

Uso das cores como estratégia no projeto de Edificações de Energia Zero

Colors utilization as a strategy for Zero Energy Buildings design

Artur Martins Kamimura

arturkamimura@yahoo.com.br

Verônica Martins Gnecco

veronicamgnecco@gmail.com

Rafael Fernando Giaretta

rgiartta@gmail.com

Michele Fossati

michele.fossati@gmail.com

Resumo

Dado o aumento mundial do consumo energético em edificações, uma alternativa para minimizá-lo é a implementação das Edificações de Energia Zero (EEZ). Uma solução para alcançá-las é o uso correto da absorvância à radiação solar (ARS). Partindo de simulações termoenergéticas para quatro cidades brasileiras e da utilização de diferentes absorvâncias nas paredes e coberturas, obtiveram-se consumos para condicionamento dos ambientes de uma edificação residencial. Calculou-se ainda o percentual de redução de consumo de cada uma das soluções propostas, quando comparadas àquela de maior consumo em cada cidade. Para locais onde a demanda predominante é por resfriamento, ARS mais baixas são as melhores soluções; onde a demanda principal é por aquecimento, valores maiores de ARS propiciam menor consumo. Finalmente, foi estimada a redução da área de painéis fotovoltaicos resultante de cada solução, sendo essa redução proporcional àquela do consumo e também dependente dos valores de irradiação solar de cada localidade.

Palavras-chave: Absorvância solar à radiação; Edificações de Energia Zero; Energia fotovoltaica; Cargas térmicas

Abstract

Due to the increasing energy consumption of buildings worldwide, an alternative to minimize it is the implementation of Zero Energy Buildings (ZEB). One solution to achieve them is the correct use of solar radiation absorption (ARS). Starting from thermoenergetic simulations for four Brazilian cities and the use of different absorvances in the walls and

roofs, consumption was obtained for conditioning the environments of a residential building. The percentage of consumption reduction for each of the proposed solutions was also calculated, when compared to the one with the highest consumption in each city. For locations where the predominant demand is for cooling, lower ARS is the best solution; where the main demand is for heating, higher ARS values lead to less consumption. Finally, the reduction in the area of photovoltaic panels resulting from each solution was estimated, this reduction being proportional to that of consumption and also dependent on the solar irradiation values of each location.

Keywords: Solar absorptance; Zero Energy Buildings, Photovoltaic energy; Thermal loads

1. Introdução

Pouco mais da metade da eletricidade consumida no Brasil é utilizada nas edificações. Essa soma é dividida entre as edificações residenciais (25,5%), comerciais (17,1%) e públicas (8,2%) (MME, 2019). Esse elevado percentual gera uma crescente preocupação para a melhoria da eficiência energética das edificações.

As Edificações de Energia Zero (EEZ), ou do inglês *Zero Energy Buildings* (ZEBs), mostram-se como uma alternativa viável e crescente para a redução do volume energético consumido por edifícios (CAO; DAI; LIU, 2016). A adoção mais ampla dessas edificações ocorre em países europeus e nos Estados Unidos, através da Diretiva do Parlamento Europeu sobre Eficiência Energética de Edifícios (EPBD) (EUROPEAN UNION, 2010), e do Ato de Segurança e Independência Energética de 2007 (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2007), respectivamente.

Em termos gerais, as EEZ são edificações com consumos de energia minimizadas através da implementação de estratégias de eficiência energética e têm geração local por fonte renovável de tanta ou mais energia do que aquela consumida no período de um ano (TORCELLINI et al., 2006).

Assim, no projeto de uma EEZ, existem dois fundamentos básicos: aplicação de medidas de eficiência energética e o uso de energia de fontes renováveis. A primeira questão está relacionada diretamente com a envoltória da edificação, suas técnicas construtivas, soluções arquitetônicas ou pela inclusão de sistemas eficientes (BELUSSI *et al.*, 2019). Os fatores que influenciam o desempenho energético das edificações, como o projeto arquitetônico, o clima local, os sistemas construtivos e suas propriedades térmicas, inclusive suas cores, são, portanto, importantes elementos a serem estudados, a fim de que a demanda energética a ser alimentada por fontes renováveis seja a menor possível (BRITO, AKUTSU, 2015).

Tratando especificamente dos materiais das envoltórias dos edifícios, sabe-se que os mesmos influenciam de forma significativa não só no ambiente urbano, mas também no conforto interno e consumo energético dos edifícios individualmente (SANTAMOURIS; SYNNEFA; KARLESSI, 2011).

Diversos estudos no Brasil analisaram as propriedades térmicas dos materiais das coberturas das edificações, sobretudo para investigar os efeitos da variação de sua coloração

(BRITO; AKUTSU, 2015), dos tipos de cobertura (SILVEIRA; MARINOSKI; LAMBERTS, 2012; SILVA; ALMEIDA; GHISI, 2016; LIZ; ORDENES; GUTHS, 2018) ou envolvendo as duas análises anteriores (MUNIZ-GAAL *et al.*, 2018).

Santamouris, Synnefa e Karlessi (2011) verificaram que a escolha dos elementos construtivos da cobertura pode reduzir a demanda energética para resfriamento, além de influenciar positivamente no clima urbano do entorno, conclusões relevantes principalmente para países de clima quente. Muniz-Gaal *et al.* (2018) constataram grande sensibilidade da eficiência térmica dos materiais e cores empregados em uma cobertura. A absorvância à radiação solar (ARS) é um fator que afeta diretamente o desempenho térmico de uma cobertura e que muitas vezes é negligenciada (SUEHRCKE, PETERSON, SELBY; 2008).

Outro fator que pode afetar o desempenho térmico das coberturas é o acúmulo de sujeira na superfície, alterando os valores de ARS, ocorrendo principalmente no primeiro ano de uso (MUNIZ-GAAL *et al.*, 2018). Suehrke, Peterson e Selby (2008) concluíram que coberturas claras não mantêm sua ARS original. A pesquisa testou 13 amostras, que tiveram um aumento da ARS de 0,12, após três anos de uso.

Da mesma maneira, as paredes, ainda que recebendo uma intensidade de incidência solar menor, também são sensíveis ao valor da ARS, como ilustrado em Silva, Almeida e Ghisi (2016), em Dornelles, Caram e Sichieri (2015) e em Barrios *et al.* (2012). Portanto, a ARS torna-se um fator de grande impacto no projeto de edifícios de alto desempenho energético, tais como os Edifícios de Energia Zero.

A absorvância à radiação solar é definida pela NBR 15220-1 como o “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” (ABNT, 2005, p. 3). Para a ARS, quanto menor seu valor, mais clara a cor associada.

Também o CB3E (2015) estabelece uma relação entre refletância e absorvância à radiação solar, sendo a soma das duas parcelas o total incidente na superfície, já que muitas vezes os valores tabelados não são exatos e o mais recomendado seria a medição das propriedades radiantes de cada superfície. A equação a seguir demonstra o explicado:

$$\alpha = 1 - \rho \quad (1)$$

Sendo:

α = absorvância à radiação solar;

ρ = refletância solar.

Dornelles, Caram e Sichieri (2013) estudaram diferentes cores de tintas acrílicas, entre convencionais e refletivas, para pintura de coberturas e paredes. Após a medição da refletância solar, chegou-se à conclusão que a ARS afeta diretamente o desempenho térmico das superfícies pintadas e quanto menor a ARS for, menor a temperatura das superfícies do edifício. A pesquisa desenvolvida por Barrios *et al.* (2012), por sua vez, envolveu especificamente edifícios não condicionados, concluindo que a energia transferida pelas paredes ou coberturas depende das condições climáticas e da ARS. Essas condições climáticas têm importância na avaliação porque influenciam diretamente na energia transferida do exterior para o interior da edificação através da envoltória.

Silva, Almeida e Ghisi (2016) e Silva e Ghisi (2019) estudaram o processo decisório dos sistemas construtivos de uma edificação em seu desempenho térmico e energético, averiguando através de simulações computacionais que a transmitância e a ARS estão entre as variáveis mais determinantes no desempenho de um edifício residencial.

No setor residencial brasileiro, o aumento de consumo de energia elétrica para condicionamento de ar mais que triplicou nos últimos 12 anos, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (BRASIL, 2018), estimulado por um crescimento de equipamentos nas residências de 9% entre 2005 e 2017.

Por esse consumo ser cada vez mais representativo, o conceito de carga térmica deve ser determinado, sendo, segundo a Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INMETRO, 2018a), a quantidade de calor a ser fornecida ou retirada do ar para manter, em um ambiente, as condições desejadas, sendo de aquecimento ou resfriamento, respectivamente.

Ao analisar o zoneamento bioclimático brasileiro, disposto na NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), percebe-se que o Brasil é dividido em 8 zonas bioclimáticas, agrupamento que facilita a identificação de particularidades regionais e a formulação de estratégias de eficiência energética para cada uma (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 2001). Nota-se, portanto, a importância de se analisar e demonstrar os efeitos do uso de diferentes cores em coberturas e paredes em diferentes condições climáticas brasileiras.

2. Objetivo

O objetivo deste artigo é analisar como o uso de diferentes cores (diferentes absorptâncias à radiação solar) em paredes e coberturas pode afetar o consumo de energia para resfriamento e aquecimento de uma edificação, quando localizada em diferentes condições climáticas. Também, com isso, poder-se-á demonstrar como a escolha mais adequada das cores, que se dá de forma diferente dependendo do clima local, pode reduzir o consumo de eletricidade, e assim facilitar a implantação de Edificações de Energia Zero.

3. Metodologia

Neste trabalho foram analisados os valores de carga térmica anual de resfriamento e aquecimento de uma edificação, quando situada em quatro cidades diferentes e com três variações de cores para coberturas e paredes. Os valores de carga térmica para resfriamento e aquecimento foram obtidos através de simulações computacionais realizadas utilizando o software *EnergyPlus*, versão 9.2 (ENERGYPLUS, 2019). A modelagem da carga térmica anual de refrigeração e aquecimento foi realizada por meio do uso do grupo de objetos chamado de *Ideal Loads Air System*.

É importante salientar as delimitações da pesquisa, onde não foram definidas cores específicas para a realização das análises, e sim três valores de absorptância comumente

aplicáveis às cores mais claras, escuras e um valor intermediário entre elas. Relativamente às simulações não foram considerados os efeitos da precipitação.

3.1 Edificação analisada

O modelo de edificação utilizado nesse estudo é baseado no trabalhado de Montes (2016). Escolheu-se esse modelo por se tratar de uma edificação que é representativa das habitações de interesse social brasileiras. A Figura 1 ilustra a planta baixa e uma vista da edificação. Ela é composta por sala e cozinha conjugadas, dois dormitórios e um banheiro, totalizando 40 m² de área construída.

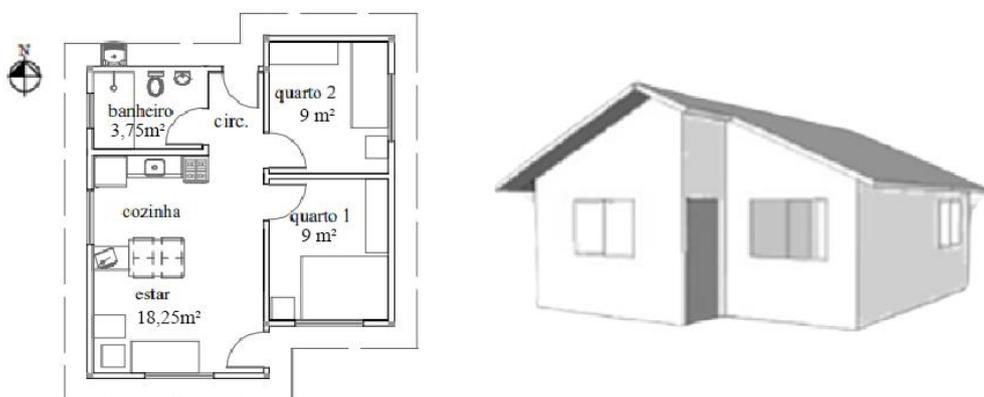


Figura 1: Ilustração da edificação analisada. Fonte: Montes (2016).

O sistema construtivo mais utilizado atualmente em habitações de interesse social (HIS) no Brasil é o de paredes de concreto. No ano de 2016, 52% das unidades habitacionais do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) foram construídas utilizando paredes de concreto; em 2015 esse sistema representava 36% (ABCP, 2018). Para as coberturas o sistema construtivo mais comum são as telhas de fibrocimento, presentes em cerca de metade do total de telhados no país, devido, sobretudo, ao seu baixo custo (COELHO; GOMEZ, DORNELLES, 2016). Assim, para a edificação analisada foram consideradas paredes de concreto e telhas de fibrocimento com forro de madeira.

Os vidros são do tipo simples de 3 mm nas aberturas, com fator solar de 0,87 e transmitância térmica de 5,7 W/m².K; as aberturas são sem venezianas e sem projeção que proporcione sombreamento. As portas têm 30 mm de madeira, o piso tem estrutura de concreto e acabamento cerâmico.

3.2 Considerações para as simulações

A edificação descrita no item 3.1 foi simulada para as condições climáticas de quatro cidades brasileiras, considerando três valores diferentes de absorvância à radiação solar para coberturas e paredes.

As cidades e zonas bioclimáticas escolhidas foram São Joaquim-SC (ZB1), Florianópolis-SC (ZB3), Teresina-PI (ZB7) e Porto Velho-RO (ZB-8). A escolha das cidades deu-se com o objetivo de abranger maior variedade de temperaturas médias anuais, compreendendo, nesse estudo, uma faixa que vai desde de 13,6 °C em São Joaquim até 29,1 °C em Teresina; também essas cidades apresentam potenciais de geração fotovoltaica bastante distintos.

Para as cores a serem analisadas foram definidos três valores de absorvância à radiação solar para paredes e coberturas: 30, 60 e 90%. Com isso tem-se uma cor mais clara (30%, próxima à cor branca), uma cor escura (90%, próxima à cor preta) e um valor intermediário entre elas. As paredes foram nomeadas como parede03, parede06 e parede09 e as coberturas de cob03, cob06 e cob09, respectivamente à absorvância adotada.

Foi considerado o uso da ventilação natural nos ambientes sempre que a temperatura do ar externo estivesse superior a 19°C e menor que a temperatura interna do ambiente. Ademais, utilizou-se do objeto *Energy Management System* do *EnergyPlus* para variar o acionamento do condicionamento artificial quando o ambiente estivesse ocupado e a ventilação natural não atendesse as temperaturas máximas e mínimas desejadas.

As temperaturas para acionamento do condicionamento artificial e os padrões de ocupação seguiram o que preconiza a Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INMETRO, 2018a), da seguinte forma:

- O consumo anual de energia para aquecimento (em kWh) é aquele necessário para aquecimento do ambiente durante o período compreendido entre 14h e 22h para as salas e durante o período compreendido entre 22h e 08h para os dormitórios. São consideradas duas pessoas por dormitório; duas pessoas por sala entre 14h e 18h e quatro pessoas por sala entre 18h e 22h; todos os dias do ano, com termostato em 18°C. O acionamento do sistema de aquecimento é realizado sempre que a temperatura operativa for inferior a 16°C.
- O consumo anual de energia para refrigeração (em kWh) é o consumo para refrigeração do ambiente durante o período compreendido entre 14h e 22h para as salas e durante o período compreendido entre 22h e 08h para os dormitórios. São consideradas duas pessoas por dormitório; duas pessoas por sala entre 14h e 18h e quatro pessoas por sala entre 18h e 22h; todos os dias do ano, com termostato em 23°C. O acionamento do sistema de refrigeração é realizado sempre que a temperatura operativa for superior a 26°C.

3.3 Análise da redução do consumo de eletricidade para condicionamento

As análises comparativas entre as diferentes combinações de cores foram feitas analisando as reduções de consumo para condicionamento da edificação.

Para a obtenção dos valores de consumo em kWh, os valores de carga térmica obtidos através das simulações computacionais foram divididos por um coeficiente de eficiência energética igual a 3,25. O valor foi escolhido pois o INMETRO exige um coeficiente de eficiência energética (CEE) maior que 3,23 em aparelhos de condicionamento de ar do tipo

split para obtenção da classificação A na etiqueta de eficiência energética (INMETRO, 2018b).

Buscando demonstrar tendências nos comportamentos das edificações conforme o clima onde ela estiver inserida e as cores de suas coberturas e paredes, foram calculadas as reduções percentuais do total de carga térmica para condicionamento dos ambientes (soma das cargas para resfriamento e aquecimento). As reduções foram sempre comparadas à pior situação para cada cidade, ou seja, o caso base, com valores de ARS de 90% para coberturas e paredes.

3.4 Análise da redução do uso de painéis fotovoltaicos

A fim de demonstrar o potencial de cada estratégia no projeto de uma Edificação de Energia Zero, foi calculada qual seria a variação da área, em metros quadrados de painéis fotovoltaicos, resultante da redução de consumo em cada solução, quando comparadas ao pior caso em cada cidade.

A geração estimada de eletricidade pelos painéis fotovoltaicos foi calculada multiplicando-se a irradiação média anual em cada localidade (corrigida para o plano inclinado em 30°, conforme o telhado, e orientado para leste), pelo rendimento do sistema e pela eficiência do painel fotovoltaico.

A geração média por metro quadrado foi tomada considerando os valores de irradiação solar média anual descritos no atlas solar brasileiro (PEREIRA et al, 2017). Foi ainda considerado o rendimento do sistema de 76% (DGS, 2013) e um painel fotovoltaico com 17% de eficiência, valor médio encontrado para os painéis de silício multicristalino (FRAUNHOFER, 2019).

A geração estimada por metro quadrado de painel fotovoltaico, para as quatro cidades analisadas, está descrita na Tabela 1.

| | Irradiação média anual no plano inclinado (kWh/m ² .dia) | Rendimento do sistema (%) | Eficiência do painel fotovoltaico (%) | Geração estimada (kWh/m ² .ano) |
|---------------|---|---------------------------|---------------------------------------|--|
| São Joaquim | 4.23 | 76% | 17% | 199.5 |
| Florianópolis | 4.05 | 76% | 17% | 191.0 |
| Porto Velho | 5.31 | 76% | 17% | 250.4 |
| Teresina | 5.45 | 76% | 17% | 257.0 |

Tabela 1: Potencial estimado de geração fotovoltaica. Fonte: elaborado pelos autores.

4. Resultados

4.1 Análise da redução do consumo de eletricidade para condicionamento

Nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 são expostos os resultados obtidos para cada solução analisada, nas cidades de São Joaquim, Florianópolis, Porto Velho e Teresina, respectivamente. Nas tabelas, as soluções estudadas aparecem na ordem crescente de ARS para paredes e coberturas.

Nota-se que para Florianópolis, Porto Velho e Teresina a solução que proporcionou o melhor consumo foi a combinação de paredes e coberturas com cores cuja ARS é igual a 30% (cores claras). Isso é justificado pelo fato de que o maior consumo nessas cidades é relativo ao resfriamento dos ambientes. Para a cidade de São Joaquim, onde o maior consumo é relativo ao aquecimento dos ambientes, a melhor solução (que apresentou menor consumo para condicionamento dos ambientes) é a aquela cujas ARS de paredes e coberturas são iguais a 90%.

| São Joaquim (valores em kWh/ano) | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Medida | Parede03 + Cob03 | Parede03 + Cob06 | Parede03 + Cob09 | Parede06 + Cob03 | Parede06 + Cob06 | Parede06 + Cob09 | Parede09 + Cob03 | Parede09 + Cob06 | Parede09 + Cob09 |
| Resfriamento | 0.00 | 9.32 | 59.22 | 3.09 | 60.26 | 166.44 | 52.09 | 173.23 | 360.28 |
| Aquecimento | 3726.20 | 3365.01 | 3067.02 | 3095.64 | 2793.42 | 2563.04 | 2581.69 | 2349.52 | 2157.91 |
| Carga térmica total | 3726.20 | 3374.33 | 3126.24 | 3098.73 | 2853.68 | 2729.48 | 2633.78 | 2522.76 | 2518.19 |
| Consumo | 1157.2 | 1047.9 | 970.9 | 962.3 | 886.2 | 847.7 | 817.9 | 783.5 | 782.0 |
| %Red | 0.0% | -9.4% | -16.1% | -16.8% | -23.4% | -26.7% | -29.3% | -32.3% | -32.4% |

Tabela 2: Percentual de redução de consumo em energia elétrica anual em São Joaquim. Fonte: elaborado pelos autores.

| Florianópolis (valores em kWh/ano) | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Medida | Parede03 + Cob03 | Parede03 + Cob06 | Parede03 + Cob09 | Parede06 + Cob03 | Parede06 + Cob06 | Parede06 + Cob09 | Parede09 + Cob03 | Parede09 + Cob06 | Parede09 + Cob09 |
| Resfriamento | 3593.83 | 4639.52 | 5627.20 | 5312.02 | 6431.68 | 7525.49 | 7257.35 | 8509.12 | 9733.49 |
| Aquecimento | 69.82 | 53.31 | 42.24 | 37.22 | 29.15 | 22.96 | 20.68 | 14.93 | 11.69 |
| Carga térmica total | 3663.6 | 4692.8 | 5669.4 | 5349.2 | 6460.8 | 7548.5 | 7278.0 | 8524.0 | 9745.2 |
| Consumo | 1137.8 | 1457.4 | 1760.7 | 1661.3 | 2006.5 | 2344.2 | 2260.3 | 2647.2 | 3026.5 |
| %Red | -62.4% | -51.8% | -41.8% | -45.1% | -33.7% | -22.5% | -25% | -13% | 0% |

Tabela 3: Percentual de redução de consumo em energia elétrica anual em Florianópolis. Fonte: elaborado pelos autores.

| Porto Velho (valores em kWh/ano) | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Medida | Parede03 + Cob03 | Parede03 + Cob06 | Parede03 + Cob09 | Parede06 + Cob03 | Parede06 + Cob06 | Parede06 + Cob09 | Parede09 + Cob03 | Parede09 + Cob06 | Parede09 + Cob09 |
| Resfriamento | 15672.16 | 17656.24 | 19350.00 | 19053.00 | 20977.18 | 22687.64 | 22335.96 | 24221.76 | 25909.30 |
| Aquecimento | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Carga térmica total | 15672.2 | 17656.2 | 19350.0 | 19053.0 | 20977.2 | 22687.6 | 22336.0 | 24221.8 | 25909.3 |
| Consumo | 4867.1 | 5483.3 | 6009.3 | 5917.1 | 6514.7 | 7045.9 | 6936.6 | 7522.3 | 8046.4 |
| %Red | -39.5% | -31.9% | -25.3% | -26.5% | -19.0% | -12.4% | -13.8% | -6.5% | 0.0% |

Tabela 4: Percentual de redução de consumo em energia elétrica anual em Porto Velho. Fonte: elaborado pelos autores.

| Teresina (valores em kWh/ano) | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Medida | Parede03 + Cob03 | Parede03 + Cob06 | Parede03 + Cob09 | Parede06 + Cob03 | Parede06 + Cob06 | Parede06 + Cob09 | Parede09 + Cob03 | Parede09 + Cob06 | Parede09 + Cob09 |
| Resfriamento | 18574.04 | 20335.54 | 21848.81 | 21588.45 | 23296.92 | 24829.55 | 24525.26 | 26229.52 | 27764.06 |
| Aquecimento | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Carga térmica total | 18574.0 | 20335.5 | 21848.8 | 21588.4 | 23296.9 | 24829.5 | 24525.3 | 26229.5 | 27764.1 |
| Consumo | 5768.3 | 6315.4 | 6785.3 | 6704.5 | 7235.1 | 7711.0 | 7616.5 | 8145.8 | 8622.4 |
| %Red | -33.1% | -26.8% | -21.3% | -22.2% | -16.1% | -10.6% | -11.7% | -5.5% | 0.0% |

Tabela 5: Percentual de redução de consumo em energia elétrica anual em Teresina. Fonte: elaborado pelos autores.

4.2 Análise da redução da área de painéis fotovoltaicos

A redução da área de painéis fotovoltaicos proporcionada pela redução de consumo energético foi calculada para cada solução, em cada uma das cidades. O Gráfico 1 abaixo mostra a redução da área de painéis fotovoltaicos de acordo com cada solução proposta. Nota-se que, com exceção da cidade de São Joaquim, os valores relativos ao caso base (parede 09+cob09) não aparecem no gráfico, visto que sua redução é igual a zero. Para São Joaquim o valor de redução da combinação parede03+cob03 foi zero.

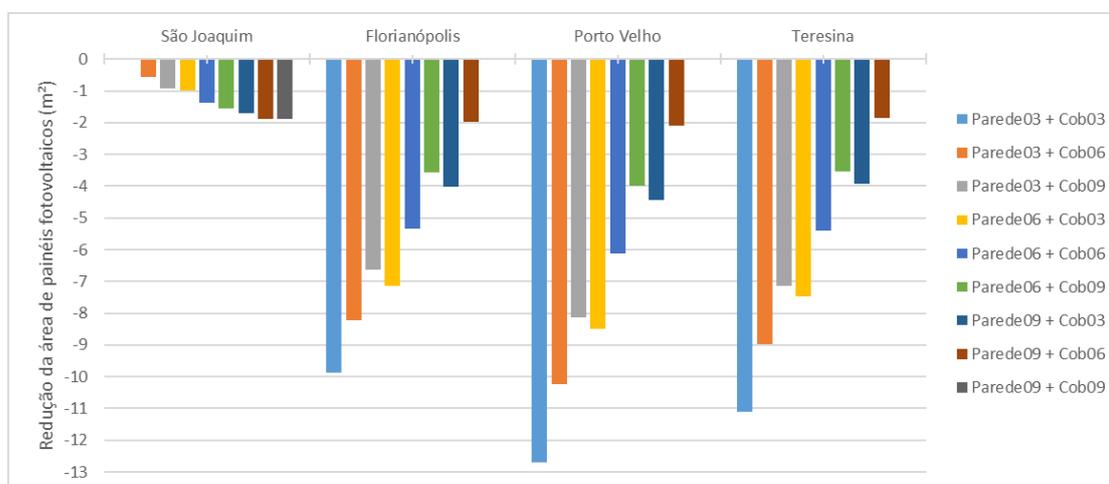


Gráfico 1: Redução da área de painéis fotovoltaicos para cada solução. Fonte: elaborado pelos autores.

Pode-se dizer que a redução da área de painéis depende não só do clima da região, mas também da radiação solar incidente. Porto Velho, por exemplo, tem médias de temperaturas anuais e irradiação solar inferiores às de Teresina e obteve maior redução em termos de consumo e também maior redução em área de painéis fotovoltaicos. Quanto menor a geração por m² de painel, maior será a redução em área resultante da diminuição do consumo energético. Os elevados valores de redução (12,7 m² por exemplo para Porto Velho, entre o pior e o melhor caso) justificam-se pela grande diferença entre os valores de ARS entre o caso base e o melhor caso, que resultaram em mais de 38% de economia energética.

5. Conclusão

A cor da cobertura e paredes de uma edificação residencial tem papel fundamental na resposta térmica dos ambientes. Em locais cuja maior demanda é por resfriamento, com menores valores de absorvância à radiação solar (ARS), é possível reduzir significativamente os valores de carga térmica dos ambientes. Em locais cuja maior demanda energética é para o aquecimento dos ambientes, valores mais altos de ARS favorecem a redução da carga térmica. Em locais com climas mais amenos e quentes, como Florianópolis, Porto Velho e Teresina a estratégia de variação ARS mostrou-se mais importante na redução de consumo.

Em São Joaquim a demanda para condicionamento foi menos impactada pela mudança das cores. Nesse caso a demanda maior era para aquecimento e também a temperatura média anual é de 13,6°C, sendo esse o local mais frio do Brasil. Ambos fatores podem ser motivo para o menor impacto da troca das cores da cobertura e das paredes na redução de cargas térmicas.

A área de painéis fotovoltaicos é reduzida quando a demanda de consumo por resfriamento ou aquecimento também diminuir. Essa redução depende fortemente de adaptações da edificação ao clima local. Portanto, ao projetar uma Edificação de Energia Zero (EEZ) com geração fotovoltaica, devem ser inicialmente levadas em conta as estratégias de eficiência energética mais adequadas. Com isso, os custos para implantação do sistema de geração de energia de uma EEZ podem ser menores e o projeto viabilizado.

Sugere-se, para trabalhos futuros, que seja feita a análise de uma edificação implantada em uma maior quantidade de cidades e também com diferentes soluções construtivas associadas às mudanças de cores, de forma que se possa comparar mais precisamente o impacto da ARS na redução de cargas térmicas e na quantidade de painéis fotovoltaicos. Além disso, a validação de ARS pode também ser feita através de estudos empíricos e experimentais.

Referências

ABCP – Associação Brasileira de Concreto Portland. **Sistema de paredes de concreto** Disponível em: http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2018/02/Link2_cc3.pdf

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1:** Desempenho térmico de edificações: parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-3:** Desempenho térmico de edificações: parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

BARRIOS, G., HUELSZ, G.; ROJAS, J.; OCHOA, J. M.; MARINCIC, I. Envelope wall/roof thermal performance parameters for non air-conditioned buildings. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 50, p.120-127, jul. 2012. Elsevier BV.

BELUSSI, L. et al.. A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. **Journal Of Building Engineering**, [s.l.], v. 25, p.2-21, set. 2019. Elsevier BV.

BRASIL, EPE. **Nota Técnica nº 030 de 13 de dezembro de 2018.** Uso de ar condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética.

BRITO, A. C.; AKUTSU, M.. Contribuição da cor da cobertura na melhoria do desempenho térmico de habitação no período de verão. In: ENCAC, 8., 2015, Campinas. **Anais...** . Campinas: Unicamp, 2015. p. 2 - 10.

CAO, X.; DAI, X.; LIU, J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 128, p. 198–213, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>>

CB3E. **Guia de medição e cálculo para refletância e ARS em superfícies opacas.** Florianópolis: LabEEE, 2015. 23 p.

COELHO, T. C. C.; GOMES, C. E. M.; DORNELLES, K. A.. Desempenho térmico e ARS de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 17, n. 1, p.147-161, mar. 2017. FapUNIFESP (SciELO).

DGS - German Solar Energy Society. **Planning and Installing Photovoltaic Systems.** 2013.

DORNELLES, K. A.; CARAM, R. M.; SICHIERI, E. P. ARS e desempenho térmico de tintas frias para uso no envelope construtivo. **Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, [s.l.], n. 12, p.55-64, 31 dez. 1969. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Univ. de Brasília.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus.** Disponível em: <<https://energyplus.net/>> .

EUROPEAN UNION. **Directive 2012/27/EU of the european parliament and of the council of 25 October 2012 on energy efficiency.** Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN>>

FRAUNHOFER. **Photovoltaics Report 2019 from FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS.** Disponível em: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Proposta de Instrução Normativa INMETRO para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.** Florianópolis: INMETRO, 2018a.

INMETRO. **Tabelas de eficiência energética.** 2018b. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_split_hiwall_indicenovo.pdf> .

LIZ, D.S.; ORDENES, M.; GUTHS, S. Análise experimental do comportamento térmico do telhado verde extensivo para Florianópolis. **Oculum Ensaios**, v.15, n.2, p.315-333, 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Balanco Energético Nacional 2018.** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>.

MONTES, M. A. T. **Abordagem Integrada no Ciclo de Vida de Habitação de Interesse Social Considerando Mudanças Climáticas.** 2016. 473 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.



MUNIZ-GÄAL, L. P.; PEZZUTO, C. C.; CARVALHO, M. F. H.; MOTA, L. T. M. Eficiência térmica de materiais de cobertura. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 18, n. 1, p.503-518, mar. 2018. FapUNIFESP (SciELO).

PEREIRA, Enio et al.. **Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Um Zoneamento Bioclimático Para a Arquitetura no Brasil. In: Jornada sobre Clima e Aplicação na Comunidade de Países de Língua Oficial Portuguesa, 2., Maceió, AL, 2001. **Anais...** Maceió: UFAL, 2001. p. 1-7.

SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using Advanced Cool Materials in the Urban Built Environment to Mitigate Heat Inland and Improve Thermal Comfort Conditions. **Solar Energy**, v. 85, n. 12, p. 3085-3102, 2011.

SILVA, A. S.; GHISI, E.. Estimating the sensitivity of design variables in the thermal and energy performance of buildings through a systematic procedure. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 244, p.1-19, jan. 2019. Elsevier BV.

SILVA, A.S.; ALMEIDA, L. S. S.; GHISI, E. Decision-Making Process for Improving Thermal and Energy Performance of Residential Buildings: A Case Study of Constructive Systems in Brazil. **Energy and Buildings**, v.128, n.18, p.270-286, 2016.

SILVEIRA, R.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Avaliação da Absortância à Radiação Solar e Temperatura Superficial de Telhas de Fibrocimento Utilizadas nas Coberturas de Edificações do Campus da UFSC. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. **Anais...** Juiz de Fora, 2012.

SUEHRCKE, H.; PETERSON, E. L.; SELBY, N.. Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 40, n. 12, p.2224-2235, jan. 2008. Elsevier BV.

TORCELLINI, P. et al. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. **ACEEE Summer Study Pacific Grove**, [s. l.], p. 15, 2006. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>>

US DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy Independence and Security Act of 2007**. Washington Dc: Doe/ee, 2007.