DESEMPENHO TÉRMICO E CONSUMO ENERGÉTICO EM UMA SALA DE AULA PADRONIZADA: "IMPACTO DO MODELO DE JANELA EM DUAS CIDADES DA ZB 8"

Gilda Laysa Oliveira de Gouveia (1); Marcos Vinicius Gualberto da Cruz (2); Érica Coelho Pagel (3); Ramon Silva Martins (4);
(1) Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade, Engenheira Civil, gilda.gouveia@ifnmg.edu.br, Tel.: (27) 99877 2951
(2) Graduando em Engenharia Mecânica, marc-vg@hotmail.com, Tel.: (28) 99909 0541
(3) Dra., Professora do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Cidade, erica.pagel@uvv.br
(4) Ph.D., Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, ramon.martins@uvv.br
Universidade Vila Velha, Av. Comissário José Dantas de Melo, 21, Boa Vista II, Vila Velha–ES, Brasil, CEP 29.102-920, Tel.: (27) 3421 2026, Tel.: (27) 3421 2001

RESUMO
A padronização da arquitetura escolar no Brasil é preocupante do ponto de vista do conforto ambiental, pois na maioria das vezes não leva em consideração as particularidades climáticas de cada lugar, resultando em ambientes com desconforto térmico e consequentemente gasto energético com sistemas de refrigeração. Segundo a NBR 15220 uma das principais estratégias passivas para condicionamento térmico em localidades situadas na Zona 8, caracterizadas por um clima tropical quente e úmido, é a ventilação do ambiente, o que intensifica o papel das janelas do edifício na captação e distribuição do ar. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o conforto térmico em uma sala de aula padrão do projeto escolar Proinfância Tipo B, avaliando quatro configurações diferentes de desenho da janela. Além disso, foram calculados o consumo energético e o custo financeiro anual para proporcionar conforto, de forma artificial, às horas em que ele não é atingido de forma passiva. O método executado envolveu simulações computacionais com o uso do software DesignBuilder. Os resultados mostram que a janela (M4) que oferece maior área para ventilação e maiores taxas de entrada de ar permanente (24 h/ dia), através do peitoril ventilado e pivotante, apresenta melhor desempenho térmico em todas as configurações estudadas, em contrapartida a janela padrão (M1) apresenta o pior rendimento. Ficou evidente também que ao associar o aumento da ventilação à correta orientação da fachada da sala de aula, o desempenho máximo é atingido.

Palavras-chave: conforto térmico, ventilação natural, janelas, consumo energético, simulação computacional.

ABSTRACT
The standardization of school architecture in Brazil is worrisome from the point of view of environmental comfort, as most of the time it does not take into account the climatic particularities of each place, resulting in environments with thermal discomfort and consequently energy expenditure with refrigeration systems. According to NBR 15220, one of the main passive strategies for thermal conditioning in locations located in Zone 8, characterized by a hot and humid tropical climate, is the ventilation of the environment, which intensifies the role of the building's windows in capturing and distributing air. Thus, the objective of this research was to evaluate the thermal comfort in a standard classroom of the Proinfância Tipo B school project, evaluating four different window design configurations. In addition, the energy consumption and the annual financial cost were calculated to provide comfort, artificially, at times when it is not reached passively. The method performed involved computational simulations using the DesignBuilder software. The results show that the window (M4), which offers a larger area for ventilation and higher rates of permanent air intake (24 h/day), through the ventilated and pivoting sill, presents better thermal performance in all the studied configurations, in contrast to standard window (M1) has the worst performance. It was also evident that by associating increased ventilation with the correct orientation of the classroom façade, maximum performance is achieved.

Keywords: thermal comfort, natural ventilation, windows, energy consumption, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

O Governo Federal, por meio do Fundo Nacional da Educação Básica (FNDE), instituiu o Programa Proinfância que vem construindo edificações padronizadas por todo território brasileiro, ponderando a redução de custos, agilidade no processo construtivo, o atendimento a regiões mais carentes do país, entre outros aspetos. O projeto, composto por blocos administrativo, de serviço, multiuso e pedagógicos, pode atender até 224 crianças entre os turnos matutino e vespertino de 0 a 6 anos. Até o ano de 2021 já são 3459 unidades acordadas, estando 2579 concluídas e 880 em andamento (FNDE, 2021). Contudo há uma série de fatores que preocupam esta construção em série, entre eles destaca-se o conforto térmico.

Diversos autores mostram que o ambiente escolar desconfortável termicamente tem prejudicado o processo de ensino aprendizagem. Kowaltowski, (2011) infere que os estudantes estão produzindo menos do que deveriam, visto que parâmetros importantes para elevar os níveis de conforto vêm sendo negligenciados durante a fase de projeto da maior parte das escolas brasileiras. Lamberts, et al. (2014) salientam que a produtividade dos indivíduos em atividade diárias, como as escolares, é maior se o ambiente promove ao usuário a sensação de bem-estar térmico, visual, além de garantir a qualidade do ar. O estudo de Filho, et al. (2007) apontou o calor excessivo como causador de inquietação e dificuldade de concentração nos alunos e a umidade como contribuinte para o aumento do suor que causa sonolência nos estudantes.

De acordo com a metodologia de conforto adaptativo, abordada pela Thermal Environmental Conditions for human Occupancy (ASHRAE, 2017), o conforto térmico depende de fatores climáticos, ambientais e fisiológicos, por isso os índices de conforto térmico podem variar significativamente de uma região para outra, contribuído para a ineficiência no uso de projetos escolares padronizados. Para auxiliar no processo de construção de edificações habitacionais com maior desempenho, o Brasil dispõe da NBR 15220/2005 - a primeira norma brasileira a tratar do assunto, onde sua parte 3 apresenta a divisão do território brasileiro em oito Zonas Bioclimáticas (ZB), sendo traçado para cada Zona recomendações projetuais específicas de adaptação da construção ao meio em que está inserida. Tais diretrizes tratam sobre tamanho e proteção de aberturas, tipo de paredes e coberturas e estratégias para condicionamento térmico passivo (ABNT, 2005). Além da NBR 15220/2005 que tem como foco edificações unifamiliares de interesse social, o Brasil conta ainda com a NBR 15575/2013 que se refere ao desempenho de edificações habitacionais em geral. Vale ressaltar que as normas são frequentemente utilizadas em edificações de uso geral, dada a inexistência de normas mais especificas para cada tipo de edificação.

Segundo Kowaltowski, (2011), entre os problemas que afetam o conforto térmico no ambiente escolar estão o pouco aproveitamento da ventilação natural nas salas de aula, orientação de implantação inadequada, disposição e tamanho de aberturas ineficientes e falta de dispositivos sombreadores. Trindade, et al. (2010) afirmaram que em climas quentes e úmidos, a ventilação natural é o principal recurso passivo para a obtenção do conforto térmico. Lima, et al. (2019), constataram que, em climas quentes e úmidos, o aumento da circulação e velocidade do ar favorecem a adaptação dos ocupantes, melhorando a sensação térmica. Diante do exposto, fica evidente que o elemento construtivo da janela da edificação desempenha um papel fundamental em proporcionar ou aumentar os benefícios decorrentes da ventilação natural para dentro dos ambientes.

É comum que a escolha do modelo das aberturas seja motivada por questões culturais, estéticas, financeiras etc, porém dado ao impacto que esta decisão pode ter no desempenho da edificação, é recomendável que ela leve em consideração ainda na fase de projeto, fatores mais técnicos, como dimensão, posição, área de ventilação e presença ou não de elementos bloqueadores da radiação solar. A correta escolha da janela pode impactar positivamente o consumo energético do edifício, visto que o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2015), afirma que é possível reduzir, em aproximadamente 30%, o consumo de energia elétrica, durante o uso da edificação, principalmente através de intervenções arquitetônicas passivas na envoltória.

Em um estudo que relaciona o tamanho das janelas a ventilação natural, realizado por Sacht e Lukiantchuki (2017), foi constatado que a correta determinação do modelo de janela reduziu o uso de energia elétrica por parte da edificação, visto que aumentou o condicionamento térmico passivo. Nico-Rodrigues, et al. (2015) explicam que apesar da janela ser o componente construtivo da envoltória do edifício que proporciona o menor isolamento térmico, além de ser responsável por grande parte dos ganhos de calor do ambiente, ela pode, ainda assim, contribuir para a melhoria do conforto e redução do consumo energético, visto que se bem planejada, é capaz de promover a entrada e saída de ar que são capazes de melhorar tais condições, além de proporcionar outros benefícios. Sorman e Giampietro (2013) destacaram que a crise mundial energética da década de 70 do século XX, impulsionou o uso da ventilação natural como estratégia passiva, no entanto, Kim Park (2010) enfatizam que o uso da ventilação natural para melhoria dos índices de conforto térmico em edificações é adotado desde a antiguidade

Considerando a duração do tempo em que os indivíduos passam no ambiente escolar, se torna indiscutível a busca por soluções mais sustentáveis para tornar os ambientes mais confortáveis, entre as alternativas estão orientar as fachadas corretamente, dimensionar aberturas e sombreá-las com a utilização de arborização. Tais estratégias beneficiam o uso da ventilação natural e são ações economicamente mais viáveis de serem implementadas. Além disso, levando em consideração a atual pandemia do COVID-19, a ventilação natural na arquitetura vem mostrando grande potencial na redução da propagação do vírus (de Oliveira et al. 2021), de tal forma que a presença de aberturas adequadas a circulação do ar no interior dos ambientes se mostra eficiente não só na contribuição do conforto térmico, mas também para uma questão de saúde pública, se tornando até mesmo uma exigência para que escolas e outros estabelecimentos possam exercer suas atividades durante este período.

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o impacto de diferentes configurações de janelas, no conforto térmico e no consumo energético, em uma sala de aula do Projeto Proinfânica, implantada em duas cidades da Zona Bioclimática 8: Belém e Vitória.

3. MÉTODO

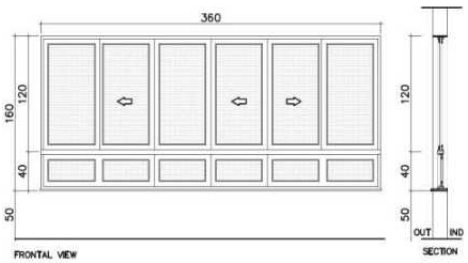
Estão compreendidas na metodologia as etapas de: caracterização das cidades e dos modelos de janelas estudados; simulação computacional; indicadores de avaliação do conforto térmico e o cálculo do consumo energético e custo financeiro.

3.1. Caracterização das cidades e dos modelos de janelas

As cidades envolvidas nesse estudo, Vitória – ES, no Sudeste e Belém – PA, no Norte, pertencem à ZB 8, que por sua vez corresponde a 53,7% do território brasileiro e que, de acordo com a NBR 15220/2005, possui as seguintes diretrizes construtivas: ventilação cruzada; sombreamento contínuo das aberturas; aberturas voltadas à direção dos ventos dominantes, observando o entorno e de acordo com a NBR 15575/2013, destacam-se as recomendações referentes ao tamanho das aberturas para edificações implantadas na ZB 8, que são aberturas grandes, com área para ventilação em função da área do piso superiores a 12% para edificações implantadas na região Norte e maiores que 8% para a região Nordeste e Sudeste doo Brasil. Apesar de compartilharem a ZB, ambas possuem especificidades significativas, por exemplo, a velocidade média dos ventos máxima em Vitória corresponde a 6 m/s enquanto em Belém o valor máximo é de 2 m/s, além disso, a frequência dos ventos em Vitória também é superior, portanto, a beneficia com relação ao uso da ventilação natural. O clima de Vitória é tropical atlântico enquanto Belém conta com clima equatorial decorrente da proximidade com a linha do Equador e da presença da floresta amazônica, fazendo com que o clima quente e úmido se mantenha ao longo de todo ano. Além disso, as temperaturas e umidades médias mensais do ar são mais altas em Belém (temperatura: 22,7°C a 31,8°C; umidade: 80,1% e 89,9%) do que em Vitória (temperatura: 21,8°C a 28,9°C; umidade: 74,9% e 79,2%) (INMET, 2021).

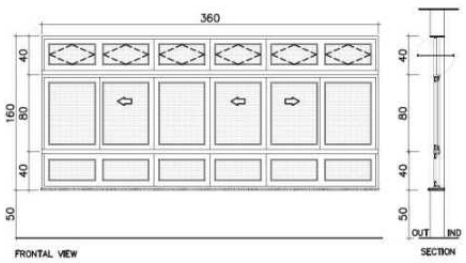
Com o objetivo de avaliar as condições internas de conforto térmico em uma sala de aula, foram propostos três modelos de janelas, denominados M2, M3 e M4, que visam, principalmente, aumentar a área de ventilação em relação a janela padronizada, identificada por M1, por meio de diferentes configurações de projeto para a entrada de ar, conforme segue apresentado nas Figuras 1 e 2.

a) Janela padrão (M1)



Largura: 3,60 m
Altura: 1,60 m
Peitoril: 0,50 m
Área da janela para ventialação: 1,98 m²
Percentual da área de abertura da sala em função da área do piso: 19,57%

b) Janela com pivotante (M2)



Largura: 3,60 m
Altura: 1,60 m
Peitoril: 0,50 m
Área da janela para ventialação: 2,48 m²
Percentual da área de abertura da sala em função da área do piso: 21,40%

Figura 1 – Janelas e características técnicas: a) Janela padrão (M1); b) Janela com pivotante (M2).

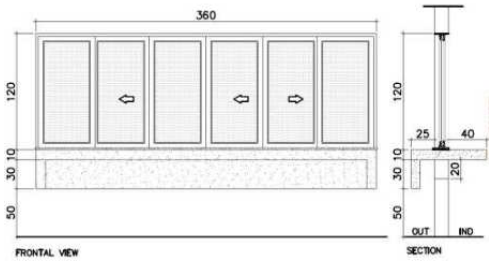
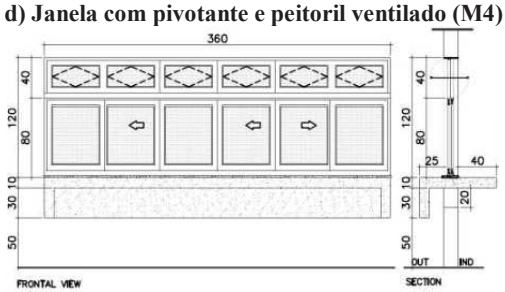
c) Janela com peitoril ventilado (M3)	d) Janela com pivotante e peitoril ventilado (M4)
	
Largura: 3,60 m Altura: 1,20 m Peitoril: 0,50 m + 0,20 m do peitoril ventilado Área da janela para ventialação: 2,70 m² Percentual da área de abertura da sala em função da área do piso: 22,21%	Largura: 3,60 m Altura: 1,20 m Peitoril: 0,50 m + 0,20 m do peitoril ventilado Área da janela para ventialação: 3,20 m² Percentual da área de abertura da sala em função da área do piso: 24,04%

Figura 2 – Janelas e características técnicas: c) Janela com peitoril ventilado (M3); d) Janela com pivotante e peitoril ventilado (M4).

3.2. Simulações computacionais

A Figura 3 mostra o modelo tridimensional do Proinfância Tipo B e a planta baixa do bloco 1, que possui a sala selecionada para estudo – Creche II, classificada pelo software como Zona 6. Para a análise das condições climáticas da cidade de Vitória e Belém utilizou-se o arquivo climático no formato TMY.

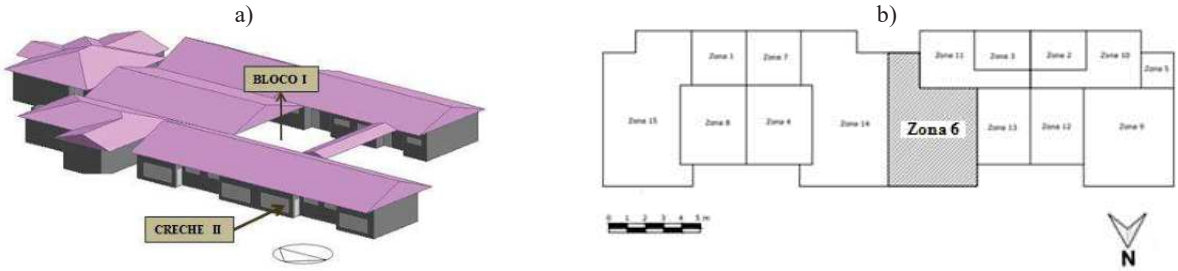


Figura 3 – a) modelo tridimensional e b) planta baixa do bloco 1 destacando a zona 6 que representa a sala de aula estudada.

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

Tabela 1– Dados gerais 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/m³
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/m³
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 (Ɛ)	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/m³
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/m³
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/(m².K)
Moldura das janelas em alumínio	
Transmitância térmica do alumínio	5,88 W/(m².K)

Continua

Tabela 1– Dados gerais para a configuração das simulações (continuação).

AMBIENTE E USUÁRIOS	
Área da sala de aula (Creche II)	27,29 m²
Total de ocupantes	12 alunos e 02 professores
Densidade de ocupação	0,51 pessoa/m²
Rotina de ocupação das 7:00 h às 11:00 h e das 13:00 h às 17:00 h	100%
Rotina 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 referente aos alunos - atividade sedentária	50,0 W/pessoa
Iluminação artificial	10,26 W/m²
Janelas consideradas abertas	7:00 h às 17:00 h
Parte deslizante das janelas fechadas e o pivotante e peitoril ventilado de cada modelo abertos	17:00 h às 7:00 h
Porta principal e a porta de acesso ao *solarium* foram consideradas fechadas, havendo contribuição na ventilação apenas pelas frestas das portas.	7:00 h às 7:00 h

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

Em relação a configuração da entrada e saída de ar através das aberturas, foram adotadas as condições de contorno (valores de temperatura e fluxo de massa) calculadas pela simulação térmica, que, por vez, é baseada no arquivo climático no formato TMY

3.3. Indicadores de conforto térmico, consumo energético e custo financeiro

3.3.1. Intervalo de conforto adaptativo para 90% de aceitabilidade e determinação da Frequência de Desconforto Térmico (FDT)

Esta pesquisa buscou determinar o limite máximo do intervalo de conforto em cada caso, visto que a questão mais crítica para as cidades é o desconforto por calor, condição que ocorre quando as temperaturas operativas internas ultrapassam a temperatura máxima de conforto. O intervalo de conforto adotado foi o proposto pelo método adaptativo da ASHRAE 55 (2017), considerando o percentual de 90% de aceitabilidade, visto que o público-alvo é infantil e possui maior sensibilidade térmica, além de já ter sido aplicado em pesquisas brasileiras, como Nico-Rodrigues et al. (2015), onde os parâmetros envolvidos são a temperatura operativa interna neutra (TN), obtida por meio da Equação 1 que depende da temperatura do ar externo (TE). A avaliação do conforto térmico foi feita classificando os dias ao longo do ano.

$$TN = 17{,}8 + 0{,}31 \times TE \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
TN é a média diária da temperatura operativa interna neutra [°C];
TE é a média diária da temperatura do ar externo (bulbo seco) [°C].

A Frequência de Desconforto (FDT) representa, em porcentagem, a quantidade de horas inteiras em um dado intervalo de tempo em que a média horária da temperatura operativa interna ultrapassa a temperatura máxima de conforto referente aquele período. Nesta pesquisa, optou-se por analisar a frequência de horas em desconforto ao dia, dessa forma um dia (24 horas) correspondem ao percentual de desconforto máximo (100%) e cada hora corresponde ao percentual de 4,16% (100/24), assim para obter o percentual do dia em que houve desconforto, basta multiplicar a quantidade de horas inteiras em desconforto por 4,16%. Por fim, tanto a quantidade de dias em conforto quanto a frequência de horas em desconforto ao dia foram avaliadas por um período de um ano em todos os casos estudados.

3.3.2. Consumo energético (kWh) e custo financeiro (R$) para o resfriamento das horas desconfortáveis

A partir da FDT anual, obtida em horas, foi possível calcular o consumo energético (kWh) e o custo financeiro (R$) anual para proporcionar o condicionamento artificial do ar da sala de aula por todo o período em que a média horária da temperatura operativa interna está acima da temperatura máxima de conforto, ou seja, que ocorre desconforto por calor, considerando 90% de aceitabilidade (ASHRAE 55, 2017).

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 (CONSUL, 2021), então o consumo necessário para atender a sala de aula é de 2,332 kWh. 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, orientações de implantação e cidades estudadas, a FDT anual (em horas) foi multiplicada pelo consumo horário dos aparelhos (2,332 khW). Para obter o custo da refrigeração artificial foram adotados dados referentes a diversas Tarifas corrente no ano de 2021, disponibilizados pela companhia responsável pelo gerencialmente da energia elétrica no Espírito Santo, Energias de Portugal (EDP) - Espírito Santo Centrais Elétricas S.A (ESCELSA).

Inicialmente foi determinado custo do kWh para o consumidor, denominado por Tarifa final (TF) que envolve a Tarifa da 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 em 2020 pela Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL). 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 (*TF*) é obtida por meio da Equação 2 (EDP ESCELSA, 2021).

$$\mathrm{TF} = \frac{TA}{\left(1 - \frac{\mathrm{T}}{100}\right)} \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
TF (Tarifa final) é o valor final pago pelo consumidor por kWh [R$];
TA (Tarifa da ANELL) = a soma das Tarifas TUSD + TE [R$];
T (Tributos) = a soma das alíquotas dos impostos PIS, PASEP, COFINS e ICMS [R$].

Assim, para a obtenção do custo final (R$) para os dois aparelhos, basta multiplicar a Tarifa final, obtida pela Equação 2 pelo consumo obtido em Kwh.

4. RESULTADOS

Os resultados são apresentados inicialmente pela avaliação dos níveis de conforto térmico no ambiente e em seguindo são expostos o consumo energético e o custo financeiro calculados para o resfriamento das horas em desconforto, em todos os casso estudados.

4.1. Indicadores de conforto

Os gráficos apresentados na Figura 4 ilustram a distribuição dos 365 dias do ano em relação ao intervalo de conforto da ASHARAE 55 (2017), obtidos ao adotar o modelo de janela padrão M1, levando em consideração as quatro orientações e as duas cidades estudadas nesta pesquisa.

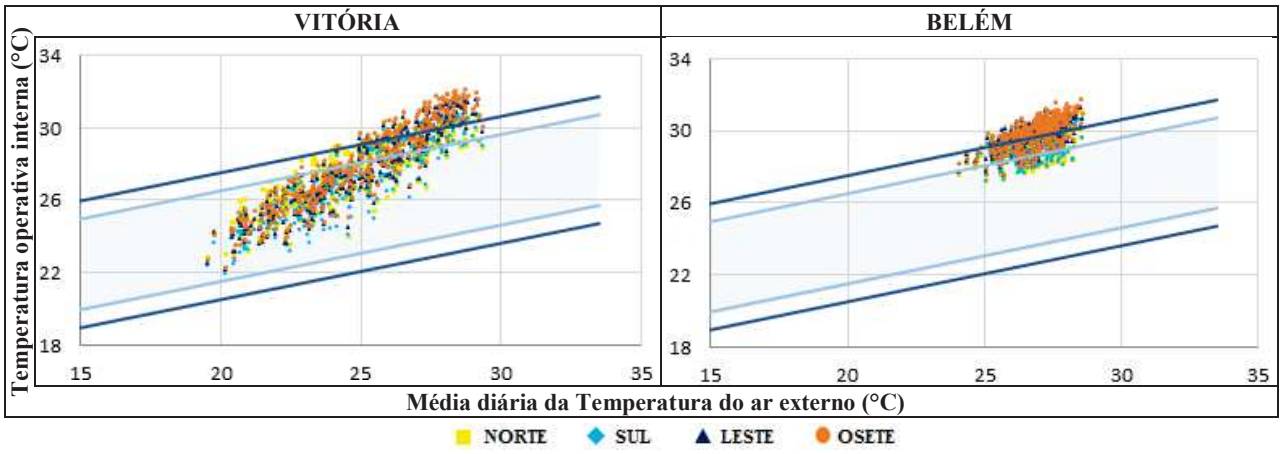


Figura 4 – Intervalo de conforto adaptativo referente ao modelo de janela padrão M1.

A partir do gráfico, observa-se que há uma maior distribuição dos pontos em Vitória, caracterizando condições climáticas mais flutuantes, que são regidas por estações do ano bem definidas, apresentando comportamento bem distintos em relação a Belém que, por influência da proximidade à Linha do Equador conta com pouca variação entre as condições climáticas das estações ao longo do ano. Além disso, nota-se que sob as mesmas condições, para Vitória existem mais dias dentro do intervalo de conforto, comparado a Belém.

A Tabela 2 concentra o quantitativo e ao percentual de dias em relação ao ano em que o conforto térmico é atingido, destacando os valores mínimos (vermelho) e máximos (azul) por modelo de janela e os maiores e menores valores (negrito) obtidos entre todos os casos para Vitória e Belém.

Tabela 2: Quantitativo de conforto térmico anual referente aos modelos de janelas estudados.

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	**16**	50	117	223
	%	57,3	67,9	72,1	78,4	**4,4**	13,7	32,1	61,1
OESTE	DIAS	**191**	231	247	282	17	46	104	240
	%	**52,3**	63,3	67,7	77,3	4,7	12,6	28,5	65,8

Em Vitória, independente da orientação de implantação, a menor quantidade de dias ao longo do ano em conforto ocorre ao adotar a janela padrão M1 (210 – Norte; 245 – Sul; 209 – Leste; 191 – Oeste) (dias) e a maior quantidade é atingida com M4 (327 – Norte; 329 – Sul; 286 – Leste; 282 –Oeste) (dias), cuja configuração se dá pelo aumento da taxa de ventilação pela adição de janelas pivotantes e do peitoril ventilado a janela padrão. Ao analisar as orientações de implantação da fachada principal da sala de aula, obtém-se que a orientação Sul promove mais dias confortáveis, enquanto a orientação Oeste promove o menor número de dias confortáveis ao longo do ano, considerando os quatro modelos de janela.

Em Belém, de forma análoga a Vitória, a menor quantidade de dias ao longo do ano em conforto é obtida com a adoção da janela padrão M1 (72 – Norte; 77 – Sul; 16 – Leste; 17 – Oeste) (dias) contrapondo a janela M4 (325 – Norte; 343 – Sul; 223 – Leste; 240 – Oeste) (dias) que é responsável pela maior quantidade de dias em conforto também nessa região. Esses resultados mostram a ineficiência da janela padrão adotada pelo projeto padronizado nas duas localidades de estudo contribuindo para o stress térmico do ambiente em todas as orientações de sala de aula investigadas.

Com relação às orientações de implantação, as maiores quantidades de dias em conforto são acumuladas ao implantar a fachada orientada ao Norte para adoção do modelo M2, cuja configuração é dotada da adição de janelas pivotantes, ao passo que para os demais modelos (M1, M3 e M4) a orientação da sala de aula com mais dias em conforto é a Sul. Os menores valores são atingidos ao orientar a fachada ao Leste para o modelo M1 e M4 e ao Oeste para os demais modelos (M2 e M3).

Além da quantidade de dias em conforto, foram levantadas também a quantidade de horas, considerando horas inteiras, ao longo do dia em que há desconforto térmico por calor, assim como o total de horas desconfortáveis (FDT) acumuladas ao longo do ano em todos os casos simulados, conforme é ilustrado na Figura 5.

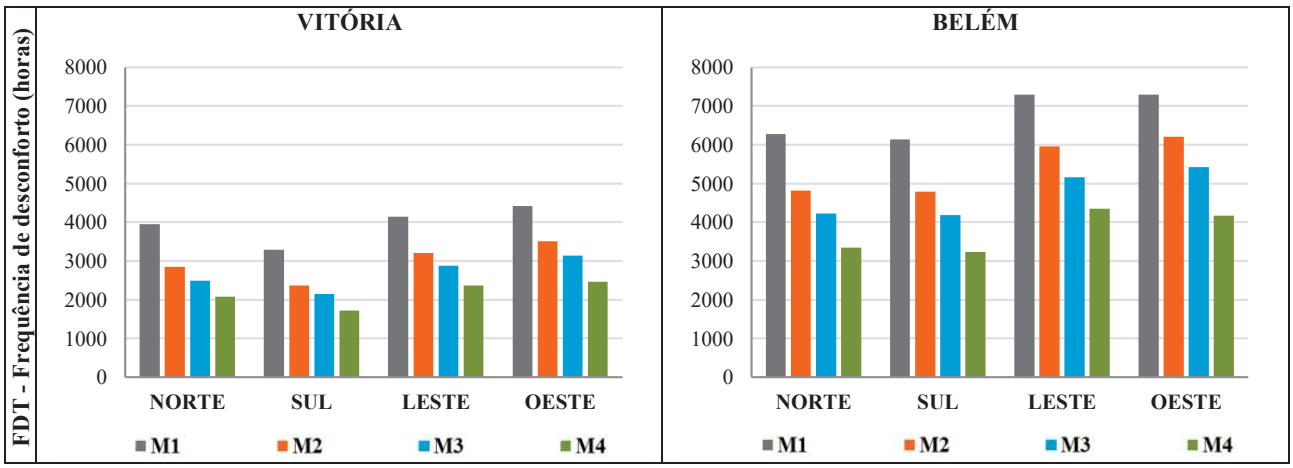


Figura 5 – Frequência de desconforto térmico ao longo do ano.

4.2. Consumo energético (kWh) e custo financeiro (R$)

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 fornecidas pelo fabricante, o consumo horário dos aparelhos condicionadores de ar e, por meio das informações disponibilizadas pela concessionária de energia do Espírito Santo, a Tarifa final mensal do kWh. Em seguida foi calculado o consumo energético em cada caso, conforme apresenta a Figura 6.

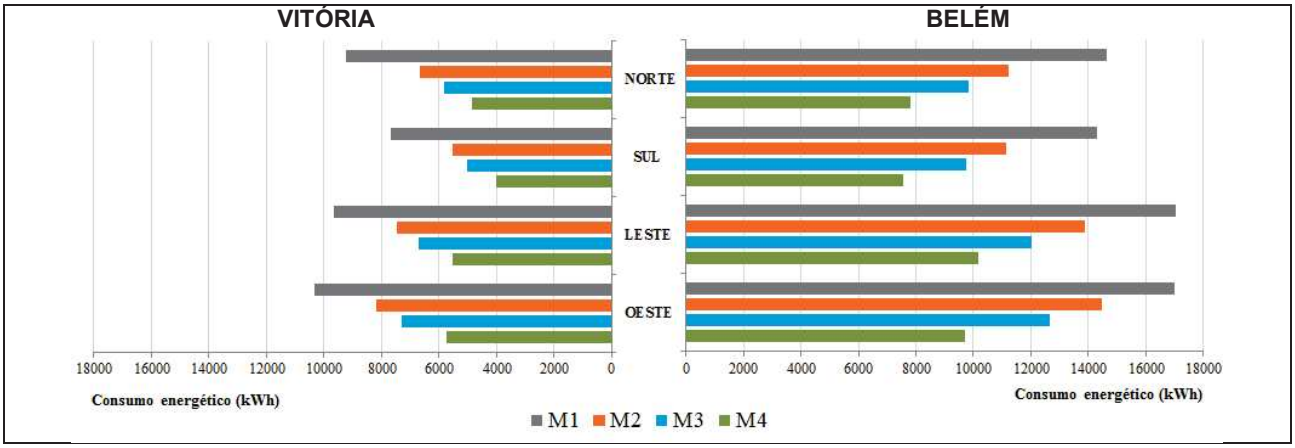


Figura 6 – Consumo energético anual.

De forma geral observa-se que o consumo energético em Belém é significativamente maior do que em Vitória considerando todas as orientações estudadas. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de a velocidade média do vento ser maior na região de Vitória do que em Belém, fazendo com que o aumento da área de ventilação das janelas seja mais eficiente para alcançar o conforto térmico nesta região. Em acordo com 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 7) para que os alunos possam usufruir do conforto térmico durante todo o ano.

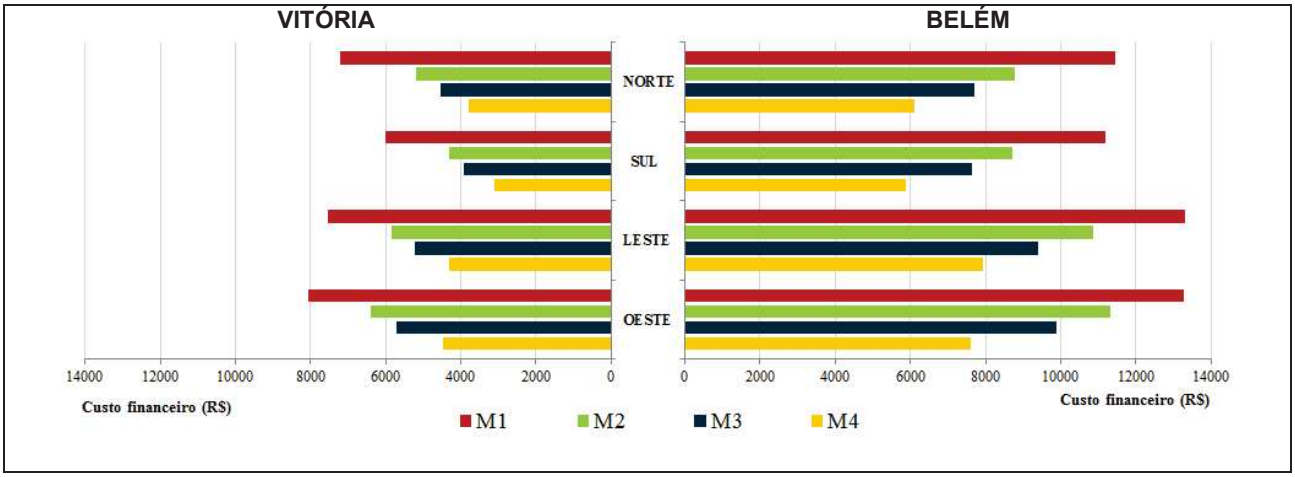


Figura 7 – Custo financeiro anual.

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 consequentemente 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 deste período, que compromete um montante de R$ 13.296,00 anuais aos cofres públicos.

5. CONCLUSÕES

Considerando as quatro orientações e as duas cidades, é possível inferir, a partir dos resultados, que o modelo de janela (M1) utilizado no projeto padrão brasileiro não apresenta boa eficiência ao longo do ano, visto que ao adotá-lo ocorre de 120 (Sul) a 174 (Oeste) dias desconfortáveis no ano em Vitória, ao passo que, em Belém esse quantitativo é ainda mais acentuado, correspondendo a 288 (Sul) e 349 (Oeste) dias. Neste sentido, os resultados melhoraram progressivamente a partir do modelo de janela que possui adição de pivotantes (M2), seguido da janela com peitoril ventilado (M3) e da janela com pivotantes e peitoril ventilado (M4), sendo que todos esses modelos possuem aumento progressivo da área disponível para ventilação. Grandes aberturas para ventilação é uma condição recomendada pela NBR 15575/2013 para a ZB 8 para a melhoria do conforto térmico em regiões de clima quente e úmido, além da possibilidade de proporcionar a ventilação noturna ao ambiente, sendo esta capaz de resfriar a edificação por convecção dissipando a energia térmica adquirida durante o dia e consequentemente melhorando o conforto térmico, conforme constatado em outras pesquisas, como a de Spagnuolo (2019).

O estudo também evidencia a problemática envolvida na adoção de projetos escolares padronizados, sob a perspectiva do conforto térmico, visto que impondo as mesmas condições gerais para a cidade de Belém e Vitória, tem-se que o consumo energético para tornar o ambiente confortável ao longo do ano é no mínimo 70% mais oneroso em Belém. Partindo do fato que as cidades pertencem a mesma ZB, os resultados chamam a atenção para a diferença encontrada no conforto térmico da sala de aula estudada mostrando a importância das especificidades geográficas e climáticas de cada região (latitude, incidência de radiação solar, regime de ventos, rugosidade, etc).

Os resultados confirmam a importância em optar pela melhor orientação de implantação para as fachadas da edificação, respeitando as limitações existentes, mas tomando a decisão a partir de estudos preliminares, sendo as simulações térmicas computacionais uma ótima recomendação para a obtenção de dados confiáveis obtidos a partir de um modelo bem desenvolvido.

Por fim, conclui-se que para obtenção de uma edificação com bom desempenho é fundamental que o projeto seja planejado levando em consideração o máximo de particularidades da região onde ele será implantado. Além disso, no cenário atual, em meio a pandemia de COVID-19, o aumento da área de aberturas para ventilação se torna ainda mais necessário, visto que estudos como de Oliveira et al. (2021) tem mostrado que, além do distanciamento social e do uso de máscaras, a ventilação dos ambientes são medidas essenciais para evitar a transmissão do coronavírus.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, **ASHRAE 55**. Thermal Environmental Conditions for human Occupancy. Atlanta, 2017.

CONSUL. Disponível em: https://www.consul.com.br/produto/ar-condicionado-janela-12-000-btu-eletronico-2/. Acesso em 01 de março de 2021.

COSTALONGA, F. G. **Economia de energia em edifícios multi-familiares utilizando diferentes modelos de janelas em Vitória-ES**. In: ENCAC; ELACAC, 2017, Balneário Camboriú. Anais do XIV Encontro Nacional, X Encontro Latino-americano, de conforto no ambiente construído. Balneário Camboriú, 2017. Disponível em: < http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico4artigo24.pdf >. Acesso em 10 de novembro de 2020.

DE OLIVEIRA P. M., Mesquita L. C. C., Gkantonas S., Giusti A. and Mastorakos E.2021. **Evolution of spray and aerosol from respiratory releases: theoretical estimates for insight on viral transmission.** Proc. R. Soc. A.477202005842020058 4. Acesso em 10 de abril 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.

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.

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.

DESIGNBUILDER. 2013. DESIGNBUILDER software Ltda. Versão 3.4.0.041.

FILHO, E. C. **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.

FNDE - FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. Proinfância: Dados referentes ao programa. Disponível em: https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/proinfancia. Acesso em 10 fevereiro de 2021.

INMET - INSTITUTO METEOROLÓGICO DE METEOROLOGIA. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/. Acesso em 02 de março de 2021.

KIM, T. J.; PARK, J. S. **Natural Ventilation With Traditional Korean Opening in Contemporary House**. Building and Environment, v. 45, p. 51-57, 2010.

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

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

LIMA, L. de C. **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.

NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida et al. **Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES**. Ambient. constr., Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 7-23, June 2015. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212015000200007&lng=en&nrm=iso>. access on 10 Apr. 2021. https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000200011.

SACHT, H.; LUKIANTCHUKI, M. A. **Windows size and the performance of natural ventilation**. Procedia engineering, Elsevier, v. 196, p. 972–979, 2017.

SORMAN, A. H.; GIAMPIETRO, M. **The Energetic Metabolism of Societies and the Degrowth Paradigm: analyzing biophysical constraints and realities**. Journal of Cleaner Production, v. 38, p. 80-93, 2013.

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.

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.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa recebeu o apoio da Universidade Vila Velha - UVV e do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – IFNMG.