XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Impacto de tetos frios na redução de emissões de CO_2 de habitações unifamiliares: estudo de caso em Recife/PE e Picos/PI

Impacto de techos fríos en la reducción de emisiones de CO_2 en viviendas unifamiliares: estudio de caso en Recife/PE y Picos/PI

Impact of Cool Roofs on CO_2 Emissions Reduction in Single-Family Homes: A Case Study in Recife/PE and Picos/PI

Eficiência energética / *Eficiencia energética / Energy efficiency*

Barbosa, Matheus Mendonça
Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, matheusmendonca.b@gmail.com

Marinoski, Deivis Luis
Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, deivis.marinoski@ufsc.br

Resumo

Os tetos frios são estratégias eficazes para reduzir o consumo energético, otimizar o conforto térmico e mitigar emissões de CO_2. Este artigo tem como objetivo analisar os impactos termoenergéticos gerados pelo uso de tetos frios em cobertura de edificação unifamiliar de baixa renda em Recife/PE e Picos/PI. Foram simulados cenários com teto frio (absortância solar de 0,25), teto frio degradado (absortância solar de 0,42) e teto padrão (absortância solar de 0,65) e contemplam variações no perfil de ocupação, comportamento do usuário e isolamento do sistema de cobertura. Os resultados apontaram que os tetos frios com baixo isolamento apresentam indicadores mais eficientes quanto ao consumo energético da unidade habitacional, bem como das emissões de CO2. Conclui-se que a combinação de estratégias passivas e ativas são alternativas eficazes para a redução do consumo energético e das emissões de CO_2 de edificações unifamiliares situadas no contexto climático de Recife/PE e Picos/PI.

Palavras-chave: Tetos frios. Eficiência energética. Edificações residenciais.

Resumen

Los techos fríos son estrategias eficaces para reducir el consumo energético, optimizar el confort térmico y mitigar las emisiones de CO_2. Este artículo tiene como objetivo analizar los impactos termoenergéticos generados por el uso de techos fríos en la cubierta de una edificación unifamiliar de bajos ingresos en Recife/PE y Picos/PI. Se simularon escenarios con techo frío (absortancia solar de 0,25), techo frío degradado (absortancia solar de 0,42) y techo estándar (absortancia solar de 0,65), considerando variaciones en el perfil de ocupación, el comportamiento del usuario y el aislamiento del sistema de cubierta. Los resultados indicaron que los techos fríos con bajo aislamiento presentan indicadores más eficientes en cuanto al consumo energético de la unidad habitacional, así como en las emisiones de CO_2. Se concluye que la combinación de estrategias pasivas y activas es una alternativa eficaz para reducir el consumo energético y las emisiones de CO_2 en edificaciones unifamiliares situadas en el contexto climático de Recife/PE y Picos/PI.

Palabras clave: techos fríos. Eficiencia energética. Edificaciones residenciales.

Abstract

Cool roofs are effective strategies for reducing energy consumption, optimizing thermal comfort, and mitigating CO_2 emissions. This article aims to analyze the thermoenergetic impacts of using cool roofs in the roofing system of low-income single-family housing in Recife/PE and Picos/PI. Simulated scenarios included cool roofs (solar absorptance of 0.25), degraded cool roofs (solar absorptance of 0.42), and standard roofs (solar absorptance of 0.65), considering variations in occupancy profile, user behavior, and roof system insulation. The results indicated that cool roofs with low insulation show higher efficiency in terms of household energy consumption and CO_2 emissions. It is concluded that the combination of passive and active strategies is an effective alternative for reducing energy consumption and CO_2 emissions in single-family buildings located in the climatic context of Recife/PE and Picos/PI.

Keywords: Cool roofs. Energy efficiency. Residential buildings.

Introdução

Em todo o mundo, o setor de edificações demanda uma parcela significativa no consumo de energia. Em 2020, o setor de edificações foi responsável por cerca de 30% do consumo energético mundial (IEA, 2023). Esse dado evidencia o potencial considerável para a mitigação no consumo de energia neste setor. A análise de envoltória, por sua vez, permite investigar o ambiente térmico das edificações e identificar soluções mitigadoras para o consumo de energia destinado à refrigeração e aquecimento (Lei, Yang e Yang, 2016).

Em regiões de climas quentes com alta incidência de radiação solar ao longo do ano, os tetos frios surgem como uma solução passiva, de baixo custo de manutenção e implementação (Sproul *et al.*, 2014). Os tetos frios são superfícies que dispõem de alta refletância solar e emitância térmica (Rawat e Singh, 2022; Testa e Krarti, 2017). Especialmente em unidades nas quais as coberturas exercem influência significativa nas trocas de calor, os tetos frios podem ser utilizados como estratégias passivas para otimizar o ambiente térmico (Rawat e Singh, 2022; Testa e Krarti, 2017; Seifhashemi *et al.*, 2018). Nesse contexto, pessoas em condições de vulnerabilidade econômica podem se beneficiar desse sistema, pois ajudam a manter temperaturas mais baixas na superfície da cobertura, resultando em melhores condições de conforto térmico, desempenho térmico e redução da necessidade de refrigeração. Além das implicações financeiras relacionadas à redução da demanda de energia para refrigeração, a adoção dos tetos frios também promove a sustentabilidade ambiental (Akbari e Matthews, 2012; Kolokotroni *et al.*, 2018; Stavrakakis, Androutsopoulos e Vyörykkä, 2016).

A literatura reconhece os tetos frios como uma solução eficaz para coberturas em diversos contextos climáticos (Costanzo, Evola e Marletta, 2016; Piselli *et al.*, 2017; Silva, Marinoski e Güths, 2020; Tzempelikos e Lee, 2021), no entanto há uma carência de estudos específicos para a região nordeste do Brasil. Inclusive, considerando a interferência dos hábitos de uso dos usuários, que não pode ser negligenciada, uma vez que comportamentos não padronizados podem reproduzir impactos relevantes nas demandas energéticas de uma edificação (Ascione *et al.*, 2020; Ge *et al.*, 2021). Isto posto, este artigo tem como objetivo analisar, através de simulação computacional, os impactos termoenergéticos e o potencial de redução das emissões de dióxido de carbono (CO_2) proporcionados pelo uso de tetos frios em cobertura de edificação unifamiliar situada nas cidades de Recife/PE e Picos/PI.

Método

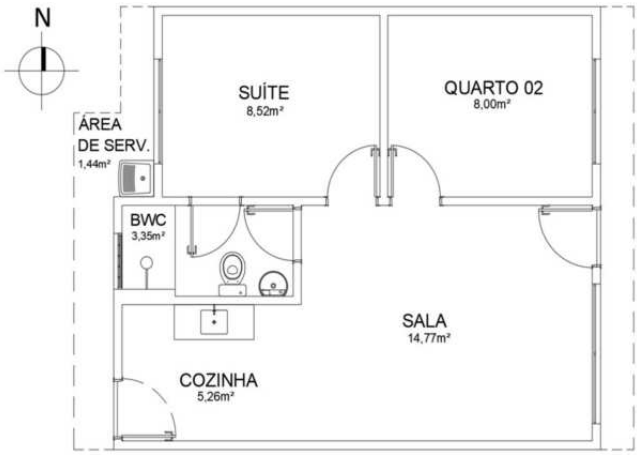
Aspectos da edificação e padrão de modelagem

O projeto adotado integra o Programa Nacional de Habitação de Interesse Social (Minha Casa, Minha Vida - MCMV). A edificação escolhida é do tipo unifamiliar térrea, com área de 46,3m².

O modelo computacional foi concebido conforme o projeto arquitetônico, bem como norte geográfico correspondente, representado pela Figura 1.

A simulação computacional foi realizada utilizando o EnergyPlus (versão 22.2.0), amplamente utilizado em pesquisas brasileiras (Santos, 2018). Segundo New *et al.* (2016), o modelo de cálculo do EnergyPlus é adequado para análise de tetos frios. O padrão utilizado de arquivo climático para a cidade de Recife/PE e Picos/PI segue preconização da NBR 15575-1-1 (ABNT, 2021), empregando dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para os anos de 2001 a 2010, processados por Maurício Roriz.

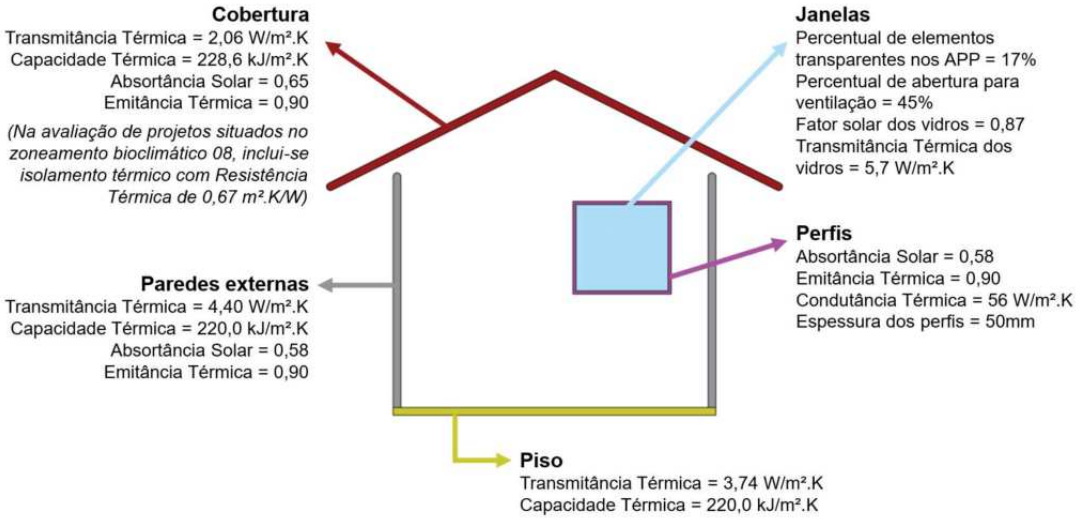
Figura 1 – Representação do projeto arquitetônico da unidade unifamiliar e modelagem (sem escala)



Fonte: o autor.

As configurações de modelagem assumidas como parâmetros de entrada no EnergyPlus estão em conformidade com o método computacional de avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2024). Dessa forma, o padrão de modelagem utilizado na composição dos sistemas construtivos, exceto o sistema de cobertura, admitiu os parâmetros do modelo de referência (MREF), conforme Figura 2.

Figura 2 – Características do modelo computacional de referência (MREF)



Fonte: o autor.

Além disso, as cargas internas, padrões de uso e ocupação, condicionamento de ar e disposições sobre ventilação natural também seguiram o método preconizado pela NBR 15575-1 (ABNT, 2024). A modelagem do solo no EnergyPlus foi estabelecida usando o objeto Site:GroundDomain:Slab por meio do método Finite Difference (Xing, 2014).

Cenários de simulação

Nesta seção, serão descritos os cenários com alterações aplicadas no modelo padrão de modelagem.

1. Cobertura

Foram estabelecidos seis cenários de análise do sistema de cobertura (

Tabela **2**) que se distinguem pela magnitude das propriedades de absortância solar, transmitância térmica e resistência térmica.

As abreviaturas utilizadas para intepretação do sistema de cobertura avaliado indicam a especificação do tipo de telhado estudado, sendo teto frio ($TF_{\alpha=0,25}$), teto frio degradado ($TD_{\alpha=0,42}$) ou teto padrão ($TP_{\alpha=0,65}$), acompanhando da resistência térmica (RT) e sua magnitude respectiva. Os valores de capacidade térmica permaneceram inalterados.

A absortância solar do teto frio foi definida como 0,25, tal escolha está em conformidade com as referências encontradas na literatura (Sproul *et al.*, 2014; Testa e Krarti, 2017; Costanzo, Evola e Marletta, 2016; Piselli *et al.*, 2017). Em contrapartida, a absortância solar do teto padrão corresponde à absortância solar indicada no modelo de referência (Figura 2) para a avaliação do desempenho térmico no método da NBR 15575-1 (ABNT, 2024), que equivale a 0,65.

Para a determinação da absortância solar do teto frio degradado, foram consideradas as diretrizes da norma NBR 15575-1 (ABNT, 2024). Portanto, o valor adotado de absortância solar para o teto frio degradado foi de 0,42 (Tabela 1).

Tabela 1 – Estimativa de degradação da absortância solar e Índice de Refletância Solar (SRI) para o teto frio

Material	**Absortância solar** (a)	**Índice de Refletância Solar (SRI)**		
		h_c=5 W/m².K	**h_c=12** W/m².K	**h_c=30** W/m².K
Teto Frio	0,25	92,3	92,5	92,6
Teto Frio Degradado (NBR 15575-1/2024)	0,42	68,9	69,2	69,5

Fonte: o autor.

Tabela 2 – Cenários e propriedades térmicas das diferentes coberturas analisadas

Cobertura	Composição	Transmitância Térmica W/m².K	Resistência Térmica m².K/W	Capacidade Térmica kJ/m².K	Emitância Térmica	Absortância solar (α)
$TF_{\alpha=0,25}$_RT_0,5 $TD_{\alpha=0,42}$_RT-0,5 $TP_{\alpha=0,65}$_RT-0,5	Telha de fibrocimento (0,006m) Câmara de ar (>0,05m) Laje maciça (0,10m)	2,06	0,49	228,6	0,90	0,25 0,42 0,65
$TF_{\alpha=0,25}$_RT_1 $TD_{\alpha=0,42}$_RT-1 $TP_{\alpha=0,65}$_RT-1	Telha de fibrocimento (0,006m) Câmara de ar (>0,05m) Isolamento Térmico (0,51m².K/W) Laje maciça (0,10m)	1,00	1,00	228,6	0,90	0,25 0,42 0,65
$TF_{\alpha=0,25}$_RT_3 $TD_{\alpha=0,42}$_RT-3 $TP_{\alpha=0,65}$_RT-3	Telha de fibrocimento (0,006m) Câmara de ar (>0,05m) Isolamento Térmico (2,51m².K/W) Laje maciça (0,10m)	0,33	3,00	228,6	0,90	0,25 0,42 0,65
$TF_{\alpha=0,25}$_RT_6 $TD_{\alpha=0,42}$_RT-6 $TP_{\alpha=0,65}$_RT-6	Telha de fibrocimento (0,006m) Câmara de ar (>0,05m) Isolamento Térmico (5,51m².K/W) Laje maciça (0,10m)	0,17	6,00	228,6	0,90	0,25 0,42 0,65

Fonte: o autor.

2. Cargas internas

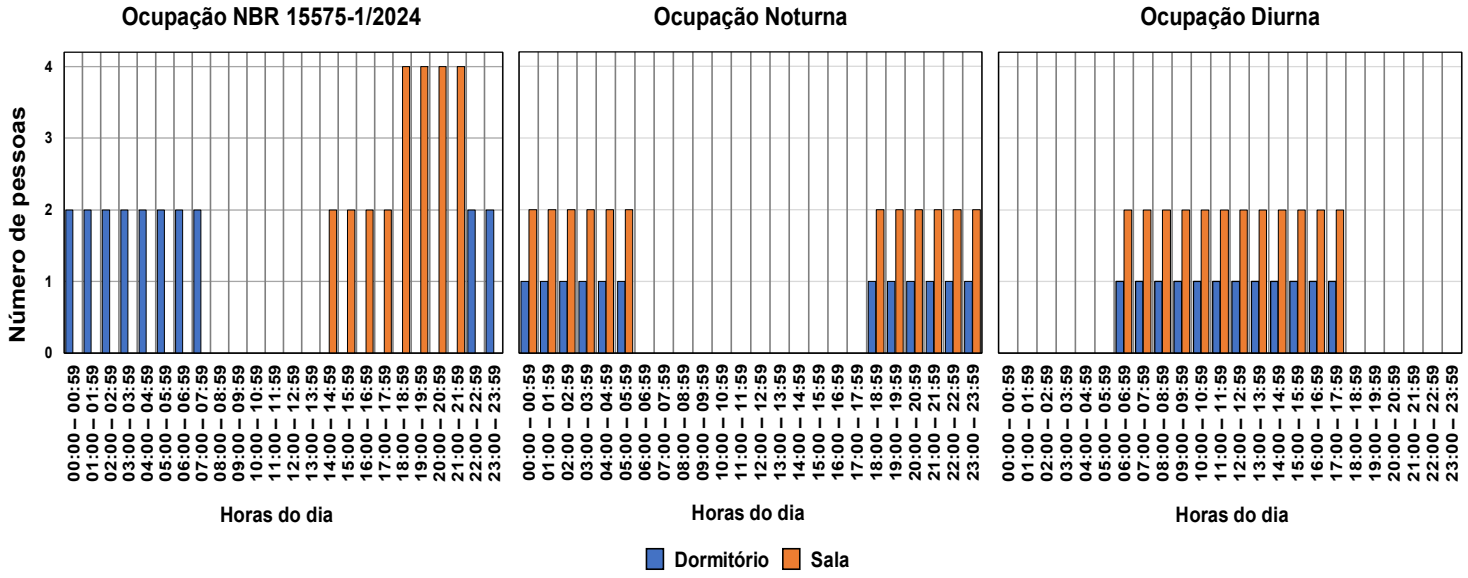
Os horários de atividade das cargas internas foram programados para coincidir com os períodos de ocupação nos ambientes, conforme estabelecido na Figura 3. Contudo, ressalta-se que os períodos de acionamento da iluminação apresentaram variações em relação ao padrão de ocupação estabelecido na Figura 3, conforme detalhado a seguir:

- Ocupação conforme NBR 15575-1 (ABNT, 2024): iluminação dos dormitórios acionada das 06h00 às 07h59 e das 22h00 às 23h59; iluminação das salas foi ativada das 16h00 às 21h59;
- Período noturno de simulação: iluminação acionada das 18h00 às 23h59 nos dormitórios e na sala;
- Período diurno de simulação: iluminação acionada das 06h00 às 07h59 e das 16h00 às 17h59 nos dormitórios e na sala.

3. Uso e Ocupação

Com o intuito de analisar o desempenho energético dos tetos frios em diferentes perfis de ocupação, admitiu-se três condições de ocupação: a primeira, conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2024), tem dois ocupantes por dormitório das 22h00 às 07h59, e a sala com duas pessoas das 14h00 às 17h59 e quatro pessoas das 18h00 às 21h59. Na segunda condição, noturna, dois ocupantes estão presentes das 18h00 às 05h59. Na terceira, diurna, a ocupação ocorre das 06h00 às 17h59. Nas duas últimas, a sala tem dois ocupantes e cada dormitório, um. A Figura 3 ilustra os diferentes cenários de ocupação analisados.

Figura 3 – Perfis de ocupação adotados nas simulações



Fonte: o autor.

4. Ventilação natural e condicionamento de ar

Considerou-se três condições de simulação: com ventilação natural (1), condicionamento de ar em regime híbrido (2) e contínuo (3). Em todas as condições, os sistemas foram acionados durante os períodos de ocupação nos ambientes de permanência prolongada (APP). A modelagem da ventilação natural e do condicionamento de ar em regime híbrido seguiu o estabelecido na NBR 15575-1 (ABNT, 2024), incluindo o somatório anual dos valores de carga térmica para os horários em que a temperatura operativa do APP, no modelo com ventilação natural, fosse igual ou superior a 28°C.

As simulações no cenário com atividade contínua do sistema de condicionamento de ar nos APP seguiram as diretrizes da NBR 15575-1 (ABNT, 2024). No entanto, o acionamento do

sistema perdura por todo o período de ocupação, sem considerar uma contribuição do modelo ventilado naturalmente na carga térmica.

PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

A análise energética foi efetuada com base nos valores determinados de carga térmica da unidade habitacional. No EnergyPlus, esta análise considera os seguintes parâmetros de saída (outputs): *Zone Ideal Loads Zone Total Heating Energy* e *Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Energy*, ambos configurados para saída de dados a cada hora. Quando no regime híbrido, as cargas térmicas de resfriamento e aquecimento são calculadas em função das temperaturas operativas dos APP (simulados com ventilação natural) pelo output *Zone Operative Temperature*. Em decorrência dos resultados de carga térmica, calculou-se os valores correspondentes às emissões de dióxido de carbono (CO_2) pertinentes a cada cenário de simulação, conforme a Equação (3). Para essa finalidade, os valores de carga térmica ideal foram transformados em consumo de energia elétrica por meio da Equação (1) e da Equação (2), de acordo os métodos de cálculos propostos na INI-R (INMETRO, 2022).

$$\mathbf{CR_{UH}} = \frac{\mathbf{CgTR_{UH}}}{\mathbf{CEE_R}} \qquad \text{Equação (1)}$$

$$\mathbf{CA_{UH}} = \frac{\mathbf{CgTA_{UH}}}{\mathbf{CEE_A}} \qquad \text{Equação (2)}$$

Onde,
$\mathbf{CR_{UH}}$ é o consumo de energia elétrica para refrigeração da unidade habitacional (kWh/ano);
$\mathbf{CA_{UH}}$ é o consumo de energia elétrica para aquecimento da unidade habitacional (kWh/ano);
$\mathbf{CgTR_{UH}}$ é a carga térmica para refrigeração da unidade habitacional (kWh/ano);
$\mathbf{CgTA_{UH}}$ é a carga térmica para aquecimento da unidade habitacional (kWh/ano);
$\mathbf{CEE_R}$ é coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar para refrigeração (W/W);
$\mathbf{CEE_A}$ é o coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar para aquecimento (W/W).

Os denominadores CEE, calculados para aquecimento e refrigeração, foram estabelecidos com base nos valores de referência para avaliação da eficiência energética da envoltória conforme a INI-R (INMETRO, 2022) e com base no CSPF (Cooling Seasonal Performance Factor), adaptado para as cidades adotadas neste trabalho, considerando os dados meteorológicos do INMET, em função da temperatura externa e das horas de operação do sistema para cada perfil de ocupação adotado (NBR 15575-1, noturno e diurno). O cálculo do fator CSPF foi realizado por meio da interface web do PBE EDIFICA (s.d.). Os parâmetros utilizados do equipamento para o cálculo do CSPF foram fundamentados nos dados declarados do índice PET (Physiological Equivalent Temperature) de um equipamento de ar-condicionado do tipo split inverter, disponibilizado pelo INMETRO (2023). De acordo com a

NBR 15575-1 (ABNT, 2024), a determinação de carga térmica de aquecimento para a cidade de Recife/PE e Picos/PI não é aplicável. Portanto, para o cálculo do consumo, utilizou-se apenas o CEE_R (Coeficiente de Eficiência Energética de Resfriamento). A Tabela 3 e Tabela 4 informam, respectivamente, os dados relativos ao equipamento de ar-condicionado utilizado para o cálculo do CSPF e o coeficiente CEE_R admitido para o cálculo do consumo energético de refrigeração.

Tabela 3 – Dados PET

Carga Total (100%) em 35°C W		**Carga Parcial (50%) em 35°C** W		**Carga Parcial (50%) em 29°C** W		**Carga Total (100%) em 29°C** W		**IDRS**
Capacidade Total	**Consumo Total**	**Capacidade Parcial**	**Consumo Parcial**	**Capacidade Parcial**	**Consumo Parcial**	**Capacidade Parcial**	**Consumo Parcial**	Wh/Wh
3.517	1.340	1.758	400	1.758	284	-	-	6,00

Fonte: INMETRO (2023).

Tabela 4 – Coeficiente CEE_R para as cidades de Recife/PE e Picos/PI

Cidade	$\mathbf{CEE_R}$				
	Referência INI-R	**CSPF**			
		NBR Dormitório	**NBR Sala**	**Diurno**	**Noturno**
Recife/PE	3,50	7,76	6,41	6,38	7,88
Picos/PI		5,86	3,57	3,66	6,34

Fonte: o autor.

Em seguida, a emissão do dióxido de carbono é determinada a partir da Equação (3), calculada por meio do consumo total de energia elétrica anual por unidade de área e do fator de emissão de dióxido de carbono por geração de eletricidade (fe_E), adotado como sendo 0,09kg.CO_2/kWh, conforme INI-R (INMETRO, 2022).

$$\mathbf{E_{CO_2}} = \frac{(\mathbf{CR_{UH}} + \mathbf{CA_{UH}}) \cdot \mathbf{fe_E}}{\mathbf{A_{p,UH}}} \qquad \text{Equação (3)}$$

Onde,

$\mathbf{E_{CO_2}}$ é a emissão total de dióxido de carbono da unidade habitacional (kgCO_2/m².ano);

$\mathbf{CR_{UH}}$ é o consumo de energia elétrica para refrigeração da unidade habitacional (kWh/ano);

$\mathbf{CA_{UH}}$ é o consumo de energia elétrica para aquecimento da unidade habitacional (kWh/ano);

$\mathbf{fe_E}$ é o fator de emissão de dióxido de carbono na geração de energia elétrica (kg.CO_2/kWh).

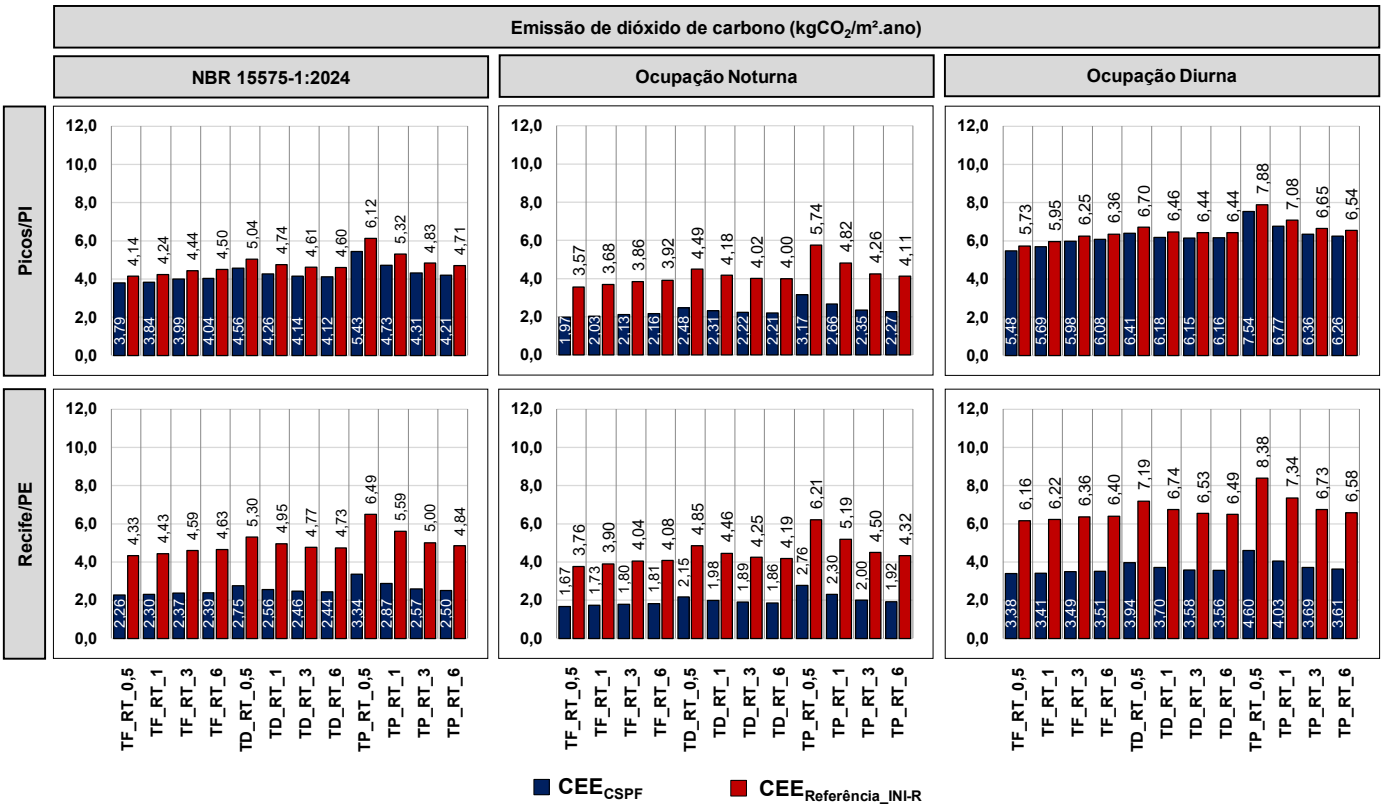
$\mathbf{A_{p,UH}}$ é a área de piso (m²), determinada a partir da soma das áreas de piso de todos os APP da unidade habitacional.

Resultados

Os valores correspondentes às emissões de CO_2 estão expostos na Figura 4. Os percentuais de redução na emissão de CO_2, descritos nesta pesquisa, são diretamente proporcionais aos percentuais de redução do consumo de energia. Portanto, para cada redução percentual obtida no consumo de energia, espera-se uma redução percentual equivalente na emissão de CO_2. Para determinar o consumo de energia (em kWh/m².ano) a partir da Figura 4, divide-se a emissão de CO_2 pelo fator de 0,09kg.CO_2/kWh (INMETRO, 2022).

Pra cada perfil de ocupação, percebe-se diversas circunstâncias que levam à redução na emissão de CO_2 em detrimento da economia na demanda de energia por resfriamento. Em todos os casos, por não haver consumo de aquecimento, não há penalidades no consumo de energia, bem como das emissões de CO_2.

Figura 4 –Emissão de CO_2 para cada perfil de ocupação adotado



Fonte: o autor.

Com base na Figura 4, no contexto da ocupação, os resultados indicam diferentes alternativas de combinação entre tipo de teto e equipamento que contribuem para a redução na emissão de CO_2. Nessas circunstâncias, a análise (Tabela 5) enfatiza:

I. Às reduções decorrentes da substituição do equipamento: de CEE baseado na INI-R para CEE baseado no CSPF em cada tipologia de teto admitida (TF, TD e TP);
II. Às reduções decorrentes dos tetos para uma mesma eficiência de equipamento: ao migrar de um sistema TP_RT_0,5 para TF_RT_0,5;
III. À redução máxima, resultante da combinação do sistema de teto e equipamento mais eficientes em equiparação ao sistema de teto e equipamento menos eficientes: alcançada ao realizar a transição de um TP_RT_0,5 com equipamento baseado nos valores de referência da INI-R para um sistema TF_RT_0,5 associado ao CEE do equipamento baseado no CSPF.

Tabela 5 - Redução na emissão de CO_2 para cada perfil de ocupação adotado

Cidade	I. Substituição do equipamento			II. Maiores eficiências dos tetos para uma mesma eficiência de equipamento				III. Otimização máxima		
	Cenário NBR 15575-1	Cenário Noturno	Cenário Diurno	Cenário NBR 15575-1		Cenário Noturno	Cenário Diurno	Cenário NBR 15575-1	Cenário Noturno	Cenário Diurno
				REF_{INI-R}	CSPF					
Recife/PE	47,8% e 48,5%	55,6%	45,1%	33,3%	32,4%	39,5%	26,5%	65,2%	73,1%	59,7%
Picos/PI	8,4% e 11,3%	44,8%	4,4%	32,4%	30,2%	37,8%	27,4%	38,0%	65,7%	30,5%

Fonte: o autor.

Conclusões

Os dados apresentados neste artigo permitiram identificar a influência exercida pela taxa de absortância solar das telhas nos valores do consumo para resfriamento, bem como das emissões de CO_2 liberadas na atmosfera.

Os diferentes perfis de ocupação evidenciaram a relevância que a especificação de um perfil típico detém no que se refere ao consumo para resfriamento. As proposições de tetos frios, independentemente do perfil de uso e ocupação, representaram os cenários de menor demanda de consumo energético.

As simulações realizadas para as cidades de Recife e Picos indicaram que a adoção de tetos frios nos sistemas de cobertura resultou em ganhos de eficiência energética em todos os cenários analisados, quando comparados aos telhados padrão (TP_RT_0,5). No entanto, ao manter a cobertura inalterada e substituir apenas os equipamentos, observou-se que a

utilização de aparelhos mais eficientes teve um impacto significativo na eficiência energética em Recife, independentemente do cenário. Em contrapartida, na cidade de Picos, a substituição dos equipamentos apresentou ganhos expressivos apenas no cenário noturno, enquanto nos cenários NBR 15575-1 e diurno a eficiência obtida foi limitada. Esse resultado ressalta a importância de considerar as condições climáticas locais ao selecionar equipamentos, bem como a necessidade de utilizar coeficientes de desempenho mais representativos, como o CSPF local para certos horários de uso, que ainda não estão acessíveis ao consumidor e podem permitir uma tomada de decisão mais assertiva. Caso contrário, índices como o IDRS podem gerar uma interpretação superestimada da eficiência real dos equipamentos. Por fim, a combinação de estratégias passivas e ativas revelou-se como a solução mais eficaz para a redução do consumo energético e das emissões de CO_2, destacando o cenário noturno como a configuração de maior desempenho.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelos recursos financeiros aplicados nesta pesquisa.

Referências

ASCIONE, F.; BIANCO, N.; MASI, R. F.; MASTELLONE, M.; MAURO, G. M.; VANOLI, G. P. The role of the occupant behavior in affecting the feasibility of energy refurbishment of residential buildings: Typical effective retrofits compromised by typical wrong habits. Energy and Buildings. v. 223. 2020. ISSN 0378-7788. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110217.

AKBARI, H.; MATTHEWS, H.D. Global cooling updates: Reflective roofs and pavements. Energy and Buildings. v. 55, p. 2-6, 2012. ISSN 0378-7788. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.055.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1-1: Base-padrão de arquivos climáticos para a avaliação do desempenho térmico por meio do procedimento de simulação computacional. NBR 15575-1-1. Rio de Janeiro, 2021.

_____. NBR 15.575: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. NBR 15575-1. Rio de Janeiro, 2024.

COSTANZO, V.; EVOLA, G.; MARLETTA, L. Energy savings in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs. Energy and Buildings. v. 114, p. 247-255, 2016. ISSN 0378-7788. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.053.

DOE – UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus: Version 22.2.0. Disponível em: https://energyplus.net/.

GE, J.; LI, S.; CHEN, S.; WANG, X.; JIANG, Z.; SHEN, C. Energy-efficiency strategies of residential envelope in China's Hot Summer–Cold Winter Zone based on intermittent thermal regulation behaviour. Journal of Building Engineering. v. 44. 2021. ISSN 2352-7102. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103028

IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Balances, 2022. Disponível em: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Portaria Nº 309, de 6 de setembro de 2022. Aprova as Instruções Normativas e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais – Consolidado. 2022. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/LEGISLACAO/detalhe.asp?seq_classe=1&seq_ato=2989. Acesso em 10 fev. 2025.

_____. Condicionadores de ar: condicionadores-de-ar-indices-novos-IDRS_2023-08-02 v2. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/condicionadores-de-ar. Acesso em 10 fev. 2025.

KOLOKOTRONI, M.; SHITTU, E.; SANTOS, T.; RAMOWSKI, L.; MOLLARD, A.; ROWE, K.; WILSON, E.; BRITO FILHO, J. P.; NOVIETO, D. Cool roofs: High tech low cost solution for energy efficiency and thermal comfort in low rise low income houses in high solar radiation countries. Energy and Buildings. v. 176, p. 58-70. 2018. ISSN 0378-7788. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.005.

LEI, J.; YANG, J.; YANG, E. Energy performance of building envelopes integrated with phase change materials for cooling load reduction in tropical Singapore. Applied Energy. v. 162, p. 207-217, 2016. ISSN 0306-2619. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.031.

NEW, J.; MILLER, W. A.; HUANG, YU (JOE); LEVINSON, R. Comparison of software models for energy savings from cool roofs. Energy and Buildings. v. 114, p. 130-135, 2016. ISSN 0378-7788. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.020.

PISELLI, C.; SAFFARI, M.; GRACIA, A.; PISELLO, A. L.; COTANA, F.; CABEZA L. F. Optimization of roof solar reflectance under different climate conditions, occupancy, building configuration and energy systems. Energy and Buildings. v. 151, p. 81-97, 2017. ISSN 0378-7788. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.045.

RAWAT, M.; SINGH, R. N. A study on the comparative review of cool roof thermal performance in various regions. Energy and Built Environment. v. 3, p. 327-347, 2022. ISSN 2666-1233. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.03.001.

SANTOS, A.C.; LIMA, J.V.S.; J.R.G.; M.S.G.C. Uso do EnergyPlus em pesquisas brasileiras. XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC 2018. Foz do Iguaçu, 2018.

SEIFHASHEMI, M.; CAPRA, B. R.; MILLLER, W.; BELL J. The potential for cool roofs to improve the energy efficiency of single storey warehouse-type retail buildings in Australia: A simulation case study. Energy and Buildings. v. 158, p. 1393-1403, 2018. ISSN 0378-7788. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.034.

SILVA, M.P.; MARINOSKI, D.L.; GÜTHS, S. Simulação termoenergética e análise econômica do uso de telhados de fibrocimento de alta refletância solar em uma residência unifamiliar. Anais do XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, Brasil, 2020.

SPROUL, J.; WAN, M. P.; MANDEL, B. H.; ROSENFELD, A. H. Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States. Energy and Buildings. v. 71, p. 20-27, 2014. ISSN 0378-7788. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.058.

STAVRAKAKIS, G.M.; ANDROUTSOPOULOS, A.V.; VYÖRYKKÄ, J. Experimental and numerical assessment of cool-roof impact on thermal and energy performance of a school building in Greece. Energy and Buildings. v. 130, p. 64-84, 2016. ISSN 0378-7788. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.047.

TESTA, J.; KRARTI, M. A review of benefits and limitations of static and switchable cool roof systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 77, p. 451-460, 2017. ISSN 1364-0321. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.030.