XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Avaliação do desempenho energético de edificações com o uso de vidros laminados e insulados no Nordeste do Brasil

Evaluation of the energy performance of buildings with laminated and insulated glass in Northeastern Brazil

Laura Leite Ribeiro
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | laura.leite.ribeiro@gmail.com
Fernando Simon Westphal
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | fernando.sw@ufsc.br
Enedir Ghisi
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | enedir.ghisi@ufsc.br

Resumo

Os ganhos de calor externo de uma edificação decorrem, sobretudo, da radiação solar incidente em sua envoltória, em especial por meio dos vidros. Este estudo avalia o desempenho energético de edificações com o uso de vidros laminados e insulados em cinco cidades do Nordeste do Brasil. Uma sala típica de escritório foi modelada no software EnergyPlus e foram simuladas diferentes configurações de janelas, variando-se o tipo de vidro e a área de janela. Os resultados mostram que quanto maior a temperatura média do ar externo, mais vantajoso é o uso do vidro insulado em termos de economia de energia.

Palavras-chave: Vidros laminados. Vidros insulados. Consumo de energia. Simulação computacional. *EnergyPlus*.

Abstract

The external heat gains of a building result, mainly, from the solar radiation incident on its envelope, especially through the windows. This study evaluates the energy performance of buildings using laminated and insulated glass in five cities in Northeastern Brazil. A typical office room was modelled in the EnergyPlus software and different window configurations were simulated, varying the type of glass and the window area. The results show that the higher the average temperature of the outside air, the more advantageous is the use of insulated glass in terms of energy savings.

Keywords: Laminated glass. Insulated glass. Energy consumption. Computer simulation. EnergyPlus.

RIBEIRO, L. L.; WESTPHAL, F. S., GHISI, E. Avaliação do Desempenho Energético de edificações com o uso de vidros laminados e insulados no Nordeste do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

Os ganhos de calor de uma edificação se dão, principalmente, por intermédio de ganhos internos (ocupação, iluminação e equipamentos) e externos (trocas de calor pela envoltória). Esses ganhos externos decorrem, sobretudo, da radiação solar que incide na sua envoltória, em especial por meio dos vidros, uma vez que nestes as trocas, comparativamente aos fechamentos opacos, são normalmente mais diretas e intensas devido à sua transparência à radiação solar e à elevada transmitância térmica [1].

Huang e Niu [2] destacam que, ao mesmo tempo que ter uma visão para o ambiente externo é bastante desejado, a utilização de grandes áreas envidraçadas pode acarretar aumento significativo no ganho de calor da edificação, ocasionar desconforto e maior consumo de energia com condicionamento de ar. Por outro lado, se usadas corretamente, as grandes áreas envidraçadas podem reduzir o consumo anual de energia e atenuar de forma significativa o pico de demanda de energia de um edifício, ao mesmo tempo que oferecem efeito artístico, perspectiva visual e permitem maior ventilação natural e integração da luz diurna e artificial [3]. No entanto, é preciso entender o comportamento desse material em diferentes contextos, uma vez que os vidros para cada situação dependem de interação complexa entre fatores como clima e orientação das fachadas e das propriedades do vidro [4].

O vidro insulado é largamente utilizado na Europa e América do Norte, servindo como uma ferramenta de melhoria no desempenho e conforto térmico. No Brasil, esse sistema vem sendo aplicado em construções comerciais, porém ainda faltam estudos suficientes que avaliem a eficiência de sua adequação à diversidade climática brasileira [5]. O vidro insulado é definido pela NBR 16015 [6] como um conjunto de múltiplas unidades de vidros, “formado por duas ou mais placas de vidros paralelas, separadas por um espaçador, com as bordas hermeticamente seladas ao longo de todo o seu perímetro, formando em seu interior uma câmara estanque e desidratada”. As configurações mais utilizadas são de vidros duplos e triplos. As câmaras formadas podem ser preenchidas com ar, ou outros gases como argônio, xenônio e criptônio, de baixa condutividade térmica, funcionando como um isolante. Dessa forma, a transmitância térmica do vidro é reduzida, assim como a transferência de calor entre os ambientes externo e interno.

Andreis [7] verificou que, com o uso de vidros de controle solar, a alteração da área de janela (WWR do inglês *window-to-wall ratio*) apresenta menor influência no consumo energético para condicionamento de ar em climas mais quentes, como Rio de Janeiro, Recife e Salvador. Para essas cidades, o uso de vidro duplo de controle solar com WWR de 60% apresenta economia no consumo energético comparado ao uso do vidro monolítico transparente com WWR de 30%, ao contrário do que acontece em estados com clima mais ameno. Westphal e Andreis [8] observaram que, com o uso de vidros de controle solar em edifícios de escritórios, o WWR pode ser consideravelmente ampliado, com baixo impacto no consumo energético em climas quentes. Os autores destacam também que, em climas quentes, a ação da radiação solar na fachada é

minimizada pela influência do ganho de calor devido à diferença de temperatura entre ambientes externos e internos.

Noh Pat *et al.* [9] encontraram que, em climas quentes, com o uso de vidro de controle solar insulado, o ganho de calor pelas janelas pode ser reduzido em 55%, em comparação com o vidro insulado tradicional, sendo, assim, recomendado como alternativa para reduzir a energia que passa por ele.

Basen e Westphal [5] analisaram o conforto térmico dos usuários e o desempenho energético de edificações com vidros laminados e vidros duplos em quatro cidades brasileiras: São Paulo, Rio de Janeiro, Fortaleza e Curitiba. Os autores concluíram que quanto maiores o WWR e o fator solar, maior o consumo de energia; e que o isolamento proporcionado pela câmara de ar diminui a influência da temperatura externa sobre a temperatura superficial interna do vidro. Além disso, foi destacado que em Fortaleza e Rio de Janeiro, cidades com clima mais quente, o vidro duplo apresentou economia de energia significativa em relação ao vidro laminado, enquanto em Curitiba e São Paulo, que possuem clima mais ameno, os dois vidros apresentaram resultados similares.

Como mostra a bibliografia apresentada neste estudo, os vidros insulados apresentam bom desempenho energético em cidades com clima quente. Percebe-se a necessidade de investigar, também, as situações ideais de uso de vidros insulados em cidades brasileiras de clima quente, buscando entender em qual condição de temperatura do ar externo o vidro insulado passa a ser melhor do que o vidro laminado ou monolítico. Diante disso, este artigo tem por objetivo investigar o desempenho energético de salas comerciais condicionadas artificialmente usando-se vidros laminados e insulados na fachada, e sua correlação com a variação de temperatura do ar externo em cinco cidades da região Nordeste do Brasil.

MÉTODO

SELEÇÃO DOS CLIMAS

Os principais fatores climáticos que influenciam o desempenho térmico de uma construção que tem uma parede totalmente envidraçada são a radiação solar incidente na fachada e a diferença entre a temperatura do ar interno e externo [1]. Pereira *et al.* [10] apontam que a região Nordeste apresenta a maior radiação global horizontal média (5,9kWh/m².dia) e a menor variabilidade interanual (entre 5,7 e 6,1kWh/m².dia) do Brasil. Diante disso, foram escolhidas cinco cidades da região Nordeste do Brasil que apresentassem diferentes temperaturas médias do ar externo ao longo do ano. Foram utilizados os arquivos climáticos INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) das seguintes cidades: Picos, Teresina, João Pessoa, Triunfo e Vitória da Conquista, obtidos do *Climate One-Building* [11]. A Tabela 1 apresenta as temperaturas médias anuais das cidades selecionadas, a partir dos dados dos arquivos meteorológicos, bem como a classificação climática de *Köppen-Geiger* [12].

Tabela 1: Temperaturas médias do ar externo e classificação climática das cidades selecionadas

Cidade	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C)	Classificação *Köppen-Geiger*
Picos (Piauí)	33,0	23,5	28,2	Semiárido Quente (BSh)
Teresina (Piauí)	31,2	23,7	27,7	Savana Tropical (Aw)
João Pessoa (Paraíba)	28,4	22,7	26,0	Monção Tropical (Am)
Triunfo (Pernambuco)	29,7	17,8	23,3	Semiárido Quente (BSh)
Vitória da Conquista (Bahia)	25,7	15,8	20,6	Subtropical Úmido (Cfa)

MODELO COMPUTACIONAL

As estimativas de consumo de energia foram obtidas por meio de simulação computacional com uso do *software EnergyPlus* e de uma planilha eletrônica desenvolvida por Westphal [13], que permite a realização de simulações paramétricas, ou seja, em cada novo caso simulado ocorre a mudança de um parâmetro, a fim de realizar análises comparativas. Uma sala típica de um edifício de escritórios foi modelada no *software* e foram simuladas diferentes configurações de janelas, variando-se a especificação do vidro e a área de janela.

O modelo base representa uma sala típica de um edifício de escritórios, com planta retangular de 4 m x 6 m, com área total de 24m², e pé-direito de 2,8 m (Figura 1). Os materiais das paredes, pisos e coberturas permanecem os mesmos em todos os modelos. As janelas foram modeladas em toda a extensão da fachada Norte (com 4 m de largura), com altura e peitoril variando de acordo com o WWR definido, conforme descrito na seção a seguir. Não foram modelados elementos de proteção solar internos, como persianas ou cortinas, visando reproduzir uma situação o mais desfavorável possível de incidência de radiação nas superfícies transparentes.

A Tabela 2 apresenta as densidades de cargas internas assumidas para o modelo do edifício, compostas por pessoas, sistema de iluminação artificial e equipamentos. Para a ocupação e equipamentos consideraram-se os valores referentes a um escritório com densidade de ocupação média/alta, segundo a NBR 16401 [14]. Para a densidade de potência de iluminação utilizou-se como base a INI-C [15], que estabelece o valor de 10,0 W/m² para atividade de escritório. Adotou-se também o valor de infiltração de 0,5 trocas de ar por hora, considerando que a edificação será bem vedada. A ocupação varia durante o dia conforme horário comercial padrão, considerando ocupação das 8h às 18h, em dias úteis, e das 8h às 13h, aos sábados. A ocupação e os sistemas são reduzidos à metade entre 12h e 14h para o período de almoço. Não há atividade no prédio aos domingos.

Figura 1: Representação do modelo utilizado

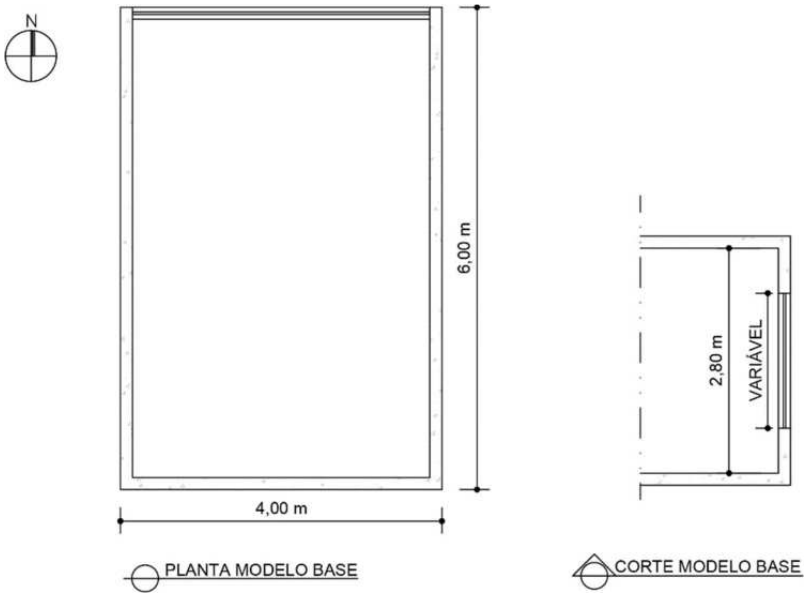


Tabela 2: Descrição das cargas instaladas

Iluminação (W/m²)	Ocupação (m²/pessoa)	Equipamentos (W/m²)	Infiltração (trocas de ar por hora)
10,0	9,3	16,2	0,5

Considerou-se também que a sala seria condicionada durante todo o período de funcionamento, com *setpoint* de ativação definido como 24°C para resfriamento, valor estabelecido pela INI-C para edifícios de escritório [15]. O sistema de ar-condicionado é do tipo *split*, com COP (*coefficient of performance*) de 3,00 W/W.

Para representar uma sala de um pavimento intermediário, em que as salas vizinhas possuem as mesmas características térmicas, considerou-se que somente a parede orientada para norte, que abriga a janela, possui exposição à radiação solar e aos ventos. As demais paredes foram denominadas adiabáticas (sem fluxo de calor), ou seja, temperaturas superficiais iguais nas duas faces.

CASOS SIMULADOS

As alternativas de fachada foram geradas para avaliar o impacto da especificação de vidros insulados (duplo com câmara de ar) e dos vidros laminados em cidades com clima quente. Cada tipo de vidro foi simulado para cada área de janela (WWR). Os casos foram gerados com a alteração de parâmetros conforme descrito na Tabela 3, totalizando 16 modelos simulados para cada uma das cinco cidades. O Fator Solar (FS) dos vidros também é indicado na tabela. Para este estudo foram analisados os dados referentes ao consumo para resfriamento nas cidades que são objeto de análise.

Tabela 3: Definição dos parâmetros simulados

WWR	Tipo de vidro	Fator Solar
30%	Incolor laminado	0,79
40%	Incolor insulado	0,72
50%	Controle solar laminado	0,35
60%	Controle solar insulado	0,28

Para cada clima adotado, foi avaliado o consumo total anual de energia elétrica (kWh/ano) para resfriamento (ar-condicionado e ventilador) para todo o ambiente simulado.

RESULTADOS

Nas simulações confirmou-se que os vidros de controle solar apresentam desempenho superior ao vidro incolor em todas as situações. Nas Figuras 1 a 5 são apresentados os resultados obtidos para as cidades analisadas. Em Picos, os vidros apresentam comportamento linear e, à medida que a área envidraçada aumenta, melhor é o desempenho do vidro insulado (Figura 2). Com WWR de 60%, o vidro de controle solar insulado apresenta economia de 6% em relação ao vidro de controle solar laminado. Na simulação com WWR de 30% essa diferença é de 4%. Em relação ao vidro incolor, a diferença se mantém em 3% entre as versões laminadas e insuladas, aumentando para 4% com WWR de 60%.

O mesmo acontece em Teresina, com os mesmos percentuais de economia usando vidros de controle solar (Figura 3). No entanto, analisando os vidros incolor laminado e insulado, tem-se que a economia se mantém em 3%, mas com tendência a se estabilizar com o aumento da área envidraçada. Com WWR de 30%, têm-se redução de 52,0 kWh/ano; com WWR de 40%, tem-se economia de 65,0 kWh/ano, comparando-se entre as versões laminadas e insuladas de mesmo WWR. Porém, com WWR de 50% e 60%, a economia foi a mesma, ou seja, 75,0 kWh/ano.

Em João Pessoa, a diferença entre o consumo com os vidros laminados e insulados é menor (Figura 4), mas o vidro insulado continua apresentando melhor desempenho em todas as situações. O desempenho do vidro de controle solar insulado continua mostrando melhor desempenho com o aumento de fachada, mas mostra tendência a estabilizar essa economia. Com WWR de 30% e 40%, o vidro de controle solar insulado apresenta economia de 2% e 4%, respectivamente, em relação ao vidro de controle solar laminado. No entanto, com WWR de 50% e 60%, a economia foi de 5% e 6%, respectivamente. Nas simulações com o vidro incolor, a diferença é de 2% em todas as configurações de envidraçamento.

Figura 2: Consumo anual de eletricidade para resfriamento – Picos

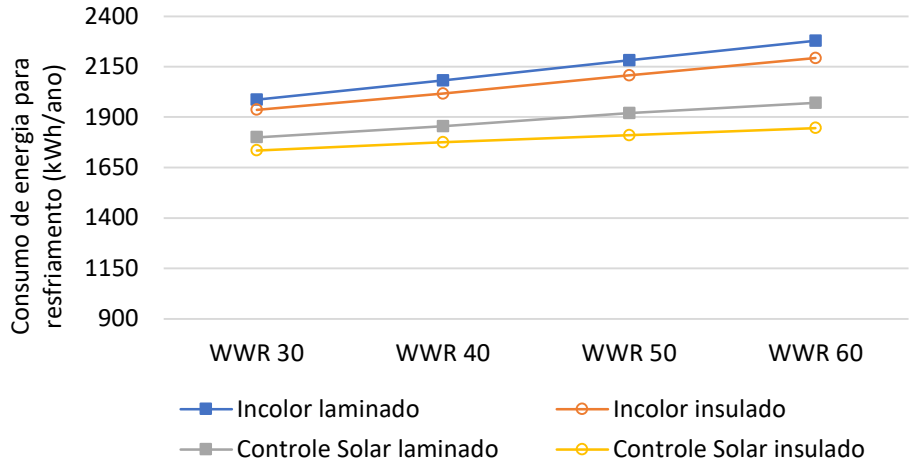


Figura 3: Consumo anual de eletricidade para resfriamento – Teresina

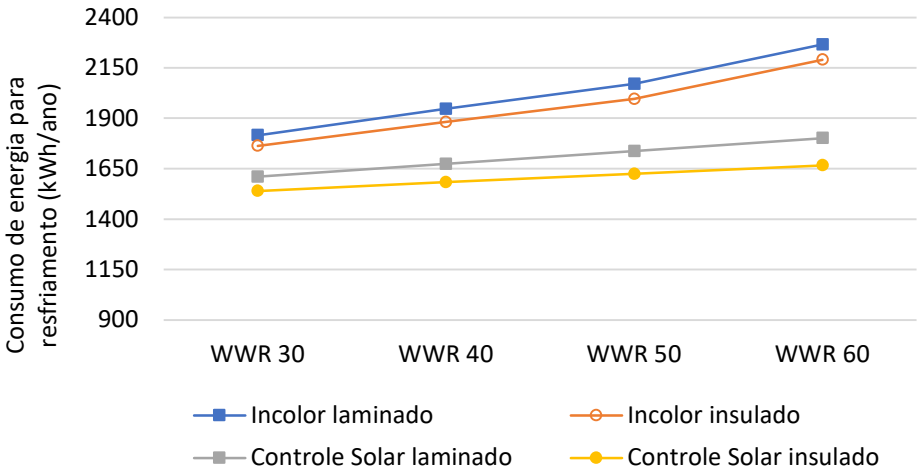
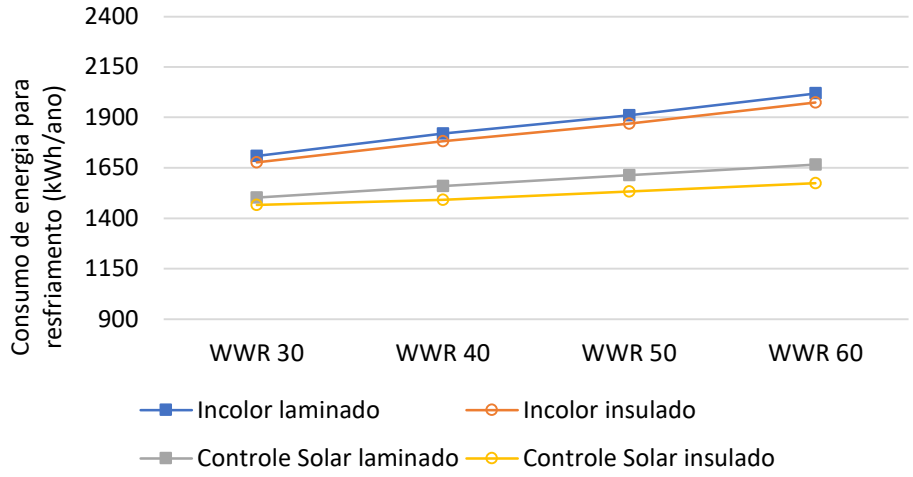


Figura 4: Consumo anual de eletricidade para resfriamento – João Pessoa



Em Triunfo, é visto que a situação muda. A diferença entre o consumo dos vidros laminados e insulados é ainda menor (Figura 5). Analisando o comportamento do vidro incolor, a economia entre o incolor insulado e o laminado é da ordem de 1% com WWR

de 30%, e se torna cada vez menor com o aumento da área envidraçada. Com WWR de 60%, a situação se inverte, e o vidro laminado apresenta melhor desempenho, mas com diferença próxima a 0%. Sobre os vidros de controle solar, a economia do vidro insulado em relação ao laminado também é menor, mas o vidro insulado continua apresentando melhor desempenho em todas as situações. A economia se mantém em 3% com WWR de 30% e 40% e aumenta para 4% com WWR de 50% e 60%.

Em Vitória da Conquista, o vidro incolor laminado mostrou desempenho superior (menor consumo) ao incolor insulado em todas as situações, mostrando tendência de melhor desempenho com o aumento da área envidraçada (Figura 6). Observa-se também que, até determinado ponto, os valores encontrados usando os vidros de controle solar são muito parecidos, apresentando baixa economia, 1% entre o vidro laminado e o insulado. No entanto, essa economia também aumenta com WWR de 60%, representando 2% de redução no consumo para resfriamento.

Figura 5: Consumo anual de eletricidade para resfriamento – Triunfo

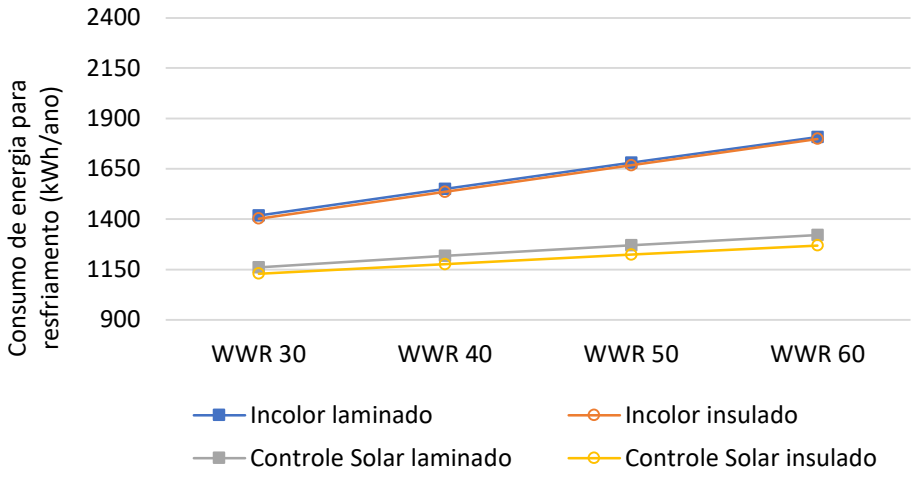
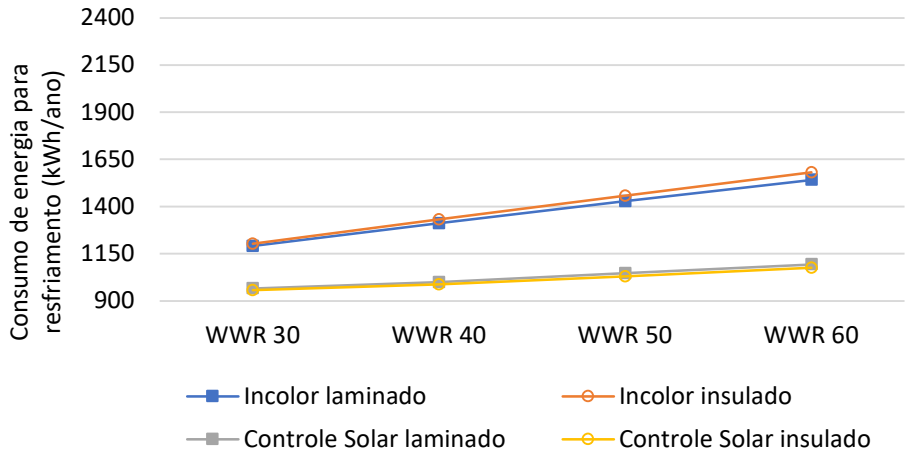


Figura 6: Consumo anual de eletricidade para resfriamento – Vitória da Conquista



Com base nos resultados encontrados, observa-se que em todas as cidades analisadas o vidro de controle solar insulado apresentou o menor consumo em todas as situações, se comparado aos modelos de mesmo WWR. A Tabela 4 apresenta o consumo de

energia obtido para os vidros que apresentaram maior e menor consumo em cada cidade. Em Picos, Teresina e João Pessoa, o vidro incolor laminado apresentou o maior consumo, assim como em Triunfo, com exceção da simulação com WWR de 60%, que teve consumo maior com o vidro incolor insulado. Em Vitória da Conquista, o vidro incolor insulado apresentou o maior consumo. Observa-se que em todas as cidades há tendência de que a economia de eletricidade aumente, quanto maior for o WWR, comparando-se os vidros de controle solar com os vidros incolor.

Tabela 4: Consumo anual de eletricidade para resfriamento – maior e menor consumo

Cidade	Área de vidro (%)	Maior consumo (kWh/ano) (A)	Menor consumo (kWh/ano) (B)	Variação dos consumos (kWh/ano) (C)=(B)–(A)	Diferença (%) (D)=100.(C)/(A)
Picos	30	1987	1735	-252	-13
	40	2081	1775	-306	-15
	50	2182	1811	-371	-17
	60	2279	1846	-433	-19
Teresina	30	1816	1540	-276	-15
	40	1946	1583	-363	-19
	50	2071	1625	-446	-22
	60	2266	1667	-599	-26
João Pessoa	30	1709	1466	-243	-14
	40	1820	1492	-328	-18
	50	1910	1533	-377	-20
	60	2019	1574	-445	-22
Triunfo	30	1418	1130	-288	-20
	40	1550	1177	-373	-24
	50	1681	1224	-457	-27
	60	1810	1270	-540	-30
Vitória da Conquista	30	1204	958	-246	-20
	40	1332	987	-345	-26
	50	1458	1031	-427	-29
	60	1582	1076	-506	-32

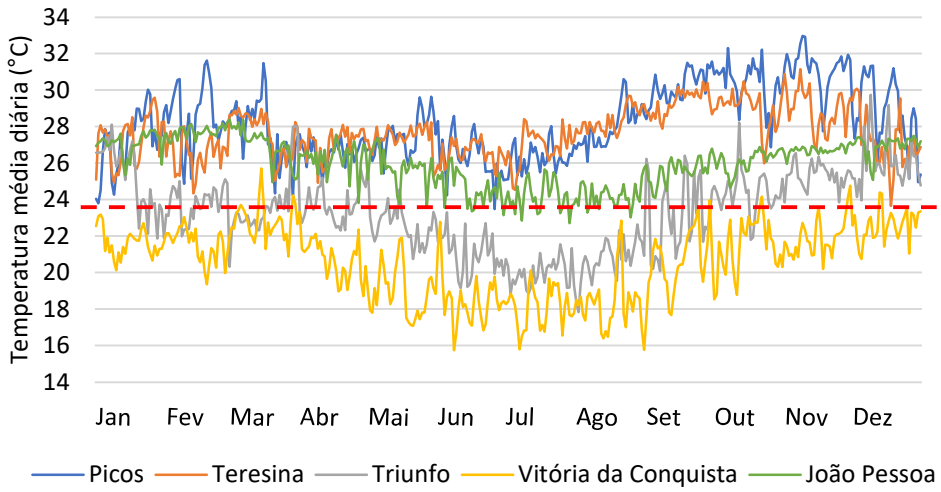
Para entender a conexão do clima local com a utilização de vidros insulados, relacionou-se o consumo energético anual para resfriamento com a temperatura externa do ar. Foram analisados os perfis de temperatura externa do ar nas cidades estudadas (Figura 7). Teresina e Picos apresentam temperaturas médias do ar externo continuamente acima da temperatura de *setpoint* para resfriamento (24°C – marcada com linha tracejada na figura) ao longo do ano, apresentando também padrão semelhante no comportamento dos vidros. Nesse caso, o modelo com vidro insulado apresentou menor consumo em comparação ao vidro laminado.

João Pessoa apresenta temperaturas mais baixas durante o período entre julho e novembro em relação a Picos e Teresina. No entanto, as temperaturas também se mantêm continuamente acima ou próximas à temperatura de *setpoint* na maior parte

do ano, estando acima de 24°C durante 330 dias. Observa-se que nesta cidade a economia apresentada entre os vidros laminados e insulados é menor.

Em Triunfo, a temperatura está abaixo da temperatura de *setpoint* durante boa parte do ano, com temperatura média acima de 24°C em apenas 144 dias do ano. Em Vitória da Conquista, as temperaturas se mantêm abaixo da temperatura de *setpoint* praticamente durante todo o ano, apresentando temperatura acima de 24°C somente em oito dias do ano, considerando as médias diárias. Nas duas cidades, como observado anteriormente, há pouca diferença entre o consumo para resfriamento usando vidros insulados ou laminados.

Figura 7: Temperatura do ar externo – médias diárias



Analisando os dados da temperatura do ar externo em comparação com os resultados de consumo, pode-se concluir que quanto maior a temperatura média, mais vantajoso é o uso do vidro insulado em termos de economia de energia. Observa-se que quanto mais altas as temperaturas ao longo do ano, maior é a diferença entre as versões laminadas e insuladas dos vidros. Essa situação ocorre porque a câmara de ar que compõe os vidros insulados exerce a função de isolamento térmico, mantendo a temperatura do vidro mais próxima à temperatura do ambiente interno.

Destaca-se também que, com o vidro de controle solar, o limite de temperatura no qual o vidro insulado apresenta melhor desempenho é maior. Esse limite de temperatura pode ser traduzido como a temperatura a partir da qual os papéis se invertem, e o vidro insulado passa a ser mais vantajoso do que o vidro laminado. Em Vitória da Conquista, a versão laminada do vidro incolor apresenta melhor desempenho em relação à versão insulada. Com o vidro de controle solar, a versão insulada ainda se mostra melhor nesta cidade.

CONCLUSÃO

Este estudo avaliou, por meio de simulação computacional, o desempenho energético de edificações com o uso de vidros laminados e insulados em cinco cidades do Nordeste do Brasil com diferentes temperaturas do ar externo – Picos, Teresina, João

Pessoa, Triunfo e Vitória da Conquista. A utilização de vidros insulados diminui o ganho de calor através da janela, no entanto, há um ponto de temperatura externa em que ele não apresenta mais um bom desempenho em relação ao vidro laminado.

Os resultados mostram que quanto maior a temperatura média do ar externo, mais vantajoso é o uso do vidro insulado em termos de economia de energia. Indicam também que existe uma temperatura média limite do ar externo a partir da qual o vidro insulado passa a ser mais vantajoso do que o vidro laminado. Essa temperatura limite pode ser ainda mais baixa com o uso de vidros de controle solar.

Conclui-se que o vidro insulado não é necessariamente a melhor solução para cidades em que a temperatura não se mantém acima ou próxima da temperatura de *setpoint* para resfriamento (24°C) na maior parte do ano. É preciso, no entanto, avaliar aspectos relacionados ao conforto térmico em cada situação. Vale destacar também que esses resultados consideram apenas a temperatura externa. Em análise futura, é importante estudar a correlação entre a radiação solar e o comportamento dos vidros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa para Laura Leite Ribeiro que possibilitou a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] PINTO, M. M. **Desempenho energético de edifícios de escritórios com vidros insulados em climas brasileiros**. 2017. 221 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/185508>. Acesso em: 11 maio 2022.

[2] HUANG, Y.; NIU, J. Energy and Visual Performance of the Silica Aerogel Glazing System in Commercial Buildings of Hong Kong. **Construction and Building Materials**, v. 94, p. 57-72, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006181530009X>. Acesso em: 11 maio 2022.

[3] YIN, R.; XU, P.; SHEN, P. Case Study: Energy Savings from Solar Window Film in Two Commercial Buildings on Shanghai**. Energy and Buildings**, 45(2012) 132-140. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778811005251>. Acesso em: 25 abr. 2022.

[4] ARASTEH, D.; GOUDEY, H.; HUANG, J.; KOHLER, C.; MITCHELL, R**. Performance Criteria for Residential Zero Energy Windows**; Lawrence Berkeley National Laboratory LBNL-59190, 2006. Disponível em: <https://facades.lbl.gov/publications/performance-criteria-residential-zero>. Acesso em: 25 abr. 2022.

[5] BESEN, P.; WESTPHAL, F. S. Uso de vidro duplo e vidro laminado no Brasil: avaliação do desempenho energético e conforto térmico por meio de simulação computacional. In: ENTAC. **Anais...** Juiz de Fora, MG, 2012.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16015**: Vidro insulado — Características, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 52 p.

[7] ANDREIS, C. **Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras**. 2014. 198 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/129677>. Acesso em: 15 maio 2022.

[8] WESTPHAL, F. S.; ANDREIS, C. Influence of Glazed Façades on Energy Consumption for Air Conditioning of Building in Brazilian Climates. **Int. Journal of Engineering Research and Application**, ISSN: 2248-9622, v. 6, n. 11, (parte 1), p. 54-60, 2016. Disponível em: <http://www.ijera.com/papers/Vol6_issue11/Part-1/I061101054060.pdf>. Acesso em: 12 maio 2022.

[9] NOH-PAT, F.; XAMÁN, J.; ÁLVAREZ, G.; CHÁVEZ, Y.; ARCE. J. Thermal Analysis for a Double Glazing Unit with and Without a Solar Control Film (Sns–Cuxs) for Using in Hot Climates. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 704-712, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778810004123>. Acesso em: 8 maio 2022.

[10] PEREIRA, E.; MARTINS, F. R., ABREU, S. L., RUTHER, R. (2006). **Atlas brasileiro de energia solar**. INPE. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2006.html>. Acesso em: 10 maio 2022.

[11] CLIMATE ONE BUILDING. **Repository of Free Climate Data for Building Performance Simulation**. Disponível em: <https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/>. Acesso em: 8 maio 2022.

[12] CLIMATE-DATA. **Dados climáticos para cidades mundiais**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/>. Acesso em: 10 maio 2022.

[13] WESTPHAL, F. S. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais.** 2006. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Cataria, Florianópolis, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/90292>. Acesso em: 8 maio 2022.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401: Instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários** – Parte 1: Projeto das instalações. Rio de Janeiro, RJ, 2008. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM374/NBR_16401-1_2008.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

[15] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Instrução Normativa INMETRO para a classificação de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas.** Anexo da Portaria INMETRO Nº 42/2021. Brasília: Ministério da Economia; INMETRO, 2021. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/INIC_Dez2020.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.