

SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA: EFICÁCIA DOS DISPOSITIVOS ELETROCRÔMICOS NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2

MICHELE SOARES NETTO¹; JOSEANE DA SILVA PORTO²; RUTH DA SILVA BRUM E CÉSAR AVELLANEDA³

¹Universidade Federal de Pelotas – nettomichele@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – joseaneclmd@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – ruthdasilvabrum@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – cesaravellaneda@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por energia, impulsionada pelo aumento populacional, intensifica o efeito estufa e o aquecimento global (BORDBARI *et al.*, 2017). A substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis é essencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (LI *et al.*, 2019). A adoção de tecnologias de eficiência energética em construções é fundamental para diminuir a necessidade de aquecimento, resfriamento e uso de ar-condicionado (MACHADO *et al.*, 2021). O desempenho térmico das edificações depende de materiais de construção, componentes e orientação. Projetos mal planejados podem causar desconforto térmico e aumentar o consumo de energia (LAMBERTS *et al.*, 2016).

O uso de janelas inteligentes com filmes eletrocrômicos, que contêm nanomateriais, é destacado por seu potencial em melhorar a eficiência energética (CASINI, 2018). Esses filmes, compostos por camadas entre substratos de vidro e revestidos com óxidos condutores transparentes, alternam entre estados descoloridos e coloridos quando submetidos a pequenas tensões, mantendo essa condição por até 48 horas (LAHMAR *et al.*, 2022; CORSI *et al.*, 2023). Estudos mostram que dispositivos eletrocrômicos (DECs) podem ser mais vantajosos do que outras estratégias. CANNAVALE *et al.* (2018) utilizaram o software *EnergyPlus* para comparar a eficiência dos filmes eletrocrômicos com a de vidros comuns em edifícios comerciais localizados em Roma, Londres e Assuão, mostrando economias de energia variando de 20,7% a 28,7% em Roma com o uso de DEC. O estudo de QING *et al.* (2019) utilizou o software Design Builder para testar vinte tipos de vidros em três climas diferentes na China. Vidros duplos de 6 mm com tonalidade mostraram-se vantajosos em climas com verões quentes e invernos frios ou amenos, enquanto vidros sem tonalidade foram mais adequados para climas frios.

Este trabalho busca modificar as configurações de janelas nos ambientes de permanência prolongada (APP) de um edifício residencial. Foram realizadas simulações computacionais com o software *EnergyPlus* para avaliar o impacto dos DECs no desempenho termoenergético do edifício, comparando-os com vidros duplos e comuns. As simulações foram realizadas em Pelotas/RS, na zona bioclimática 2, que possui um clima subtropical com estações bem definidas, demandando tanto aquecimento quanto resfriamento.

2. METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em quatro etapas: desenvolvimento de um projeto arquitetônico residencial com estratégias de condicionamento passivo bioclimático (POUEY, 2011; DALBEM *et al.*, 2015), criação de um modelo computacional no

software *SketchUp*, realização de seis simulações no *EnergyPlus* e análise dos resultados. O projeto é um edifício térreo de 145 m² com nove cômodos, focando nos APPs, incluindo uma sala de 48,8 m², dois quartos de solteiro de 16,6 m² cada e um quarto de casal de 20,4 m². O edifício é orientado leste-oeste, com fachada para o norte, e utiliza paredes de blocos cerâmicos com isolamento térmico, cobertura de telhas de fibrocimento, tetos de gesso acartonado, piso de cerâmica e concreto, e janelas de vidro duplo com caixa de ar, atendendo à NBR 15575 para desempenho mínimo.

As simulações avaliaram ventilação natural, filme eletrocromico, vidro duplo e combinações dessas estratégias com ar-condicionado, usando dados climáticos de Pelotas/RS. O *EnergyPlus* calculou a energia necessária para manter a temperatura especificada em cada zona térmica. Os APPs seguem padrões de ocupação diária da NBR 15575, com ventilação natural e ar-condicionado operando conforme especificações de temperaturas e horários. As características do DEC foram baseadas em estudos laboratoriais, e as propriedades dos vidros estão na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades dos elementos transparentes utilizados na simulação.

Material		Espessura (m)	Transmitância visível (%)	Refletância visível (%)
Vidro comum		0,003	0,898	0,081
Vidro duplo		0,006	0,320	0,240
Filme eletrocromico	Colorido	0,003	0,193	0,793
	Descolorido	0,003	0,676	0,395

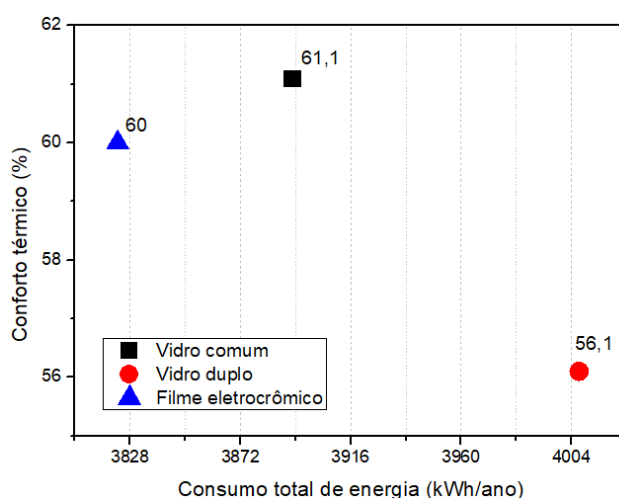
As simulações usaram a classe *Energy Management System* (EMS) para controlar a abertura de portas e janelas. O modelo considera o filme eletrocromico nas fases descolorida e totalmente colorida, ajustando o vidro para totalmente colorido quando a temperatura externa atinge ou supera 20°C, conforme o RTQ-R (2012).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos casos simulados, foram coletados dados das temperaturas médias externas mensais e das temperaturas operativas internas para avaliar o conforto térmico. A análise do consumo de energia comparou cenários com ventilação natural e ar-condicionado, mantendo constante o consumo de energia para iluminação (1023,8 kWh/ano) e equipamentos (350,4 kWh/ano, operando 10 horas diárias).

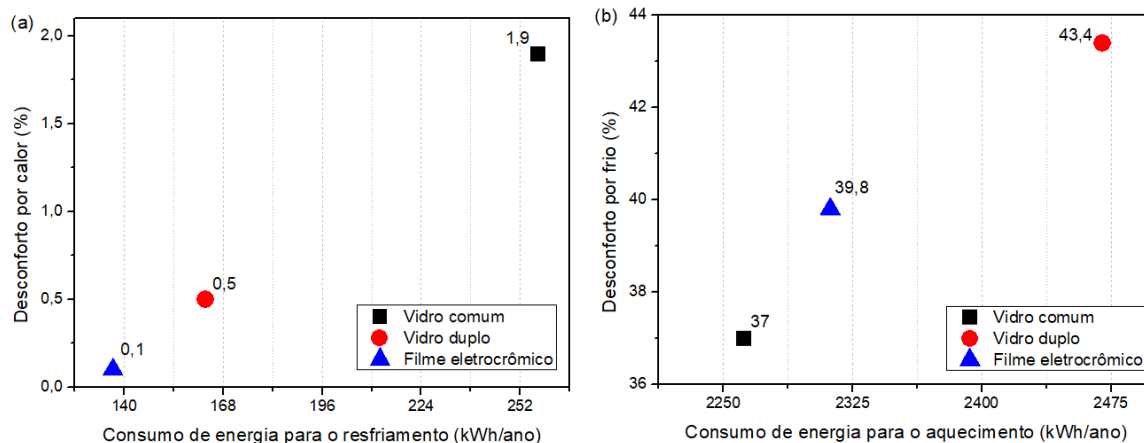
A Figura 1 mostra a percentual de horas de conforto térmico e o consumo total de energia para vidros comuns, duplos e eletrocromicos nos APPs. O filme eletrocromico teve o menor consumo de energia (3.823,1 kWh/ano) e, embora apresentasse 1,1% menos horas de conforto térmico em comparação com o vidro comum, mostrou-se mais eficiente. O vidro duplo foi o menos eficiente, com o maior consumo de energia (4.007,0 kWh/ano) e o menor conforto térmico (56,1%).

Figura 1: Consumo energético e conforto térmico dos APPs.



Para resfriamento, o filme eletrocrômico teve o menor consumo de energia para resfriamento (136,8 kWh/ano) e o menor desconforto térmico (0,1%), em comparação com o vidro duplo (162,9 kWh/ano e 0,5% de desconforto por calor) (Figura 2a). Para aquecimento, o vidro comum foi o mais eficiente, apresentando o menor desconforto pelo frio (37,0%) e menor consumo de energia (2261,5 kWh/ano). O filme eletrocrômico teve 39,8% de desconforto e consumiu 2312,1 kWh/ano (Figura 2b). O vidro duplo teve o maior desconforto pelo frio (43,4%) e o maior consumo de energia para aquecimento (2469,9 kWh/ano).

Figura 2: Consumo de energia para (a) desconforto por resfriamento e calor, e (b) desconforto por aquecimento e frio de APPs.



Os resultados mostraram baixos níveis de desconforto térmico em todos os casos simulados devido às baixas temperaturas características da zona bioclimática 2, destacando a importância de um sistema de aquecimento eficiente para os ambientes da edificação.

4. CONCLUSÕES

A configuração das janelas no edifício afeta diretamente o conforto térmico, especialmente no controle da radiação solar. O dispositivo eletrocrômico, que bloqueia a radiação solar, pode causar maior desconforto térmico na zona bioclimática

2 devido à menor absorção de radiação solar, resultando uma sensação de frio maior em comparação ao vidro duplo. Contudo, o filme eletrocromico apresentou um desempenho melhor em conforto térmico do que o vidro duplo, sendo apenas 1,1% menos confortável que o vidro comum. Em termos de desconforto por calor, o filme eletrocromico teve o melhor desempenho, tornando-se a escolha mais adequada nesta situação.

Durante as simulações, o filme eletrocromico reduziu o consumo de energia para resfriamento em 46,7% e o consumo total de energia em 1,8% em comparação com o vidro comum com ar-condicionado. No entanto, os resultados para aquecimento não foram tão favoráveis para o vidro duplo e o filme eletrocromico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORDBARI, M.J.; SEIFI, A.R.; RASTEGAR, M. Probabilistic energy consumption analysis in buildings using point estimate method. **Energy**, v.142, p.716-722, 2017.
- CANNAVALE, A.; MARTELOTTA, F.; COSSARI, P.; GIGLI, G.; AYR, U. Energy savings due to building integration of innovative solid-state electrochromic devices. **Applied Energy**, v.225, p.975-985, 2018.
- CASINI, M. Active dynamic windows for buildings: A review. **Renewable Energy**, v. 119, p. 923 - 934, 2018.
- CORSI, M.; ZMEUREANU, R.; FAZIO, P. **Modeling of electrochromic glazing switching control strategies in micro-DOE-2.1**. Quebec, Canadá: Center for Building Studies, 2023.
- DALBEM, R.; FREITAS, J.M.R.; CUNHA, E.G. Passivhaus concept applied to brazilian climate. **Revista de Arquitetura IMED**, v.4, n.1, p.26-36, 2015.
- LAHMAR, I.; CANNAVALE, A.; MARTELOTTA, F.; ZEMMOURI, N. The impact of building orientation and window-to-wall ratio on the performance of electrochromic glazing in hot arid climates: A parametric assessment. **Buildings**, v.12, n.6, 2022.
- LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A.L.P.; CARLO, J.C.; BATISTA, J.O.; MARINOSKI, D.L.; NARANJO, A.; DUARTE, V.C.P. **Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2016.
- LI, C.; ZHANG, Y.; XIE, E.Y. When an attacker meets a cipher-image in 2018: A year in review. **Journal of Information Security and Applications**, v.48, 2019.
- MACHADO, P.G.; BRUM, R.S.; BUSKE, D. Evaluation of the thermal potential of earth-air heat exchangers. **Ciência e Natura**, v.43, 2021.
- POUEY, J.A. **Projeto de edificação residencial unifamiliar para a Zona Bioclimática 2 com avaliação termoenergética por simulação computacional**. 2011. 137f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas.
- QING, H.; HOSSAIN, M.U.; NG, S.T.; SKITMORE, M. Energy-efficient window retrofit for high-rise residential buildings in different climatic zones of China. **Sustainability**, v.11, 2019.