela e condição de porta foi simulada considerando quatro orientações de implantação para a fachada principal da Creche II (Norte, Sul, Leste e Oeste) (64 simulações) e por fim, cada caso foi analisado sombreando ou não a janela (128 simulações).

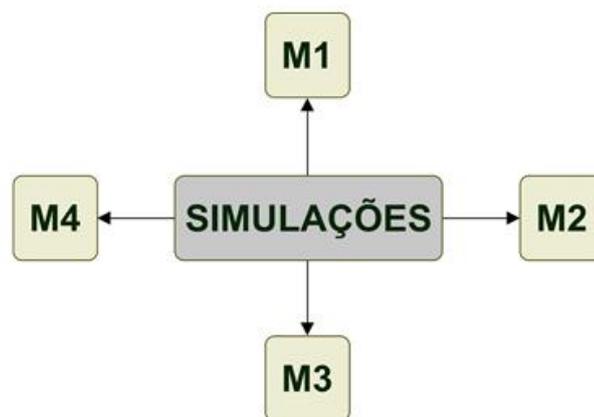
Lembrado que as análises foram feitas para Vitória e Belém, obtém-se o quantitativo de 256 simulações térmicas executadas, sendo obtidos dados médios horários e diários em todos os casos estudados, referentes ao período de um ano.

O fluxograma mostrado na

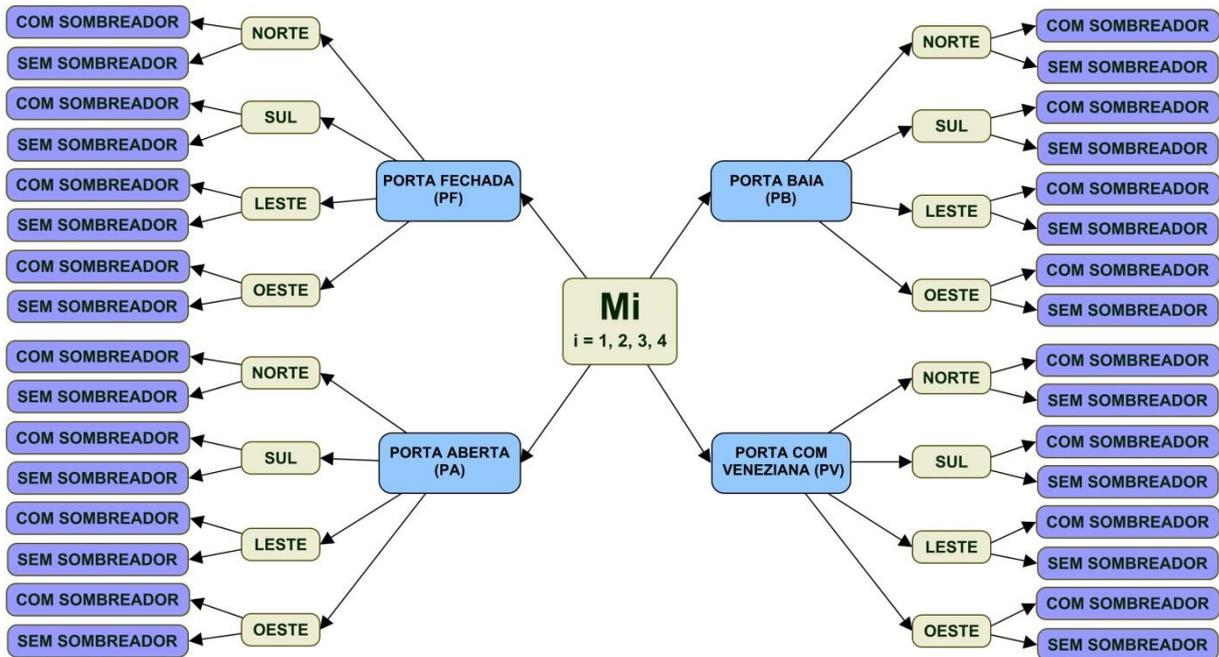
Figura 21**b** ilustra todas as simulações ligadas a cada um dos modelos de janelas.

Figura 21 - a) Fluxograma representando os quatro modelos de janela estudados e b) Fluxograma representando todas as associações a partir dos modelos de janelas.

a)



b)



Fonte: Elaborado pela autora.

Para explicar a metodologia seguida durante as etapas da simulação, este tópico foi dividido em 4 subtópicos que serão abordados a seguir.

Para a definição do *software* utilizado nesta pesquisa, foram levantadas algumas questões que deveriam ser atendidas pelo mesmo, tais como ser capaz de fornecer resultados considerando um período de um ano (8760 horas); considerar efeitos de multizonas; variações de ocupação, de potência de iluminação e equipamentos; gerar relatórios com dados médios horários, diários e mensais; executar simulações utilizando a ventilação natural, entre outros.

A partir disto, algumas pesquisas foram realizadas, onde foi constatado que entre os *softwares* mais utilizados em pesquisas científicas abordando eficiência termo energética, estão o *DOE-2*, *EnergyPlus*, *TRNSYS*, *ECOTEC*, e o *DesignBuilder*, sendo que há uma quantidade expressiva de trabalhos que utilizam o *software EnergyPlus* devido a sua abrangência de parâmetros analisados e eficiência nos resultados obtidos (MENDES *et al.*, 2005; BERNABÉ, 2012).

No entanto o *software DesignBuilder*, que utiliza algoritmos de cálculos do *EnergyPlus* corrigindo suas limitações gráficas, oferece uma interface gráfica que facilita o seu entendimento e vem sendo muito utilizado em pesquisas relacionadas a temática. Além disso, o *DesignBuilder*, assim como o *EnergyPlus* foi validado pelo

método de avaliação para programas de simulação térmica *BESTEST/ASHARESTD* 140 - 2004 (IBARRA; REINHART, 2009 e LIMA, 2009).

3.3.1 Configurações no nível do sítio

Para as configurações iniciais, foi determinado que os arquivos climáticos utilizados seria o arquivo climático validado do Ano Meteorológico Típico (TMY) com extensão *Energy Plus Weather (EPW)* (LBEEE, 2019), que é construído a partir das médias mensais das condições meteorológicas de cada região referentes aos anos de 2004 a 2018.

A orientação de implantação da fachada principal da sala de aula em cada um dos casos avaliados foi determinada no nível do sítio, onde são informadas também as latitudes, longitudes e altitudes das duas cidades estudadas.

As temperaturas médias do solo, extraídas dos respectivos arquivos climáticos estão descritas na

Tabela 6.

Tabela 6 - Temperatura média mensal do solo para Vitória e Belém.

Mês	Vitória	Belém
Janeiro	26,35	25,6
Fevereiro	25,76	25,3
Março	26,65	25,5
Abril	25,34	25,6
Maiο	22,84	25,8
Junho	21,98	26,3
Julho	22,38	26,7
Agosto	21,69	26,7
Setembro	22,07	26
Outubro	24,41	26,2

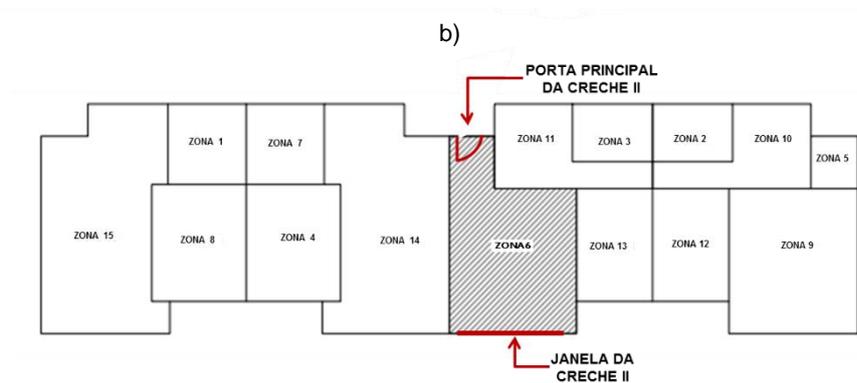
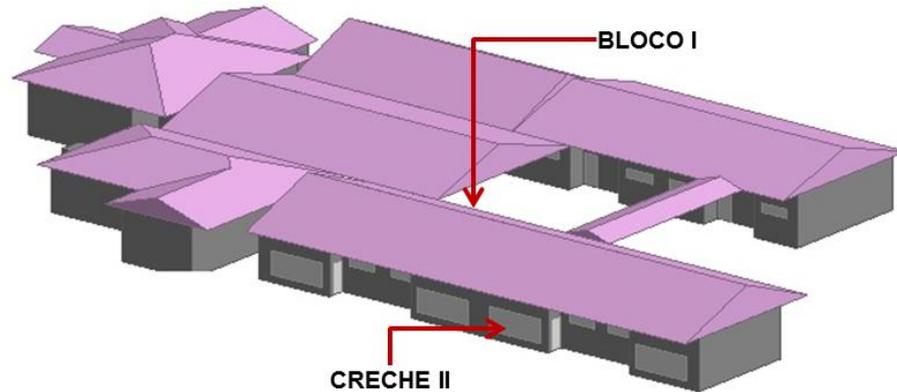
Novembro	26,5	26,5
Dezembro	26,86	26,3

Fonte: LBEEE, 2019.

3.3.2 Modelagem da geometria

A modelagem tridimensional do objeto de estudo foi desenvolvida em etapas, em que o piso, as paredes internas, externas, divisórias, a laje, a cobertura etc., foram construídos com o uso das ferramentas disponibilizadas pelo próprio *software*. As características necessárias para a construção do modelo, tais como geometria da edificação, disposição e material das divisórias internas e elementos sombreadores, levantadas durante o processo da modelagem do edifício foram extraídas dos projetos arquitetônico e complementares, do memorial descritivo da obra e de informações disponibilizadas no portal do FNDE. Tais informações foram suficientes para a construção do modelo de forma a satisfazer o estudo. A **Figura 22a** mostra a representação gráfica do modelo tridimensional do Proinfância Tipo B obtido por meio do *software DesignBuilder* e **Figura 22b** apresenta o bloco 1 que contém a sala envolvida no estudo e com destaque para a Creche II, classificada pelo *software* como zona 6.

Figura 22 - a) Representação gráfica do modelo e b) Divisão das zonas térmicas.
a)



Fonte: Elaborado pela autora.

As aberturas, o peitoril ventilado e o elemento sombreador que compõem a modelagem foram desenhados individualmente no nível da superfície das paredes.

3.3.3 Configurações no nível do edifício

Os dados gerais referentes a configuração dos materiais construtivos e a caracterização do ambiente simulado foram reunidos na **Tabela 7**. Tais dados foram determinados com base nas informações disponíveis no projeto arquitetônico e complementares, no memorial descritivo da edificação e na NBR 15220, sendo que os valores de cada parâmetro estão disponíveis na biblioteca de materiais construtivos do próprio *software*. Embora a biblioteca seja bastante ampla, é possível inserir novos dados, que representem melhor situações muito específicas.

O padrão de ocupação da sala de aula foi configurado a partir dos horários das aulas dos turnos matutino e vespertino, assim como dos dados fornecidos pelo

calendário escolar anual da cidade de Vitória, excluindo fins de semana, feriados e férias escolares.

A resistência térmica imposta pela vestimenta foi configurada supondo o uso de um agasalho leve no inverno e de uma roupa comumente utilizada no verão (short e blusa), nas duas condições considerando uniformes usuais em escolas, além das peças íntimas e sapato fechado que também influenciam na resistência térmica (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Com relação à taxa metabólica referente às crianças, a ISO 8996: Ergonomia do ambiente térmico - Determinação da taxa metabólica, revisada em 2014, orienta que os valores indicados para esta variável foram obtidos a partir de dados relativos a adultos (homens/mulheres), sendo assim, para outros grupos de pessoas, como crianças, idosos, pessoas com deficiência física entre outros, devem ser feitas as devidas correções. Dessa forma a taxa metabólica das crianças, foi calculada utilizando a ISO 8996 (2004) com a adequação da área da superfície corporal de uma criança com idade média de 1,5 anos.

A equação usada para o cálculo baseada nos estudos de Du Bois; Du Bois (1989) (**Equação 1**) e os dados médios de altura e peso referentes às crianças foram consultados por meio da Organização Mundial de Saúde (OMS) (SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA, 2009).

$$A = 0,007184 \times a^{0,725} \times p^{0,425} \quad (1)$$

Onde:

A: corresponde a área da superfície corporal de uma criança com idade de 1,5 anos (m²);

a: corresponde a altura média de uma criança com idade de 1,5 anos (cm);

p: corresponde ao peso médio de uma criança com idade de 1,5 anos (Kg).

Segundo a ISO 7730 (2005) a taxa metabólica por área da superfície corporal de uma pessoa depende do tipo de atividade que ela está exercendo. Nesse caso a atividade exercida pelos alunos é classificada como sedentária, ou seja, sem grande esforço físico, onde a pessoa encontra-se sentada e correspondendo a 70

(w/m²)/pessoa. De posse das informações necessárias, foi calculada a taxa metabólica por criança (50 W/pessoa), conforme foi apresentado na **Tabela 7**.

Tabela 7 - Dados gerais de entrada para a configuração das simulações.

ENVOLTÓRIA	
Paredes (0,14 m de espessura): tijolos com 08 furos quadrados (9 x 19 x 19) cm, emboço de 0,025 m	
Densidade de massa aparente do bloco cerâmico	1600 kg/m ³
Condutividade térmica do bloco cerâmico	0,90 W/(m.K)
Calor específico do bloco cerâmico	0,92 kJ/(kg.K)
Densidade de massa aparente da argamassa comum do emboço	2000 kg/m ³
Condutividade térmica da argamassa comum do emboço	1,15 W/(m.K)
Calor específico da argamassa comum do emboço	1,00 kJ/(kg.K)
Emissividade das paredes e piso (ϵ)	0,90
Absortância (α) das paredes e piso (α)	0,30
Cobertura (laje pré-moldada maciça de 0,1 m de espessura + telha de barro)	
Densidade de massa aparente do concreto	2200 kg/m ³
Condutividade térmica do concreto	1,75 W/(m.K)
Calor específico do concreto	1,00 kJ/(kg.K)
Densidade de massa aparente da telha de barro	2000 kg/m ³
Condutividade térmica da telha de barro	1,05 W/(m.K)
Calor específico 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/(m ² .K)
Elemento sombreador e moldura das janelas em alumínio	
Transmitância térmica do alumínio	5,88 W/(m ² .K)
AMBIENTE E USUÁRIOS	
Área da sala de aula (Creche II)	27,29 m ²
Total de ocupantes	12 alunos e 02 professores
Densidade de ocupação	0,51 pessoa/m ²
Padrão de ocupação das 7:00 h às 11:00 h e das 13:00 h às 17:00 h	100%
Padrão de ocupação das 11:00 h às 13:00 h e das 17:00 h às 07:00 h	0%
Vestimenta	Inverno: 1,00 clo; verão: 0,50 clo
Taxa metabólica por área de superfície corporal - atividade sedentária	(70 W/m ²)/pessoa ou (1,2 met)
Área da superfície corporal (criança de 1,5 anos)	0,72 m ²
Taxa metabólica referente aos alunos (1,5 anos) - atividade sedentária	50,00 W/pessoa
Carga gerada pela Iluminação artificial	10,26 W/m ²
Carga gerada por ar-condicionado ou outros equipamentos	0

Fonte: ISO 7730 (2005); ISO 8996 (2004); FNDE (2019); NBR 15220 (2005) e LAMBERTS *et al.* (2014).

A configuração para o controle de operação das aberturas foi pautada na utilização da sala de aula, variando de acordo com as limitações de cada modelo, sendo apresentadas em detalhes na **Tabela 8**.

Tabela 8 - Controle das aberturas para as simulações.

Abertura	Período	Controle das aberturas
Janela padrão (M1)	7:00 h - 17:00 h 17:00 h - 7:00 h	Aberta Fechada
Janela com pivotante (M2)	7:00 h - 17:00 h 17:00 h - 7:00 h	Aberta Sistema pivotante aberto e de correr fechado
Janela com peitoril ventilado (M3)	7:00 h - 17:00 h 17:00 h - 7:00 h	Aberta Sistema de correr fechado
Janela com pivotante e peitoril ventilado (M4)	7:00 h - 17:00 h 17:00 h - 7:00 h	Aberta Sistema pivotante aberto e de correr fechado
Porta padrão fechada (PF)	7:00 h - 7:00 h	Fechada
Porta padrão aberta (PA)	7:00 h - 17:00 h 17:00 h - 7:00 h	Aberta Fechada
Porta tipo baia (PB)	7:00 h - 17:00 h 17:00 h - 7:00 h	Aberta (50 % da área de ventilação) Fechada
Porta tipo veneziana (PV)	7:00 h - 17:00 h 17:00 h - 7:00 h	Fechada (45 % da área de ventilação) Fechada (45 % da área de ventilação)

Obs.: ao adotar a porta padrão fechada, é considerado um percentual de 5% da área para a entrada de ar, referente aos eventuais instantes em que a porta é aberta.

Fonte: Elaborado pela autora.

Para o computo da área disponível para ventilação através das aberturas, foi adotada a seguinte metodologia: sempre que a abertura estiver ativa, ela será configurada com seu potencial máximo de ventilação, por exemplo, para os sistemas de correr foi considerado que 50% da área envidraçada está disponível para ventilação; no sistema pivotante, 100% da área envidraçada está disponível para ventilação; no peitoril ventilado, 100% da área do vão está disponível para ventilação e na parte envidraçada fixa, 0% da área está disponível para ventilação.

Os valores das áreas (m²) disponíveis para a ventilação em cada modelo de abertura estão descritas no **Quadro 3**, que apresenta e caracteriza os modelos estudados. Além da contribuição da ventilação através das aberturas, foram consideradas também as infiltrações de ar pelas frestas da sala de aula, sendo configuradas segundo parâmetros médios fornecidos pelo próprio DesignBuilder em cada situação simulada.

Nos casos em que o elemento sombreador foi utilizado associado ao modelo de janela, o mesmo foi configurado como ativo ao longo de todo o ano, visto que a NBR 15220 recomenda que as aberturas de edificações na ZB 8 devem ser sombreadas permanentemente.

A carga gerada pela iluminação artificial decorre da utilização de quatro luminárias com modelo de sobrepor que são constituídas por duas lâmpadas tubulares fluorescentes e pelo sistema de modulação que aciona as lâmpadas, demandando 280 W de potência. Não há contribuição de calor gerado por outros equipamentos. A resistência térmica referente à vestimenta e a iluminação foi considerada máxima durante todo o tempo de ocupação da edificação e considerada nula nos demais períodos.

3.4 PROCEDIMENTOS ENVOLVIDOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

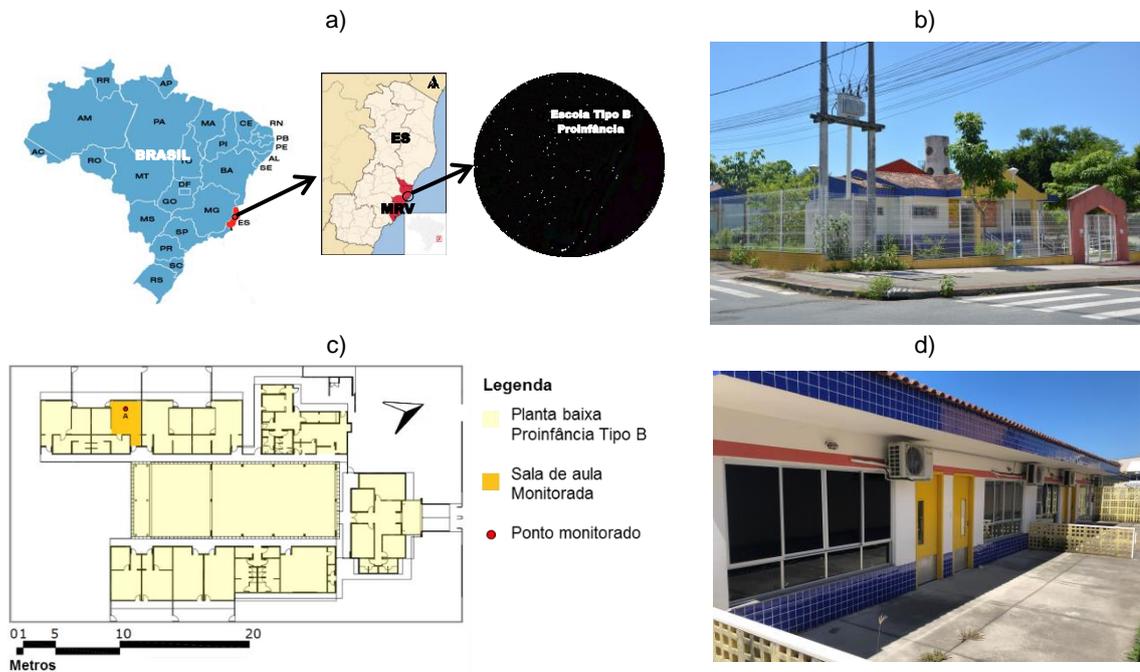
Embora o uso da simulação térmica computacional esteja bastante difundido no meio acadêmico e os softwares venham passando por melhorias contínuas, ainda assim, existem lacunas que podem promover índices de incerteza consideráveis entre dados simulados e dados reais (RAFTERY *et al.* 2011). Além disso, os Westphal e Lamberts (2005) alertam para o aumento da confiabilidade dos resultados, quando o programa computacional está bem ajustado, dessa forma, com a intenção de diminuir os erros acumulados e obter um modelo computacional mais próximo da sala de aula real, foi realizada uma calibração do modelo, que consiste em comparar dados registrados experimentalmente em uma sala de aula real, aos simulados com uso do modelo proposto, de forma a obter índices de incerteza entre os resultados dentro de um limite aceitável. Assim, somente após a aprovação do modelo por meio do processo de calibração, ou seja, depois dos ajustes necessários para que o modelo de fato correspondesse ao caso real, foi iniciada a execução das simulações descritas no tópico anterior.

O estudo de campo foi realizado em uma sala de aula da Escola Proinfância Tipo B localizada no município de Serra, Região Metropolitana de Vitória – MRV (**Figura 23**). Serra (20° 07 '43 "S e 40° 18' 28" W) é o município mais populoso do Espírito Santo - ES, com 409.324 habitantes (IBGE, 2021) e está localizado ao norte da capital Vitória. A região é caracterizada por clima tropical quente e úmido (ZB 8),

com temperatura média mensal entre 18 ° C e 26 ° C, maior no período de verão, e umidade relativa média mensal acima de 50%.

Os ventos predominantes no município são de NE, com velocidades entre 2,1 e 3,6m/s, sendo os ventos de S-SE e S-SW atribuídos às frentes frias (INMET, 2021). O prédio foi inaugurado em 2016 e atende 321 crianças entre 2 e 5 anos. O projeto conta com uma área coberta de 1323,53 m². A área da sala selecionada é de 27,29 m² e seu volume é de 81,87 m³. Tem a capacidade de ocupação de 12 alunos e dois professores. A sala de aula é orientada a SE (110 °) e foi selecionada para as análises de conforto térmico neste trabalho devido ao fato dos sistemas de ventilação nesse espaço interior serem apenas ventilação natural e sistemas mecânicos por ventiladores. O projeto padrão da escola não prevê o uso de ar condicionado. No entanto, para evitar o desconforto térmico, em 2019 a escola instalou aparelhos de ar condicionado em salas de aula localizadas na orientação Noroeste.

Figura 23 - a) Localização, b) Visão do acesso, c) Planta baixa e d) Vista das salas de aula Noroeste com ar-condicionado instalado na Escola Proinfância Tipo B, Região Metropolitana de Vitória, Serra, Espírito Santo, Brasil.



Fonte: BRASIL, 2021.

3.4.1.1 Procedimentos de medição

As variáveis monitoradas durante o experimento de campo foram a temperatura e umidade relativa do ar no interior da sala de aula, sendo o equipamento adotado para os registros um data logger HOB0, modelo U12-013, devidamente abrigado seguindo as recomendações da ISO 7726: 1998. A capacidade e o nível de precisão do aparelho para cada variável, de acordo com o manual técnico do fabricante, correspondem a:

- Temperatura do ar (°C): intervalo de (- 20 a 70) °C e precisão de $\pm 0,35^\circ\text{C}$ (SIGMA SENSORES, 2019);
- Umidade relativa (%): intervalo de (10 a 90) % e precisão de $\pm 2,5\%$ (SIGMA SENSORES, 2019).

O abrigo utilizado durante o experimento tem a finalidade de proteger o *Hobo* da incidência solar direta que poderia influenciar nos valores medidos. Para posicionar e ajustar a altura do conjunto (*Hobo* + abrigo) equipamentos foram utilizados com o auxílio de um tripé com altura ajustável. A **Figura 24** mostra o conjunto montado e o *Hobo* utilizados nesse experimento

Figura 24 - a) Conjunto (Hobo + abrigo) e b) Data logger HOB0, modelo U12-013.



b)



Fonte: Elaborado pela autora.

O procedimento adotado para realização do experimento seguiu as orientações da ISO 7726 (1998), iniciando com o posicionamento do tripé que abriga o *Hobo*,

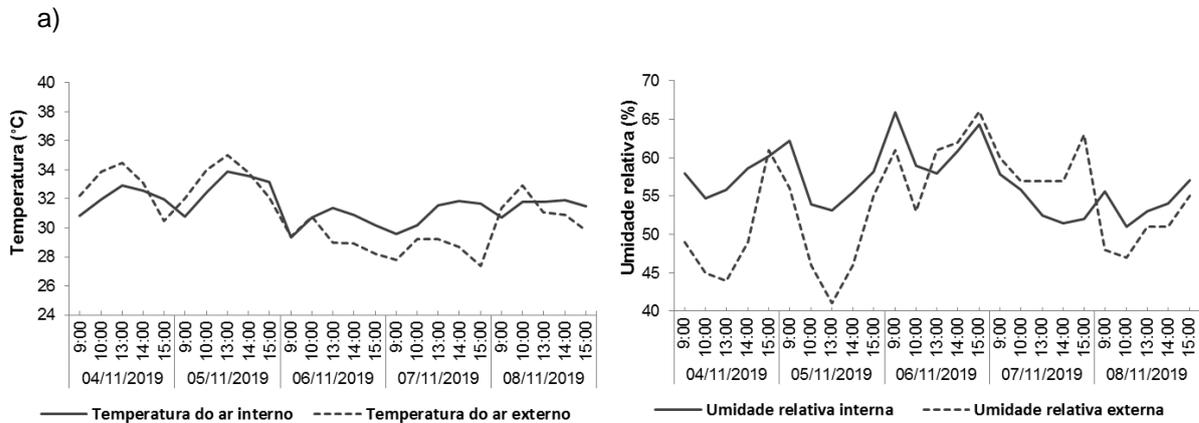
sendo ajustado a uma altura de 60 cm do piso, como é recomendado para ambientes onde as pessoas estão sentadas. Os valores referentes a temperatura e umidade relativa do ar interno são armazenados no próprio *Data Logger* e posteriormente extraídos em forma de planilhas eletrônicas com o auxílio de um software próprio, o programa *HOBOWare (Software for HOBOW U-Series Data Loggers & Devices)*, versão 2.7, para *Windows*, desenvolvido e fornecido pelo fabricante do equipamento.

Além da altura, o posicionamento dos equipamentos foi determinado de forma a manter um raio de 1 m de distância das superfícies vizinhas, conforme recomenda a norma técnica. O intervalo determinado para que os dados fossem medidos pelo *Data Logger* foi de 1 em 1 minuto. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram medidos, simultaneamente, com intervalo de 1 em 1 minuto por um período diário de 5 horas de duração, iniciando às 09:00 h da manhã, com pausa entre 11:00 h e 13:00 h (período em que a escola faz intervalo para almoço) e retomando até as 16:00 h. As variáveis foram medidas entre os dias 04 e 08 de novembro de 2019. É importante destacar que os usuários tiveram a liberdade de abrir ou fechar as portas e janelas ao longo do período de realização do experimento a fim de buscar a adaptação térmica necessária, sendo que foram registrados os momentos em que a janela e a porta principal eram abertas ou fechadas e quando os ventiladores eram ligados ou desligados.

A temperatura e a umidade relativa do ar externo foram coletadas por meio da Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada na Universidade Federal do Espírito Santo, a aproximadamente 11,8 km da escola.

O valor médio correspondente a temperatura do ar interno era 31,6 ° C e a umidade relativa interna era 56,7%. Em geral, os valores de registro interno tendem a um comportamento semelhante aos valores de registro externo (**Figura 25**). O valor médio máximo interno encontrado foi nos dias 5 e 4 de novembro com 33,9 e 32,9 ° C, respectivamente. Na verdade, esse foi o registro do dia mais quente em 2019 (A Gazeta, 2019) com valor médio máximo externo de 35 e 34,5 ° C, respectivamente. As medições mostram que embora a sala de aula tenha uma orientação favorável à ventilação predominante do vento, são registrados altos valores de temperatura interna que provavelmente causam desconforto térmico.

Figura 25 - Registro interno e externo: a) Temperatura média horária do ar e b) Umidade relativa média horária.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021

3.4.2 Metodologia da calibração

A calibração visa a obtenção de um modelo que seja capaz de reproduzir o objeto de estudo da forma mais fidedigna a realidade possível, reduzindo assim a possibilidade de dados de saída incoerentes com a realidade. Tal estratégia vem sendo amplamente aplicada em trabalhos científicos que abordam simulações computacionais, como a pesquisa de Pisello *et al.* (2012) que afirmam passar por três modificações no modelo a fim de reduzir o índice de incerteza encontrados a valores aceitáveis. Em outro estudo, Tulsyan *et al.* (2012) os autores informam que modelaram seis edifícios diferentes na Índia para simulação de energia e obtiveram índices de incerteza variando entre 10,5 e 19,16 para um método matemático e variação entre 9,7 e 17,94 para outro método, considerando os seis modelos. Diante da pesquisa referente à calibração, ficou definido que a metodologia adotada para a execução do processo seguiria outros trabalhos científicos similares a este que obtiveram bons resultados, como o artigo do Saleh (2015).

Iniciando o processo de calibração do modelo, que visa a comparação entre os dados de saída da simulação computacional realizada no software *DesignBuilder* versão 6.1.0.006 (*DESIGNBUILDER*, 2019) e os dados registrados *in loco* durante o experimento. Em seguida o arquivo configurado para a cidade de Vitória foi ajustado

no *software* de forma que a orientação de implantação da fachada principal da sala de aula coincidissem com a sala monitorada no trabalho experimental, além disso, as mesmas condições adotadas para o uso das portas e janelas no experimento foram configuradas para o modelo no *software*. Por fim, as simulações foram executadas, obtendo como dados de saída as médias horárias da temperatura do ar interno referente aos mesmos dias e horários em que o experimento foi realizado (das 09:00 h às 11:00 h e das 13:00 h às 16:0 h dos dias 06, 07 e 08 de novembro de 2019).

Para calcular o “índice de incerteza” entre os valores registrados e simulados, foram adotados os métodos matemáticos denominados Normalized Mean Bias Error (NMBE) e o Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error CVRMSE, que estão entre os mais utilizados em trabalhos científicos para avaliar o grau de incerteza de resultados. O Normalized Mean Bias Error (NMBE) tem a função de normalizar o índice Mean Bias Error (MBE) que representa a média dos erros existentes em uma amostra de dados. O NMBE dimensiona os dados gerados pelo MBE fazendo com que eles se tornem comparáveis. Já o Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error CVRMSE é responsável por medir a variação dos erros obtidos ao se comparar dados medidos e simulados (RUIZ; BANDERA, 2017).

Os índices NMBE e CVRMSE são obtidos por meio de equações matemáticas que relacionam os dados simulados e os dados registrados *in loco*, sendo o NMBE calculado pela **Equação 2** e o CVRMSE calculado pela **Equação 3**.

$$\text{NMBE} = \frac{1}{\bar{m}} \times \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n - p} \times 100 (\%) \quad (2)$$

$$\text{CV (RMSE)} = \frac{1}{\bar{m}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{n - p}} \times 100 (\%) \quad (3)$$

Onde:

\bar{m} : corresponde a média dos valores registrados;

p : corresponde ao quantitativo de parâmetros ajustáveis (para fins de calibração $p = 0$);

m_i : corresponde aos valores registrados (*in loco*);

s_i : corresponde aos valores simulados;

n : corresponde ao quantitativo de dados comparados.

De acordo com a ASHRAE (2002), para a devida verificação do modelo é recomendável que o NMBE e o CVRMSE sejam testados e observados

conjuntamente para evitar que erros que possam estar presentes no NMBE, como erros de cancelamento, sejam negligenciados. Para o modelo ser considerado calibrado, os resultados obtidos por meio das Equações 2 e 3 devem pertencer ao intervalo de incerteza recomendado pela ASHRAE (2002), que seguem descritos na

Tabela 9.

Tabela 9 - Intervalo para o índice de incertezas associados aos métodos matemáticos NMBE e CVRMSE, recomendados pela ASHRAE (2002).

Tipos de variáveis	Metodo matemático	Intervalo de incerteza recomendável pela ASHRAE
Médias mensais	NMBE	± 5
	CVRMSE	0 a 15
Médias horárias	NMBE	± 10
	CVRMSE	0 a 30

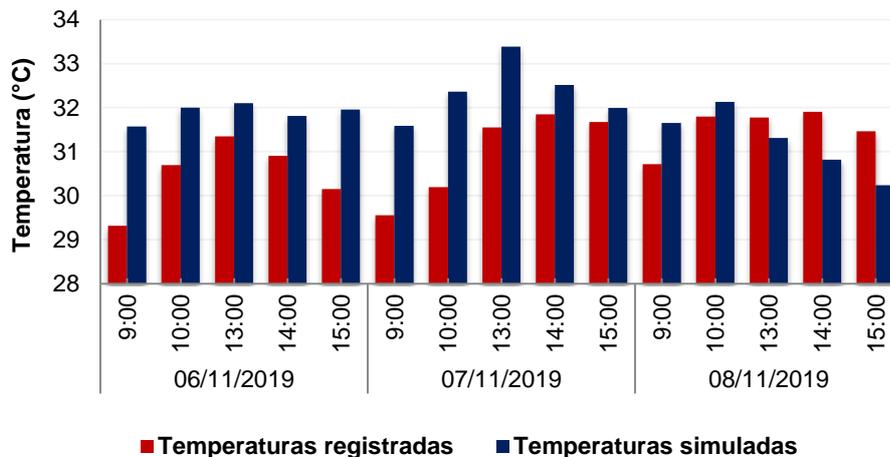
Fonte: Adaptado da ASHRAE, 2002.

Além do cálculo dos índices de incerteza, a partir das temperaturas de todo o período monitorado (15 horas), denominado neste estudo por método 1, os índices também foram calculados subdividindo os dados registrados em dias (5 horas registradas em cada dia), trata-se do método 2 e por fim foram calculadas as médias aritméticas entre os índices obtidos em cada um dos dias monitorados (3 dias), identificado como método 3. Tal procedimento, adaptado do trabalho de Saleh (2015), foi realizado a fim de proporcionar uma análise diversificada aos valores obtidos para o erro de polarização médio normalizado calculado (NMBE), bem como o coeficiente de variação do erro quadrático médio (CVRMSE).

3.4.3 Resultados do experimento de campo e da calibração

O gráfico a seguir (**Figura 26**) apresenta as médias horárias da temperatura do ar interno registradas e simuladas que foram comparados para fins de calibração do modelo.

Figura 26 - Médias horárias das temperaturas do ar interno registradas e simuladas referentes a sala de aula estudada.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com relação aos resultados, observou-se que em 80% das médias horárias analisadas, as temperaturas simuladas são maiores que as registradas. Nota-se ainda que as diferenças extremas entre as temperaturas comparadas são de 2,3 °C, ocorrendo entre as 09:00 h e 10:00 h do dia 06 de novembro de 2019 e de 0,3 °C, entre as 15:00 h e 16:00 h do dia 07 de novembro de 2019 e entre as 10:00 h e 11:00 h do dia 08 de novembro de 2019.

Durante o processo de calibração, os primeiros índices de incerteza encontrados por meio das Equações 1 e 2 estavam fora do limite estabelecido pela ASHRAE (2002), mostrando que o modelo simulado não estava representando adequadamente a situação real. A partir disto foi realizada uma adequação na quantidade de dias envolvidos na calibração, passando a utilizar os dados referentes aos dias 06, 07 e 08 de novembro de 2019. Tal critério foi adotado, pois os dois primeiros dias (04 e 05 de novembro de 2019) monitorados na fase experimental apresentaram condições climáticas atípicas, conforme noticiado em jornal local (A GAZETA, 2019), sendo assim os dados medidos não foram captados em condições semelhantes as configuradas no *software* para estas datas. Além do ajuste citado, alguns erros ocorridos ao longo da configuração do *software* foram identificados e sanados, fazendo com que o processo de calibração pudesse ser concluído com êxito e os índices de incerteza, avaliados de acordo com os três métodos citados, estivessem dentro dos limites estabelecidos, conforme mostra a **Tabela 10**.

Tabela 10 - Índices de incerteza de viés médio normalizado (NMBE), bem como o coeficiente da porcentagem do erro quadrático médio CVRMSE usando três métodos.

MÉTODOS DE ANÁLISE		NMBE	CVRMSE	SITUAÇÃO
Método 1	Quarta-feira (06/11)	-4,60	4,95	atendido
	Quinta-feira (07/11)	-4,54	5,16	atendido
	Sexta-feira (08/11)	0,95	2,80	atendido
Método 2	Considerando a amostra inteira	-2,70	4,41	atendido
Método 3	Média entre os índices de cada dia	-2,73	4,30	atendido

Método 1: Subdividir os dados registrados em dias (5 horas por dia) e calcular o NMBE e o CVRMSE em cada período;

Método 2: Cálculo dos índices a partir das temperaturas de todo o período monitorado (15 horas);

Método 3: Cálculo a partir da média aritmética entre os índices obtidos em cada um dos dias monitorados (3 dias).

Fonte: Elaborado pela autora.

Como pode ser observado na **Tabela 10**, os índices de incerteza calculados pertencem ao intervalo recomendado pela ASHRAE (2002) tanto para o NMBE quanto para o CVRMSE, considerando ainda os três métodos de cálculo adotados, sendo assim, o modelo pode ser considerado calibrado.

3.5 AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

Os indicadores de conforto térmico foram o Intervalo de conforto térmico adaptativo, considerando 90 % de aceitabilidade, os Graus-horas de desconforto térmico (GhDT), a Frequência de desconforto térmico (FDT) e o Diagrama de fluabilidade que parte da interação entre o GhDT e o FDT. Além dos indicadores para avaliar os índices de conforto, foram levantados o Consumo energético (kWh) e o Custo financeiro (R\$) para proporcionar conforto térmico aos alunos durante as horas do ano em que o conforto não é atingido apenas com a utilização de estratégias passivas, sendo necessária a adoção de um meio artificial para a redução da temperatura operativa no interior da sala de aula. As metodologias abordadas para cada indicador serão descritas nos subtópicos seguintes.

3.5.1 Intervalo de conforto adaptativo considerando 90% de aceitabilidade

O Intervalo de conforto adotado foi o proposto pelo método adaptativo da Ashrae 55 (2013) indicado para ambientes naturalmente ventilados, já utilizado em estudos brasileiros, como Nico-Rodrigues *et al.* (2015). É importante salientar que o presente estudo atende a todos os requisitos da norma americana para o emprego dessa metodologia, são eles: a taxa metabólica dos ocupantes deve variar entre 1,0 e 1,3 met e os mesmos devem estar livres para adaptar as suas vestimentas, operar as aberturas e outras condições que contribuam para o conforto adaptativo; o ambiente deve ser ventilado naturalmente, não devendo existir uso de refrigeração mecânica e possuir aberturas operáveis ao exterior; a temperatura prevalente do ar externa ao ambiente deve variar entre 10°C e 33,5°C (ASHRAE 55, 2013). Para a determinação dos limites máximos e mínimos de conforto, existem duas possibilidades, conforme foi indicado no referencial teórico.

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 ultrapassam a temperatura máxima de conforto.

Foi considerado o percentual de 90% de aceitabilidade visto que o público-alvo (crianças), passa a maior parte dos dias dentro do ambiente escolar. Além disto, outros estudos brasileiros adotaram esse patamar para esta região que possui clima quente e úmido, com alto índice de desconforto por calor (NICO-RODRIGUES *et al.*, 2015; PAGEL *et al.*, 2018; PAGEL *et al.* 2019).

3.5.2 Frequência de desconforto térmico – FDT

A Frequência de Desconforto (FDT) representada, em porcentagem, a quantidade de desconforto térmico em dado intervalo de tempo, ou seja, períodos em que a

temperatura operativa interna ultrapassa a temperatura máxima de conforto estabelecida para análise. O conceito do indicador é abordado na norma europeia EN 15.251 que tem como base o conforto adaptativo e também nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais (RTQ-C) (COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, 2007; BRASIL, 2012). O resultado da FDT contribui mais para a avaliação da eficiência de alternativas construtivas, visto que pode ser usado para mostrar o desconforto ao longo de um período variando configurações, orientações e diferentes localizações de componentes construtivos (NICO-RODRIGUES *et al.*, 2015).

Nesta pesquisa, optou-se por analisar a frequência de desconforto horário, considerando a FDT em horas inteiras. Após o registro da quantidade de horas em desconforto, para obter a FDT em porcentagem, ficou estabelecido que um dia (24 horas) corresponde ao percentual máximo possível (100%) e cada hora corresponde ao percentual de 4,16% ($100/24$) de desconforto, a partir disso, para obter o percentual diário em que houve desconforto, basta multiplicar a quantidade de horas inteiras por 4,16%.

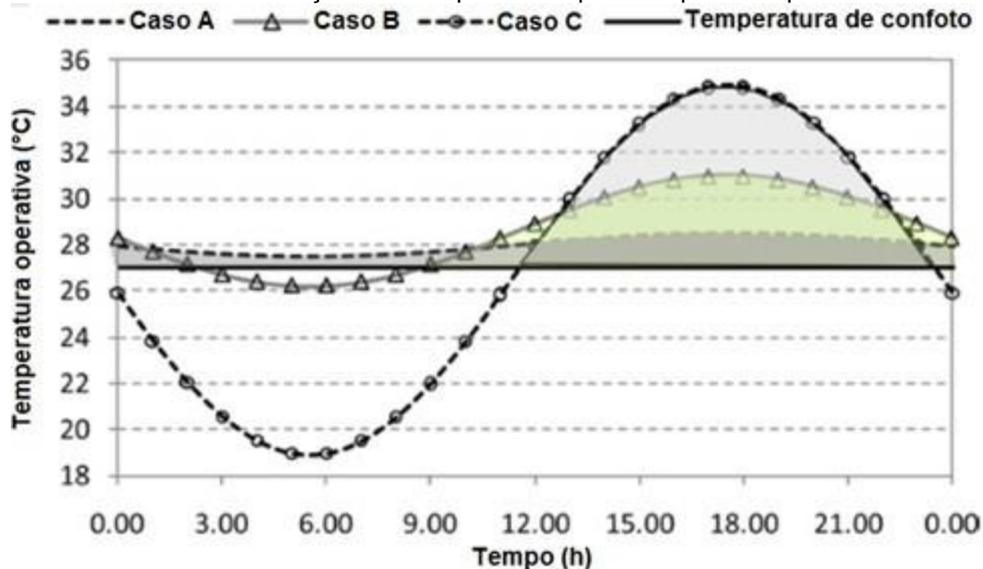
3.5.3 Graus-horas de desconforto térmico – GhDT

O GhDT representa a soma diária dos graus obtidos ao se subtrair a temperatura operativa horária e a temperatura máxima de conforto estabelecida para análise, devendo atentar para o fato que só haverá GhDT horário se houver desconforto térmico dentro da respectiva hora, ou seja, se a média horária da temperatura operativa interna for superior a temperatura máxima de conforto do período em referência. Além de determinar exatamente em quais intervalos horários está ocorrendo o desconforto térmico, o indicador quantifica exatamente a magnitude dessa temperatura que atua no ambiente acima do conforto, fornecendo os valores com a unidade de ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}/\text{dia}$). O conceito exposto é citado na norma técnica ABNT/CEE 191 e também nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (ABNT, 2014; BRASIL, 2012). Enquanto o GhDT é mais indicado para avaliar as estratégias adotadas para

melhorar o desempenho térmico do ambiente, tais como uso de sombreador, aumento das áreas para ventilação, arborização do entorno etc., isso porque seu resultado relaciona valores de temperatura a instantes de tempo (NICO-RODRIGUES *et al.*, 2015). Esta pesquisa levantou os Graus-horas de desconforto (GhDT) diários, tomando como referência, a temperatura máxima de conforto mensal de cada cidade avaliada.

Apesar da FDT e do GhDT serem passivos de análises individuais, Sicurella *et al.* (2012) salientam que a análise conjunta dos indicadores permite percepções interessantes que podem ser negligenciados ao analisá-los apenas individualmente. O gráfico apresentado na **Figura 27** reúne resultados de três simulações distintas, mostrando como valores muito próximos de GhDT podem proporcionar sensações distintas, configurando um bom exemplo de análise conjunta dos indicadores.

Figura 27 - Análise das flutuações da temperatura operativa para um período de 24 horas.



Fonte: Sicurella *et al.*, 2012.

O caso A apresentou temperatura operativa acima da temperatura de conforto durante todo o dia (24 horas), porém o excedente a temperatura de conforto se mantém mais constante ao longo de todo o dia, o que configura uma sensação de desconforto moderada estável. No caso B, o conforto térmico é estabelecido em um período pequeno do dia, entre a madrugada e a metade da manhã, enquanto o período em desconforto que ocorre durante quase todo o dia sofre uma flutuação

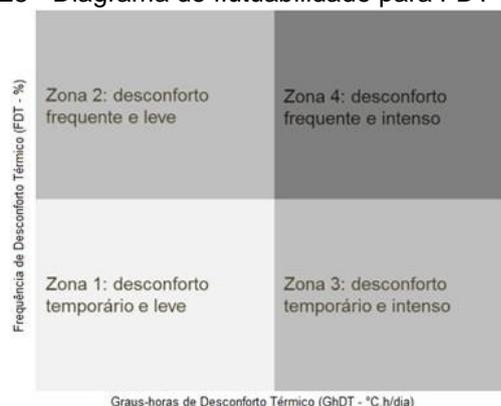
enorme, caracterizando uma sensação de maior tempo e menor moderação do desconforto.

Com relação ao caso C, a temperatura operativa registrada está abaixo da temperatura de conforto, tornando o ambiente confortável até a metade do dia aproximadamente, porém a partir das 12:00 hs a temperatura operativa começa a aumentar drasticamente, provocando um grande pico de desconforto, o que caracteriza um desconforto por um curto período de tempo ao longo do dia, porém com grande intensidade. Em resumo valores elevados de GhDT, sem flutuação, sugerem melhorias que envolvam toda a edificação, entretanto, quando há maior flutuação dos valores, acentuando a sensação de desconforto, a indicação é melhorar a utilização da ventilação natural ou adotar elementos sombreadores (estratégias passivas) que atuam nos instantes mais críticos (SICURELLA *et al.* 2012).

3.5.4 Diagrama de fluabilidade

O diagrama proposto por Sicurella *et al.*, (2012), apresentado na **Figura 28**, tem o objetivo de promover uma análise mais aprofundada a respeito das condições de conforto desenvolvidas no ambiente. Ele relaciona a FDT e o GhDT para classificar o desconforto em quatro zonas, com relação à frequência (temporário e frequente) e com relação à intensidade (leve e intenso).

Figura 28 - Diagrama de fluabilidade para FDT e GhDT .



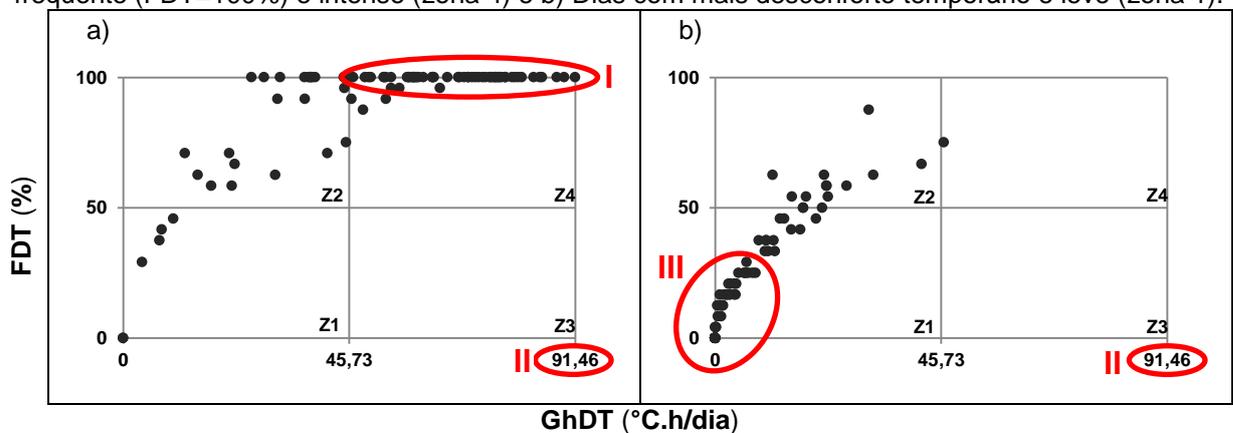
Fonte: Sicurella *et al.*, 2012.

A zona 1- corresponde ao desconforto temporário e leve; zona 2- corresponde ao desconforto frequente e leve; zona 3- corresponde ao desconforto temporário e intenso e a zona 4- corresponde ao desconforto frequente e intenso.

A análise do diagrama permite destacar, de maneira rápida, casos excepcionais, por exemplo:

- I) Cenários em que ocorre desconforto ao longo de um dia inteiro (FDT = 100%) (**Figura 29a**);
- II) O maior valor de GhDT entre todas as simulações, visto que esse dado é fundamental para a construção do diagrama (**Figura 29a e b**);
- III) Cenários em que o desconforto é relativamente baixo, visto que os pontos se aproximam da origem (FDT e GhDT tendem a zero) (**Figura 29b**).

Figura 29 - Exemplos genéricos de Diagramas de fluvariabilidades: a) Dias com mais desconforto frequente (FDT=100%) e intenso (zona 4) e b) Dias com mais desconforto temporário e leve (zona 1).



Fonte: Elaborado pela autora.

3.6 CONSUMO ENERGÉTICO (KWH) E CUSTO FINANCEIRO (R\$) PARA O RESFRIAMENTO DAS HORAS DESCONFORTÁVEIS

A partir da Frequência de desconforto (FDT) anual em horas foi possível calcular o consumo energético (kWh) e o custo financeiro (R\$) anual para proporcionar o condicionamento térmico forçado (resfriamento com uso do condicionador de ar) da

sala de aula por todo o período em que a temperatura operativa interna está acima da temperatura máxima de conforto, ou seja, que ocorre desconforto por calor, considerando 90% de aceitabilidade (ASHRAE 55, 2013).

Para atender a área da sala de aula (27,29 m²), foram selecionados dois aparelhos condicionadores de ar frio da marca Consul, modelo CCY12B, do tipo janela, cuja capacidade é de 12000 BTUs e a potência é de 1166 W, cada. Segundo o fabricante, cada aparelho tem um consumo energético de 1,166 kWh, sendo assim o consumo necessário para atender a sala de aula é de 2,332 kWh (CONSUL, 2021). Os equipamentos são devidamente classificados com o selo “A” do Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (PROCEL, 2021). Para fins de cálculos, foi observado que a edificação pertence ao subgrupo “B1-Residencial” e a bandeira tarifária adotada foi a verde que não promove alteração no custo do kWh.

Para obter o consumo energético acumulado ao longo do ano, em cada uma das configurações, entre modelos e sombreamento das aberturas, orientações de implantação e cidades estudadas, a FDT anual (em horas) foi multiplicada pelo consumo horário dos aparelhos (2,332 kWh) e para obter o custo da refrigeração artificial foram adotados dados referentes a diversas tarifas, disponibilizados pela companhia responsável pelo gerenciamento da energia elétrica no Espírito Santo, Energias de Portugal (EDP) - Espírito Santo Centrais Elétricas S.A (ESCELSA) (EDP, 2021).

Inicialmente foi determinado custo do kWh para o consumidor, denominado por Tarifa final (TF) que envolve a Tarifa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (TA) e os custos com tributos. A TA corresponde a soma entre as Tarifas de energia (TE) e Tarifas de uso dos sistemas de distribuição (TUSD) que se referem aos gastos com a geração, transmissão e distribuição da energia, sendo regulamentada pela resolução homologatória de 6 de agosto de 2020 da ANEEL (ANEEL, 2021). Os custos com tributos são referentes ao Programa de Integração Social (PIS), ao Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP) e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), que variam mensalmente, além do Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS) que tem alíquota mensal fixa de 25%. A tarifa final é obtida por meio da **Equação 5**.

$$TF = \frac{TA}{\left(1 - \frac{T}{100}\right)} \quad (5)$$

Onde:

TF: corresponde a tarifa final (R\$);

TA: corresponde a soma das tarifas TUSD + TE (R\$);

TUSD: corresponde as tarifas de uso dos sistemas de distribuição (R\$);

TE: corresponde a tarifa da energia (R\$);

T: corresponde a soma das alíquotas dos impostos PIS, PASEP, COFINS e ICMS (%).

Assim, para a obtenção do custo final (R\$) referente ao uso dos dois aparelhos, basta multiplicar a Tarifa final pelo consumo obtido em kWh.

4 RESULTADOS

Os resultados abordados nesta pesquisa objetivaram apresentar e discutir, de forma integrada, o conforto térmico oferecido aos alunos de uma sala de aula infantil em um modelo padronizado de arquitetura escolar localizado em duas distintas cidades – Vitória e Belém inseridas na Zona Bioclimática 8. Para isto foram analisados a partir dos resultados da simulação computacional o percentual de dias em conforto térmico ao longo do ano, por meio do intervalo de conforto adaptativos da Ashrae 55 (2013) e o comportamento diário do desconforto, por meio dos diagramas de fluutuabilidade, proposto por Sicurella, Evola e Wurtz, (2012) que são construídos a partir dos Graus-horas de Desconforto (GhDT), relacionados a intensidade do desconforto e das Frequências do Desconforto (FDT). Por fim foram obtidos o consumo energético e o custo financeiro necessários para que o edifício possa promover conforto térmico ao usuário ao longo de todo o ano.

As simulações executadas, analisam quatro modelos de janelas e quatro condições para a porta principal da sala de aula, considerando diferentes possibilidades de orientação de implantação do edifício e o uso ou não de elemento sombreador.

A análise será pelos seguintes pontos: a) determinação das temperaturas de conforto mensais considerando a configuração com a janela padrão (M1) e a porta padrão fechada (PF) para cada cidade analisada; b) avaliação das horas de desconforto térmico comparando os quatro modelos de janelas e o uso da porta padrão fechada; c) avaliação das horas de desconforto térmico comparando os modelos de janelas ao uso das diferentes configurações de portas d) apresentação do impacto no conforto térmico ocasionado pelo uso ou não de elemento sombreador e e) comparação entre o consumo energético com climatização.

4.1 DETERMINAÇÃO DAS TEMPERATURAS DE CONFORTO

Para a obtenção das temperaturas mensais de conforto em Vitória e Belém, foram realizadas simulações no nível do sítio, considerando o arquivo climático TMY, que forneceram entre os dados de saída, as médias mensais da temperatura do ar externo. A partir destes dados, utilizando a Wurz fórmula de conforto adaptativo abordada pela Ashrae 55 (2013), foram calculadas, para cada cidade, as temperaturas neutras e as temperaturas mensais mínimas e máximas que delimitam o intervalo de conforto considerando 90% de aceitabilidade, conforme apresenta a **Tabela 11**.

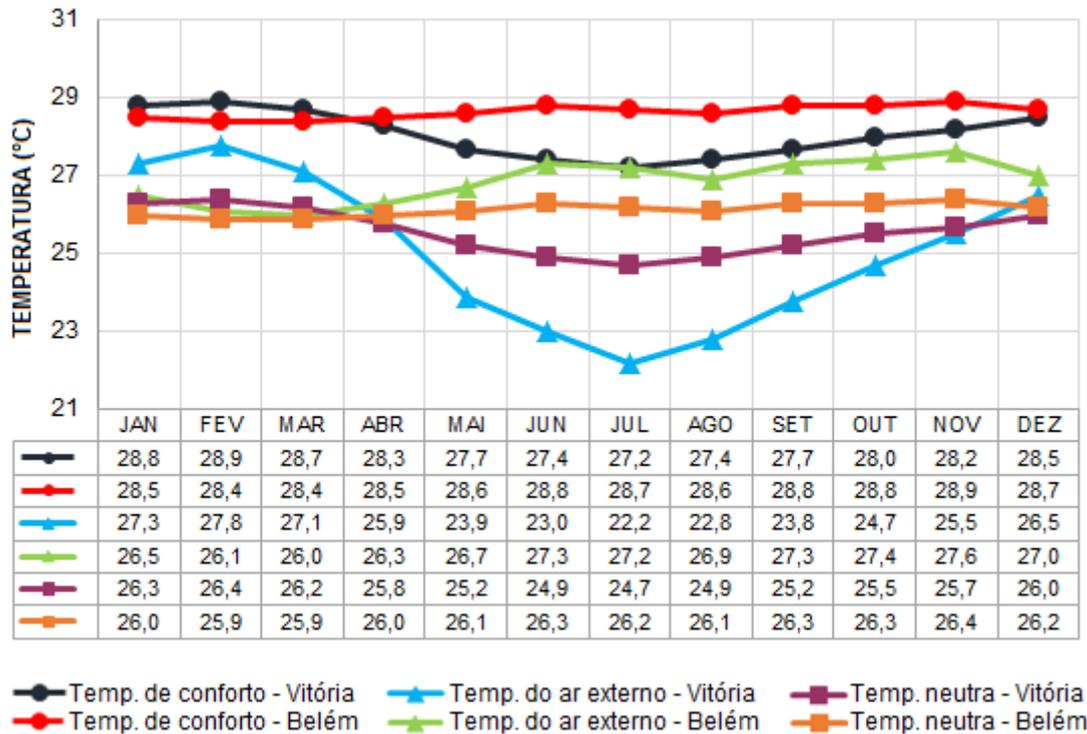
Tabela 11 - Médias mensais das temperaturas do ar externo, temperaturas neutras e intervalos de conforto térmico baseado no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55 (2013).

Cidades	Meses	Média mensal da temperatura do ar externo (°C)	Temperatura neutra $T_n = 0,31 (T_e) + 17,8$ (°C)	Intervalo de temperatura de conforto (°C)	
				Mínima	Máxima
VITÓRIA	Janeiro	27,3	26,3	23,8	28,8
	Fevereiro	27,8	26,4	23,9	28,9
	Março	27,1	26,2	23,7	28,7
	Abril	25,9	25,8	23,3	28,3
	Maio	23,9	25,2	22,7	27,7
	Junho	23,0	24,9	22,4	27,4
	Julho	22,2	24,7	22,2	27,2
	Agosto	22,8	24,9	22,4	27,4
	Setembro	23,8	25,2	22,7	27,7
	Outubro	24,7	25,5	23,0	28,0
	Novembro	25,5	25,7	23,2	28,2
	Dezembro	26,5	26,0	23,5	28,5
BELÉM	Janeiro	26,5	26,0	23,5	28,5
	Fevereiro	26,1	25,9	23,4	28,4
	Março	26,0	25,9	23,4	28,4
	Abril	26,3	26,0	23,5	28,5
	Maio	26,7	26,1	23,6	28,6
	Junho	27,3	26,3	23,8	28,8
	Julho	27,2	26,2	23,7	28,7
	Agosto	26,9	26,1	23,6	28,6
	Setembro	27,3	26,3	23,8	28,8
	Outubro	27,4	26,3	23,8	28,8
	Novembro	27,6	26,4	23,9	28,9
	Dezembro	27,0	26,2	23,7	28,7

Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico a seguir (**Figura 30**) apresenta as temperaturas de conforto, temperaturas do ar externo e temperaturas neutras mensais para as cidades de Vitória e Belém.

Figura 30 - Temperaturas de conforto, temperaturas do ar externo e temperaturas neutras mensais referentes a Vitória e Belém



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Os dados referentes a Vitória caracterizam bem as condições de conforto adaptativo abordada pela Ashrae 55 (2013) que depende de outros fatores, além dos climáticos e ambientais, tais como fatores pessoais. É possível observar uma grande variação entre as temperaturas mensais do ar externo para a cidade de Vitória, saindo do valor mínimo de 22,2°C no mês de julho até o máximo de 27,8°C no mês de fevereiro, porém ao analisar a temperatura neutra percebe-se que tais variações são compensadas por meio da equação que relaciona as temperaturas do ar externo e as temperaturas neutras e conseqüentemente as temperaturas máximas de conforto para Vitória também possuem pequenas variações, passando de 27,2°C em julho a 28,9°C em fevereiro. Isto ocorre porque as temperaturas de conforto, de fato, não são impactadas exclusivamente por questões climáticas (temperatura do ar externo). Dessa forma, conclui-se que a principal função da temperatura neutra foi considerar uma série de aspectos para estabelecer qual é a temperatura ótima do

ambiente, ou seja, a temperatura em que 80% ou 90% da população presente em um dado ambiente esteja se sentindo confortável termicamente.

4.2 ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO,

Neste tópico será avaliado o conforto térmico proporcionado aos alunos da sala de aula – Creche II, a partir: por meio do conforto adaptativo que fornecerá o percentual de dias ao longo do ano em que a sala de aula é considerada um ambiente confortável e dos diagramas de fluabilidade e valores acumulados de GhDT e FDT, organizados por estação do ano, que informam sobre a magnitude (GhDT) e frequência (FDT) do desconforto térmico existente em cada caso, além da análise dos valores de GhDT e FDT anuais.

As análises serão feitas a partir da associação entre os modelos de janela padrão (M1) adotado pelo Proinfância e demais modelos (M2, M3 e M4) propostos por esta pesquisa, sendo a condição de uso adotada para a porta principal da sala de aula fechada (PF), para as quatro orientações de implantação da fachada do edifício (Norte, Sul, Leste e Oeste), considerada a fachada principal, a fachada da sala de aula – Creche II, sendo a porta de acesso a sala de aula implantada na fachada oposta a principal, proporcionando ventilação cruzada ao ambiente.

4.2.1 Conforto adaptativo

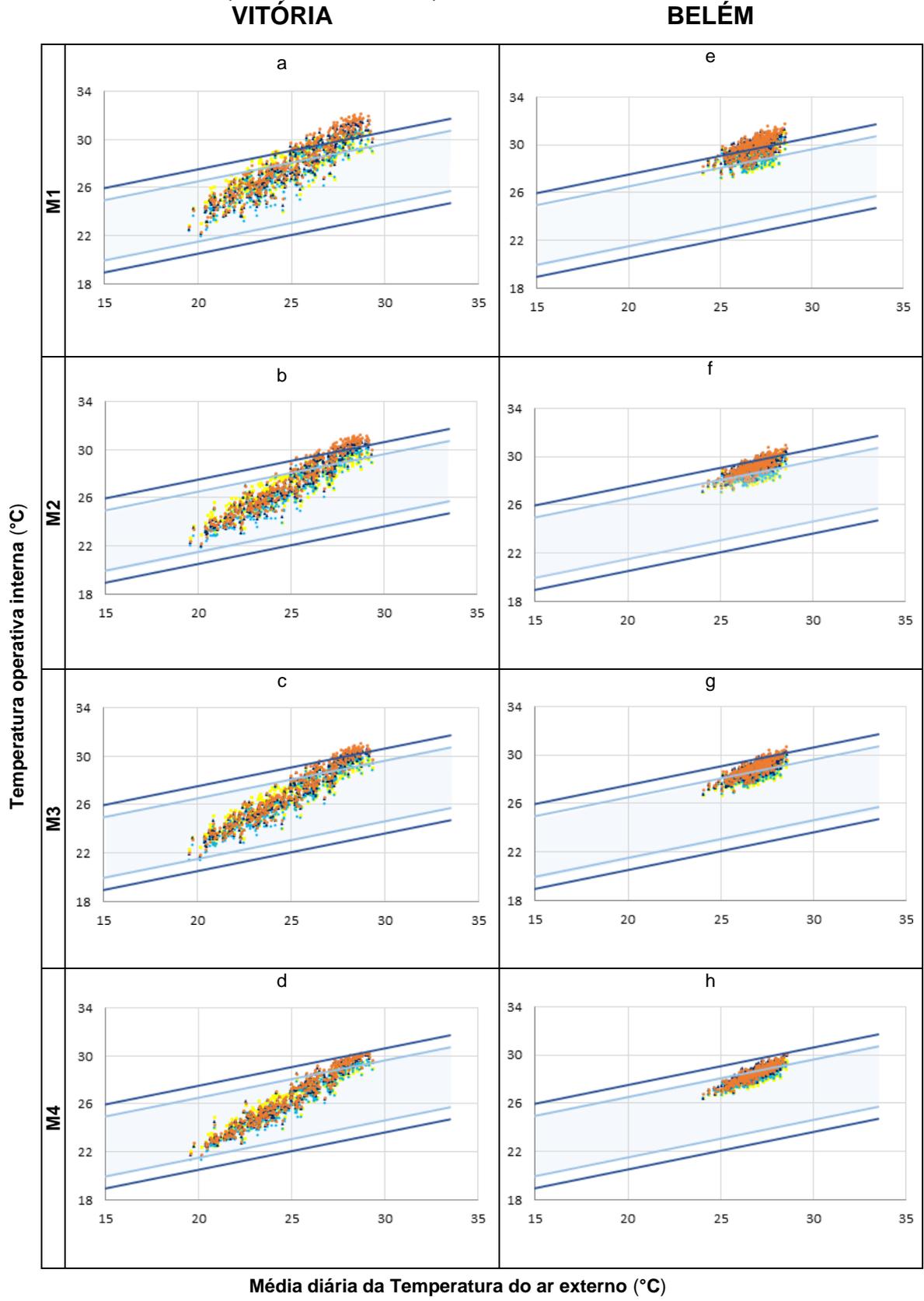
Para a análise do conforto térmico adaptativo anual, os dados de saída extraídos do DesignBuilder foram as médias diárias das temperaturas operativas internas e do ar externo, a partir das quais são construídos gráficos de dispersão contendo os 365 pontos referentes a cada dia do ano. Em seguida esse gráfico é sobreposto ao intervalo de conforto adaptativo da Ashrae 55 (2013) com o objetivo de visualizar a

quantidade de dias inseridos no intervalo de conforto térmico adaptativo com 90% de aceitabilidade.

Além da análise visual do gráfico, os resultados foram construídos também por meio de tabelas, comparando a média diária da temperatura operativa interna à temperatura máxima de conforto, estabelecida para o mês em referência, assim se a média diária da temperatura operativa for inferior à temperatura máxima de conforto, o dia pode ser considerado confortável termicamente, se for superior considera-se o desconforto por calor. Dessa forma é possível obter a quantidade de dias confortáveis ao longo do ano.

Os resultados apresentam a distribuição dos dias ao longo do ano com relação ao intervalo de conforto da Ashrae 55 (2013) (**Figura 31**).

Figura 31 - Intervalo de conforto térmico adaptativo referente aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para as cidades de Vitória e Belém



■ NORTE ◆ SUL ▲ LESTE ● OESTE
 Fonte: Adaptado da Ashrae 55, 2013

Observa-se que, em Vitória, de forma geral, os pontos (dias do ano) encontram-se bem distribuídos ao longo dos gráficos (**Figura 31a, b, c e d**), mostrando que há uma variação entre os parâmetros (médias diárias das temperaturas operativas internas e do ar externo) de cada dia ao longo do ano, independente da orientação de implantação estudada. Esta variação se dá principalmente pelas mudanças climáticas atreladas a cada estação do ano. Analisando a distribuição de pontos, conclui-se que esta composição se mantém para os modelos de janela testados, mostrando que ocorrem decréscimos uniformes dos parâmetros à medida que os modelos de janela são alterados, sendo proporcional ao aumento da área para ventilação do ambiente (M1-M2-M3-M4).

Para Belém (**Figura 31e, f, g e h**), observa-se uma distribuição de pontos (dias do ano) mais concentrados espacialmente do que Vitória, isto mostra que há uma proximidade entre os valores dos parâmetros (médias diárias das temperaturas operativas internas e do ar externo) de cada dia ao longo do ano, independente da orientação de implantação estudada, retratando assim a ausência de estações bem marcadas ao longo do ano, como acontece em outras cidades brasileiras. Esse fato pode ser atribuído a localização da cidade de Belém próximo à Linha do Equador, o que caracteriza uma radiação solar similar ao longo do ano. O comportamento da distribuição de pontos se mantém à medida que são avaliados o desempenho das janelas com maior possibilidade de ventilação (M1-M2-M3-M4), mas o gráfico passa a sofrer um achatamento vertical e um alargamento horizontal, representando um aumento na quantidade de dias em conforto. É importante ressaltar que, em Belém, apesar do aumento na quantidade de dias em conforto, em nenhum dos casos avaliados, as médias diárias das temperaturas operativas alcançam a temperatura neutra, visto que os pontos permanecem mantendo certa distância do centro do intervalo de conforto, ou seja, em Belém, apenas o aumento da taxa de ventilação através das novas configurações das janelas não é suficiente para que o ambiente ofereça temperaturas médias operativas internas ótimas (temperaturas neutras), onde o usuário não sentiria nenhum nível de desconforto por calor ou frio.

A **Tabela 12** apresenta uma síntese que objetiva complementar a análise visual do gráfico a partir dos dados numéricos referentes ao quantitativo e ao percentual de dias em relação ao ano em que o conforto térmico é atingido, destacando a menor

quantidade de dias em conforto (vermelho) e a maior quantidade de dia em conforto (azul).

Tabela 12 - Quantitativo de conforto térmico anual referente aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada

ORIENTAÇÕES	PARÂMETROS	VITÓRIA				BELÉM			
		M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
NORTE	DIAS	210	280	297	327	72	172	226	325
	%	57,5	76,7	81,4	89,6	19,7	47,1	61,9	89,0
SUL	DIAS	245	287	300	329	77	163	227	343
	%	67,1	78,6	82,2	90,1	21,1	44,7	62,2	94,0
LESTE	DIAS	209	248	263	286	17	50	117	223
	%	57,3	67,9	72,1	78,4	4,7	13,7	32,1	61,1
OESTE	DIAS	191	231	247	282	16	46	104	240
	%	52,3	63,3	67,7	77,3	4,4	12,6	28,5	65,8

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando os resultados para os diferentes modelos de janelas em Vitória, verifica-se que as quantidades extremas de dias em conforto ao longo do ano, para todas as orientações, ocorrem com a adoção da janela M4 (327 – Norte; 329 – Sul; 286 – Leste; 282 – Oeste), seguida pela M3 (297 – Norte; 300 – Sul; 263 – Leste; 247 – Oeste), M2 (280 – Norte; 287 – Sul; 248 – Leste; 231 – Oeste) e M1 (210 – Norte; 245 – Sul; 209 – Leste; 191 – Oeste).

Em Vitória, considerando as orientações de implantação da fachada da sala, as maiores quantidades de dias em conforto, foram acumuladas ao adotar a fachada Sul, com (245, 287, 300, 329) dias para os modelos de janelas M1, M2, M3 e M4 respectivamente, provavelmente por ser a fachada com menor incidência da radiação solar ao longo do ano, além de contar com velocidades e frequências dos ventos atuantes altas quando comparada a orientações como Leste e Oeste. Ao passo que a menor quantidade de dias em conforto ao longo do ano foi registrada com a fachada da sala orientada a Oeste, acumulando (191, 231, 247, 282) dias para os modelos de janelas M1, M2 M3 e M4 respectivamente, onde ocorre maior incidência solar no período vespertino em que as temperaturas são mais elevadas, além de ser o período do dia em que são registrados os maiores percentuais de ausência de ventos, de acordo com a rosa dos ventos de Vitória.

Avaliando os resultados para os diferentes modelos de janelas em Belém, verifica-se que as quantidades extremas de dias em conforto ao longo do ano, para todas as orientações, ocorrem com a adoção da janela M4 (325 – Norte; 343 – Sul; 223 – Leste; 240 – Oeste), seguida de M3 (226 – Norte; 227 – Sul; 117 – Leste; 104 – Oeste), M2 (172 – Norte; 163 – Sul; 50 – Leste; 46 – Oeste) e, por fim a janela padrão M1 (72 – Norte; 77 – Sul; 17 – Leste; 16 – Oeste) **Tabela 12** corroborando com os resultados encontrados na cidade de Vitória.

Em Belém, considerando as orientações de implantação da fachada da sala, as maiores quantidades de dias em conforto, foram registradas para a fachada Norte com o uso do modelo de janela M2 (172 dias) e para a Sul com os demais modelos M1, M3 e M4 (77, 227, 343) dias respectivamente.

Esse resultado mostra a influência da incidência solar para o conforto térmico, dado que apesar dos ventos do Norte serem mais expressivos que os do Sul, o fato da baixa incidência solar na fachada orientada ao Sul, faz com que os resultados, na maioria dos casos superem a fachada Norte.

Além disso a particularidade ocorrida com o modelo de janela M2 se dá, provavelmente, pela altura da entrada de ar adicionada (parte superior da janela), fazendo com que a vantagem da ventilação natural encontrada na direção Norte supere a vantagem da incidência solar produzida pela direção Sul.

Por outro lado, os piores resultados foram acumulados ao orientar a fachada a Leste com o modelo M4 (223 dias) e a Oeste com os demais modelos M1, M2 e M3 (16, 46, 104) dias respectivamente.

Analisando os valores obtidos para a orientação Leste e Oeste, é possível observar que há pouca diferença entre os mesmos, isso ocorre devido as temperaturas relativamente homogêneas, além de altas, que ocorrem em Belém ao longo do dia, decorrentes da incidência dos raios solares.

Provavelmente, a vantagem de orientar a fachada a Leste mostrou em relação a Oeste, ocorre devido a frequência dos ventos, já que a velocidade tem pouca influência nessas direções por ser a mesma para as duas, registrando valores médios de 3,0 m/s, conforme mostra a rosa dos ventos de Belém, apresentada no capítulo de metodologia. No entanto, a frequência de ocorrência dos ventos do Leste

corresponde em média a 16%, enquanto os ventos do Oeste apresentam médias de ocorrência em torno de 1,1%. É importante reforçar que tanto as velocidades quanto as frequências dos ventos são significativamente inferiores as de Vitória.

Traçando um comparativo geral entre as cidades, observa-se que apesar de nenhum dos casos estudados conseguirem oferecer conforto em todos os dias ao longo do ano, considerando 90% de aceitabilidade, tanto em Vitória quanto em Belém a quantidade de dias em conforto aumenta à medida que a área para ventilação aumenta, evidenciando que a ventilação natural impacta no conforto térmico ofertado aos alunos das duas cidades. No entanto os resultados são influenciados também pela direção dos ventos dominantes, pela incidência dos raios solares na fachada, entre outros fatores, sendo formado por esse conjunto de variáveis que são distintos para cada cidade. Assim, levando em consideração os modelos de janela e as orientações de implantação da fachada da sala de aula, o maior percentual de dias em conforto ocorre nos casos em que o modelo de janela M4 é adotado e a fachada principal da sala é orientada ao Sul, correspondendo a 329 dias (90,1% do ano) em Vitória e 343 dias (94,0% do ano) em Belém. Por outro lado, o menor percentual é obtido ao associar o modelo de janela M1 a orientação de implantação da fachada da sala voltada a Oeste, correspondendo a 191 dias (52,3% do ano) para Vitória e 16 dias (4,4% do ano) para

A **Tabela 13** mostra que as alterações entre os modelos de janelas propostos impactam mais os índices de conforto em Belém do que em Vitória, visto que os percentuais de aumento na quantidade de dias atingidos pelos modelos propostos (M2, M3 e M4) em relação ao modelo padrão (M1) são maiores em Belém, independente da orientação de implantação da fachada observada.

Em destaque na **Tabela 13** estão os casos em que houve o maior percentual de melhoria no conforto anual, considerando o modelo proposto em relação ao modelo padrão.

Tabela 13 - Percentual de aumento no quantitativo anual de dias em conforto referentes aos modelos de janelas propostos em função do modelo padrão.

ORIENTAÇÕES	VITÓRIA			BELÉM		
	M2	M3	M4	M2	M3	M4
NORTE	33	41	56	139	214	351
SUL	17	22	34	112	195	345
LESTE	19	26	37	194	588	1212
OESTE	21	29	48	188	550	1400

Fonte: Elaborado pela autora.

Embora em Vitória, a orientação Sul detenha os melhores índices de conforto, a maior beneficiada com a variação entre os modelos de janelas é a orientação Norte, visto que os percentuais de melhoria entre a janela padrão M1 e os modelos M2, M3 e M4, com valores de 33%, 41% e 56% respectivamente, são maiores nessa orientação comparados as demais **Tabela 13**. Tal fato pode ser proporcionado pela direção predominante dos ventos na cidade de Vitória, direção Nordeste, seguida da própria orientação Norte que apresenta frequência e velocidade dos ventos superiores as demais orientações, beneficiando o aproveitamento da ventilação natural através do aumento da taxa de ventilação nas janelas M2 (adição da pivotante horizontal superior) e M3 (adição de peitoril ventilado) seguido da adição da pivotante horizontal e do peitoril ventilado simultaneamente ao modelo M4.

Destaca-se a orientação Oeste, em Belém, como a maior beneficiada pela variação entre os modelos de janelas, onde os percentuais de melhoria entre a janela padrão M1 e os modelos M2, M3 e M4, possuem valores de 188%, 550% e 1400% respectivamente, sendo os maiores comparados as demais orientações **Tabela 13**. Tal resultado pode ser decorrente da presença da pouca ventilação existente em Belém está altamente concentrada no período vespertino, sendo inclusive mais apresenta a tarde do que a noite. Assim, apesar da incidência solar mais forte ocorrer na fachada Oeste (sol da tarde), o aumento da ventilação natural proporcionado pela maior possibilidade de área de ventilação dos modelos de janelas propostos, fazem com que os ganhos nessa orientação sejam tão significativos.

Considerando percentuais médios, obtidos entre as orientações, é possível destacar a constatação da ineficiência do modelo de janela padrão adotado (M1), situação em que o ambiente oferece, em média, 58,6% de conforto anual para Vitória e apenas

12,5% para Belém, enquanto as outras configurações propostas tornam o ambiente com percentuais médios de conforto anual de 71,6%, 75,9% e 83,9% para Vitória e 29,5%, 46,2% e 77,5% para Belém, adotando os modelos de janelas M2, M3 e M4 respectivamente. A constatação é mais agravada em relação à Belém, já que os resultados mostram que a partir de poucas alterações na configuração do modelo da janela padrão, já seria possível oferecer muito mais conforto ao usuário.

As diferenças encontradas entre Vitória e Belém são suficientemente significativas para reforçar a importância sobre a discussão da adoção do projeto escolar padronizado e dos prejuízos assumidos ao considerar Vitória e Belém pertencentes a mesma Zona Bioclimática, ficando claro que ambas possuem diferentes condições climáticas e, portanto, necessitam de estratégias projetuais individualizadas.

Por fim, outra importante observação é que embora nenhum dos modelos por si só atenda ao limite de 90% de aceitabilidade estabelecido pela Ashrae 55 (2013), o modelo M4 é o único capaz de atender ao menos o limite de 80% de aceitabilidade, tanto em Vitória quanto em Belém. Assim, se esse fosse o parâmetro de aceitabilidade adotado por esta pesquisa, o modelo de janela M4 seria o único capaz de tornar o ambiente confortável termicamente todos os dias ao longo do ano, independentemente da orientação em que a fachada da sala estivesse, o que sinaliza alguma eficiência do modelo para zonas quentes e úmidas.

4.2.2 Diagrama de fluabilidade

Para a construção do diagrama de fluabilidade, foram utilizadas as médias horárias das temperaturas operativas, extraídas como dado de saída do DesignBuilder e a temperatura mensal máxima de conforto, a partir dos quais foram calculados os valores de GhDT e FDT diários.

Para determinar os máximos valores de GhDT, tomados como referência para as demais análises, foram levantados os maiores GhDTs entre os casos simulados, por estação do ano e por cidade avaliada, conforme descreve a **Tabela 14**.

Tabela 14 - GhDT máximos referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada

CIDADES	ESTAÇÕES	MODELOS	GhDT (°C.h/dia) - Data da observação			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
VITÓRIA	VERÃO	M1	59,15 - 03/fev	61,37 - 03/fev	79,25 - 16/fev	91,46 - 03/fev
		M2	36,97 - 03/fev	45,18 - 03/fev	57,55 - 16/fev	71,20 - 03/fev
		M3	37,27 - 03/fev	42,33 - 03/fev	53,24 - 16/fev	65,37 - 03/fev
		M4	32,04 - 3/fev	31,02 - 03/fev	43,43 - 18/fev	47,61 - 04/fev
	OUTONO	M1	60,23 - 12/abr	46,33 - 24/mar	64,73 - 24/mar	72,34 - 24/mar
		M2	41,03 - 12/abr	31,49 - 24/mar	47,08 - 24/mar	52,61 - 24/mar
		M3	35,14 - 12/abr	29,63 - 24/mar	42,83 - 24/mar	47,38 - 24/mar
		M4	28,08 - 12/abr	22,98 - 24/mar	35,88 - 24/mar	33,65 - 24/mar
	INVERNO	M1	39,22 - 05/jul	31,76 - 14/set	47,26 - 14/set	53,28 - 20/set
		M2	22,09 - 14/set	17,92 - 20/set	30,75 - 14/set	35,34 - 20/set
		M3	21,69 - 14/set	17,51 - 20/set	29,17 - 14/set	32,28 - 20/set
		M4	17,94 - 20/set	14,27 - 20/set	23,36 - 20/set	22,47 - 20/set
	PRIMAVERA	M1	34,49 - 15/dez	39,10 - 15/dez	47,37 - 29/nov	57,44 - 29/nov
		M2	17,56 - 14/dez	25,04 - 15/dez	29,92 - 29/nov	37,99 - 29/nov
		M3	17,23 - 15/dez	21,80 - 15/dez	26,93 - 29/nov	34,39 - 29/nov
		M4	15,28 - 13/nov	15,74 - 14/dez	22,65 - 13/nov	23,11 - 13/nov
BELÉM	VERÃO	M1	45,50 - 09/fev	48,48 - 09/fev	58,50 - 22/fev	63,41 - 09/fev
		M2	27,61 - 09/fev	30,91 - 09/fev	40,42 - 22/fev	42,83 - 09/fev
		M3	25,25 - 09/fev	27,14 - 09/fev	34,47 - 22/fev	37,11 - 09/fev
		M4	20,53 - 09/fev	21,00 - 09/fev	27,68 - 22/fev	27,72 - 09/fev
	OUTONO	M1	64,44 - 08/jun	54,40 - 09/jun	66,17 - 08/jun	78,70 - 01/mai
		M2	45,32 - 08/jun	37,55 - 09/jun	47,77 - 01/mai	58,57 - 01/mai
		M3	38,74 - 08/jun	34,07 - 09/jun	42,72 - 08/jun	50,79 - 01/mai
		M4	30,81 - 08/jun	26,54 - 08/jun	37,27 - 08/jun	37,33 - 01/mai
	INVERNO	M1	58,08 - 28/jul	47,90 - 28/jul	65,74 - 28/jul	76,32 - 28/jul
		M2	39,30 - 28/jul	31,17 - 28/jul	46,03 - 28/jul	56,22 - 28/jul
		M3	35,23 - 28/jul	30,18 - 28/jul	42,46 - 28/jul	49,96 - 28/jul
		M4	28,79 - 28/jul	25,27 - 28/jul	36,88 - 28/jul	38,25 - 28/jul
	PRIMAVERA	M1	42,65 - 14/dez	50,55 - 13/dez	54,42 - 01/dez	64,61 - 11/out
		M2	25,86 - 01/dez	33,12 - 13/dez	36,67 - 01/dez	45,56 - 13/dez
		M3	24,68 - 10/out	28,39 - 01/dez	33,35 - 01/dez	38,80 - 10/out
		M4	20,92 - 10/out	23,14 - 11/dez	29,13 - 11/dez	30,76 - 10/out

GhDT: Graus-horas de desconforto; FDT: Frequência de desconforto

Fonte: Elaborado pela autora.

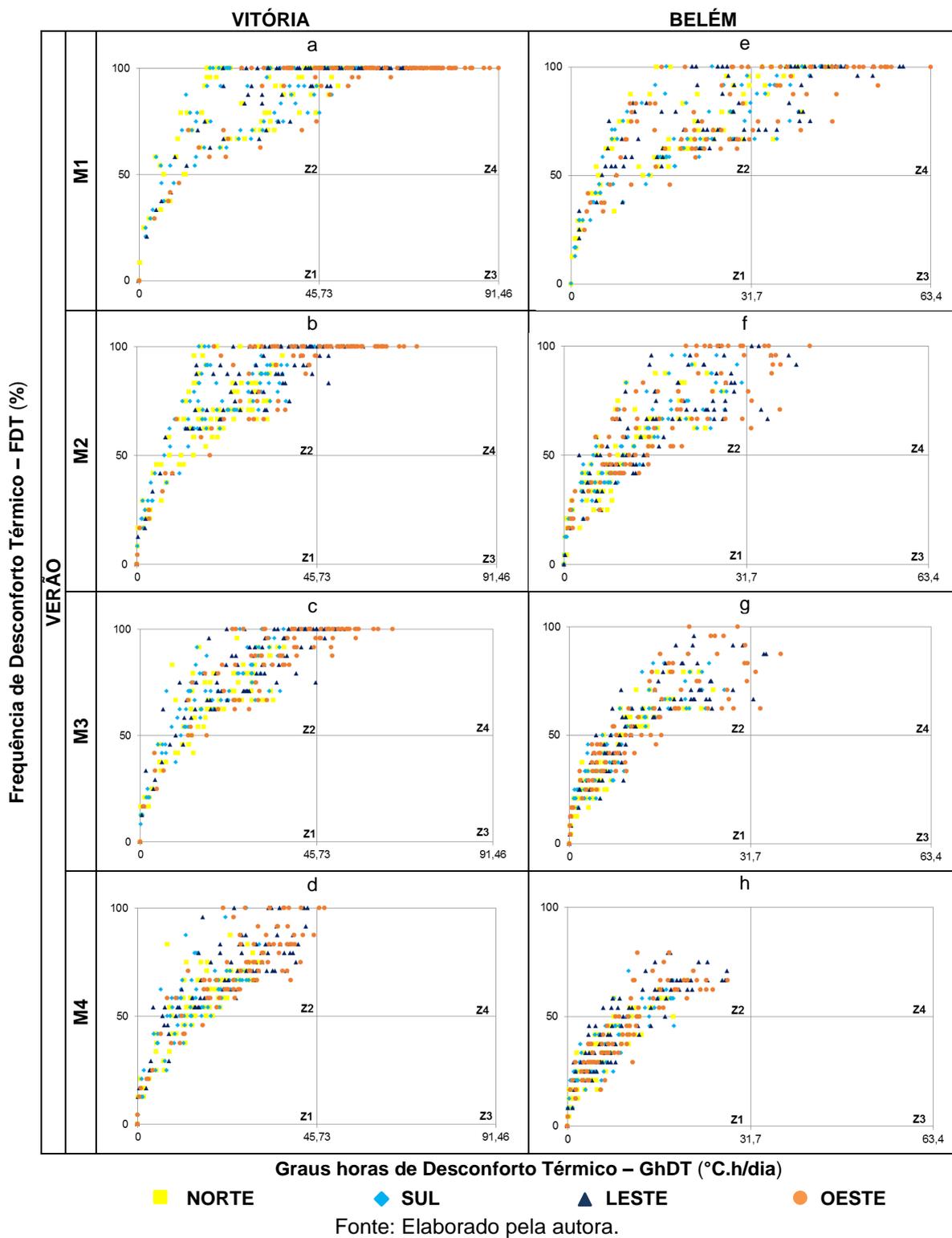
A seguir serão apresentados os diagramas de flutuabilidades e os gráficos com os valores de GhDT e FDT acumulados, organizados por estação do ano.

a) Verão

A **Tabela 14** apresenta os diagramas de flutuabilidades da estação do verão para cada modelo de janela associado ao uso da porta principal da sala fechada (PF),

onde as quatro orientações de implantação são representadas no mesmo sistema cartesiano.

Figura 32 - Diagramas de fluvariabilidades referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação do verão.



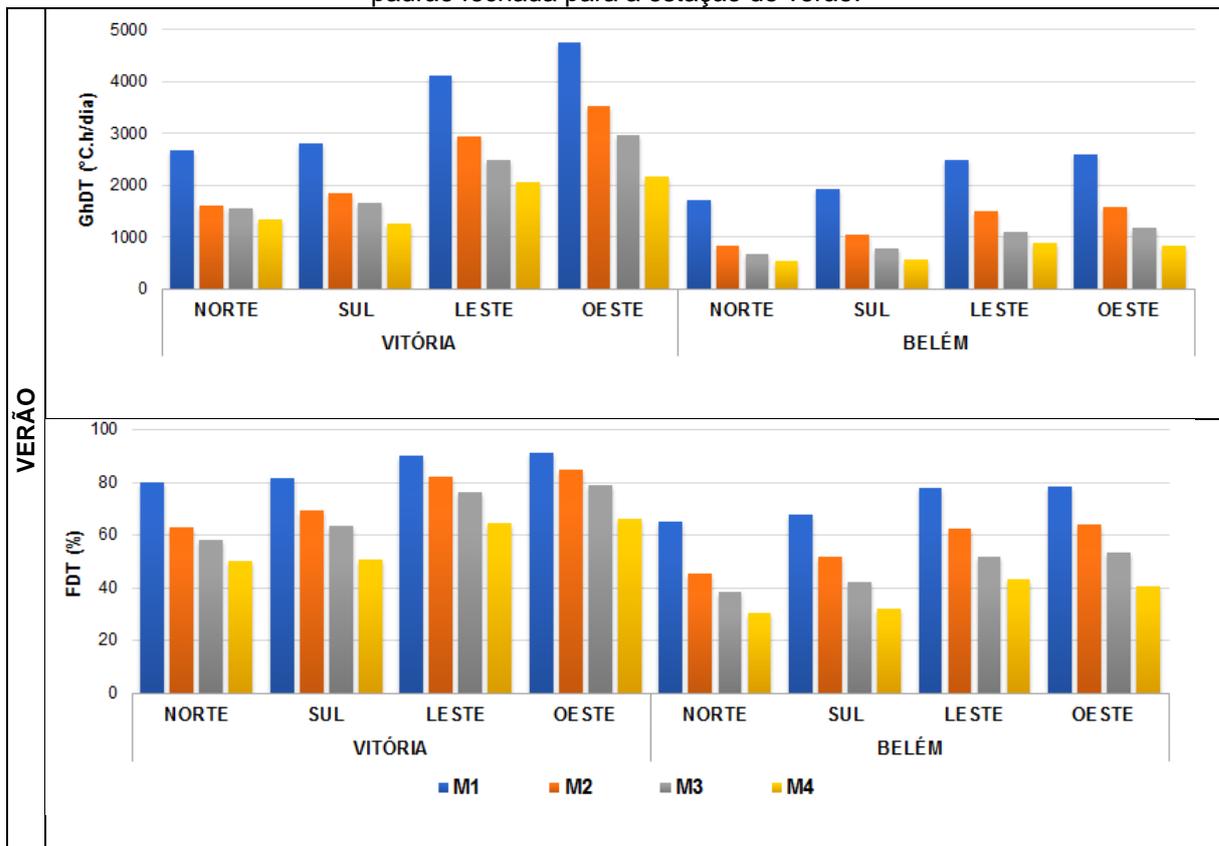
Olhando para os diagramas de Vitória **Figura 32a, b, c e d**, observa-se que a maior parte dos pontos estão distribuídos ao longo das zonas 1 e 2, com maior concentração na zona 2 (desconforto leve e frequente). Além disso, para os quatro modelos de janela, aparecem pontos com FDT = 100% (desconforto ao longo de todo o dia), sendo que no caso da janela M1, modelo padrão, a quantidade de pontos se intensifica, de forma que para esse caso, tem-se muitos dias com desconforto intenso ao longo de todo o dia, além de apresentar o valor máximo de GhDT diário encontrado ao adotar a porta principal da sala de aula fechada (PF), na estação do verão (GhDT = 91,46°C.h/dia).

Em Belém (**Tabela 14 32e, f, g e h**), o verão conta com a maior parte dos pontos distribuídos entre as zonas 1 e 2, onde o desconforto é leve, variando entre temporário (zona 1) e frequente (zona 2), sendo que, para os modelos M1, M2 e M3, os pontos estão mais presentes na zona 2. Além disso, ao adotar o modelo M1, nota-se uma quantidade grande de pontos pertencentes a zona 4, com desconforto intenso e frequente, além de uma grande quantidade de pontos em que o FDT = 100%, ou seja, que o desconforto ocorre ao longo de todo o dia. É também com o modelo M1 que ocorre o valor máximo de GhDT diário encontrado ao adotar a porta principal da sala de aula fechada (PF), na estação do verão (GhDT = 63,40°C.h/dia).

Ao comparar o comportamento geral dos gráficos à medida que os modelos de janela são alterados entre M1-M2-M3-M4, observa-se que há um padrão de melhoria nos índices de conforto, visto que os pontos vão se aproximando mais da origem dos diagramas, representando assim melhores condições de conforto térmico. Outro destaque entre Vitória e Belém é referente aos dias em que o desconforto perdura o dia inteiro (FDT = 100%), o diagrama mostra que em Belém, com o modelo M4, não há mais dias com FDT = 100%, enquanto em Vitória continuam a ocorrer. Sobre a mesma questão, observando o modelo M3, é possível observar que a quantidade de dias em que o FDT = 100% também é bem mais expressivo em Vitória, enquanto em Belém, isso acontece muito pontualmente.

Os gráficos seguintes, **Tabela 14 33**, apresentam os valores de GhDT e FDT acumulados durante a estação do verão para os modelos de janela associados ao uso da porta fechada (PF).

Figura 33 - Somatório de GhDT e FDT referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação do verão.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os gráficos da **Figura 34** mostram que em Vitória o conforto máximo ocorre com implantação da fachada principal da sala voltada ao Norte, quando os modelos de janela M1, M2 e M3 acumulam os valores de GhDT iguais a (2675,5; 1598,1; 1556,8)(°C.h/estação) e FDT variando entre (80,1; 62,9; 58,2)(%), respectivamente. Para o modelo de janela M4, esse resultado é obtido quando a fachada é voltada ao Sul, onde o GhDT = 1269,2°C.h/estação e o FDT = 50% .

Para a cidade de Belém, em todos os modelos de janelas testados, os melhores resultados com relação à magnitude e a frequência do desconforto, são obtidos quando a fachada principal da sala de aula é orientada ao Norte, obtendo assim os menores somatório de GhDT e FDT referentes ao período do verão, são eles: GhDT iguais a (1702,9; 840,7; 683,7; 538,9)(°C.h/estação) e FDT nos valores de (65,1; 45,2; 38,1; 30,4)(%), considerando as janelas M1, M2, M3 e M4 respectivamente.

O desconforto de maior magnitude e frequência, tanto em Vitória quanto em Belém, para todos os modelos de janela testados, é registrado quando a fachada está

orientada a Oeste, podendo ocorrer desconforto em até 91% do período do verão para Vitória, sendo esse marco registrado pelo modelo padrão M1 com GhDT = 4738,7°C.h/estação. De forma mais atenuada em Belém, o desconforto pode ocorrer em até 78% do verão, sendo verificado ao adotar, também, o modelo padrão M1 com GhDT = 2599,3°C.h/estação.

Traçando um comparativo entre as respectivas situações (modelo de janela e orientação) em cada cidade, os gráficos da **Figura 34** permitem concluir que, na estação do verão, o desconforto em Vitória é mais expressivo do que em Belém, sendo constatado pelos maiores valores de GhDT e FDT em cada caso, respectivamente.

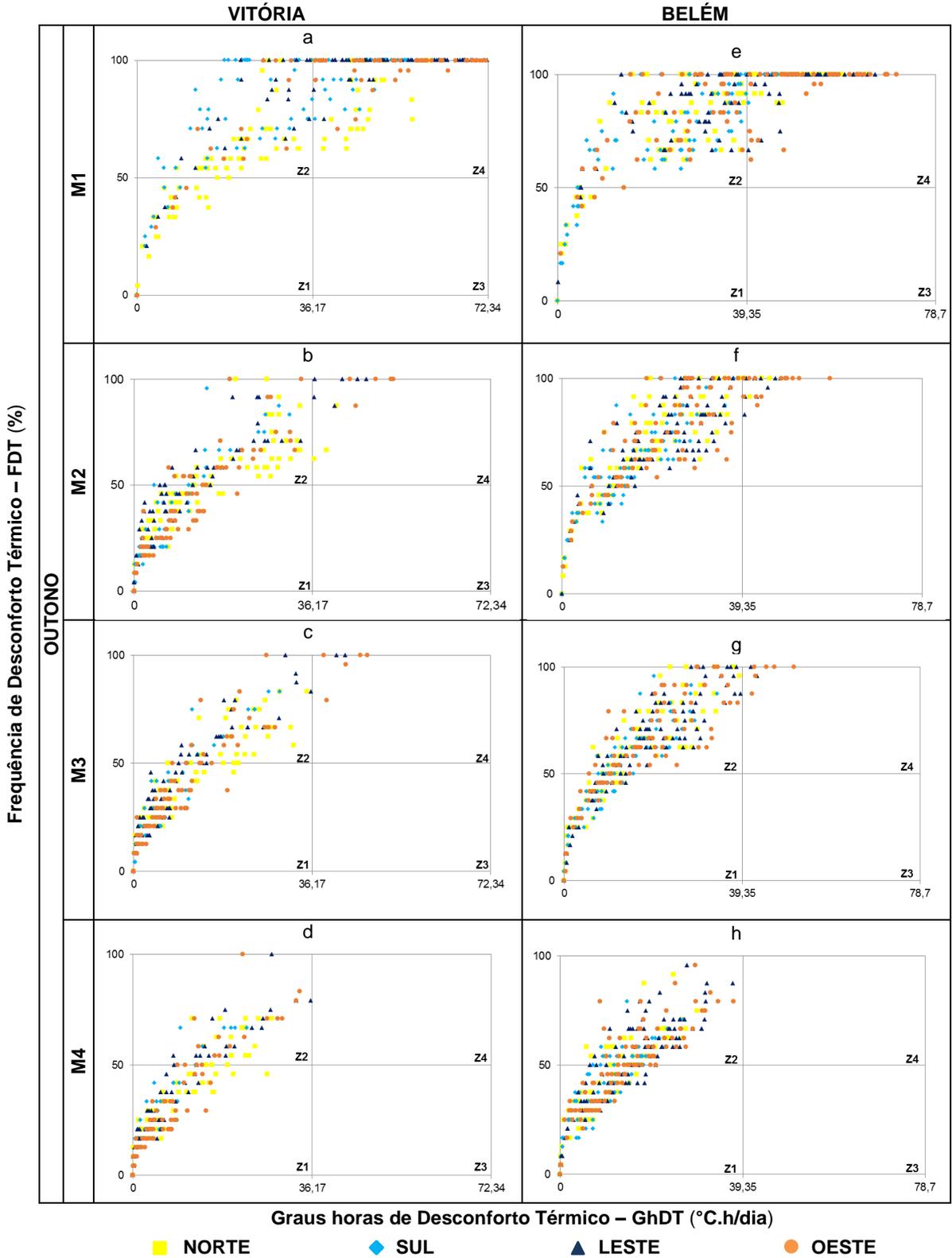
Considerando o uso da porta padrão fechada (PF), para obter os menores valores de GhDT e FDT durante o verão e conseqüentemente atenuar os índices de conforto térmico, considerando 90% de aceitabilidade, a indicação é que seja adotado o modelo de janela M4 orientando a fachada da sala ao Sul para Vitória, onde os valores correspondem a GhDT = 1269,2°C.h/estação e FDT = 50,7% e orientando ao Norte para Belém, com somatórios equivalentes a (GhDT = 538,9°C.h/estação e FDT = 30,4%).

Por fim, é importante enfatizar também, que ao contrário de Belém, para a cidade de Vitória, é evidente que a estação do verão é a mais crítica, oferecendo os maiores índices de desconforto diários encontrados ao longo do ano, sendo assim, uma estação que merece ser examinada com atenção por projetistas, para que sejam propostas ao edifício estratégias visando o aumento do seu desempenho, principalmente, na estação do verão. Dessa forma, a edificação, provavelmente terá bom desempenho ao longo das demais estações do ano. Já em Belém, a estação do verão apresenta condições mais confortáveis que as demais estações do ano, acumulando os menores valores de GhDT e FDT para todos os modelos de janela e orientações analisadas, dessa forma é recomendável que durante a fase de projeto, estações mais críticas sejam privilegiadas para fazer análises de conforto térmico.

b) Outono

A **Figura 34** apresenta os diagramas de fluvariabilidades da estação do outono para cada modelo de janela associado ao uso da porta principal da sala fechada (PF).

Figura 34 - Diagramas de fluvariabilidades referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação do outono.



Fonte: Elaborado pela autora.

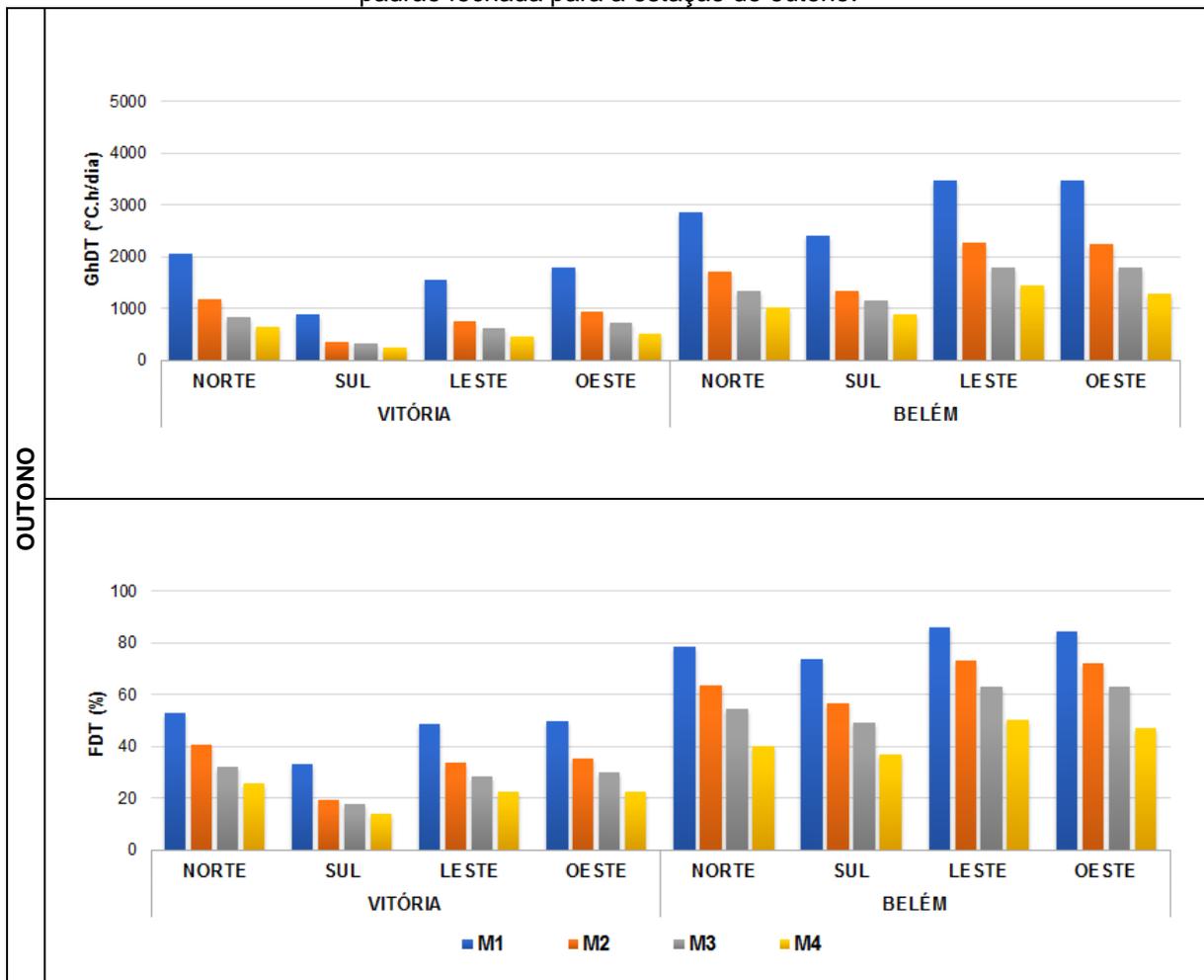
Em Vitória, observando os diagramas das **Figura 34a, b, c e d** é possível verificar que, de forma geral, para os modelos de janelas, os pontos estão distribuídos, majoritariamente, entre as zonas 1 e 2, onde o desconforto térmico é caracterizado como leve e temporário (zona 1) e leve e frequente (zona 2). Além disso, com a adoção do modelo M1, são identificados uma grande quantidade de dias com desconforto intenso e frequente, ou seja, pertencentes a zona 4, além de apresentar o valor máximo de GhDT diário encontrado ao adotar a porta principal da sala de aula fechada (PF), na estação do outono (GhDT = 72,34°C.h/dia).

Para Belém, os diagramas das **Figura 34e, f, g e h** mostram que a maior parte dos pontos estão distribuídos ao longo das zonas 1 e 2, com maior concentração na zona 2, mostrando que a maior parte dos dias da estação, contam com desconforto leve, porém frequente, sendo que vários desses dias apresentam FDT = 100% (desconforto ao longo de todo o dia), com exceção do modelo M4. Além disso, os modelos M1, M2 e M3 apresentam pontos presentes na zona 4, com desconforto intenso e frequente. Com o modelo M1 ocorre o valor máximo de GhDT diário encontrado ao adotar a porta principal da sala de aula fechada (PF), na estação do outono (GhDT = 78,70°C.h/dia).

Comparando o comportamento geral dos gráficos à medida que os modelos de janela são alterados entre M1-M2-M3-M4, observa-se que há um padrão de melhoria nos índices de conforto, visto que os pontos vão se aproximando mais da origem dos diagramas, representando assim melhores condições de conforto. Com relação aos dias que contam com desconforto máximo (FDT – 100%), eles são mais frequentes em Belém, no entanto também ocorrem em grande quantidade para o modelo M1 em Vitória. Quanto a magnitude do desconforto, tanto em Vitória quanto em Belém, ela deixa de ser intensa somente com a adoção do modelo de janela M4.

Os gráficos mostrados na **Figura 35** apresentam os valores de GhDT e FDT acumulados durante a estação do outono para os modelos de janela associados ao uso da porta fechada (PF).

Figura 35 - Somatório de GhDT e FDT referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação do outono.



Fonte: Elaborado pela autora.

Avaliando os somatórios GhDT e FDT para a estação do outono (**Figura 35**), é possível ver que, tanto para Vitória quanto para Belém, os menores valores acumulados ao examinar todos os modelos de janela estudados são obtidos com a implantação da fachada principal da sala de aula voltada ao Sul, sendo os valores de GhDT correspondentes a (898,0; 359,4; 315,9; 241,6)(°C.h/estação) e de FDT iguais a (33,0; 19,2; 17,6; 14,1)(%) para os modelos de janelas M1, M2, M3 e M4 respectivamente, na cidade de Vitória. Já em Belém, os valores acumulados para o GhDT são (2393,4; 1351,5; 1158,2; 890,3)(°C.h/estação) e para o FDT são (73,5; 56,5; 49,2; 37,0)(%), considerando os modelos de janela M1, M2, M3 e M4 respectivamente.

O maior desconforto observado no outono de Vitória, para todos os modelos de janela testados, ocorre com implantação voltada ao Norte, situação em que os maiores valores de GhDT e FDT são acumulados, registrando GhDTs de (2064,4;

1172,4; 839,9; 653,9)(°C.h/estação) e FDTs nos valores de (52,8; 40,6; 32,3; 25,5)(%), destacando a possibilidade do desconforto presente em mais de 50% da estação, quando a janela padrão M1 é adotada. Já em Belém, ao avaliar a magnitude do desconforto, os maiores valores de GhDT, para os modelos de janela M1, M2 e M3 ocorrem com implantação voltada a Oeste, correspondendo a (3469,7; 2250,9; 1802,0)(°C.h/estação) respectivamente, enquanto para M4, a orientação mais crítica é a Leste, com GhDT = 1438,0°C.h/estação. Porém ao avaliar a frequência do desconforto, observa-se que os maiores valores de FDT são constatados, em todos os modelos de janela, com orientação voltada a Leste, podendo ocorrer desconforto em até 86% do período dessa estação, quando o modelo padrão é adotado, sendo registrado nesse caso o valor de GhDT = 3465,9°C.h/estação.

Estabelecendo um comparativo entre as respectivas situações (modelo de janela e orientação) em cada cidade, os gráficos da **Figura 35** mostram que a estação do outono promove mais conforto em Vitória, visto que os somatórios, tanto de GhDT quanto de FDT, são os menores.

A estação do outono em Belém, representa uma estação que requer atenção, visto que salvo algumas exceções que serão comentadas a partir das próximas estações, ela apresentou os maiores somatórios de GhDT e FDT, comparados as demais estações do ano, ou seja, é uma estação cuja análise deve ser priorizada em estudos de conforto térmico para a cidade de Belém.

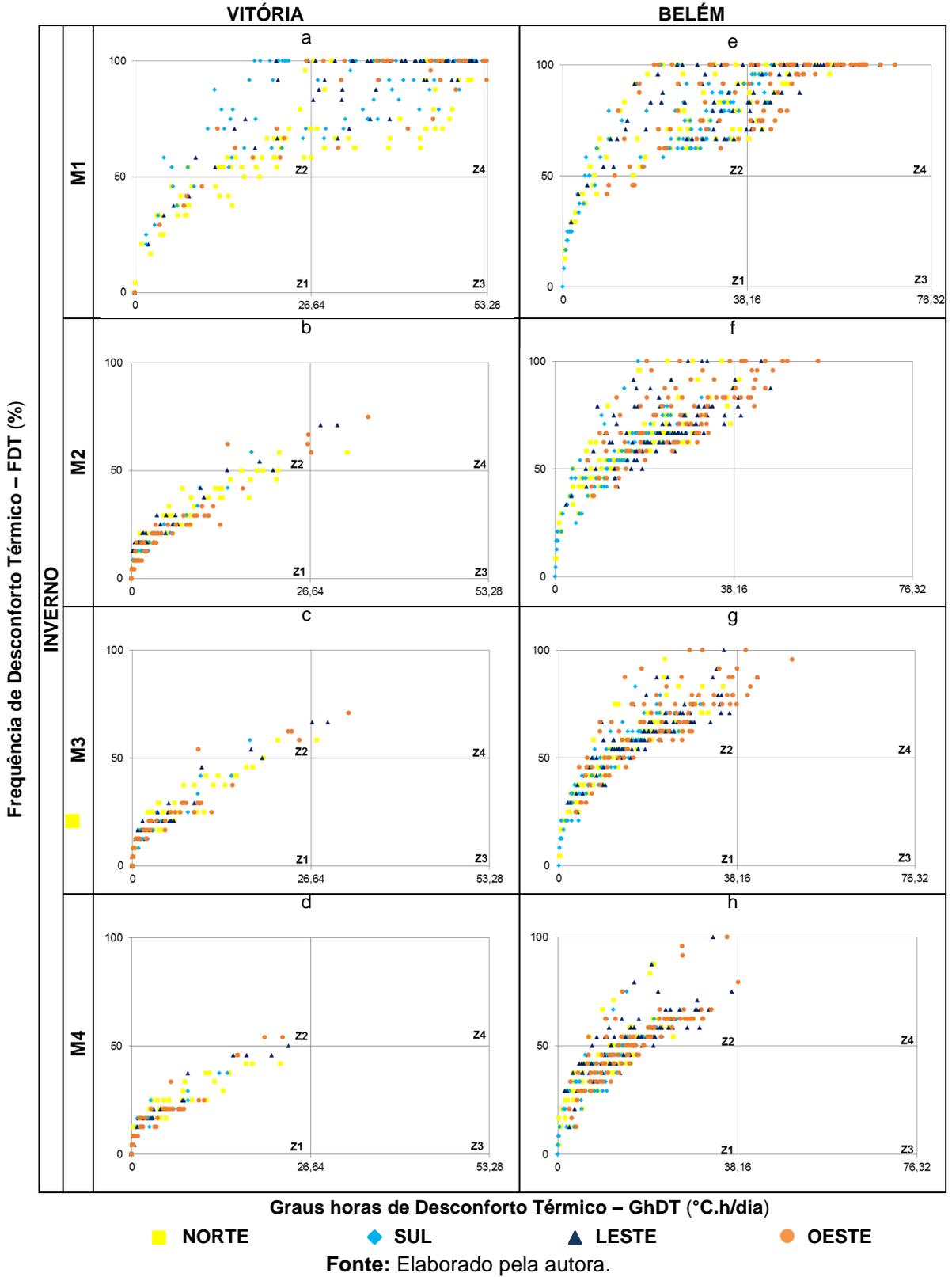
Por fim, considerando o uso da porta da sala fechada (PF), os menores valores de GhDT e FDT durante o outono, são registrados para o modelo de janela M4 com implantação da sala de aula voltada ao Sul tanto em Vitória quanto em Belém, onde os somatórios correspondem a GhDT = 241,6°C.h/estação e FDT = 14,6% para Vitória e GhDT = 890,3°C.h/estação e FDT = 37,0% para Belém. Entretanto ressalta-se que o outono em Vitória não é uma estação tão significativa do ponto de vista do desconforto térmico, visto que as temperaturas são mais brandas em relação ao verão. Quanto a melhor orientação de implantação da fachada principal, Sul, é possível inferir que nesta estação em especial, a escolha da orientação correta proporciona melhorias significativamente superior as orientações Norte,

Leste e Oeste, como pode ser visto na **Figura 35**, tornando-se uma variável que merece atenção especial na fase de projeto.

c) Inverno

A **Figura 36** apresenta os diagramas de flutuabilidades da estação do inverno para cada modelo de janela associado ao uso da porta principal da sala fechada (PF) para Vitória e Belém, onde as quatro orientações de implantação são representadas no mesmo sistema cartesiano.

Figura 36 - Diagramas de fluvariabilidades referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação do inverno



Em Vitória, considerando os modelos de janela M2, M3 e M4 testados (Figura 36a, b, c e d), é possível observar uma maior concentração de pontos na zona 1, onde o

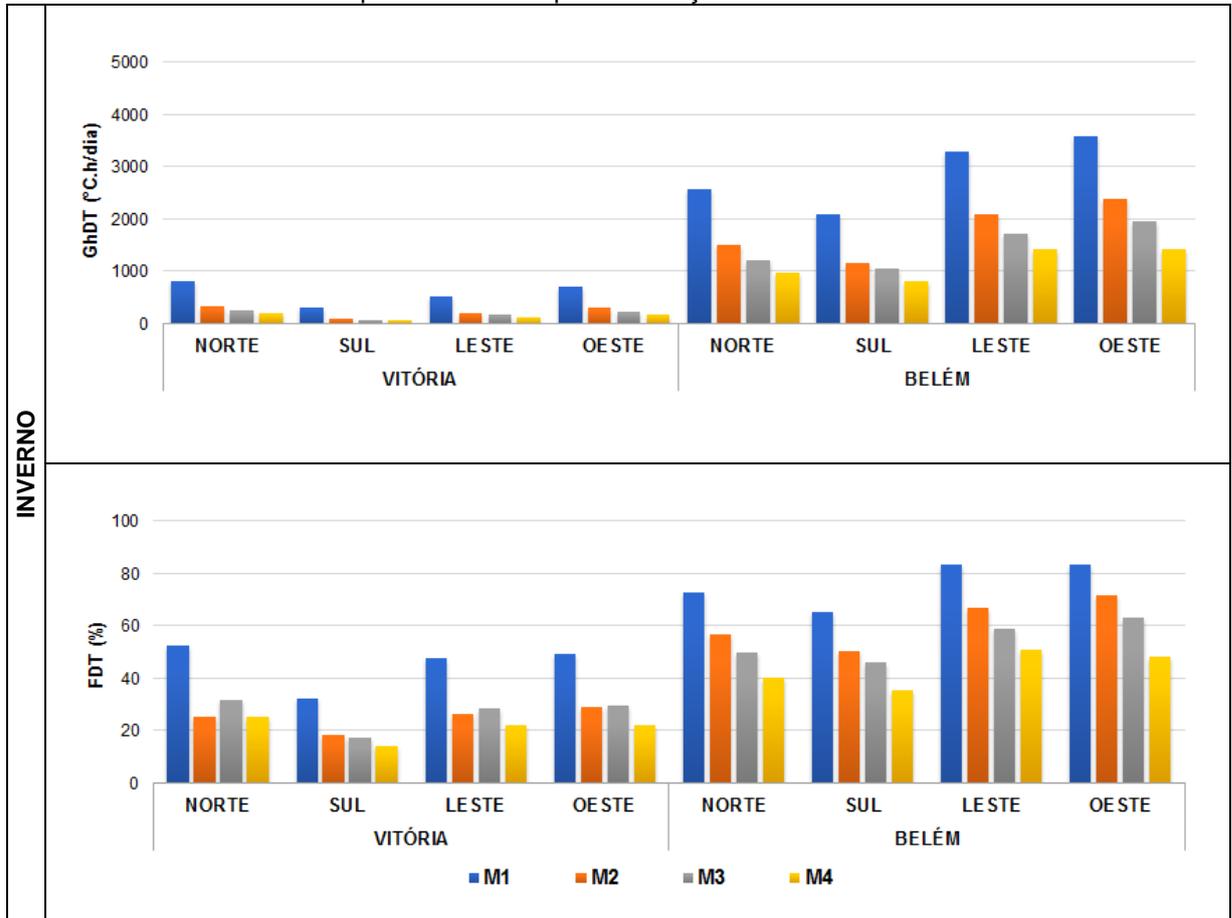
desconforto é leve e temporário, sendo que há ainda alguns pontos pertencentes a zona 2 (desconforto leve e frequente) e zona 4 (desconforto intenso e frequente) para o modelo de janela padrão M1, onde também ocorre o valor máximo de GhDT diário encontrado ao adotar a porta principal da sala de aula fechada (PF), na estação do inverno (GhDT = 53,28°C.h/dia). Os diagramas do inverno de Vitória comprados aos das demais estações, permitem inferir, considerando os quatro modelos de janelas e as quatro orientações estudadas, que a menor quantidade de dias desconfortáveis ocorrem nesta estação do ano.

Já em Belém, para todos os modelos de janelas (**Figura 36e, f, g e h**), observa-se uma grande quantidade de pontos distribuídos entre as zonas 1 e 2, proporcionando desconforto diário leve, mas do tipo temporário (zona 1) ou frequente (zona 2). Para o modelo M1, é possível verificar também, a existência de uma grande quantidade de dias em que o desconforto é intenso e frequente (zona 4), no entanto o maior destaque é para a quantidade de dias em que o desconforto ocorre durante todo o dia (FDT = 100%). Situação que se repete em menores proporções ao adotar a janela M2 e de forma muito pontual para as janelas M3 e M4. Com o modelo M1 ocorre o valor máximo de GhDT diário encontrado ao adotar a porta principal da sala de aula fechada (PF), na estação do inverno (GhDT = 76,32°C.h/dia).

Comparando o comportamento geral dos resultados à medida que os modelos de janela são alterados entre M1-M2-M3-M4, observa-se que há um padrão de melhoria nos índices de conforto, visto que os pontos vão se aproximando mais da origem dos diagramas, representando assim melhores condições de conforto, porém tanto a quantidade de dias desconfortáveis quanto a intensidade e frequência do desconforto na estação do inverno são completamente diferentes entre Vitória e Belém, como pode ser visto pela quantidade e posicionamento dos pontos ao longo dos diagramas da **Figura 36**. Enquanto Vitória conta com uma grande quantidade de pontos aglomerados, próximo a origem, na zona 1, Belém conta com pouquíssimos pontos na mesma região, isto demonstra que mesmo quando o desconforto é considerado temporário, ele ainda está presente em uma grande parte do dia na cidade de Belém, na estação do inverno.

Os gráficos mostrados na Figura 37 apresentam os valores de GhDT e FDT acumulados durante a estação do inverno para os modelos de janela associados ao uso da porta fechada (PF).

Figura 37 - Somatório de GhDT e FDT referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação do inverno.



Fonte: Elaborado pela autora.

Avaliando os somatórios GhDT e FDT para a estação do outono (**Figura 37**), é possível ver que, tanto para Vitória quanto para Belém, os menores valores acumulados ao examinar todos os modelos de janela estudados são obtidos com a implantação da fachada principal da sala de aula voltada ao Sul, sendo os valores de GhDT correspondentes a (307,0; 87,9; 83,9; 68,0)(°C.h/estação) e de FDT iguais a (32,3; 18,3; 17,6; 14,1)(%) para os modelos de janelas M1, M2, M3 e M4 respectivamente, na cidade de Vitória. Já em Belém, os valores acumulados para o GhDT são (2108,8; 1177,4; 1066,2; 827,1)(°C.h/estação) e para o FDT são (65,5; 50,5; 46,1; 35,4)(%), considerando os modelos de janela M1, M2, M3 e M4 respectivamente.

Em Vitória, ao avaliar a magnitude do desconforto, os maiores valores de GhDT, considerando todos os modelos de janela, ocorrem com implantação da fachada voltada ao Norte, correspondendo a GhDTs de (817,3; 345,6; 254,2; 202,8)(°C.h/estação) para os modelos de janelas M1, M2 M3 e M4 respectivamente. Porém ao avaliar a frequência do desconforto, por meio do FDT, observa-se que os maiores valores são constatados na orientação Norte para os modelos de janela M1(52,4%), M3(32,1%) e M4(25,4%) e na orientação Oeste para o modelo de janela M2(29,2%). Em Belém o maior desconforto observado no inverno, para todos os modelos de janela examinados, ocorre com implantação voltada a Oeste, situação em que os valores de GhDTs registrados são (3588,2; 2399,2; 1961,3; 1432,1)(°C.h/estação e os valores de FDT acumulados são (83,6; 71,6; 63,3; 48,6)(%).

Estabelecendo um comparativo entre as respectivas situações (modelo de janela e orientação) em cada cidade, os gráficos da **Figura 37** mostram que a estação do inverno promove mais conforto em Vitória, visto que tanto os somatórios de GhDT quanto de FDT são significativamente menores comparados a Belém.

No inverno, considerando o uso da porta fechada (PF), os menores valores de GhDT e FDT para Vitória (GhDT = 68,0°C.h/estação e FDT = 14,1%) e para Belém (GhDT = 827,1°C.h/estação e FDT = 35,4%) são alcançados pelo modelo de janela M4 associado a implantação voltada ao Sul tanto para Vitória quanto para Belém, corroborando com os resultados encontrados na estação do outono para Vitória e Belém.

O inverno de Vitória, em oposição total ao verão, acumula os menores índices de desconforto térmico, excetuando-se apenas a orientação de implantação da fachada voltada ao Norte para todos os modelos de janela, situação em que os valores acumulados de GhDT e FDT são inferiores aos respectivos das estações do verão e do outono, mas superiores aos respectivos da estação da Primavera. Esse resultado pode ser justificado pela diferença entre a inclinação da incidência solar do inverno e da primavera, além da velocidade e frequência dos ventos da direção Norte serem superiores na primavera, comparados ao inverno. Em relação à adoção dos modelos

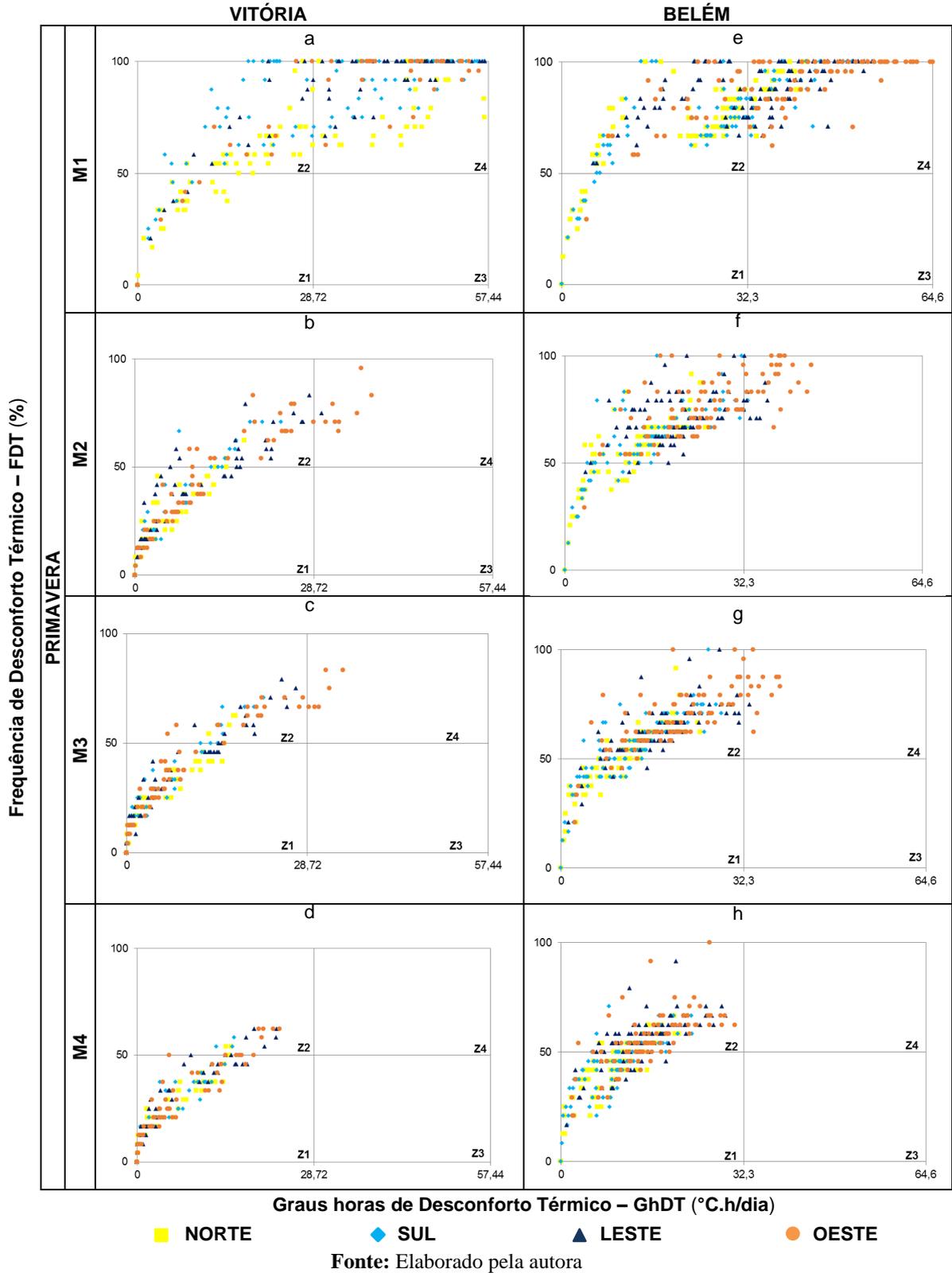
associados as orientações Sul, Leste e Oeste, os resultados acumulados de GhDT e FDT no inverno atingem, no máximo, a metade dos respectivos valores das outras estações do ano. Devido a estação do inverno ser considerada com características extremas, assim como o verão, torna-se fundamental destinar atenção especial a ela, assim como ao verão, a fim de definir estratégias projetuais que sejam capazes de proporcionar o melhor conforto possível ao usuário, de forma passiva.

Por fim, a estação do inverno em Belém, no geral, apresentou dados inferiores aos do outono, no entanto, bem próximos, configurando-se em uma estação que também precisa ser bem avaliada para a definição de estratégias projetuais, principalmente, porque quando a fachada está orientada a Oeste, em todos os modelos de janelas, os valores de GhDT foram superiores aos respectivos encontrados na orientação Oeste do outono, além de serem também superiores aos respectivos valores para as orientações Norte, Sul e Leste dentro da mesma estação, o inverno. Assim, a orientação Oeste pode ser considerada crítica no inverno, por isso, estudar a orientação das fachadas, durante a fase projetual, é extremamente importante para avaliar o conforto térmico no inverno de Belém.

d) Primavera

A **Figura 38** apresenta os diagramas de flutuabilidades da estação da primavera para cada modelo de janela associado ao uso da porta principal da sala fechada (PF) para Vitória e Belém, onde as quatro orientações de implantação são representadas no mesmo sistema cartesiano.

Figura 38 - Diagramas de fluvariabilidades referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação da primavera.



Em Vitória (**Figura 38a, b, c e d**), na estação da primavera, ao adotar o modelo de janela padrão M1 associado ao uso da porta fechada (PF), o diagrama mostra uma

grande quantidade de pontos distribuídos entre as zonas 1 e 2, onde o desconforto é leve com variação entre temporário e frequente, além disso, em alguns dias, observa-se que o desconforto passa a ser intenso, além de frequente, sendo caracterizado pelos pontos que estão na zona 4. Além disso, com o modelo de janela padrão M1, também ocorre o valor máximo de GhDT diário encontrado ao adotar a porta principal da sala de aula fechada (PF), na estação da primavera (GhDT = 57,44°C.h/dia).

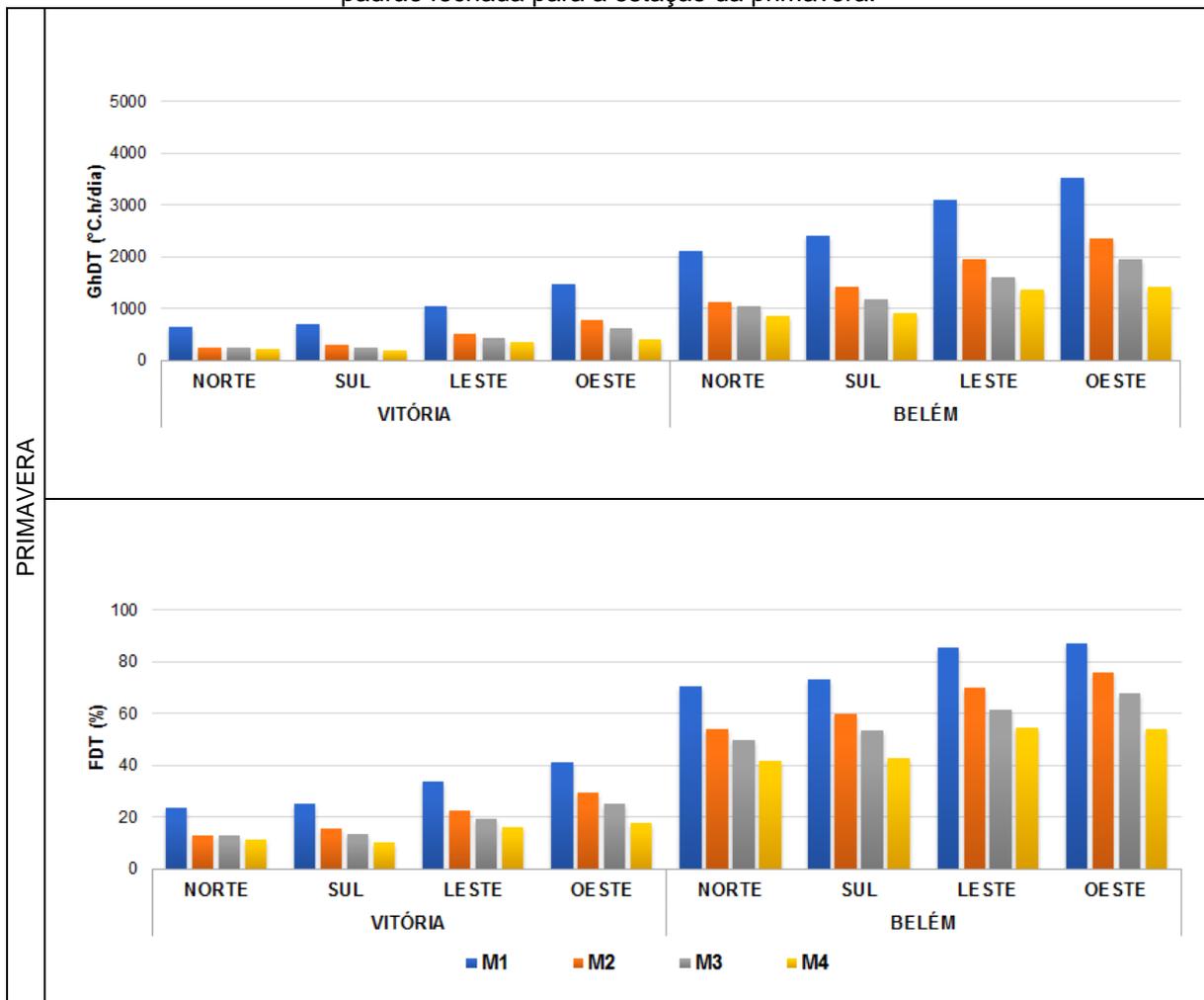
Para Belém (**Figura 38e, f, g e h**), nota-se uma grande concentração de pontos pertencentes a zona 2, isto caracteriza dias com desconforto leve, porém frequente. Para o modelo de janela M1, ocorre uma grande quantidade de pontos com FDT = 100%, ou seja, com desconforto ao longo de todo o dia, além de possuir o maior valor de GhDT diário encontrado ao adotar a porta principal da sala de aula fechada (PF), na estação da primavera (GhDT = 64,60°C.h/dia).

Estabelecendo um comparativo geral entre os gráficos à medida que os modelos de janela são alterados entre M1-M2-M3-M4, observa-se que há um padrão de melhoria nos índices de conforto, visto que os pontos vão se aproximando mais da origem dos diagramas, representando assim melhores condições de conforto. Por outro lado, ao comparar os respectivos casos entre Vitória e Belém, percebe-se que o desconforto, na estação da primavera, é mais intenso e frequente em Belém.

Outra questão que se opõe entre Vitória e Belém, refere-se à ausência de pontos na região próxima a origem (zona 1), onde constam os menores valores de GhDT e FDT e conseqüentemente o desconforto mais brando, ou seja, enquanto em Vitória é possível notar um grande aglomerado de pontos nesta região, em Belém existe um grande vazio na mesma região.

Os gráficos mostrados na Figura 39 apresentam os valores de GhDT e FDT acumulados durante a estação da primavera para os modelos de janela associados ao uso da porta fechada (PF).

Figura 39 - Somatório de GhDT e FDT referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada para a estação da primavera.



Em Vitória, ao avaliar a magnitude do desconforto na estação da primavera, por meio do GhDT e do FDT (**Figura 39**), observa-se que os menores valores são constatados na orientação Norte para os modelos de janelas M1(GhDT = 636,0°C.h/estação e FDT = 23,5%), M2(GhDT = 246,6°C.h/estação e FDT = 13,0%) e M3(251,0°C.h/estação e FDT = 12,8%) e na orientação Sul para o modelo de janela M4(GhDT = 203,1°C.h/estação e FDT = 10,5%).

Para a cidade de Belém, em todos os modelos de janelas averiguados, os melhores resultados com relação à magnitude e a frequência do desconforto, são obtidos quando a fachada principal da sala de aula é orientada ao Norte, obtendo assim os menores valores de GhDT e FDT acumulados referentes ao período da primavera, correspondendo aos quantitativos de GhDT iguais a (2118,1; 1128,2; 1037,7;

859,5)(°C.h/estação) e FDT iguais a (70,5; 53,8; 49,8; 41,7)(%) para os modelos de janelas M1, M2 e M3 e M4 respectivamente.

O desconforto de maior magnitude e frequência, tanto em Vitória quanto em Belém, para todos os modelos de janela investigados, é registrado quando a fachada está orientada a Oeste, podendo ocorrer desconforto em até 41% da primavera para Vitória, sendo esse valor atingido pelo modelo de janela M1 com GhDT = 1474,8°C.h/estação e em até 87% da primavera para Belém, sendo esse valor atribuído, também, ao modelo de janela padrão M1 com GhDT = 3536,9°C.h/estação.

Estabelecendo um comparativo entre as respectivas situações (modelo de janela e orientação) em cada cidade, os gráficos da **Figura 39** permitem concluir que, na estação da primavera, o desconforto em Belém é mais expressivo, sendo constatado pelos maiores valores de GhDT e FDT em cada caso respectivamente.

Considerando o uso da porta fechada (PF), os menores valores de GhDT e FDT durante a primavera, são alcançados pelo modelo de janela M4 com implantação da fachada da sala de aula voltada ao Sul para Vitória, correspondendo aos valores de GhDT = 203,1°C.h/estação e FDT = 10,5% e voltada ao Norte para Belém, com GhDT = 859,5°C.h/estação e FDT = 41,7%, corroborando com os resultados encontrados na estação do verão para Vitória e Belém.

A primavera de Vitória não é uma estação que requeira atenção especial, devido às suas condições climáticas serem intermediárias, em relação às demais estações do ano. Comparando os respectivos valores acumulados de GhDT e FDT para todos os modelos de janelas associados as orientações de implantação da fachada voltadas ao Sul, Leste e Oeste na estação da primavera, eles são inferiores as estações do verão e do outono e superiores a estação do inverno. No entanto, para a orientação Norte, comparando respectivamente os valores para M1, M2, M3 e M4, eles são inferiores ao inverso, assim como ao verão e ao outono.

Por fim, a primavera de Belém apresenta comportamento geral muito semelhante a estação do outono e do inverno. Entretanto, em geral, os valores acumulados de

GhDT e FDT são menores que na estação do inverno, fazendo com que a estação da primavera seja a segunda menos crítica de Belém, sendo precedida pelo verão que consta com os menores índices de GhDT e FDT entre todas as estações. O destaque na estação da primavera ocorre na orientação Sul, em que todos os modelos de janelas apresentam somatórios de GhDT e FDT superiores aos respectivos na orientação Sul do inverno, e em alguns casos superiores aos respectivos na orientação Sul do outono também, além disso para a orientação Oeste, os respectivos somatórios para cada modelo de janela das estações da primavera e do inverno são praticamente idênticos, mostrando que não há diferença significativa entre a primavera e o inverno, quando os modelos de janela são associados a orientação da fachada voltada a Oeste, além disso, na própria estação da primavera, os respectivos valores para cada modelo de janelas na orientação Oeste são também superiores aos valores nas orientações Norte, Sul e Leste. Assim, a orientação Oeste pode ser considerada crítica na primavera, assim como no inverno, valendo a mesma recomendação, que é priorizar o estudo da orientação de implantação das fachadas ao analisar o conforto térmico na estação da primavera em Belém.

Em resumo, a partir da análise dos diagramas de fluabilidade apresentados para as duas cidades, é possível inferir que ao adotar o modelo de janela M4 associado ao uso da porta fechada (PF), a magnitude do desconforto ao longo dos dias reduz de intenso para leve na grande maioria dos casos para as duas cidades, visto que os pontos estão concentrados, majoritariamente, nas zonas 1 e 2, onde o desconforto varia entre temporário e frequente, mas é considerado leve. Além disso, o modelo M4 apresenta os menores índices de GhDT e FDT acumulados ao longo de todas as estações, sendo o modelo de janela mais eficiente na redução da temperatura interna, dentre as outras configurações, para as cidades estudadas. Os diagramas não apresentam pontos na zona 3 em nenhuma das situações discutidas, dessa forma não existem dias ao longo do ano em que ocorra desconforto intenso e temporário em nenhuma dos casos estudados.

Com o objetivo de sintetizar as discussões apresentadas anteriormente, considerando os modelos de janelas, as orientações de implantação, o uso da porta da sala fechada (PF) e o parâmetro da Ashrae de 90% de aceitabilidade, os

somatórios de GhDT e FDT acumulados ao longo das quatro estações do ano foram reunidos na **Tabela 15**, com destaque para os somatórios máximos (vermelho) e mínimos (azul) obtidos em cada estação do ano, em Vitória e Belém.

Tabela 15 - Somatórios de GhDT e FDT referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada por estações do ano.

CIDADES	ESTAÇÕES	MODELOS	GhDT (°C.h/estação)				FDT (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE	NORTE	SUL	LESTE	OESTE
VITÓRIA	VERÃO	M1	2675,5	2803,0	4114,9	4738,7	80,1	81,2	89,9	91,0
		M2	1598,1	1850,2	2936,4	3514,9	62,9	69,4	81,9	84,9
		M3	1556,8	1658,4	2494,7	2961,7	58,2	63,5	76,1	79,0
		M4	1340,8	1269,2	2046,7	2173,6	50,7	50,0	64,3	65,9
	OUTONO	M1	2064,4	898,0	1541,0	1799,8	52,8	33,3	48,7	49,6
		M2	1172,4	359,4	767,7	942,6	40,6	19,2	33,9	35,2
		M3	839,9	315,9	608,3	729,0	32,3	17,6	28,6	29,8
		M4	653,9	241,6	471,1	524,1	25,5	14,1	22,5	22,4
	INVERNO	M1	817,3	307,0	537,4	702,9	52,4	32,3	47,9	49,3
		M2	345,6	87,9	195,2	301,0	25,6	18,3	26,4	29,2
		M3	254,2	83,9	172,5	235,5	32,1	17,6	28,4	29,6
		M4	202,8	68,0	136,8	167,0	25,4	14,1	22,4	22,5
	PRIMAVERA	M1	636,0	696,1	1045,6	1474,8	23,5	25,4	33,8	41,3
		M2	246,6	305,4	504,9	788,8	13,0	15,7	22,3	29,5
		M3	251,0	260,1	429,6	622,6	12,8	13,4	19,3	25,5
		M4	221,1	203,1	351,4	400,6	11,1	10,5	16,0	17,6
BELÉM	VERÃO	M1	1702,9	1916,1	2477,0	2599,3	65,1	67,8	78,0	78,2
		M2	840,7	1041,9	1488,6	1575,1	45,2	51,5	62,1	63,9
		M3	683,7	784,0	1108,0	1191,8	38,1	42,2	51,7	53,2
		M4	538,9	573,1	884,1	835,8	30,4	32,2	43,3	40,4
	OUTONO	M1	2853,6	2393,4	3465,9	3469,7	78,3	73,5	86,1	84,2
		M2	1717,1	1351,5	2261,6	2250,9	63,8	56,5	72,9	72,1
		M3	1347,3	1158,2	1800,3	1802,0	54,6	49,2	63,3	63,2
		M4	1026,0	890,3	1438,0	1299,2	40,4	37,0	50,3	47,2
	INVERNO	M1	2574,5	2108,8	3304,5	3588,2	72,7	65,5	83,4	83,6
		M2	1500,8	1177,4	2101,7	2399,2	57,1	50,5	66,8	71,6
		M3	1224,6	1066,2	1734,6	1961,3	49,9	46,1	59,0	63,3
		M4	971,4	827,1	1444,1	1432,1	40,3	35,4	50,8	48,6
	PRIMAVERA	M1	2118,1	2393,3	3088,5	3536,9	70,5	73,4	85,4	86,9
		M2	1128,2	1414,9	1946,1	2363,4	53,8	59,9	70,0	75,7
		M3	1037,7	1182,9	1617,9	1943,5	49,8	53,7	61,6	67,9
		M4	859,5	915,4	1356,0	1425,0	41,7	43,0	54,3	54,0

GhDT: Graus-horas de desconforto; FDT: Frequência de desconforto

Fonte: Elaborado pela autora.

Em síntese, observa-se o verão de Vitória como uma estação em que se destaca o desconforto por calor, conseqüentemente os maiores valores de GhDT e FDT são acumulados, independente da escolha entre os modelos de janela e orientação de

implantação averiguadas. Em destaque na **Tabela 15** estão os maiores valores encontrados entre as quatro estações do ano, foram de GhDT = 4738,7°C.h/estação e FDT = 91,0%, referentes a adoção do modelo de janela M1 com implantação da fachada principal voltada a Oeste. O outono em Vitória pode ser considerado uma estação com temperaturas intermediárias, apresentando somatórios de GhDT e FDT entre os respectivos valores mínimos (inverno e primavera) e máximos (verão), dessa forma, é esperado que ela não seja tão impactada por danos decorrentes do desconforto térmico.

Já a estação do Inverno e da primavera apresentam os menores resultados observados em Vitória. Para os modelos M1, M2 e M3 orientados ao Norte, os menores valores de GhDT foram acumulados na primavera, enquanto para os demais, os menores valores ocorrem na estação do inverno. Já a frequência de desconforto (FDT) é sempre menor na estação da primavera em Vitória, para todos os modelos de janelas e orientações investigadas. Os menores valores de GhDT e FDT registrados, ocorrem no inverno e na primavera de Vitória respectivamente, sendo o GhDT = 68,0°C.h/estação e FDT = 10,5%, nos dois casos considerando o modelo de janela M4 e orientação voltada ao Sul.

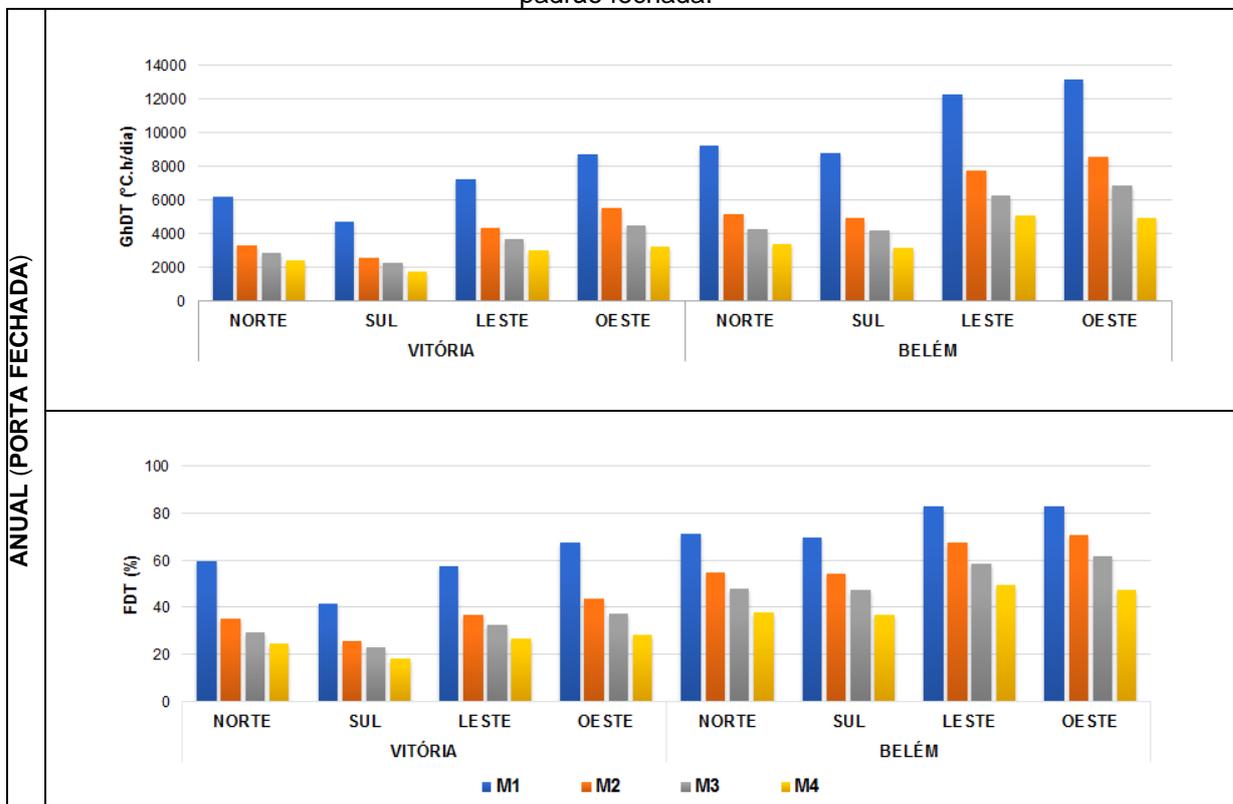
Para a cidade de Belém, os somatórios de GhDT e FDT comparados entre os respectivos casos para as quatro estações do ano, são relativamente próximos, representando uma certa homogeneidade ao longo do ano, característica peculiar do clima de Belém que é comum a outras cidades brasileiras que estão geograficamente situadas próximo à Linha do Equador. Tal homogeneidade, no caso específico de Belém, é decorrente, principalmente pela inclinação da incidência solar ao longo do ano, que faz com as estações além de quente tenham pouca variação de temperatura entre os dias e também é causada devido a velocidades e frequência dos ventos da região, que são constantes entre as estações e, relativamente, constantes entre as orientações de implantação, além de possuírem valores significativamente baixos, ao serem comparados a Vitória, por exemplo, dessa forma a velocidade natural também não consegue provocar diferenças tão consideráveis entre as condições climáticas das estações do ano, como ocorre em outras cidades brasileiras. Todos esses fatores, fazem com que Belém transmita a sensação de estar o ano inteiro em uma única estação do ano, com condições de

desconforto por calor, normalmente altas, provenientes das elevadas temperatura e umidade relativa do ar, sendo a alta umidade relativa, decorrente da presença da floresta amazônica que também interfere significativamente no clima de Belém.

Em Belém, os maiores valores encontrados entre as estações, foram GhDT = 3588,2°C.h/estação no inverno e FDT = 86,9% na primavera, sendo os dois resultados para o modelo de janela padrão M1 e implantação da fachada principal voltada a Oeste. Por outro lado, os menores valores de GhDT e FDT encontrados foram GhDT = 538,9°C.h/estação e FDT = 30,4% para o modelo de janela M4 e implantação da fachada principal voltada ao Norte, ocorrendo na estação do verão, apresentando nesse caso um ponto de total divergência em relação à Vitória que tem seus maiores índices de desconforto registrados na estação de verão.

Para avaliar a magnitude e a frequência do desconforto térmico ao longo do ano, os valores acumulados de GhDT e FDT são apresentados nos gráficos da **Figura 40**.

Figura 40 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada.



Fonte: Elaborado pela autora.

Levando em consideração os valores de GhDT e FDT anuais para os modelos de janelas associados ao uso da porta da sala fechada (PF), nota-se que eles decrescem à medida que os modelos de janela estudados aumentam a área disponível para ventilação, obedecendo a ordem M1-M2-M3-M4. Esse comportamento se repete em todas as orientações para Vitória e Belém, mostrando que, entre outros fatores, a área de abertura das janelas contribui, não só para aumentar a quantidade de dias em conforto térmico ao longo do ano, como foi mostrado na seção anterior, como também impacta na redução do desconforto térmico diário, diminuindo a magnitude e frequência para os dias que continuam apresentando algum nível de desconforto.

Os menores valores de GhDT e FDT acumulados ao longo do ano são obtidos orientando a fachada principal da sala de aula ao Sul, enquanto a orientação Oeste fornece os resultados mais críticos em relação ao conforto térmico, sendo que esse resultado se repete para Vitória e Belém e independe do modelo de janela adotado.

Comparando Vitória e Belém, caso a caso respectivamente, os valores de GhDT e FDT anuais (**Figura 40**) são sempre mais elevados em Belém, mostrando que mesmo situadas na mesma Zona Bioclimática brasileira, a cidade de Belém sempre oferece dias com desconforto mais intenso e frequente comparado a Vitória. Além disso, o intervalo de conforto adaptativo da Ashrae 55 (2013), mostra que a quantidade de dias ao longo do ano em desconforto em Belém é sempre superior a Vitória.

A **Tabela 16** apresenta os resultados extremos de GhDT e FDT por modelo de janela estudado para Vitória e Belém, além disso, estão destacados os maiores (vermelho) e os menores (azul) valores encontrados em cada cidade, considerando todas as interações estudadas nesta seção.

Tabela 16 - GhDT e FDT anuais máximos e mínimos referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão fechada.

CIDADES	ORIENTAÇÕES	GhDT (°C.h/ano)				FDT (%)			
		M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
VITÓRIA	SUL	4704,2	2602,8	2318,4	1781,9	41,7	25,7	23,2	18,4
	OESTE	8716,3	5547,4	4548,7	3265,4	67,8	44,1	37,6	28,7
BELÉM	SUL	8811,6	4985,6	4191,3	3205,9	70,0	54,6	47,8	36,9
	OESTE	13194,9	8588,7	6898,5	4992,2	83,2	70,9	61,9	49,7

GhDT: Graus-horas de desconforto; FDT: Frequência de desconforto

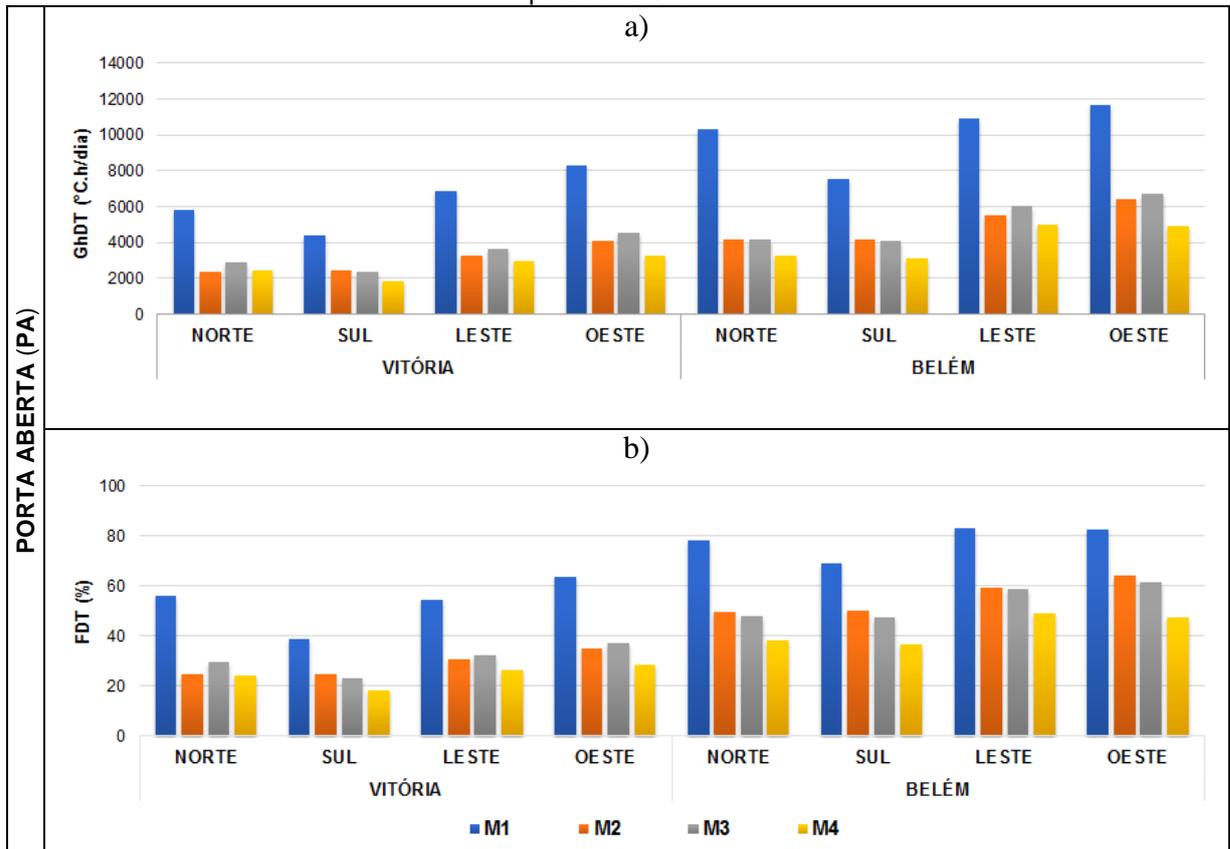
Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, todas as análises evidenciam a janela M4, entre todas as estudadas, que possui a maior área de ventilação, pode proporcionar ventilação 24 horas por dia ao ambiente, através do sistema de abertura pivotante horizontal, situado na parte superior da janela e do peitoril ventilado, situado abaixo do peitoril da janela, como o modelo capaz de proporcionar os maiores índices relacionados ao conforto térmico oferecido aos usuários.

4.3 ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO, CONSIDERANDO A ASSOCIAÇÃO ENTRE MODELOS DE JANELAS E DIFERENTES CONFIGURAÇÕES E PADRÕES DA PORTA DE ACESSO A SALA DE AULA

Para observar o conforto térmico oferecido aos alunos a partir de outros parâmetros, cada modelo de janela estudado foi associado a diferentes condições referentes a porta principal da sala de aula, são elas: o uso da porta padrão aberta (PA), a substituição por uma porta do tipo baia (PB) e a substituição por uma porta do tipo veneziana (PV). As simulações foram executadas alternando os modelos de janela juntos às condições para a porta e mantendo as investigações anteriores quanto às quatro orientações de implantação entre as duas cidades estudadas, obtendo os valores de GhDT e FDT anuais em cada situação. Dessa forma, a seguir serão discutidos os principais resultados obtidos iniciando pelas análises dos modelos de janela associados ao uso da porta padrão aberta (PA), cujos resultados estão dispostos nos gráficos da **Figura 41**.

Figura 41 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta padrão aberta.



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao avaliar os gráficos (**Figura 41**) de Vitória e Belém, percebe-se como característica comum as duas cidades, que a abertura da porta impacta significativamente mais os resultados associada aos modelos M2, M3 e M4 do que associada ao modelo padrão M1, independente da orientação de implantação avaliada.

O modelo M1 segue acumulando os maiores valores anuais de GhDT e FDT e o modelo M4 os menores valores, para todas as orientações nas duas cidades. Já os modelos M2 e M3 apresentam resultados de GhDT e FDT bem similares entre si, repetindo esse comportamento em todas as orientações para as duas cidades, no entanto, é possível observar no gráfico (**Figura 41**) que a janela M2, na maior parte dos casos, apresenta valores inferiores a M3, dessa forma, é possível inferir que independentemente da orientação de implantação adotada em Vitória ou em Belém, ao utilizar os modelos de janelas M2 e M3, os resultados referentes ao conforto térmico serão bem semelhantes, havendo uma melhoria irrisória ao adotar M2 em detrimento de M3.

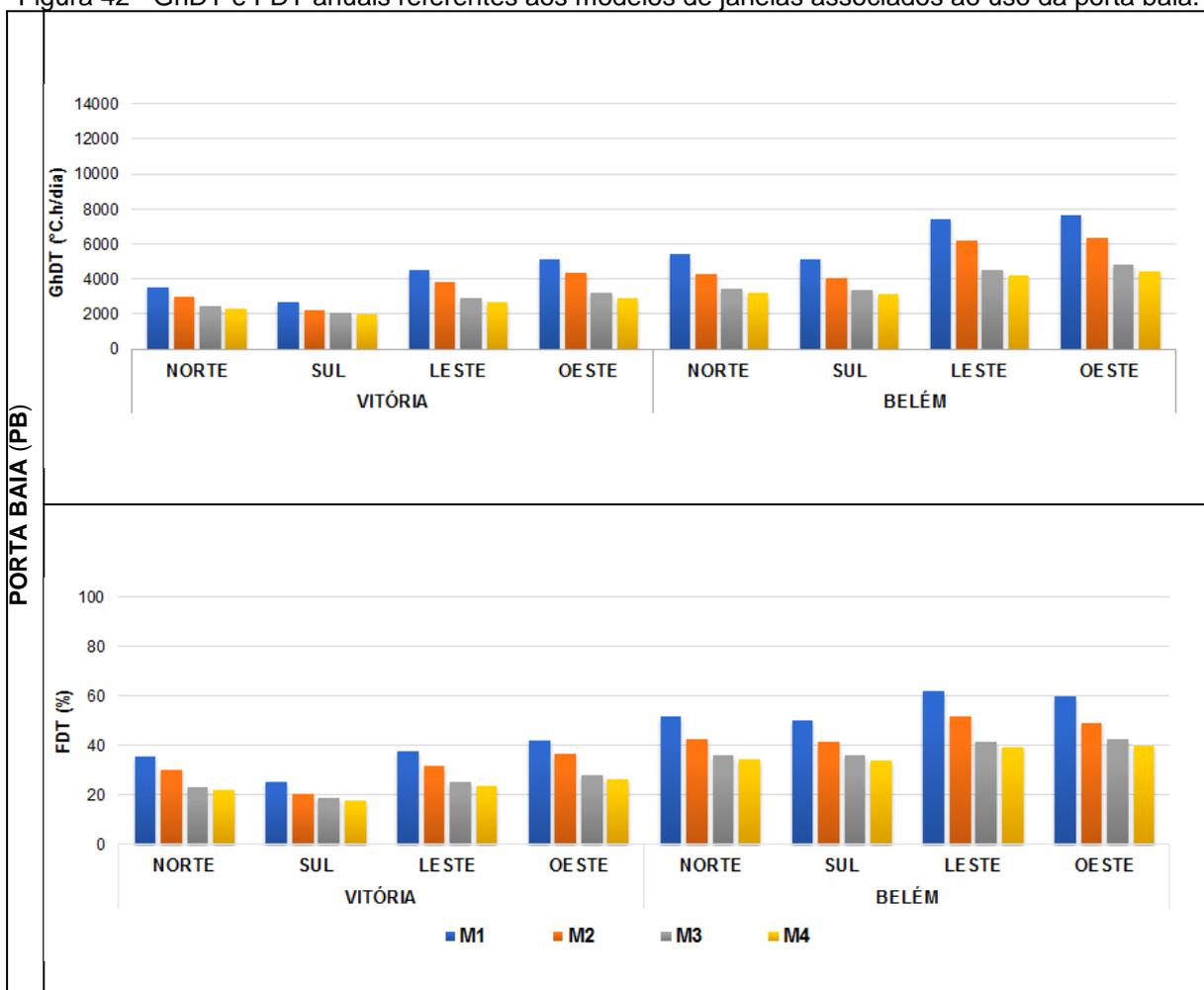
Assim, entre todos os modelos analisados, a janela M4 apresenta maior eficiência quando associada ao uso da porta padrão aberta (PA) para as duas cidades. Os valores apresentados nesses casos são: referentes ao GhDT (2428,6; 1821,6; 3000,7; 3274,8)(°C.h/ano) e relativos ao FDT (24,6; 18,6; 26,7; 28,8)(%) para Vitória e para Belém são registrados (3314,0; 3131,1; 4972,0; 4895,9) (°C.h/ano) para o GhDT e (38,3; 36,9; 49,3; 47,4)(%) para o FDT, considerando as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, respectivamente

Analisando as orientações de implantação na cidade de Vitória, nota-se que a orientação Sul é responsável pelos menores valores de GhDT e FDT, considerando todos os modelos de janelas, enquanto a orientação Oeste acumula os maiores valores.

Já em Belém, ao adotar a porta padrão aberta (PA), a orientação Sul detém os menores valores de GhDT e FDT ao ser associada aos modelos de janelas M1, M3 e M4, sendo configurada a orientação capaz de proporcionar mais conforto a esses caso e a orientação Norte apresenta maior eficiência ao ser associada a janela M2. As orientações mais críticas são, a Oeste associada aos modelos de janela M1, M2 e M3, quando são acumulados os maiores valores de GhDT e FDT e a orientação Leste apresenta o pior rendimento ao ser associada a janela M4, com valores de GhDT = 4972,0°C.h/ano e FDT = 49,3% .

A **Figura 42** concentra os valores de GhDT e FDT anuais para os modelos de janela associados ao uso da porta do tipo baia (PB).

Figura 42 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta baia.



Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando os valores de GhDT e FDT anuais, **Figura 42**, para os modelos de janela associados a porta do tipo baia (PB), nota-se que eles descresem à medida que os modelos de janela estudados aumentam a área disponível para ventilação, obedecendo a ordem M1-M2-M3-M4 em todas as orientações em Vitória e Belém.

Um resultado bem interessante encontrado ao adotar a porta principal do tipo baia (PB), foi a relativa uniformização dos resultados entre os quatro modelos de janelas, dentro de uma mesma orientação e cidade, ou seja, foi observado que o uso da porta baia provocou uma drástica redução na diferença entre os valores de GhDT e FDT acumulados anualmente entre os modelos de janelas, como exemplo, pode ser citado os resultados acumulados para a orientação Sul em Vitória, que apresentam os seguintes valores de GhDT (2711,7; 2244,1; 2076,6; 1991,5)°C.h/ano, considerando os modelos de janelas M1, M2, M3 e M4 respectivamente. Como pode

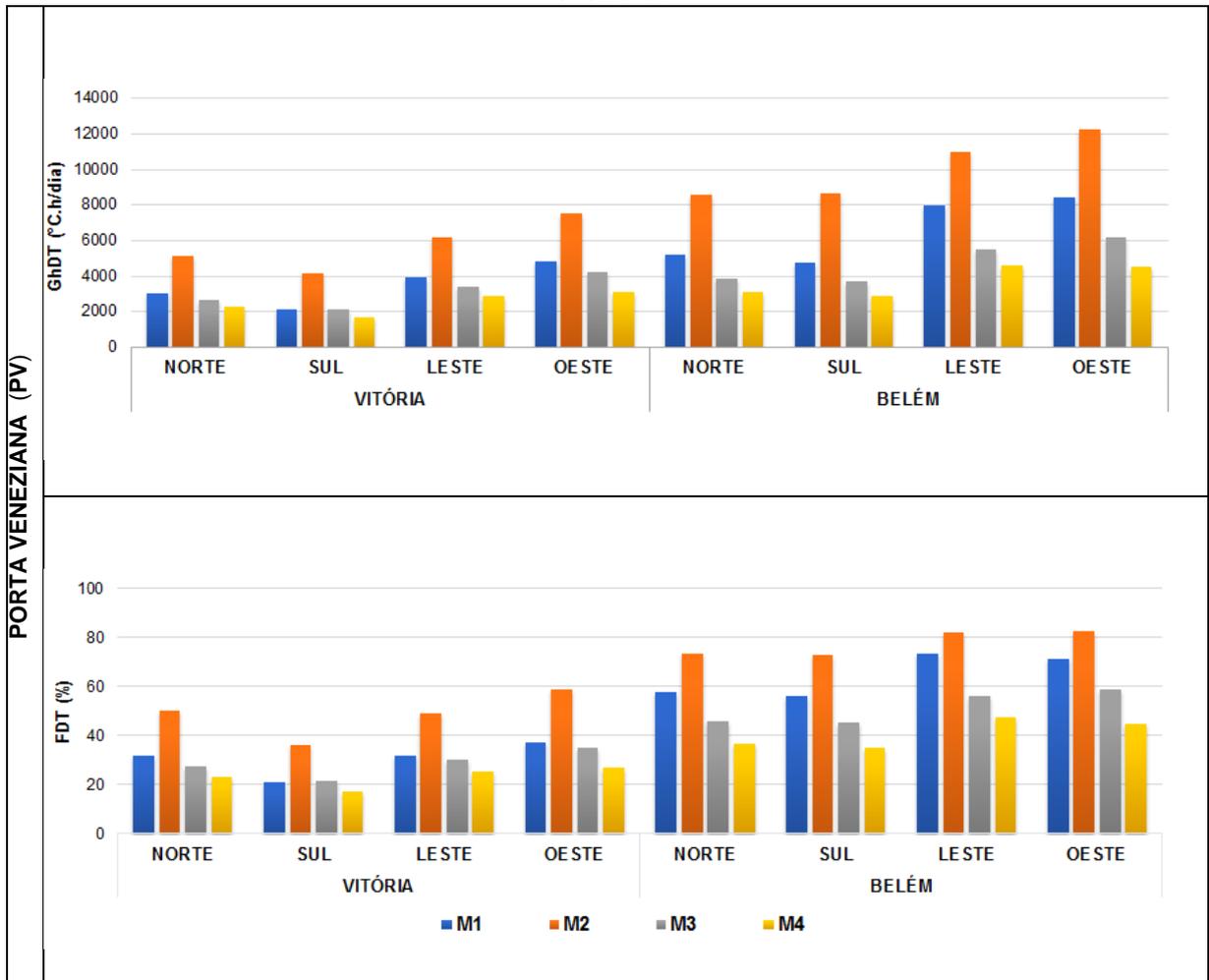
ser observado, a diferença entre os resultados é relativamente pequena, se comparadas aos respectivos casos quando é adotada o uso da porta padrão fechada ou aberta, principalmente comparando a porta fechada que apresenta os seguintes valores de GhDT (4704,2; 2602,8; 2318,4; 1781,9)°C.h/ano para a orientação Sul em Vitória. Dessa forma, diante dos resultados, é possível inferir que adotando a porta baia, principalmente considerando implantação de fachada Norte ou Sul, tanto em Vitória quanto em Belém, a alternância entre os modelos de janelas é menos significativo em comparação ao uso da porta fechada ou aberta, assim como se a opção for implantar a fachada voltada a Leste ou a Oeste, visto que os valores de GhDT e FDT obtidos nessas duas orientação são muito semelhantes entre os quatro modelos de janelas, tanto em Vitória quanto em Belém.

Com relação às orientações de implantação, tanto em Vitória quanto em Belém, para todos os modelos de janelas, a fachada principal da sala de aula voltada ao Sul acumula os menores valores de GhDT anuais, enquanto a orientação Oeste segue sendo a que acumula os maiores valores de GhDT e conseqüentemente o desconforto mais intenso ao longo do ano.

Em Vitória, os modelos de janelas apresentam frequência de desconforto (FDT) menor quando orientadas ao Sul para todos os modelos de janelas estudados. Já em Belém, ao orientar a fachada a Leste, os menores valores de FDT foram registrados com os modelos M3 e M4 e ao orientar a Oeste, os menores valores ocorrem ao adotar os modelos M1 e M2.

A **Figura 43** concentra os valores de GhDT e FDT anuais para os modelos de janela associados ao uso da porta do tipo veneziana (PV).

Figura 43 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados ao uso da porta veneziana.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os gráficos mostrados na **Figura 43** trazem um resultado inédito, onde os valores de GhDT e FDT anuais, em todas as orientações, para Vitória e Belém, são maiores para o modelo de janela M2, tornando o desconforto ao adotar esse modelo de janela bastante superior aos outros casos. Assim os valores de GhDT e FDT seguem decrescendo à medida que os modelos de janelas testado são alterados entre M2-M1-M3-M4.

Em Vitória, é na orientação Sul que são acumulados os menores valores de GhDT e FDT anuais enquanto a orientação Oeste possui os valores máximos. Em relação à Belém, o menor desconforto, caracterizados pelos menores valores de GhDT ocorrem na orientação Sul, excetuando-se o caso referente ao modelo M2, em que os menores valores são acumulados na orientação Norte, por outro lado, o desconforto mais intenso (maiores GhDT) são obtidos para a orientação Oeste.

Avaliando a frequência do desconforto (FDT) em Belém, nota-se que, para todos os modelos de janela, os menores valores de FDT ocorrem com implantação voltada ao Sul, enquanto os maiores valores de FDT são atingidos na orientação Leste para os modelos de janela M1 e M4 e na orientação Oeste para os modelos M2 e M3.

Em síntese, a partir da análise geral, entre os quatro modelos de janelas associadas às quatro configurações para a porta principal, é possível observar, na maior parte dos casos, que os valores de GhDT e FDT acumulados ao longo do ano, decrescerem conforme as janelas aumentam suas áreas para ventilação natural, respeitando a seguinte ordem: M1-M2-M3-M4. Apenas nos casos relacionados ao uso da porta do tipo veneziana (PV) houve uma inversão em todas as orientações e cidades, em que a ordem de decréscimo do GhDT e FDT entre os modelos de janela segue a sequência: M2-M1-M3-M4.

A melhoria no conforto térmico que ocorre à medida que a área de abertura para ventilação aumenta, ou seja, na ordem: M1-M2-M3-M4 é decorrente da possibilidade de atendimento a duas das diretrizes construtivas recomendadas pela NBR 15220 para a Zona Bioclimática 8, possibilitadas pelos modelos propostos, são elas: a utilização de aberturas para ventilação grandes e a adoção da ventilação cruzada permanente. A indicação de aberturas grandes para ventilação requer que a área disponível para passagem do ar seja maior que 40% da área do piso do ambiente, sendo assim, nenhum dos modelos estudados atendem a esta recomendação, entretanto, todos eles aumentaram a área disponível para ventilação gradativamente a partir do modelo de janela padrão disponibilizado pelo Proinfância (M1), dessa forma, segundo a NBR 15220, são esperados melhores índices de conforto, conforme ocorreu. Com relação à ventilação cruzada, o layout da sala de aula permite esta possibilidade visto que conta com a janela estudada e a porta principal situadas em paredes opostas. Além disso, os modelos de janelas propostos são compostos pela adição de uma área de abertura na parte superior da janela, através do sistema de abertura pivotante horizontal (modelo M2); pela adição de área para ventilação através do peitoril ventilado, situado abaixo do peitoril da janela (modelo M3); pelo aumento da área de ventilação através da junção entre a parte com pivotante horizontal e o uso do peitoril ventilado (modelo M4), que oferecem ventilação noturna ao ambiente, responsável por parte do resfriamento da edificação

por convecção dissipando a energia térmica adquirida durante o dia e consequentemente melhorando os índices de conforto térmico oferecido ao longo do dia, conforme constatado na pesquisa de Spagnuolo (2019) .

A fim de proporcionar uma análise geral entre todos os casos estudados nesta pesquisa, os quantitativos percentuais de dias em conforto, obtidos por meio da metodologia de conforto adaptativo, considerando 90% de aceitabilidade e os índices de desconforto térmico, Graus-horas de Desconforto Térmico (GhDT) e a Frequência de Desconforto Térmico (FDT), que avaliam a magnitude e frequência do desconforto respectivamente, foram sintetizados e estão dispostos nas **Tabela 17 e Tabela 18**. Em destaque estão os melhores (azul) e piores (vermelho) índices obtidos anualmente em cada caso, mostrando que, dentre os fatores estudados nesta pesquisa, ao escolher a associação entre determinado modelo de janela e a condição para a porta principal do ambiente, os índices de conforto ainda podem ser afetados pela determinação da orientação de implantação da edificação. Além disso, os valores extremos entre todos os casos estão destacados em negrito para cada cidade.

Tabela 17 - Percentual anual de dias em conforto térmico referentes aos modelos de janelas associados às condições relativas à porta principal.

MODELOS	PORTAS	CONFORTO TÉRMICO ANUAL (%)							
		VITÓRIA				BELÉM			
		Norte	Sul	Leste	Oeste	Norte	Sul	Leste	Oeste
M1	PF	57,5	67,1	57,3	52,3	19,7	21,1	4,7	4,4
	PA	58,1	67,9	57,5	52,9	4,9	21,6	5,5	4,9
	PB	79,5	81,4	68,2	66,8	46,8	46,8	21,1	26,6
	PV	74,8	79,7	65,8	62,7	42,2	45,2	12,1	13,2
M2	PF	76,7	78,6	67,9	63,3	47,1	44,7	13,7	12,6
	PA	68,2	78,9	68,2	63,6	48,8	46,3	14,8	13,4
	PB	88,2	88,2	74,5	72,9	78,1	81,6	51,2	51,5
	PV	63,0	69,6	59,2	54,8	18,1	18,6	4,4	4,1
M3	PF	81,4	82,2	72,1	67,7	61,9	62,2	32,1	28,5
	PA	81,4	82,5	72,1	67,9	63,0	63,3	32,3	28,5
	PB	94,5	91,2	81,9	80,0	90,4	94,2	83,6	73,7
	PV	84,7	83,6	74,0	69,9	70,1	72,1	40,8	34,8
M4	PF	89,6	90,1	78,4	77,3	89,0	94,0	61,1	65,8
	PA	89,6	89,9	78,9	77,3	65,5	93,7	62,5	66,3
	PB	97,0	95,1	83,3	82,2	95,1	98,6	90,7	86,0
	PV	91,0	92,9	81,4	78,1	91,8	95,9	70,4	72,3

M1: Modelo de janela padrão; (M2, M3, M4): Modelos de janelas propostos; PF: Porta padrão fechada; PA: Porta padrão aberta; PB: Porta do tipo baía; PV: Porta do tipo veneziana.

Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação às orientações de implantação das fachadas em Vitória, a **Tabela 17** aponta que ao associar os modelos de janelas estudados às condições relativas as portas estudadas nesta seção (PA, PB e PV), na maioria dos casos, a orientação Sul continua promovendo mais dias confortáveis ao ano, corroborando com os resultados encontrados ao analisar as janelas associadas ao uso da porta padrão fechada (PF), apresentados na seção anterior. Já com relação à orientação mais crítica em todo os casos estudados nesta pesquisa, a orientação Oeste apresentou menos dias em conforto ao longo do ano.

Em Belém, ao analisar o uso da porta padrão fechada (PF), apresentado na seção anterior, apenas o modelo de janela M2 apresentou melhor resultado ao orientar a fachada ao Norte, sendo esse resultado mantido ao associar o modelo ao uso da porta padrão aberta (PA), no entanto, esse resultado foi revertido ao associar a janela às outras condições para a porta principal (PB e PV), mostrando que os melhores resultados relacionados ao conforto, de fato, são obtidos ao orientar a fachada da sala ao Sul. Quanto aos demais modelos de janelas (M1, M3 e M4), todos eles apresentaram maior percentual de dias em conforto ao longo do ano ao orientar a fachada da sala ao Sul, independentemente da condição para a porta principal. Já em relação à orientação mais crítica para Belém, os resultados são em sua maioria obtidos ao orientar a fachada da sala de aula a Oeste, entretendo, ocorrem alguns casos em que direcionar a fachada a Leste é ainda pior que a Oeste, são eles: (M1 – PV); (M2 – PB); (M4 – PF); (M4 – PA); (M4 – PV). Esse resultado aliado a pouca diferença entre as porcentagens para Oeste e para Leste, retratam muito bem a condição climática homogênea de Belém, já comentada anteriormente.

Analisando sob a perspectiva do desconforto diário **Tabela 18**, é possível inferir que implantar a fachada da sala voltada ao Sul, proporciona dias com menores índices e desconforto, salvo raras exceções, tanto em Vitória quanto em Belém, resultado corroborado com o obtido por meio da metodologia de conforto adaptativo, citada anteriormente. Os casos em que o melhor resultado obtido foi implantar a fachada voltada ao Norte foram (M2 – PA) em Vitória e (M2 - PA); (M2 - PV) em Belém.

Em relação à orientação crítica, implantar a fachada voltada a Oeste em Vitória continua, de forma unanime, sendo a pior decisão a ser tomada, enquanto para

Belém, a implantação crítica, como era de se esperar, varia entre orientar a fachada a Oeste, situação em que ocorre a maior parte dos casos e orientar a fachada a Leste, correspondendo aos casos (M4 – PF); (M4 – PA); (M1 – PB); (M2 – PB); (M1 – PV); (M4 – PV) que englobam todos os casos obtidos com a metodologia de conforto adaptativo.

Tabela 18 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados às condições relativas à porta principal.

CIDADES	PORTAS	MODELOS	GhDT (°C.h/dia)				FDT (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE	NORTE	SUL	LESTE	OESTE
VITÓRIA	PF	M1	6193,1	4704,2	7238,9	8716,3	59,9	41,7	57,8	67,8
		M2	3362,7	2602,8	4404,2	5547,4	35,6	25,7	36,9	44,1
		M3	2902,0	2318,4	3705,1	4548,7	29,7	23,2	32,6	37,6
		M4	2418,6	1781,9	3005,8	3265,4	24,6	18,4	26,8	28,7
	PA	M1	5806,4	4369,0	6850,4	8268,1	56,2	38,9	54,3	63,8
		M2	2355,5	2462,5	3313,5	4075,7	24,8	24,7	30,8	35,0
		M3	2893,1	2346,0	3684,5	4534,1	29,6	23,3	32,5	37,5
		M4	2428,6	1821,6	3000,7	3274,8	24,6	18,6	26,7	28,8
	PB	M1	3578,0	2711,7	4561,3	5155,2	35,6	25,3	37,9	42,4
		M2	2995,4	2244,1	3819,8	4363,8	30,2	20,8	32,0	36,6
		M3	2437,4	2076,6	2912,8	3206,3	23,1	18,9	25,6	28,2
		M4	2321,1	1991,5	2731,5	2960,8	22,0	18,0	23,9	26,2
	PV	M1	3032,5	2089,4	3923,6	4770,1	32,0	20,9	31,7	37,5
		M2	5073,6	4132,5	6170,3	7467,9	50,1	36,4	49,3	58,8
		M3	2649,0	2120,6	3397,4	4160,6	27,3	21,6	30,4	34,9
		M4	2257,0	1672,1	2811,0	3049,9	23,1	17,4	25,2	27,1
BELÉM	PF	M1	9249,1	8811,6	12335,9	13194,0	71,7	70,0	83,2	83,3
		M2	5186,8	4985,6	7798,0	8588,6	55,0	54,6	68,0	70,9
		M3	4293,3	4191,3	6260,8	6898,5	48,2	47,8	58,9	61,9
		M4	3395,8	3205,9	5122,2	4992,2	38,2	36,9	49,7	47,6
	PA	M1	10354,2	7561,6	10900,7	11679,1	78,3	69,1	82,6	83,0
		M2	4146,2	4204,7	5496,0	6416,3	49,8	50,1	59,5	64,4
		M3	4166,9	4068,7	6056,4	6724,7	47,9	47,6	58,6	61,6
		M4	3314,0	3131,1	4972,0	4895,9	38,3	36,9	49,3	47,4
	PB	M1	5453,1	5111,4	7441,4	7629,8	51,8	50,1	62,0	59,9
		M2	4341,3	4061,7	6181,1	6360,5	42,9	41,5	51,9	49,3
		M3	3438,9	3370,2	4523,2	4846,7	36,4	36,4	41,6	42,9
		M4	3238,0	3156,0	4254,9	4427,9	34,6	34,3	39,6	39,8
	PV	M1	5206,6	4722,9	7913,2	8360,5	57,8	56,0	73,4	71,0
		M2	8522,2	8628,8	10924,0	12243,5	73,2	72,9	81,8	82,4
		M3	3790,7	3681,7	5496,5	6122,5	45,7	45,6	56,2	58,8
		M4	3052,9	2869,0	4552,5	4499,1	36,7	35,2	47,4	45,1

M1: Modelo de janela padrão; (M2, M3, M4): Modelos de janelas propostos; PF: Porta padrão fechada; PA: Porta padrão aberta; PB: Porta do tipo baía; PV: Porta do tipo veneziana; GhDT: Graus-horas de desconforto; FDT: Frequência de desconforto.

Fonte: Elaborado pela autora.

Em resumo, é possível concluir que tanto na cidade de Vitória quanto na cidade de Belém é mais viável orientar as fachadas ao Sul, visto que tanto a quantidade de dias em conforto anualmente aumenta bastante em comparação as demais, como também os índices de desconforto que permanecem existindo nos dias mais críticos, são atenuados ao adotar esta orientação. Por outro lado, a orientação Oeste deve ser evitada para a implantação de fachadas com aberturas, visto que as condições de conforto são bastante impactadas negativamente por esta decisão, sendo assim, sempre que possível, é interessante orientar fachadas de ambientes com baixa permanência de usuários.

Os resultados descritos podem ser explicados com o auxílio, principalmente, da rosa dos ventos na cidade de Vitória que aponta maiores velocidade e frequência de ocorrência dos ventos nas direções Norte-Sul e menores nas direções Leste-Oeste, fazendo com que os dois elementos estudados (janela e porta principal), responsáveis pela ventilação cruzada no interior do ambiente, que estão localizados em paredes opostas sejam favorecidos pelos ventos da direção Norte-Sul, de forma que, quando a fachada principal da janela está orientada ao Sul, a sala ora é beneficiada pela entrada dos ventos do Sul através da janela e outrora é beneficiada pelos ventos do Norte que entram pela porta, de forma análoga, ocorre quando a fachada principal está orientada ao Norte, configurando assim, as duas orientações como as mais indicadas para a obtenção dos melhores índices de conforto térmico em Vitória. Da mesma forma, podem ser justificados, os altos índices de desconforto térmico presentes ao orientar as fachadas principais a Leste ou a Oeste. Somado a tudo isso, é preciso considerar a incidência solar, analisada por meio da carta solar de Vitória, que mostra maiores níveis de incidência solar ao ano nas fachadas Leste e Oeste, apesar da fachada Norte sofrer incidência solar por mais tempo durante os dias.

Em Belém, os dados referentes a frequência e velocidade dos ventos não apresentam diferenças tão significantes quanto em Vitória, sendo que a frequência dos ventos do Leste tem destaque sobre as demais direções, no entanto a velocidade média dos ventos é constante, com valor de 3m/s, praticamente, em todas as direções, apresentando um pequeno aumento na estação da primavera e do inverno na direção Norte. Sendo assim, é possível inferir que as orientações

Leste e Oeste em Belém são mais afetadas pela incidência solar que as orientações Norte e Sul, fazendo com que a questão das altas incidências solares em Belém impactem mais no desconforto que a falta de ventilação.

4.4 ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO, CONSIDERANDO A ASSOCIAÇÃO ENTRE MODELOS DE JANELAS, CONDIÇÕES DE USO DA PORTA PRINCIPAL E USO DO ELEMENTO SOMBREADOR

Com o objetivo de analisar o impacto do elemento sombreador sob o conforto térmico no interior do ambiente escolar, o percentual de dias em conforto ao longo do ano foi determinado para todas as interações entre modelos de janelas, condições para as portas, possíveis orientações de implantação e o uso ou não do elemento sombreador e reunidos na

Tabela 19 para a cidade de Vitória e Belém.

Tabela 19 - Percentual anual de dias em conforto térmico referentes aos modelos de janelas associados às condições relativas à porta principal com ou sem o uso do elemento sombreador.

MODELOS SITUAÇÕES PORTAS			CONFORTO TÉRMICO ANUAL (%)							
			VITÓRIA				BELÉM			
			Norte	Sul	Leste	Oeste	Norte	Sul	Leste	Oeste
M1	Sem sombreador	PF	57,5	67,1	57,3	52,3	19,7	21,1	4,7	4,4
		PA	58,1	67,9	57,5	52,9	4,9	21,6	5,5	4,9
		PB	79,5	81,4	68,2	66,8	46,8	46,8	21,1	26,6
		PV	74,8	79,7	65,8	62,7	42,2	45,2	12,1	13,2
	Com sombreador	PF	66,0	68,5	61,4	58,9	23,0	24,4	13,2	11,8
		PA	67,4	68,8	62,2	59,5	23,8	24,9	14,2	12,1
		PB	81,9	81,9	74,0	71,2	54,0	56,2	40,5	40,5
		PV	80,0	80,3	71,5	68,8	49,6	54,2	30,1	30,1
M2	Sem sombreador	PF	76,7	78,6	67,9	63,3	47,1	44,7	13,7	12,6
		PA	68,2	78,9	68,2	63,6	48,8	46,3	14,8	13,4
		PB	88,2	88,2	74,5	72,9	78,1	81,6	51,2	51,5
		PV	63,0	69,6	59,2	54,8	18,1	18,6	4,4	4,1
	Com sombreador	PF	80,0	80,0	73,2	69,9	57,0	52,3	34,5	27,7
		PA	80,5	80,3	73,4	69,9	58,6	54,5	35,3	28,2
		PB	89,9	89,6	78,4	78,1	85,2	87,1	74,8	71,2

		PV	2514,3	2314,4	3504,0	4052,6	26,2	23,8	31,5	34,9
M2	Sem elemento sombreador	PF	3362,7	2602,8	4404,2	5547,4	35,6	25,7	36,9	44,1
		PA	2355,5	2462,5	3313,5	4075,7	24,8	24,7	30,8	35,0
		PB	2995,4	2244,1	3819,8	4363,8	30,2	20,8	32,0	36,6
		PV	5073,6	4132,5	6170,3	7467,9	50,1	36,4	49,3	58,8
	Com elemento sombreador	PF	2397,6	2450,2	3371,7	4088,1	25,2	24,7	31,2	35,1
		PA	4450,2	4160,7	5576,6	6440,6	41,5	37,6	46,8	52,3
		PB	2185,0	2128,3	2971,2	3269,1	21,3	19,9	26,8	29,1
		PV	3885,1	3964,3	5374,4	6241,4	37,1	35,3	44,9	50,9
M3	Sem elemento sombreador	PF	2902,0	2318,4	3705,1	4548,7	29,7	23,2	32,6	37,6
		PA	2893,1	2346,0	3684,5	4534,1	29,6	23,3	32,5	37,5
		PB	2437,4	2076,6	2912,8	3206,3	23,1	18,9	25,6	28,2
		PV	2649,0	2120,6	3397,4	4160,6	27,3	21,6	30,4	34,9
	Com elemento sombreador	PF	2316,9	2207,1	3026,4	3526,3	23,3	22,2	28,6	31,2
		PA	2325,4	2237,2	3018,9	3522,5	23,4	22,4	28,5	31,2
		PB	2070,3	2010,1	2487,6	2621,9	19,1	18,5	22,6	24,2
		PV	2124,9	2019,6	2770,7	3207,7	21,7	20,8	26,7	29,0
M4	Sem elemento sombreador	PF	2418,6	1781,9	3005,8	3265,4	24,6	18,4	26,8	28,7
		PA	2428,6	1821,6	3000,7	3274,8	24,6	18,6	26,7	28,8
		PB	2321,1	1991,5	2731,5	2960,8	22,0	18,0	23,9	26,2
		PV	2257,0	1672,1	2811,0	3049,9	23,1	17,4	25,2	27,1
	Com elemento sombreador	PF	1963,1	1699,1	2449,3	2531,2	19,7	17,7	23,2	23,8
		PA	1983,3	1740,3	2455,3	2545,5	19,8	18,0	23,3	24,0
		PB	1989,6	1931,2	2347,1	2440,2	18,4	17,6	21,2	22,5
		PV	1839,0	1594,6	2288,8	2356,3	18,6	16,9	22,0	22,7

M1: Modelo de janela padrão; (M2, M3, M4): Modelos de janelas propostos; PF: Porta padrão fechada; PA: Porta padrão aberta; PB: Porta do tipo baia; PV: Porta do tipo veneziana; GhDT: Graus-horas de Desconforto Térmico; FDT: Frequência de Desconforto Térmico.

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 21 - GhDT e FDT anuais referentes aos modelos de janelas associados às condições relativas à porta principal com ou sem o uso do elemento sombreador para Belém.

BELÉM										
MODELOS	SITUAÇÕES	PORTAS	GhDT(°C.h/dia)				FDT (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE	NORTE	SUL	LESTE	OESTE
M1	Sem elemento sombreador	PF	9249,1	8811,6	12335,9	13194,0	71,7	70,0	83,3	83,2
		PA	10354,2	7561,6	10900,7	11679,1	78,3	69,1	83,0	82,6
		PB	5453,1	5111,4	7441,4	7629,8	51,8	50,1	62,0	59,9
		PV	5206,6	4722,9	7913,2	8360,5	57,8	56,0	73,4	71,0
	Com elemento sombreador	PF	8021,6	7790,5	9716,3	10527,8	67,0	65,9	76,6	77,1
		PA	7782,3	7682,3	9568,7	10406,5	67,5	66,6	77,5	78,4
		PB	4784,1	4618,9	5915,0	6132,0	48,8	47,7	55,8	54,7
		PV	4306,8	4096,7	5806,7	6320,5	53,3	51,9	65,1	64,7

M2	Sem elemento sombreador	PF	5186,8	4985,6	7798,0	8588,6	55,0	54,6	68,0	70,9
		PA	4146,2	4204,7	5496,0	6416,3	49,8	50,1	59,5	64,4
		PB	4341,3	4061,7	6181,1	6360,5	42,9	41,5	51,9	49,3
		PV	8522,2	8628,8	10924,0	12243,5	73,2	72,9	81,8	82,4
	Com elemento sombreador	PF	4218,1	3876,6	5071,2	5659,8	50,3	45,2	52,6	56,8
		PA	7782,3	7682,3	9568,7	10406,5	67,5	66,6	77,5	78,4
		PB	3682,4	3602,9	4665,1	4956,1	39,6	39,0	45,3	45,4
		PV	4590,6	3602,9	4665,1	4956,1	39,6	39,0	45,3	45,4
M3	Sem elemento sombreador	PF	4293,3	4191,3	6260,8	6898,5	48,2	47,8	58,9	61,9
		PA	4166,9	4068,7	6056,4	6724,7	47,9	47,6	58,6	61,6
		PB	3438,9	3370,2	4523,2	4846,7	36,4	36,4	41,6	42,9
		PV	3790,7	3681,7	5496,5	6122,5	45,7	45,6	56,2	58,8
	Com elemento sombreador	PF	3717,8	3710,6	4869,3	5412,3	44,9	45,2	52,6	56,8
		PA	3698,8	3686,7	4814,5	5393,4	44,8	45,0	52,1	56,5
		PB	3141,8	3130,4	3796,6	4061,4	34,8	34,8	37,5	39,9
		PV	2230,8	2166,5	2941,8	3429,7	23,3	23,2	28,5	30,8
M4	Sem elemento sombreador	PF	3395,8	3205,9	5122,2	4992,2	38,2	36,9	49,7	47,6
		PA	3314,0	3131,1	4972,0	4895,9	38,3	36,9	49,3	47,4
		PB	3238,0	3156,0	4254,9	4427,9	34,6	34,3	39,6	39,8
		PV	3052,9	2869,0	4552,5	4499,1	36,7	35,2	47,4	45,1
	Com elemento sombreador	PF	2946,5	2843,6	3961,8	3887,2	35,5	34,3	43,9	43,0
		PA	2948,8	2847,0	3941,7	3917,1	35,5	34,4	43,5	43,2
		PB	2968,5	2940,7	3589,9	3738,2	33,3	33,2	36,2	37,1
		PV	2703,4	2599,6	3584,4	3552,4	34,1	32,9	41,4	40,6

M1: Modelo de janela padrão; (M2, M3, M4): Modelos de janelas propostos; PF: Porta padrão fechada; PA: Porta padrão aberta; PB: Porta do tipo baía; PV: Porta do tipo veneziana; GhDT: Graus-horas de Desconforto Térmico; FDT: Frequência de Desconforto Térmico.

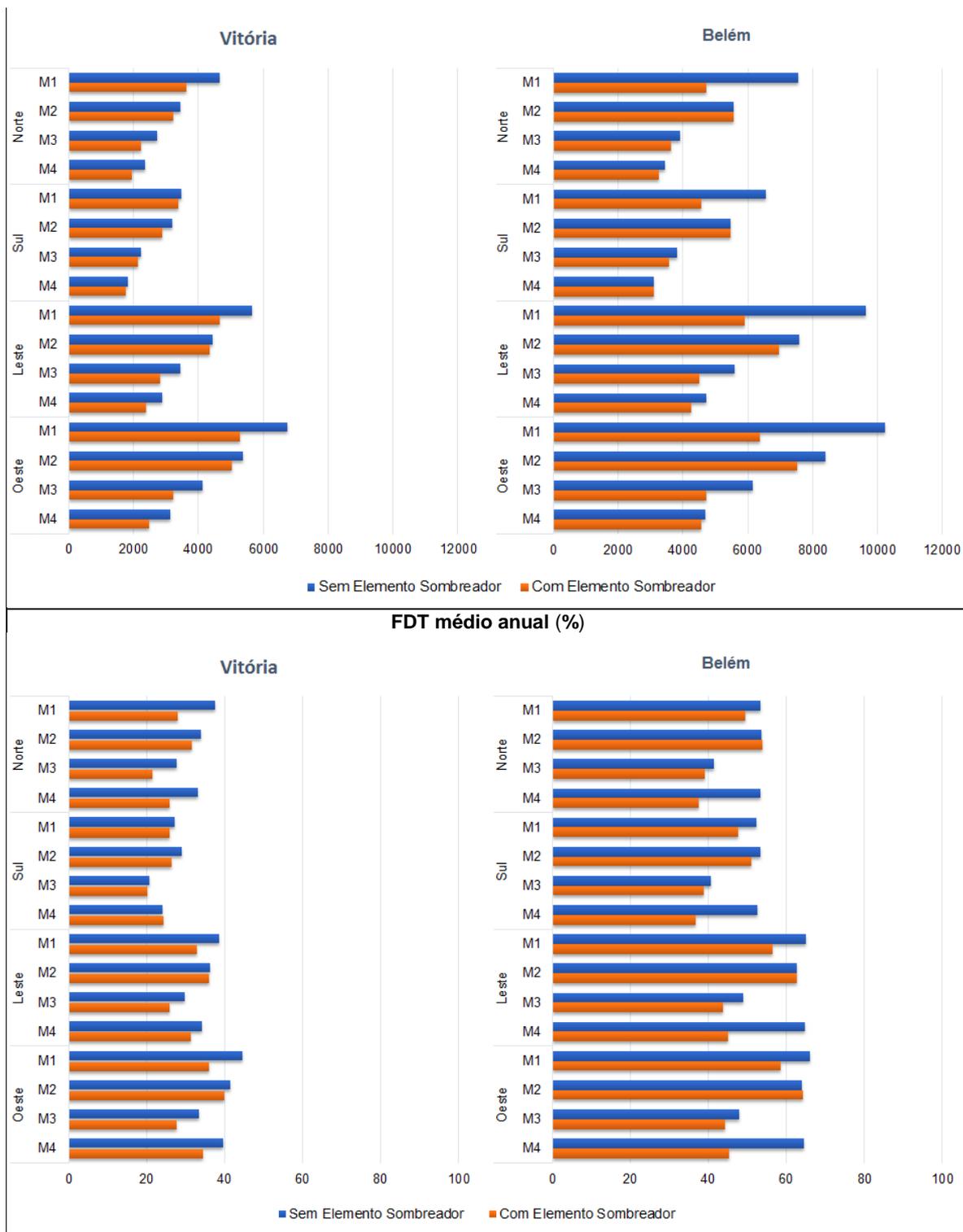
Fonte: Elaborado pela autora.

Ao comparar os índices entre os casos com e sem o uso do sombreador, nota-se que o ato de sombrear as aberturas impacta no conforto térmico de uma forma geral, tanto aumentando a quantidade de dias em conforto ao longo do ano quanto reduzindo a magnitude e frequência do desconforto que continua presente no ambiente.

A fim de proporcionar uma observação mais enxuta do impacto do uso do elemento sombreador no conforto térmico em cada cidade, foram calculadas as médias entre os resultados obtidos ao associar cada modelo de janela às quatro condições para a porta principal da sala de aula, considerando ou não o uso do elemento sombreador, sendo que os indicadores adotados foram o Graus-horas de Desconforto Térmico (GhDT) e a Frequência de Desconforto Térmico (FDT), utilizados anteriormente. As análises foram mantidas para as quatro orientações de implantação principais, Norte, Sul, Leste e Oeste. Assim, a partir dos dados levantados foram construídos os gráficos apresentados na **Figura 44**.

Figura 44 - GhDT e FDT médios anuais referentes aos modelos de janelas com e sem o uso do elemento sombreador.

GhDT médio anual (°C.h/dia)



GhDT: Graus-horas de desconforto; FDT: Frequência de desconforto
 Fonte: Elaborado pela autora.

A comparação entre os resultados mostra que, no geral, os dois indicadores reduziram os valores acumulados anualmente após a adoção do uso do sombreador, mostrando que tanto em Vitória quanto em Belém houve impacto positivo no conforto térmico anual. Além disso, fica novamente evidente que o

desconforto anual em Belém supera o desconforto em Vitória, visto que os valores de GhDT e FDT anuais são em todos os casos maiores para Belém. Por meio dos valores referentes ao GhDT e ao FDT é possível identificar que em alguns casos o sombreador se torna mais relevante em Belém do que em Vitória, por exemplo, podem ser citados os modelos de janela M1 que tiveram um percentual de melhoria com o uso do sombreador de (38; 30; 39; 38)(%) para as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste respectivamente na cidade de Belém, enquanto em Vitória o percentual de melhoria para o mesmo modelo de janela correspondeu a (22; 3; 18; 21)(%) também para as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, respectivamente.

A orientação Sul, principalmente em Vitória, conta com pouca melhoria em relação ao uso do elemento sombreador, resultado compreensivo visto que é a fachada com menor intensidade de radiação ao longo do ano, apresentando incidência solar apenas entre os meses de dezembro a março e entre os primeiros horários da manhã e horários do fim da tarde, sendo assim, a atuação do sombreador acaba ficando restrita a poucas horas ao longo do ano, impactando pouco no conforto para estes casos, principalmente por ser uma edificação escolar cujo o período em questão corresponde as férias escolares.

Na cidade de Vitória, observa-se que o maior benefício com a adoção do sombreador, foi alcançado pelo modelo M1 e pela orientação Oeste, contudo, tanto o modelo M1 quanto a orientação Oeste continuam possuindo os maiores valores de GhDT e FDT. Em Belém, o maior benefício causado pelo sombreador se repercute no modelo de janela M1 e fica entre as orientações Leste e Oeste.

Destaca-se que o uso do elemento sombreador associado a janela M2 apresentou pouca melhoria, tanto em Vitória quanto em Belém, sendo que em Belém, a associação entre o uso do sombreador e o modelo de janela padrão M1, conseguiu gerar resultados melhores que o uso da janela M2 com ou sem o uso do sombreador, como esse efeito foi observado em todas as orientações de implantação para as cidades de Belém, é possível considerar que o sombreador esteja comprometendo a passagem do ar que entraria pela parte superior (pivotante horizontal) da janela M2.

Por fim, é possível concluir que o sombreamento das esquadrias, com utilização de elementos que permitam a passagem da ventilação natural tornam o ambiente mais agradável termicamente. Além disso, o sombreamento das aberturas é ainda mais recomendado ao orientar as fachadas das edificações em direções onde o desconforto será acentuado, como é o caso da orientação Oeste em Vitória e em Belém e também em orientações onde tem incidência solar por grande período de tempo, como é o caso da Norte. É indispensável ressaltar que o elemento sombreador precisa atender a algumas recomendações técnicas importantes para o desenvolvimento do bem-estar, saúde e produtividade das crianças, como permitir a passagem de luz e permitir o acesso visual ao exterior do ambiente da sala de aula.

4.5 CONSUMO ENERGÉTICO (KWH) E CUSTO FINANCEIRO (R\$)

Em relação ao consumo energético, os cálculos foram obtidos alternando os modelos de janela (M1, M2, M3 e M4) associados ao uso da porta padrão fechada (PF), mantendo as quatro orientações de implantação e as duas cidades.

Para obter o consumo energético (kWh) e o custo financeiro (R\$) necessários para promover o resfriamento forçado (artificial) da edificação durante o período em que há desconforto por calor, além da FDT anual, foram determinados, a partir de informações disponibilizadas pela concessionária de energia do Espírito Santo, a Tarifa final mensal do kWh. A Tarifa final mensal utilizada para os cálculos correspondem a parte do ano de 2020 (abril a dezembro) e parte de 2021 (Janeiro a Março).

As Tarifas, assim como as alíquotas dos impostos envolvidos nesse serviço seguem descritas na **Tabela 22**:

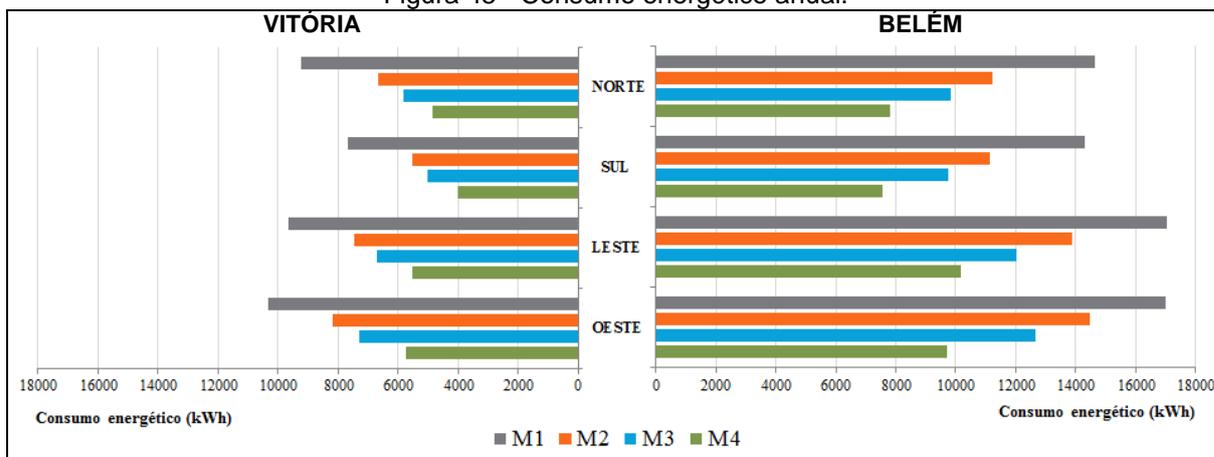
Tabela 22 - Alíquotas referentes aos impostos associados à Tarifa final do kWh.

Mês	PIS/PASEP	COFINS	ICMS	Tributos	Tarifa final
Março/2021	1,16	5,33	25,00	31,49	0,81
Fevereiro/2021	0,88	4,06	25,00	29,94	0,80
Janeiro/2021	0,56	2,60	25,00	28,16	0,78
Dezembro/2020	0,58	2,26	25,00	27,84	0,77
Novembro/2020	0,85	3,89	25,00	29,74	0,79
Outubro/2020	0,91	4,20	25,00	30,11	0,80
Setembro/2020	0,44	2,02	25,00	27,46	0,77
Agosto/2020	0,29	1,34	25,00	26,63	0,76
Julho/2020	0,77	3,57	25,00	29,34	0,79
Junho/2020	0,64	2,97	25,00	28,61	0,78
Mai/2020	0,53	2,42	25,00	27,95	0,77
Abril/2020	0,41	1,86	25,00	27,27	0,77

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da FDT e do consumo horário dos pares de condicionadores de ar, fornecido pelo fabricante, foi calculado o consumo energético (kWh) em cada caso, conforme é apresentado na **Figura 45**.

Figura 45 - Consumo energético anual.

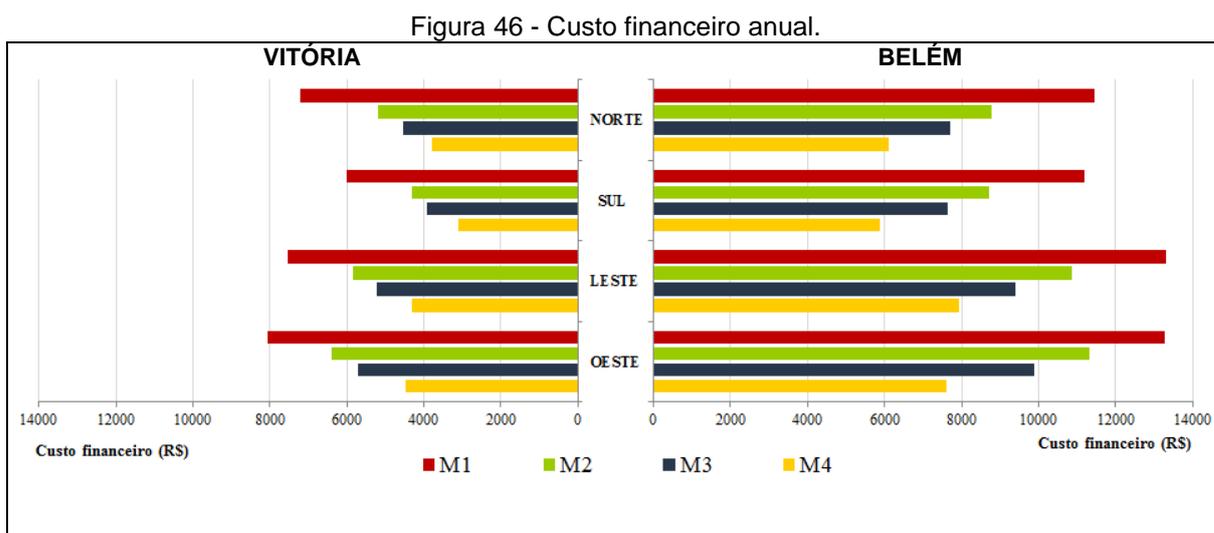


Fonte: Elaborado pela autora.

De forma geral, observa-se que o consumo energético em Belém é significativamente maior do que em Vitória considerando todas as orientações estudadas. Em acordo ao quantitativo de dias em conforto ao longo do ano, por meio do consumo energético, verifica-se que independente da escolha pelo modelo de janela, ao implantar a sala de aula em Vitória orientando a fachada principal ao Sul seguida da Norte, tem-se a menor demanda energética para obtenção do conforto ao longo de todo o ano, com valores de (7679,3 – M1; 5526,9 – M2; 5013,8 – M3; 3997,0 – M4) (kWh) para Sul e de (9220,7 – M1; 6655,5 – M2; 5809,0 – M3; 4841,2 – M4) (kWh) para Norte, enquanto a Orientação Oeste é responsável pelo mais alto consumo energético (10305,1 – M1; 8175,9 – M2; 7303,8 – M3; 5732,0 – M4) (kWh)

com resultados muito similares a Leste (9654,5 – M1; 7464,7 – M2; 6702,2 – M3; 5522,2 – M4) (kWh). Já em Belém o menor consumo energético corresponde a (14309,2 – M1; 11156,2 – M2; 9766,4 – M3; 7541,7 – M4) (kWh) para a orientação Sul, seguido da orientação Norte com os valores (14645,0 – M1; 11240,2 – M2; 9838,7 – M3; 7807,5 – M4) (kWh), e os maiores valores estão distribuídos entre as orientações Leste e Oeste, com os valores (17016,6 – M1; 13889,4 – M2; 12037,8 – M3; 10151,2 – M4) (kWh) para Leste e (16998,0 – M1; 14477,1 – M2; 12653,4 – M3; 9717,4 – M4) (kWh) para Oeste.

De posse do consumo energético e da Tarifa final mensal, foram calculados os custos financeiros (R\$) anuais (**Figura 46**) para que os alunos possam usufruir do conforto térmico durante todo o ano.



Fonte: Elaborado pela autora.

ou seja, o custo financeiro médio anual, em reais, para proporcionar aos usuários o mesmo nível de conforto, é no mínimo 70% maior em Belém. Vale a pena ressaltar que a situação mais crítica, entre os 32 possíveis cenários, ocorre quando é adotado o modelo de janela padrão M1, orientado a fachada principal da Creche II a Leste com implantação na cidade de Belém promovendo 349 dias (95,6% do ano) em desconforto térmico por calor, consumindo um total de 17016 kWh para promover o resfriamento forçado desse período, que compromete um montante de R\$ 13.296,00 anuais aos cofres públicos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apontou o referencial teórico, a arquitetura escolar vem passando por um processo evolutivo no Brasil, ao passo que tem reconhecido alguns erros graves e vem tentando propor soluções arquitetônicas mais apropriadas ao ambiente escolar, no entanto esta pesquisa mostrou que tais ações ainda impactam pouco as escolas brasileiras, de forma que a maior parte delas tem problemas que prejudicam o processo de ensino aprendizagem. Além disso, alguma das soluções arquitetônicas observadas são baseadas em países cujas condições, principalmente climáticas, são muito distintas do Brasil, o que pode produzir uma falsa sensação de que o problema esteja sendo resolvido, quando na verdade não está.

Entre os principais problemas levantados, está o conforto térmico que compõe o conforto ambiental, constituindo uma condição necessária para o bom desenvolvimento das atividades diárias dos estudantes. Os projetos arquitetônicos brasileiros de forma geral apresentam poucas ou nenhuma estratégia de condicionamento térmico passivo e com isso acaba abrindo mão de utilizar soluções simples e economicamente mais viáveis, fazendo com que a edificação, muitas vezes, tenha que recorrer ao condicionamento térmico forçado, por meio da utilização de condicionadores de ar para que o ambiente tenha condições razoáveis de habitabilidade.

Em relação às escolas públicas, a problemática acaba sendo consideravelmente agravada dada a dificuldade em destinar recursos financeiros que possibilitem o custeio da implantação e manutenção de sistemas artificiais para as escolas. Questão que acaba contribuindo, em certa medida, para elevar a desigualdade social no Brasil, visto que os alunos que são submetidos a ambientes escolares com os referidos problemas, já iniciam seu processo educacional tendo que contornar um grande empecilho, assim como tendo que lidar com os danos causados por um ambiente escolar desagradável. Foi observado também que os danos gerados pelo desconforto térmico podem ir além do prejuízo no processo de ensino aprendizagem, podendo passar a se configurar um problema de saúde, a depender

da quantidade de tempo de exposição a esses ambientes e dos níveis de desconforto térmico enfrentados pelos usuários.

Entre as estratégias, indicadas pela NBR 15220, para o condicionamento térmico passivo das edificações implantadas nas cidades de Vitória e Belém, estão o uso da ventilação cruzada permanente, a adoção de aberturas grandes e o sombreamento das aberturas durante o ano inteiro. Analisando as indicações é possível perceber que a janela pode ser configurada como um excelente elemento arquitetônico para a utilização de tais estratégias, no entanto, essa não tem sido uma prática comum no Brasil. Foi observado que a janela é escolhida na maior parte dos projetos por questões não técnicas.

Outro problema bastante discutido no Brasil é a prática de construir escolas a partir de projetos padronizados, trata-se de um processo ainda muito difundido, apesar de todas as contraindicações apresentadas. O projeto padrão faz parte da história da arquitetura escolar brasileira, sendo utilizado desde os primeiros movimentos direcionados a construir edificações destinadas a fins escolares. Esse processo foi defendido em alguns períodos da história, principalmente por representantes políticos e por pessoas que não possuem o conhecimento técnico para avaliar tal estratégia, sempre com a justificativa de economicidade de tempo de recursos financeiros e capacidade de alcançar mais pessoas. No entanto, especialistas apontam tal prática como bastante comprometedora para o conforto térmico.

Após as inúmeras críticas ao projeto padronizado, a arquitetura escolar brasileira continua, fortemente, sendo desenvolvida a partir dessa prática, principalmente quando está relacionada a educação pública. A partir de um dos programas do Ministério da Educação que promove a construção de escolas públicas para a educação infantil no Brasil, o Proinfância, foram identificadas 7679 unidades, sendo 4350 delas construídas entre os anos de 2007 até o ano de 2021 e 3329 unidades passando por algum dos trâmites da construção, ou seja, os números mostram que apesar de todas as evidências negativas apontadas, a arquitetura escolar brasileira ainda está muito presente nas cidades brasileiras.

Relacionado ao tema estudado, conforto térmico, o projeto padrão já surge naturalmente com prejuízos irreparáveis, dado que fatores intrínsecos aos estudos de conforto térmico são previamente negligenciados. Entre os principais fatores estão as condições climáticas da região onde a escola será implantada, tais condições são inevitavelmente descartadas durante a fase de projeto devido a impossibilidade de considerar a alta variabilidade climática do Brasil em um único projeto.

Diante do cenário da arquitetura escolar brasileira e do mau uso das janelas em prédios escolares, observando que essas duas práticas prejudicam consideravelmente o conforto térmico, esta pesquisa buscou avaliar, por meio de uma sala de aula do projeto padronizados Tipo B do Proinfância, quais índices de desconforto estas escolas estão atingindo e como a janela está relacionada a eles. A fim de investigar a relação entre a padronização e o conforto, duas cidades pertencentes a Zona Bioclimática 8, foram analisadas de forma comparativa, Vitória e Belém. Foram avaliadas a janela padrão (M1), atualmente adotada nos projetos e três outros modelos propostos (M2, M3 e M4), além de quatro condições distintas para a porta principal da sala de aula, o uso da porta padrão fechada (PF), aberta (PA), a substituição por uma porta do tipo baia (PB) e por uma do tipo veneziana (PV) e por fim quatro possíveis orientações de implantação da fachada da sala (onde está localizada a janela), Norte, Sul, Leste e Oeste. foram analisadas todas as configurações entre janelas, portas e orientações, associadas ao uso de um elemento sombreador móvel sobreposto aos modelos de janela, com o objetivo de avaliar o impacto dessa estratégia recomendada pela NBR 15220.

Para as análises, foram adotadas a metodologia de conforto adaptativo (ASHRAE 55, 2013) e os diagramas de flutuabilidades (SICURELLA, EVOLA E WURTZ, 2012) que juntos permitem avaliar tanto o percentual de conforto existente, por meio do intervalo de conforto adaptativo, quanto a intensidade e frequência do desconforto diário, por meio do GhDT e do FDT respectivamente. Além disso foi levantado também qual seria o consumo energético e o custo financeiro para tornar estas escolas confortáveis o ano inteiro.

Os resultados obtidos comparando as cidades de Vitória e Belém com o projeto padrão e a condição mais comum para o uso da porta principal (janela padrão - M1 e porta fechada - PF), sob todos os indicadores utilizados, mostraram que em Vitória as condições de desconforto são mais brandas em relação à Belém, se considerado o ano inteiro, ainda que em alguns pontos específicos a situação de Vitória seja mais crítica que a de Belém. Dessa forma, foram identificados um percentual maior de dias ao longo em conforto em Vitória, sendo identificados (57,5-Norte; 67,1-Sul; 57,3-Leste; 52,3-Oeste)(%) enquanto para Belém, foram obtidos (19,7-Norte; 21,1-Sul; 4,7-Leste; 4,4-Oeste)(%).

Em relação ao desconforto térmico diário, ele foi analisado por estações e para o ano inteiro, acumulando maiores valores de GhDT e FDT em Belém, indicando assim dias com desconforto mais intenso e de maior frequência, a partir das análises dos diagramas de fluatibilidade de cada estação do ano em cada cidade, foi observado que em geral o desconforto diário oscila entre leve e temporário (zona 1) e leve e frequente (zona 2) que constituem a maior parte dos dias nas duas cidades, com ocorrência de alguns dias com desconforto intenso e frequente (zona 3), principalmente na estação mais críticas do ano como é o caso do verão de Vitória e do inverno de Belém que podem ser consideradas estações críticas para estas cidades respectivamente. Não foram identificados dias com desconforto intenso e temporário (zona 4) em nenhum dos casos estudados.

Durante as análises da magnitude e da frequência do desconforto térmico em cada estação e ao longo do ano para o projeto padrão, foram identificados alguns valores extremos para cada cidade que podem ser avaliados para dimensionar bem os níveis de desconforto aos quais as escolas públicas brasileiras podem está sendo submetidas, tais como 91% do período do verão ao orientar a fachada da sala a Oeste é considerado desconfortável termicamente em Vitória com intensidade acumulada no valor 4738,7°C.h/estação, sendo o menor percentual encontrado, o valor de 23,5% que corresponde a intensidade de 636°C.h/estação, obtido na estação da primavera orientando a fachada ao Norte, onde as condições climáticas estão entre as mais favoráveis possíveis pra Vitória, ou seja, nem sob estas condições, ocorre conforto térmico durante todo o período analisado com a adoção do projeto padrão. Já em Belém, o desconforto esteve mais presente na estação da

primavera comprometendo 86% do período ao orientar a fachada a Oeste, no entanto, a maior intensidade de desconforto foi registrada na estação do inverno, com GhDT acumulado de 3588,2°C.h/estação, com orientação de fachada voltada a Oeste, enquanto o menor percentual de desconforto ocorre em 65,1% do período do verão com a fachada orientada ao Norte, acumulando também a menor intensidade de desconforto 1702,9°C.h/estação.

A partir da avaliação do projeto com o uso da janela padrão M1, foi possível perceber que o mesmo tem proporcionado altos índices de desconforto anual aos alunos, apresentando desempenho insatisfatório em ao longo do ano em regiões de climas quente e úmido, como é o caso de Vitória e Belém. Tal constatação é consequência dos altos índices de desconforto anuais registrados, independente da orientação sendo que na melhor condição (M1-Sul) apenas 67% do ano é considerado em conforto em Vitória e em Belém esse número cai drasticamente para 21% (M1-Sul), ou seja, ainda que o projeto seja implantado com a fachada na melhor orientação, continua ocorre bastante desconforto. Foi possível concluir a partir das diferenças entre Vitória e Belém, principalmente as extremas, que os prejuízos causados aos usuários de Belém em relação aos de Vitória ao implantar o mesmo projeto nas duas cidades são significativos, assim como a ineficiência apresentada pelo atual zoneamento bioclimático.

Em geral, o modelo de janela utilizado na arquitetura escolar do padrão brasileiro Proinfância não apresenta bom desempenho ao longo do ano em climas tropicais quentes, com dias de desconforto térmico em todas as estações, principalmente quando a sala de aula é orientada para o oeste

Ao substituir a janela padrão pelos modelos propostos (M2, M3 e M4), foi observado por todos os indicadores de conforto que a condição térmica do ambiente melhorou significativamente, principalmente à medida que a área disponível para ventilação aumentou, seguindo a ordem entra as janelas M1-M2-M3-M4. Entre os resultados obtidos o mais expressivo em Vitória foi o percentual de 90,1% do ano em conforto térmico, obtido com o modelo de janela M4 e fachada orientada ao Sul, já em Belém, na mesma orientação para o mesmo modelo foi registrado o valor de 94% do ano em conforto térmico, sendo o máximo valor registrado para Belém. É importante

ressaltar que todos os modelos de janelas propostos apresentaram melhoria significativa em relação ao conforto térmico, sendo que o modelo M4 que possui a maior área disponível para a ventilação apresentou os melhores resultados em todos os indicadores. Em Vitória, a janela que menos impactou na melhoria do conforto ofereceu um percentual de 17% de aumento em relação ao modelo padrão M1, trata-se da janela M2 orientada ao Sul, em Belém com o mesmo modelo e orientação o percentual de melhoria, que também foi o mínimo alcançado correspondeu a 112%. Tais resultados foram consideravelmente baixos se comparados aos máximos obtido (56% para Vitória e 1400% para Belém) devido ao fato de a orientação Sul já apresentar níveis razoáveis de conforto e também devido ao modelo M2 ser o modelo que oferece a menor área disponível para ventilação entre os três modelos testados.

Em relação aos índices de desconforto registrados para os modelos testados, os melhores valores registrados foram o percentual de 10,5% da primavera em desconforto com implantação da fachada orientada ao Sul e intensidade no valor de 68°C.h/estação, sendo registrado também na orientação Sul para a estação do inverno. Já em Belém a menor intensidade registrada foi de 538,9°C.h/estação, com orientação de fachada voltada ao Norte e frequência de ocorrência de 30,4% na mesma orientação, ambos os resultados encontrados para o modelo M4 na estação do verão.

Para os dados obtidos anualmente, no geral, os casos analisados com melhores índices de conforto foram registrados com implantação das fachadas orientadas ao Sul e ao Norte e os casos mais críticos direcionadas a Oeste e a Leste, sendo esses resultados repetidos, praticamente, em todos os indicadores. Como desconforto anual extremo em Vitória, podem ser citados os valores de GhDT=8713,3°C.h/ano para a máxima intensidade de desconforto encontrada e o valor de FDT=67,8% para a máxima frequência de desconforto, correspondendo ao modelo M1 e o melhor resultado obtido com o modelo M4 foi GhDT=1781,9°C.h/ano e FDT=18,4%. Em Belém os dados corresponderam a GhDT=13194,9°C.h/ano de intensidade máxima e FDT=83,2% de frequência anual com o modelo M1 e o melhor índice registrado foi GhDT=3205,9°C.h/ano de intensidade e FDT=36,9% para o modelo M4.

A partir dos modelos de janelas propostos, foi possível observar que mesmo com o uso de concepções arquitetônicas mais adequadas ao ambiente escolar como é o caso da inserção de modelos de janelas mais apropriados, ainda assim o prejuízo entre as cidades continuará a existir, visto que nada fará um único projeto arquitetônico atender com o mesmo nível de eficiência duas regiões que tenham diferenças climáticas significativas, sendo assim, é necessário que cidades com condições ambientais e climática distintas recebam análises e recomendações particulares.

Ao avaliar a interação entre os modelos de janelas e as condições para a porta principal da sala, em geral, para todos os modelos de janelas, em Vitória e em Belém, foi percebida pouca diferença entre o percentual de dias em conforto ao longo do ano ao adotar a porta fechada ou aberta, tendo resultado mais significativo ao adotar a porta baia associada a janela M4 com orientação de fachada Norte, acumulando 97% do ano em conforto para Vitória e 98,6% para Belém. Vale salientar que tanto a porta baia quanto a porta veneziana associadas a todos os modelos de janela elevaram os índices de conforto térmico do ambiente. Outra informação observada é que em Vitória em relação à quantidade de dias em conforto ao ano, o resultado em relação à orientação Oeste é unânime de tal forma que todos os casos avaliados apresentaram maior desconforto com esta orientação de fachada.

Para os índices de desconforto anuais GhDT e FDT, o comportamento dos resultados foi bem variado, de forma que para o modelo de janela M1, conforme comentado anteriormente a associação com a porta veneziana (PV) apresentou melhor resultados em todas as orientações e nas duas cidades. O modelo de janela M2 foi apresentado resultado muito superior ao ser associado a porta baia (PB), em todas as orientações e nas duas cidades. O modelo M3 apesar de apresentar resultados relativamente próximos entre as portas do tipo baia (PB) e veneziana (PV) se comparados ao modelo M2, apresentou resultados superiores ao ser associado ao uso da baia (PB) em todas as orientações para Vitória e com exceção apenas para o GhDT na orientação Sul em Belém. Já o modelo de janela M4 apresentou resultado superior ao ser associada a porta baia para as duas piores orientações Leste e Oeste, considerando apenas a intensidade do desconforto

(GhDT), sendo os melhores resultados obtidos para Norte e Sul com a porta veneziana (PV), entretanto, ao considerar a frequência do desconforto (FDT) o pior resultado com a porta baia (PB) ocorreu apenas na orientação Sul, sendo os melhores resultados obtidos também ao ser associada a porta veneziana (PV). Além disso entre todos os resultados obtidos para Vitória os melhores índices registrados ocorreram associando M4 a porta veneziana (PV) com fachada voltada ao Sul (GhDT=1672,1°C.h/ano e FDT=17,4%). Em Belém o modelo M4 foi mais satisfatório ao ser associado a porta veneziana (PV) em todas as orientações avaliando o GhDT, inclusive apresentando o valor mínimo nesse caso para a orientação Sul (GhDT=1672,1°C.h/ano) e considerando a frequência do desconforto o melhor resultado foi diferente apenas na orientação Sul, onde a melhor associação foi com a porta baia (PB), que configurou a menor frequência de desconforto entre todos os casos estudados em Belém (FDT=34,3%). Os piores resultados se mantiveram ao associar o modelo de janela M1 ao uso da porta fechada (PF) com implantação de fachada voltada a Oeste tanto em Vitória quanto em Belém

Como resultado atípico encontrado entre as análises alternando as condições para a porta, está o caso do modelo de janela M1 e M2 associados a porta do tipo veneziana (PV), visto que apenas nessa configuração de porta, a janela M1 apresentou desempenho mais satisfatório que a janela M2, tal resultado se manteve em todas as orientações de implantação e também em Vitória e em Belém, assim como em relação à todos os indicadores utilizados.

Os resultados obtidos entre as análises associando as janelas e as portas, mostram que ,mesmo com a melhoria significativa encontrada entre a alternância dos modelos de janelas apenas associados ao uso da porta fechada (PF), esses benefícios podem, ainda, serem potencializados a partir da maior possibilidade de ventilação ou até mesmo do direcionamento estratégico do fluxo de ar no interior do ambiente, proporcionado pelos diferentes padrões de portas analisados, fazendo com que o conforto térmico no ambiente seja otimizado.

Ao avaliar o impacto no uso do sombreador associados as aberturas, foi constatado seu impacto favorável no conforto térmico de forma geral, tanto aumentando a quantidade de dias em conforto ao longo do ano quanto reduzindo a magnitude e

frequência do desconforto que continua presente no ambiente. Além disso, ficou, mais uma vez, nítido que o desconforto anual em Belém supera o desconforto em Vitória, visto que os valores de GhDT e FDT anuais são em todos os casos maiores para Belém. Foi observado que em alguns casos o sombreador se torna mais relevante em Belém do que em Vitória, por exemplo, podem ser citados os modelos de janela M1 que tiveram um percentual de melhoria com o uso do sombreador de (38; 30; 39; 38)(%) para as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste respectivamente na cidade de Belém, enquanto em Vitória o percentual de melhoria para o mesmo modelo de janela correspondeu a (22; 3; 18; 21)(%) também para as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste, respectivamente.

Na cidade de Vitória, observa-se que o maior benefício com a adoção do sombreador, foi alcançado pelo modelo M1 e pela orientação Oeste e em Belém, o maior benefício causado pelo sombreador se repercute no modelo de janela M1 e fica entre as orientações Leste e Oeste.

Destaca-se que o uso do elemento sombreador associado a janela M2 apresentou pouca melhoria, tanto em Vitória quanto em Belém, sendo que em Belém, a associação entre o uso do sombreador e o modelo de janela padrão M1, conseguiu gerar resultados melhores que o uso da janela M2 com ou sem uso do sombreador, como esse efeito foi observado em todas as orientações de implantação para as cidades de Belém, é possível considerar que o sombreador esteja comprometendo a passagem do ar que entraria pela parte superior (pivotante horizontal) da janela M2.

Por fim, é possível concluir que o sombreamento das esquadrias com utilização de elementos que permitam a passagem da ventilação natural tornam o ambiente mais agradável termicamente. Além disso, o sombreamento das aberturas é ainda mais recomendado ao orientar as fachadas das edificações em direções onde o desconforto será acentuado, como é o caso da orientação Oeste em Vitória e em Belém e também em orientações onde tem incidência solar por grande período de tempo, como é o caso da Norte. É indispensável ressaltar que o elemento sombreador precisa atender a algumas recomendações técnicas importantes para o desenvolvimento do bem-estar, saúde e produtividade das crianças, como permitir a passagem de luz e permitir o acesso visual ao exterior do ambiente da sala de aula.

Os resultados relativos às orientações de implantação mostram que em Vitória, as estratégias passivas relacionadas a melhoria do conforto térmico, principalmente, através das aberturas, devem estar mais associadas a questão da ventilação natural que do sombreamento, enquanto em Belém, esse efeito parece ser invertido.

Tal afirmação decorre da observação dos resultados obtidos para a orientação Norte em Vitória, que após a orientação Sul, apresenta os melhores índices de conforto térmico, sendo precedida pela orientação Leste. Acontece que a orientação Norte, em geral, recebe maior incidência solar que a Leste, entretanto a frequência e velocidade dos ventos para Norte são maiores que para Leste, fazendo com que ela apresente resultado superior, ou seja, o aumento da ventilação impactou mais que os altos índices de incidência solar. A observação é potencializada à medida que é aumentada a área para ventilação nos modelos de janelas, seguindo a ordem M1-M2-M3-M4, onde a diferença entre os resultados de ambas as orientações aumenta em maiores proporções inclusive independentemente da condição para a porta principal da sala.

Agora, analisando Belém, é possível notar que a frequência e velocidade dos ventos é máxima para a orientação Leste, no entanto é orientando a fachada ao Sul que os melhores índices de conforto são obtidos, mesmo com níveis extremamente baixos de frequência e velocidade dos ventos, sendo compatíveis a orientação Oeste que detém os maiores níveis de desconforto em Belém, inclusive é possível observar que a diferença entre os resultados obtidos para as orientações Sul e Leste ao alternar os modelos de janelas e consequentemente aumentar a área para ventilação, ocorrem de forma modesta ao substituir o modelo padrão M1 pelo modelo M2, no entanto, após alternar para o modelo M3 e M4 essa diferença se mantém constante, confirmando que, de fato, o aumento da área para ventilação proporcionado pelos modelos de janela não está sendo capaz de impactar significativamente o conforto térmico, comparando ao efeito causado pela incidência solar mais branda que ocorre na orientação Sul.

Mesmo diante das constatações apresentadas, é fundamental destacar a importância em avaliar cada caso de forma individual, pois os resultados mostram que cada orientação possui uma caracterização climática, com incidência solar,

frequência e velocidade dos ventos muito particular e deve ser analisando de forma bastante criteriosa juntas as características técnicas das aberturas para que assim, sejam propostas as melhores soluções possíveis para cada fachada e conseqüentemente para cada edificação, elevando o desempenho do edifício e conseqüentemente o conforto térmico para o usuário

Em relação ao consumo energético, os cálculos foram obtidos alternando os modelos de janela (M1, M2, M3 e M4) associados ao uso da porta padrão fechada (PF), mantendo as quatro orientações de implantação e as duas cidades.

Analisando os resultados, verifica-se que independente da escolha pelo modelo de janela, ao implantar a sala de aula em Vitória orientando a fachada principal ao Sul seguida da Norte, tem-se a menor demanda energética para obtenção do conforto ao longo de todo o ano, com valores de (7679,3 – M1; 5526,9 – M2; 5013,8 – M3; 3997,0 – M4) (kWh) para Sul e de (9220,7 – M1; 6655,5 – M2; 5809,0 – M3; 4841,2 – M4) (kWh) para Norte, enquanto a Orientação Oeste é responsável pelo mais alto consumo energético (10305,1 – M1; 8175,9 – M2; 7303,8 – M3; 5732,0 – M4) (kWh) com resultados muito similares a Leste (9654,5 – M1; 7464,7 – M2; 6702,2 – M3; 5522,2 – M4) (kWh).

Já em Belém o menor consumo energético corresponde a (14309,2 – M1; 11156,2 – M2; 9766,4 – M3; 7541,7 – M4) (kWh) para a orientação Sul, seguido da orientação Norte com os valores (14645,0 – M1; 11240,2 – M2; 9838,7 – M3; 7807,5 – M4) (kWh), e os maiores valores estão distribuídos entre as orientações Leste e Oeste, com os valores (17016,6 – M1; 13889,4 – M2; 12037,8 – M3; 10151,2 – M4) (kWh) para Leste e (16998,0 – M1; 14477,1 – M2; 12653,4 – M3; 9717,4 – M4) (kWh) para Oeste.

Objetivando uma comparação geral com ordem de grandeza entre os resultados de Vitória e Belém, foi calculado o custo médio, entre as quatro orientações, para cada um dos modelos de janela estudados a fim de verificar qual o aumento percentual no consumo e conseqüentemente no custo por implantar a edificação em Belém ao invés de Vitória, obtendo como resultado (71,6 – M1; 83,5 – M2; 79,3 – M3; 75,8 –

M4) (%), ou seja, o custo financeiro médio anual, em reais, para proporcionar aos usuários o mesmo nível de conforto, é no mínimo 70% maior em Belém.

Vale a pena ressaltar que a situação mais crítica, entre os 32 possíveis cenários, ocorre quando é adotado o modelo de janela padrão M1, orientado a fachada principal da Creche II a Leste com implantação na cidade de Belém promovendo 349 dias (95,6% do ano) em desconforto térmico por calor, consumindo um total de 17016 kWh para promover o resfriamento forçado desse período, que compromete um montante de R\$ 13.296,00 anuais aos cofres públicos.

Finalmente, entre as principais conclusões obtidas neste estudo, destaca-se a necessidade de repensar a prática do projeto escolar padronizado, visto que o mesmo afeta o desempenho do edifício, elevando os níveis de desconforto oferecidos aos usuários, além de criar a necessidade de utilização de aparelho climatizadores de ar, que acabam não sendo adquiridos por uma série de motivos, e com isso fazem com que alunos, professores e demais usuários se submetam a ambientes desconfortáveis termicamente diariamente. É fundamental para a obtenção de maiores índices de conforto que as particularidades regionais do local de implantação da escola sejam levadas em consideração durante a fase de projeto, assim como a finalidade da edificação.

O zoneamento bioclimático brasileiro e, conseqüentemente, as recomendações de estratégias passivas indicadas pela NBR 15220 anseiam por reformulações a fim de um maior desenvolvimento do Brasil no quesito conforto ambiental, além disso, faz-se necessário mais políticas que incentivem os profissionais a adotarem as normativas, visto que as existentes, apesar de apresentar limitações, possibilitam um direcionamento de caminhos possíveis aos profissionais, no entanto, na maioria das vezes elas são negligenciadas.

A utilização das estratégias de condicionamento térmico passivo, descritas pela NBR 15220 devem ser levadas em consideração para a obtenção de melhores índices de conforto, sendo que na Zona Bioclimática 8, essas recomendações interferem ainda mais no conforto, dada as altas temperatura e umidade relativa do ar. Sombrear as aberturas, manter grandes área para ventilação, sem dúvida são decisões

fundamentais para o desenvolvimento de projetos implantados em regiões de clima quente e úmido, visto que a estratégia mais eficiente para o condicionamento térmico passivo em ambientes naturalmente ventilados é a adoção da ventilação natural.

Outra estratégia fundamental para elevar os níveis de conforto térmico no ambiente interno é a adoção da ventilação noturna, capaz de fazer o resfriamento convectivo do edifício, promovendo a liberação do calor armazenado durante o dia no período noturno. No que diz respeito ao estudo da implantação das fachadas da edificação, esta pesquisa mostrou de forma enfática que a escolha da orientação faz muita diferença, podendo melhorar significativamente o conforto térmico, inclusive determinando, muitas vezes, a necessidade ou não do uso do elemento sombreador.

A cidade de Belém demonstrou necessitar de estudo mais criterioso que Vitória em relação ao conforto devido a sua localização geográfica que sofre maior impacto da incidência solar e também pelos seus baixos índices de frequência e velocidade do ar.

A partir dos resultados, é possível inferir que a utilização do modelo de janela adequado, definida a partir de estudo técnico, levando em consideração o uso da edificação, as particularidades regionais impactam, não só no conforto térmico ofertado aos usuários, mas no conforto ambiental de forma geral. Sendo assim, é indispensável que a janela adequada seja associada ao projeto ideal para cada cidade, objetivando atingir melhores níveis de conforto térmico.

Por fim, apesar das alternativas avaliadas terem reduzido significativamente os níveis de desconforto térmico, nenhum dos casos estudados apresentou conforto térmico em tempo integral, considerando o parâmetro analisa de 90% de aceitabilidade, proposto pela Ahsare 55, sendo assim, sem o devido condicionamento térmico do ambiente, a adoção de projetos padrão é inadequada, podendo prejudicar os usuários e o desenvolvimento das atividades escolares diárias.

6 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, ASHRAE 55 - **Thermal Environmental Conditions for human Occupancy**. Atlanta, 2004.

_____. **ASHRAE 55 - Thermal Environmental Conditions for human Occupancy**. Atlanta, 2013.

_____. **ASHRAE 62 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. Atlanta, 2001. Disponível em: < http://www.grntch.com/images/ASHRAE_Standard62-01_04_.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2021.

A. Tulsyan , S. Dhaka , J. Mathur , JV Yadav. **Potencial de economia de energia por meio da implementação do código de construção de conservação de energia na cidade de Jaipur, Índia**. Construir energia, 58 (2012), pp. 123 – 130.

A.L. Pisello , M. Bobker , F. Cotana. **Um método de otimização da eficiência energética de um edifício avaliando a ocupação efetiva das Zonas Térmicas**. Energias, 5 (2012), pp. 5257 – 5278.

ALAMAR, A. **Condiciones Higrotermicas de confort em Edifícios. Monografia del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento**. Madri: Enero, 1968.

ALBATICI, R.; PASSERINI, F. **Bioclimatic design of buildings considering heating requirements in Italian climatic conditions**. A simplified approach. Building and Environment, v. 46, p. 1624-1631, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231100045X#>>. Acesso em: 07 de abril de 2021.

ANALYSIS SOL-AR – Versão 6.2 UFSC: **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações** - LABEEE. Disponível em: < <http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>> Acesso em: 10 de outubro de 2020.

ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20202749ti.pdf>. Acesso em: 30 de março de 2021.

ANELLI, R. L. S. **Centros Educacionais Unificados: arquitetura e educação em São Paulo**. Vitruvius. São Paulo, dez. 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitectos/05.055/517>>. Acesso em: 25 de novembro de 2020.

ARCHDAILY. Jamile Weizenmann. **Clássicos da Arquitetura: Ginásio de Guarulhos / Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi**. 24 Jun 2015. ArchDaily Brasil. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/769052/classicos-da-arquitetura->

ginasio-de-guarulhos-vilanova-artigas-e-carlos-cascaldi. Acesso em: 01 de janeiro de 2021.

ARTIGAS, J. B. V. **Caminhos da arquitetura**. 3ª ed. Apresentação de Carlos Lemos. São Paulo: Cosac Naify, 1999.

ASHRAE. **Diretrizes 14-2002 para medição de economia de energia e demanda**. Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado (2002).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10820**: Caixilho para edificação - Janela. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 15220** - Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Projeto de norma** - CEE-191. 1º Projeto 191.000.01-001/6. ABNT/CEE – 191. Parte 6: Esquadrias para edificações – Requisitos e classificação, métodos de ensaio, instalação e manutenção. Rio de Janeiro, 2014.

AZEVEDO, G. A.; BASTOS, L. E.; BLOWER, H. S. **O moderno já passado** – o passado no moderno. Anais do III Seminário Projetar, 2007. Disponível em: http://www2.gae.fau.ufrj.br/wpcontent/uploads/2019/03/escola_ontem_edu_hj_gana_leo_hsb.pdf. Acesso em: 20 de junho de 2020.

BASTOS, Maria Alice Junqueira. **A escola-parque**: ou sonho de uma educação completa (em edifícios modernos). 2009. Disponível em: <http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/178/artigo122877-3.aspx>. Acesso em: 14 de agosto de 2019.

BENTON, C.; BAUMAN, F.; FOUNTAIN, M. A field measurement system for the study of thermal comfort. 1990.

BERNABÉ, A. C. A.. **A influência da envoltória no consumo energético em edifícios comerciais artificialmente climatizados na cidade de Vitória - ES**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória - ES, 2012. 132 f.

BERNARDI, N.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Avaliação da interferência comportamental do usuário para a melhoria do conforto ambiental em espaços escolares: estudo de caso em Campinas-SP. **IV Encontro Nacional e III Encontro latino-americano sobre conforto no ambiente construído**. São Pedro - SP, 11 a 14 de novembro de 2001. Disponível em: < http://www.fec.unicamp.br/~doris/pt/artigos/con_html/pdf/ENCAC2001conforto_comp_ortamentol.pdf > Acesso em: 17 de julho de 2019.

BERTOLOTI, D. **Iluminação natural em projetos de escola**: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade de iluminação e conservar energia. 2007.150p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2007.

Bittencourt, L. S.; Sacramento, A.; Leal, T. A.; Cândido, C. **A influência do tipo de fechamento dos peitoris ventilados na velocidade e distribuição da ventilação**

natural em salas de aula. In: IX Encontro Nacional Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC 2007. Ouro Preto, Brasil. Anais... Ouro Preto, Brasil. 2007. 1 CD ROM

BITTENCOURT, L. S.; SACRAMENTO, A.; LEAL, T. A.; CÂNDIDO, C. **Estudo do desempenho do peitoril ventilado para aumentar a ventilação natural em escolas de Maceió/AL**, Ambient. Construído. 2008.

BITTENCOURT, L. S.; LÔBO, D. G. F. **A influência da localização das aberturas na ventilação natural de edificações escolares.** In: V ENCONTRO NACIONAL/ II ENCONTRO ... Fortaleza/CE, 1999.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução a Ventilação Natural.** Maceió: EDUFAL, 2005.

BRAGER, G. S.; DE DEAR, R. **Climate, Comfort, & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55.** Center for Environmental Design Research Center for the Built Environment, 2001. Disponível em: <<http://web.stanford.edu/group/narratives/classes/08-09/CEE215/ReferenceLibrary/CBE%20Research%20Thermal%20Comfort/ASHRAE%20Adaptive%20Thermal%20Comfort%20Standard.pdf>>. Acesso em: 20 de outubro de 2020.

BRASIL. **Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação.** Proinfância: Imagens do projeto Tipo B. Disponível em: <https://www.flickr.com/search/?text=proinfancia>. Acesso em: 10 de março de 2021.

BRASIL. **Fundo Nacional de Desenvolvimento Da Educação.** Proinfância: Dados referentes ao programa. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/proinfancia>. Acesso: em de 10 fevereiro de 2021.

BRASIL. **Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.** Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/educacao-e-pesquisa/2021/01/educacao-basica-teve-47-3-milhoes-de-matriculas-em-2020> Acesso em: 12 de abril de 2021.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Secretária de Educação Básica (SEB). **Parâmetros básicos de infraestrutura para instituições de educação infantil.** Brasília, 2006. 45 p.

BRASIL. Ministério da Educação. **Instruções e procedimentos para elaboração de projetos de implantação referentes a construção de escolas que utilizem os projetos-padrão do FNDE.** Brasília, 2009.

BRASIL. Ministério da Educação. **Programa Dinheiro Direto na Escola: Manual de Orientações para as escolas.** Brasília, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. **Resolução/CD/FNDE no 6 de 24 de Abril de 2007** - Estabelece as orientações e diretrizes para execução e assistência financeira

suplementar ao Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil – PROINFÂNCIA. Brasília, 2007.

BUFFA, E.; PINTO, G. d. A. **Arquitetura e educação**: organização do espaço e propostas pedagógicas dos grupos escolares paulistas, 1893/1971. 2002.

CÂNDIDO C, LAMBERTS R., BITTENCOURT L., DEAR R.. **Aplicabilidade dos limites de velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos**. Revista Ambiente construído. Porto Alegre, v.10, n.4, p.59-68, out/dez 2010.

CÂNDIDO, C. *et al.* **Air movement preference and thermal comfort**: A survey in classrooms during summer season in Brazil. PLEA 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Anais...Quebec city: 2009.

CÂNDIDO, M. C.; DE DEAR, R.; LAMBERTS, R. **Combined thermal acceptability and air movement assessments in a hot humid climate**. Building and Environment, v. 46, p. 379-385, 2011. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231000243X>>. Acesso em: 10 de julho de 2020.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **EN 15251**: indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels, 2007.

CONSUL. Disponível em: <https://www.consul.com.br/produto/ar-condicionado-janela-12-000-btu-eletronico-2/>. Acesso em: 30 de março de 2021.

CORRÊA, M. E. P.; MELLO, M. G.; NEVES, H. M. V. **Arquitetura escolar paulista 1890 - 1920**. São Paulo: FDE: Diretoria de Obras e Serviços, 1991.

CRE - **Centro de Referência em Educação Mario Covas**. Disponível em: <http://www.crmariocovas.sp.gov.br/top.php?t=004>. Acesso em: 29 de abril de 2021.

DE DEA, R. **Recent Enhancements to the Adaptive Comfort Standard in ASHRAE 55-2010**. 45th Annual Conference of the Architectural Science Association, ANZASCA. The University of Sydney. 2011. Disponível em:< <http://anzasca.net/wp-content/uploads/2014/08/24P94.pdf>>. Acesso em: 10 de novembro de 2019.

DE DEAR, R. **Thermal comfort in practice**. Indoor Air, v. 14 (7), p. 32–39, 2004. Disponível em:<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.2004.00270.x/pdf>>. Acesso em: 20 de setembro de 2020.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference**. ASHRAE Trans. Center for the Built Environment UC Berkeley, Indoor Environmental Quality, v.104, parte 1, 1998.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. **Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55**. Energy and Buildings, v. 34, p. 549–561, 2002.

Disponível

em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802000051>>. Acesso em: 10 de agosto de 2019.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. Final report ASHRAE RP-884; 1997. Disponível em:< <http://www.cbe.berkeley.edu/research/other-papers/de%20Dear%20-%20Brager%201998%20Developing%20an%20adaptive%20model%20of%20thermal%20comfort%20and%20preference.pdf>>. Acesso em 10 de novembro de 2019.

DE OLIVEIRA P. M., MESQUITA L. C. C., GKANTONAS S., GIUSTI A. AND MASTORAKOS E. **Evolution of spray and aerosol from respiratory releases: theoretical estimates for insight on viral transmission**. Proc. R. Soc. A.4772020058420200584. Acesso em: 10 de abril de 2021.

DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, M. 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, v. 13, n. 4, p. 189-202, jul./set., 2013. Disponível em:<<http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/38862/28182>>. Acesso em: 19 de março de 2021.

DESIGNBUILDER. 2019. **DESIGNBUILDER** software Ltda. Versão 6.1.0.006.

DÓREA, C. R. D. Anísio Teixeira e a arquitetura escolar: planejando escolas, construindo sonhos. **Revista da FAEBA**, n^o 13, p.151-160, jan./Jun, 2000.

Dubois D, Dubois EF. **A fórmula to estimate the approximate surface area if height and weight be known**. Arch Intern Med. 1916; 17:863-871. Disponível em: <https://www.merckmanuals.com/medical-calculators/BodySurfaceArea.htm>. Acesso em: 25 de abril de 2021.

EDP ESCELSA - **Espírito Santo Centrais Elétricas**, 2017. Disponível em: <https://www.edp.com.br/distribuicao-sp/saiba-mais/informativos/conheca-sua-conta>. Acesso em: 29 de março de 2021.

EDP ESCELSA - **Espírito Santo Centrais Elétricas**. Disponível em: <https://www.edp.com.br/distribuicao-sp/saiba-mais/informativos/tabela-de-calculo-pispasep-cofins> Acesso em: 29 de março de 2021.

ESCOLA PARQUE: **Centro Educacional Carneiro Ribeiro**. Salvador. Disponível em: < <http://www.escolaparquesalvador.com.br>> Acesso em: 10 de outubro de 2019.

FARIA, A. L. G. DE, & PALAHRES, M. S. (orgs). **Educação Infantil pós-LDB: rumos e desafios**. Campinas: Autores Associados, 1999.

FARIA, F. L. M. de; VIDAL, D. G. Os tempos e os espaços escolares no processo de institucionalização da escola primária no Brasil. **Revista Brasileira de Educação**,

São Paulo, Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação (Anped), n. 14, p. 19-34, 2000. (Número Especial: 500 anos de educação escolar).

FILHO, E. C. *et al.* Avaliação do conforto ambiental em uma escola municipal de João Pessoa. **IX Encontro de extensão/X Encontro de iniciação à docência**. João Pessoa-PB, 2007.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 8 ed., Studio Nobel: São Paulo, 2003.

GERMINAL EDUCAÇÃO E TRABALHO. Disponível em: <https://germinai.wordpress.com/textos-classicos-sobre-educacao/linha-historica-da-arquitetura-escolar-do-brasil/>. Acesso em: 30 de abril de 2021.

GIVONI, B. **Basic study of ventilation problems in houses in hot countries**. Israel: Building Research Station of the Institute of Technology, 1962.

GIVONI, B. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. Applied Science Publishers LTD, London, 1976.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: John Wiley and Sons, 1994.

GOMES, M. J. de F. Análise histórica da educação física do IFPB: do surgimento na escola industrial de João Pessoa (1945) à influência dos esportes na década de 70. **HOLOS**, v. 3, p. 164-177, 2010.

GRABE, J. von. **Flow resistance for different types of windows in the case of buoyancy ventilation**. *Energy and Buildings*, v. 65, p. 516–522, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813003848>>. Acesso em: 10 de julho de 2020.

HATHAWAY, Warren E. A study into the effects of types of light on children-a case of daylight robbery. **IRC Internal reports**, n. 659, p. 11-29, 2000.

HUMPHREYS, M. A.; RIJAL, H. B.; NICOL, J. F. **Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database**. *Building and Environment*, v. 63, p. 40-55, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313000474>>. Acesso em: 10 de outubro de 2020.

IBARRA, Diego; REINHART, Christoph. **Building Performance Simulation for Designers Energy: DesignBuilder // EnergyPlus Tutorial 1. Getting Started**. Harvard University. Graduate School of Design. 2009.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Censo 2010**, (2010) 1–9. Acesso em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 28 de março de 2021.

INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia**, Estações automáticas, (2021) 1. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 28 de março de 2020.

IPAC. Conjunto Escola Parque. **Cadernos do IPAC**,8. Salvador: IPAC, 2014.

ISO - International Organization for Standardization, **ISO 7726** - Ergonomics of the thermal environment -- Instruments for measuring physical quantities, Genova, 1998.

ISO 7730 (2005): **Ergonomics of the thermal environment** — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.

ISO 8996 (2004): **Ergonomics of the thermal environment**. Determination of metabolic rate.

K. BENÍCIO. Vitória registra recorde de temperatura da primavera nesta segunda, **A Gazeta** (2019). Disponível em: <https://www.agazeta.com.br/clima/vitoria-registra-temperatura-maxima-da-primavera-nesta-segunda>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2020.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. C. K. **Arquitetura Escolar** - o Projeto do Ambiente de Ensino. 1. ed. São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2011.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. *et al.* **Melhoria do Conforto Ambiental em Edificações Escolares na Região de Campinas**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., Fortaleza, 1999. Anais... Fortaleza: ANTAC, 1999.

KOWALTOWSKI, D. *et al.* **O conforto no ambiente escolar: elementos para intervenções de melhoria**. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2002) Foz do Iguaçu – Paraná – Brasil 7 a 10 de maio de 2002, p. 173–182, 2002. (PEGUEI DA UNES, OLHAR SE PRECISO DEIXAR AQUI AO FIM DO TRABALHO).

LAMBERTS, R. *et al.* **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª edição. São Paulo: PW, 2014.

LAMBERTS, R.; Xavier, A. A. de P.; GOULART, S. **Apostila de Conforto e stress térmico**. LabEEE. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2008.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; DE VECCHI, R. **Conforto térmico e stress térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – departamento de engenharia Civil, 2011. Disponível: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf>. Acesso em: 25 de julho de 2019.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. **Apostila de Conforto Térmico e Stress Térmico**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

LBEEE - **Laboratório de Eficiência Energética em edificações**, Seção downloads. Arquivos climáticos em formato EPW, (2019) 2019. www.labeee.ufsc.br/downloads (accessed March 1, 2019).

LEAL, T. A.; CÂNDIDO, C. M.; BITTENCOURT, L. S. **A influência na distribuição e velocidade da ventilação natural a partir do uso do peitoril ventilado em escolas**. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006, Florianópolis. Anais do XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006.

LIMA, L. de C. *et al.* **Conforto térmico em espaços abertos no clima quente e úmido**: Estudo de caso em um parque urbano no bioma Mata Atlântica. *Ambiente Construído*, v. 19, n. 2, p. 109–127, 2019.

MAHFUZ, E. d. C. **Transparência e sombra**: o plano horizontal na arquitetura paulista. Seminário Docomomo (1.: 2006 ago. 28-30: Porto Alegre, RS). A segunda idade do vidro: transparência e sombra na arquitetura moderna do cone sul-americano 1930-70 [recurso eletrônico]. Porto Alegre: PROPAR-UFRGS, 2006., 2006.

MARTINS, T. A. d. L.; BITTENCOURT, L. S.; KRAUSE, C. M. d. L. B. **Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro**: reflexões sobre o semiárido nordestino. *Ambiente Construído*, SciELO Brasil, v. 12, n. 2, p. 59–75, 2012.

MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação**- Estratégia para minimizar seu consumo. São Paulo, Editora Projeto, 2ª Edição, 1991.

MELO, L. G. **Arquitetura escolar e suas relações com a aprendizagem**. Monografia (Graduação em Pedagogia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), São Gonçalo-RJ, 2012.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, Roberto; CUNHA, José Bellini. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p.47-68, 2005.

MILAN, Victoria Bottini. **Desempenho térmico**: análise de uma edificação escolar padrão proinfância instalada no município de Camaquã. Trabalho de Graduação. Porto Alegre/RS: 2015.

MORAIS, J. M. da S. C. **Ventilação natural em edifícios multifamiliares do “Programa Minha Casa Minha Vida”**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas - SP, 2013. 229f.

NEVES, L. O. **Arquitetura bioclimática e a obra de Severiano Porto**: estratégias de ventilação natural. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

NICOL, J. F. **Characterising occupant behaviour in buildings**: towards a stochastic model of occupant use of windows, lights, blinds, heaters and fans, in: Proceedings of the seventh international IBPSA conference, Rio de Janeiro, v. 2, 2001. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/%5Cproceedings%5CBS2001%5CBS01_1073_1078.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2020.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. Energy and Buildings, v. 34, p. 563–572, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802000063>>. Acesso em: 10 de setembro de 2020.

NICO-RODRIGUES, E. A. **Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, da Universidad del Bio-Bío, Concepción – Chile, 2015. 202 f.

NOGUEIRA, M. C. d. J. A.; DUARTE, L. C.; NOGUEIRA, J. de S. **Conforto térmico na escola pública em Cuiabá - MT**: Estudo de caso. Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental (REMEA), v. 14, 2005.

ORNSTEIN, S. e BORELLI NETO, J. **O Desempenho dos Edifícios da Rede Estadual de Ensino**: o caso da Grande São Paulo – Avaliação Técnica: primeiros resultados. FAU-USP/ CNPq, agosto/93 a agosto/95.

P. Raftery , M. Keane , J. O'Donnell. **Calibrando modelos de energia de edifícios inteiros**: uma metodologia baseada em evidências. Construir energia, 43 (2011), pp. 2356 – 2364.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. d. **Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático**. Ambiente construído, SciELO Brasil, v. 10, n. 1, p. 31–51, 2010.

SALEH, Philip H. Thermal performance of glazed balconies within heavy weight/thermal mass buildings in Beirut, Lebanon's hot climate. **Energy and Buildings**, v. 108, p. 291-303, 2015.

PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO-EDUCAÇÃO. Disponível em: <https://educacao.sme.prefeitura.sp.gov.br/centroseducacionaisunificados/>. Acesso em: 02 de maio de 2021.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Condicionador_ar_janela.pdf. Acesso em: 29 de março de 2021.

RAJA, I. A.; NICOL, J. F.; MCCARTNEY, K. J.; HUMPHREYS, M. A. **Thermal comfort**: use of controls in naturally ventilated buildings. Energy Buildings, v. 33(3), p. 235- 244, 2001. Disponível

em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778800000876>>.
Acesso em: 15 de abril de 2021.

REBOUÇAS, D.. História do Fazer Moderno Baiano – entrevista de Diógenes Rebouças a Naia Alban e Anna Beatriz Galvão. **Revista Rua**, Salvador, n. 7, p. 116-125, jul./dez. 1999.

REED, R. H. **Design for natural ventilation in hot humid weather**. Texas: Texas Engineering Experiment Station ,1953.

REIS, A. T. **Repertório, análise e síntese**: uma introdução ao projeto arquitetônico. [S.l.]: Ed. da UFRGS, 2002.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático Brasileiro**. São Carlos/SP: 2012.

RUIZ, G. R.; BANDERA, C. F. **Validation of calibrated energy models**: Common errors. *Energies*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 10, p. 1587, 2017.

SANTO, A. D. **Impacto da janela no conforto térmico**: Edificações multifamiliares ventiladas naturalmente. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória – ES, 2014. 118 f.

SEM. **Secretária de Educação de Maringá**. Disponível em: <http://www.mgauemaplicacao.seed.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1>. Acesso em: 02 de maio de 2020

SERJ. **Secretária de Educação do Rio de Janeiro**. Disponível em: <https://www.seeduc.rj.gov.br/>. Acesso em: 02 de maio de 2020.

SICURELLA, F.; EVOLA, G.; WURTZ, E. A. **Statistical Approach For the Evaluation of Thermal and Visual Comfort in Free-Running Buildings**. *Energy and Buildings*, v. 47, p. 402-410, 2012.

Sigma sensores. Disponível em: <https://sigmasensors.com.br/produtos/aplicativo-para-hobo-mx-data-loggers-onset-hoboconnect>. Acesso em: 01 de novembro de 2019.

SILVA, L. B. **Análise da relação entre Produtividade e conforto térmico: o caso dos digitadores do centro de processamento de dados da Caixa Econômica Federal de Pernambuco**. Florianópolis, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA. **Avaliação nutricional da criança e do adolescente**: Manual de orientação. São Paulo/SP: 2009. Disponível em: https://www.sbp.com.br/fileadmin/user_upload/pdfs/MANUAL-AVAL-NUTR2009.pdf. Acesso em: 25 de abril de 2021.

SOMAR METEOROLOGIA. 2015. Disponível em:
<<http://somarmeteorologia.com.br/noticias/60614/>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

SOUZA, R. F. de. **Templos de civilização**: a implantação da escola primária graduada no Estado de São Paulo (1890-1910). São Paulo: UNESP, 1998.

SPAGNUOLO, A. Y. **Projeto Padrão e conforto térmico**: Estudo de caso nas creches PROINFÂNCIA Tipo B. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru – SP, 2019. 95 f.

STAVRAKAKIS, P. L. ZERVAS, H. SARIMVEIS, N. C. MARKATOS. **Optimization of window-openings design for thermal comfort in naturally ventilated buildings**. Applied Mathematical Modelling, v. 36, 193–211. 2012. Disponível em:<
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X11003635>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2021.

TOLEDO, Eustáquio. **Ventilação Natural das habitações**. Alagoas, EdUFAL, 1999.

TRINDADE, S. C.; PEDRINI, A.; DUARTE, R. N. C. **Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido**. Ambiente Construído, SciELO Brasil, v. 10, n. 4, p. 37–58, 2010.

XAVIER, A. et al. E. **Arquitetura Moderna Paulistana**. São Paulo: Pini, 1983.