

Avaliação do potencial energético em protetores solares fotovoltaicos para o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais em Santa Maria (RS)

Evaluation of the energy potential in photovoltaic solar shadings for the Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais in Santa Maria (RS)

Maurício Picetti dos Santos, mestrando em Arquitetura e Urbanismo, UFSM

mauriciopicetti@gmail.com

Ísis Portolan dos Santos, doutorado em Engenharia Civil, UFSM

isisporto@gmail.com

Isabel Tourinho Salamoni, pós-doutorado em Engenharia Civil, UFPEL

isalamoni@gmail.com

Resumo

Estratégias bioclimáticas estimulam a eficiência energética em edifícios, condicionando o conforto ambiental e reduzindo o impacto sobre matrizes energéticas. A tecnologia fotovoltaica integrada em edificações, por suas características geométricas e exposição a incidência solar, estabelece-se como alternativa para o desenvolvimento de protetores solares, enquanto dispositivos termorreguladores do conforto ambiental, associados a geração de energia. Através de simulações computacionais para o edifício CRS/INPE em Santa Maria, RS, verificou-se que protetores solares fotovoltaicos apresentam, eventualmente, desempenho similar aos sistemas fotovoltaicos instalados de modo convencional. O estudo viabiliza novas formas de inserção de sistemas fotovoltaicos em edificações potencializando, então, sua capacidade dual.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos; Protetores solares; Energia solar.

Abstract

Bioclimatic strategies stimulate energy efficiency in buildings, conditioning environmental comfort and reducing impact on energy matrices. The integrated photovoltaic technology in buildings, due to its geometric characteristics and exposure to solar incidence, is established as an alternative for the development of solar shadings, as thermoregulatory devices of environmental comfort, associated to energy generation. Through computer simulations for the CRS / INPE building in Santa Maria, RS, it was verified that photovoltaic solar shadings eventually present similar performance to that produced by conventional photovoltaic systems. The study makes possible new forms of insertion of photovoltaic systems in buildings, supporting their dual capacity.

Keywords: Photovoltaic systems; Solar shadings; Solar energy.

1. Introdução

A dependência progressiva de equipamentos com elevada carga energética, atualmente, é sintomática de uma sociedade com cultura acentuadamente tecnológica. No Brasil, as fontes de energia, como provedores deste fenômeno, compõem, predominantemente, sistemas convencionais fadados ao impacto ambiental e com potencial dependente de volumes dispostos a crises periódicas e de escassez com determinada brevidade. O processo de redução das possibilidades energéticas, sobretudo das fontes com caráter poluidor, como combustíveis fósseis, e de potencial sazonal, como a fonte hídrica; favorece o incentivo às fontes renováveis, propondo a diversificação da geração energética como resposta ao consumo ascendente atual.

O aumento da demanda energética, no país, está associado ao seu desenvolvimento econômico, que potencializa o poder de consumo da sociedade. De acordo com o Ministério de Minas e Energias (MME, 2014), o aumento da renda, por parte da população, favorece o acesso a infraestruturas básicas, como moradia, saneamento e transporte, ampliando o consumo energético nacional. No entanto, apesar do crescimento da demanda energética, o Brasil vem apresentando uma expansão na oferta de energia. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), em relatório divulgado no Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2018), em 2017, a oferta de energia interna, no país, demonstrou uma evolução de 1,3%, quando comparado ao período de 2016.

A matriz energética nacional, por sua vez, apresenta conflitos em relação a distribuição das cargas de energia geradas, tendo como principal fator o seu formato de instalação, predominantemente, centralizado. Segundo a EPE (2018), os maiores volumes energéticos gerados ocorrem em núcleos polarizados e distantes dos pontos de consumo, promovendo perdas durante a distribuição, além da redução do rendimento e aumento nos custos da produção de energia. Nesse sentido, a geração distribuída, descaracterizada de centro gerador, apresenta-se como alternativa complementar à matriz energética brasileira, aproximando as unidades geradoras dos pontos consumidores, além de reduzir a necessidade de investimento em expansão e manutenção de sistemas convencionais.

Assim, a tecnologia fotovoltaica, com fonte na energia solar, surge como alternativa para geração energética descentralizada em um modelo suficiente e sustentável. Os módulos fotovoltaicos podem ser integrados a edificação estando, essencialmente, com orientação favorável à incidência solar, a fim de uma eficiente geração de energia e sua aplicabilidade está vinculada ao desenvolvimento de tecnologias que potencializam o uso dual do painel, tornando-o solução arquitetônica. Segundo Rütger (2004), os sistemas fotovoltaicos podem ser incorporados ao envoltório da edificação, desempenhando função de elemento construtivo e gerador de eletricidade; tornando-os mais versáteis que outras alternativas tecnológicas, como os coletores solares para aquecimento de ar ou água.

Nesse sentido, por suas características geométricas e necessidade de insolação, os sistemas fotovoltaicos apresentam prescrições para uso como protetores solares, associando a geração de energia ao desempenho energético da construção. Como protetor solar, permite-se melhorias no desempenho térmico e luminoso das edificações, visto que reduzem a incidência de radiação solar direta sobre o seu interior, evitando o aquecimento decorrente no ambiente e reduzindo o consumo energético com condicionamento artificial; além disso, favorece uma dispersão controlada de iluminação no ambiente, qualificando as atividades neste, favorecendo a eficiência energética da edificação.

Então, considerando sua capacidade de desempenhar distintas funções, a tecnologia fotovoltaica é uma importante alternativa para a geração de energia elétrica com potencial para a manutenção do consumo energético em edificações. Permitindo o desenvolvimento de modelos orientados à geração distribuída, o sistema fotovoltaico favorece a redução de perdas na distribuição de energia elétrica ao aproximar os núcleos geradores de unidades consumidoras, além de fornecer energia elétrica a partir de recursos renováveis e de baixo impacto ambiental. Ainda, sua configuração geométrica e possibilidade de inserção na edificação como elemento projetado, permite atribuir ações bioclimáticas vinculados ao controle de incidência de radiação solar e consumo energético da edificação.

Este trabalho pretende avaliar o desempenho de protetores solares fotovoltaicos hipotéticos sobre o viés da geração de energia. Nesse sentido, pretende-se verificar a produção energética de um conjunto fotovoltaico proposto que atenda a função de protetor solar eficiente, seguindo diretrizes projetuais em conformidade com estudos de geometria solar. A quantidade de módulos fotovoltaicos formadores do protetor solar será simulada na edificação de estudo de acordo com orientação e posicionamento ideais, buscando recriar um conjunto fotovoltaico com máxima geração de energia elétrica. Assim, o protetor solar fotovoltaico será comparado com o conjunto fotovoltaico ideal, verificando se o sistema satisfaz, com determinada eficiência, a capacidade dual que se predestina, a fim de viabilizar novos entendimentos sobre sua aplicação em edificações. O edifício adotado para o desenvolvimento do estudo é o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizado na cidade de Santa Maria (RS).

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Conforto Ambiental e Eficiência Energética

A crescente utilização de equipamentos com acentuada carga energética no controle do conforto ambiental de edificações revela deficiências nos processos projetuais atualmente, visto que a eficiência energética de um edifício é condicionada pela aplicação de características climáticas locais. Para Bastide et al (2006), a dissociação dos projetos de edificações de uma avaliação climática do ambiente de inserção - ausentes de alternativas bioclimáticas ou de controle do conforto ambiental -, favorece o consumo energético em equipamentos de climatização, como ferramenta para manutenção do conforto ambiental.

O uso de alternativas passivas para a configuração do conforto térmico em ambientes está relacionado a necessidade progressiva de racionalização do uso das fontes de energia. Segundo Lamberts et al (2014), o desempenho energético de uma edificação – potencial em expressar conforto ambiental com baixo consumo energético – deve ser previsto durante o desenvolvimento do projeto, evidenciando a necessidade de deliberações sobre variáveis projetuais, como na caracterização do uso da edificação. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2014), o consumo de energia é dependente de fatores constituintes da edificação, de modo a influenciar nos investimentos e valorização da construção. Assim, o uso de elementos apropriados para componentes da envoltória, sistemas de iluminação e condicionamento de ar eficientes e o dimensionamento adequado das aberturas, entre outros, permitem reduzir custos de manutenção e infraestrutura adicional, como suporte ao controle térmico.

No Brasil, com a perspectiva de qualificar os projetos sob o viés da eficiência energética, foram instituídos programas de avaliação do desempenho de edificações com o intuito de contribuir na racionalização do uso de energia. Em 2009, buscando o desenvolvimento de projetos vinculados a alternativas eficientes de iluminação, ventilação, climatização e uso da água, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) instituiu o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e, em outubro de 2010, foi atribuído para setores residenciais (RTQ-R). O RTQ-C visa estabelecer requisitos técnicos para a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) - sob modo prescritivo, simulação computacional ou inspeção *in loco* -, a partir da avaliação dos sistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar em projetos (MMA, 2014).

Na avaliação de protetores solares, o RTQ-C identifica faixas de ângulos com inclinações que proporcionam a obstrução da radiação solar sobre as aberturas da edificação, definindo equações que revelam o desempenho do sistema de envoltória. O *ângulo vertical de sombreamento (AVS)*, que delimita as proteções horizontais, e *ângulo horizontal de Sombreamento (AHS)*, que define as proteções verticais, permitem determinar, junto a variáveis termo-físicas e volumetria da edificação, o *indicador de consumo (IC)*, como o parâmetro que estabelece o desempenho da envoltória (BRASIL, 2017). Entretanto, a caracterização dos ângulos de sombreamento avaliados pelo RTQ-C não considera particularidades da edificação que possam influenciar a sua eficiência energética, como localização, clima e orientação.

Assim, autores têm desenvolvido metodologias alternativas para o projeto de protetores solares, sobretudo, buscando uma maior eficiência energética na edificação. Pereira e Souza (2008) utilizaram o *Método da Temperatura Neutra (Tn)* na análise da necessidade de protetores solares em aberturas de edificações. No estudo, as autoras consideraram dados sobre radiação solar incidente e de temperaturas estimadas pelas Normas Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), obtendo as temperaturas neutras mensais (Tn) e limites de aceitação da radiação solar incidente para distintas localidades, interpretados como centro da zona de conforto térmico. Desse modo, foram obtidas diretrizes para o projeto de protetores solares de acordo com os períodos considerados necessários, favorecendo a redução do consumo energético da edificação por condicionamento artificial decorrente da sobrecarga térmica em ambientes com incidência solar excessiva.

2.2 Energia Solar e Geração de Energia Elétrica

O uso da irradiação solar como estratégia bioclimática, ainda, compõe alternativa para fonte de energia buscando a pluralização da matriz energética brasileira, com origem em recursos considerados inesgotáveis e de menor impacto ambiental. Segundo o Boletim Energético Nacional (BRASIL, 2018), o sistema elétrico brasileiro é composto, predominantemente, por fontes renováveis de energia, representando 80,4% da oferta interna de energia elétrica no Brasil, tendo a fonte hídrica como principal fonte de energia, com 65,2% da oferta interna.

O sistema hidrelétrico, por sua vez, está vinculado a caracterização de um sistema de geração centralizado, distante dos pontos de consumo e dependente de grandes faixas territoriais, promovendo a alteração do espaço geográfico. O maior potencial hidrelétrico,

no Brasil, encontra-se na região amazônica, onde a construção de reservatórios para as usinas geradoras favorece a inundação de extensas áreas, promovendo impacto ambiental e interferência nas relações ecossistêmicas. Ainda, de acordo com a EPE (2018), é possível avaliar que o sistema hidrelétrico brasileiro ocorre distante dos centros consumidores, identificados pelos setores industrial, residencial e comercial, que correspondem a mais de 80% do consumo elétrico, no país, sugerindo maiores volumes de consumo em grandes áreas urbanas distribuídas pelo território brasileiro.

A geração distribuída, nesse sentido, apresenta vantagens ao setor elétrico ao possibilitar complementariedades para geração de energia, aproximando o núcleo gerador do centro de consumo. A Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) - revisada pela Resolução Normativa nº 687/2015 - orienta o desenvolvimento distribuído de energia elétrica; potencializando a geração de energia, pelo consumidor, a partir de fontes renováveis com o excedente exportado para a rede de distribuição local, a ser utilizado em situações de menor geração e alto consumo da unidade. Entre os benefícios que compõem a geração distribuída estão a redução de investimentos na expansão da rede elétrica e de perdas durante a transmissão e distribuição, menor impacto ambiental, diminuição da sobrecarga na rede elétrica e diversificação das fontes de energia na matriz energética brasileira (ANEEL, 2015).

Componente característico dos conjuntos de geração distribuída, a tecnologia fotovoltaica permite complementar o sistema elétrico nacional a partir da energia solar. No conjunto elétrico nacional, os sistemas fotovoltaicos estão implantados em configurações distintas caracterizadas pela sua escala de produção. Segundo a ANEEL (2017), a instalação fotovoltaica integrada à edificação é a formação predominante, com 84% das estruturas fotovoltaicas instaladas no Brasil, representando um modelo de geração de energia próximo ao ponto de consumo; enquanto as usinas solares, como modelo de geração centralizada, caracterizam a geração elétrica para grandes demandas. Conforme o banco de informações de geração distribuída da ANEEL (2018), em dezembro de 2018, o país apresentava o quantitativo de 48.535 unidades com geração solar fotovoltaica (UFV) fornecendo energia elétrica para 59.313 unidades consumidoras, totalizando 493.619,93 kW de potência instalada.

3. Metodologia

A metodologia da pesquisa compreende a caracterização da edificação de estudo, com a proposta de protetores solares fotovoltaicos segundo estudos de geometria solar e, posteriormente, simulações virtuais referentes à geração de energia no sistema comparando-o com um conjunto ideal sobre a edificação, de mesma quantidade em módulos fotovoltaicos. O objetivo é verificar a viabilidade de um protetor solar integrado à sistemas fotovoltaicos que atue como elemento de arquitetura passiva, reduzindo a incidência de irradiação solar sobre ambientes internos - reduzindo ganhos térmicos e consumo energético por condicionamento -, associado à geração de energia.

Para o estudo, foi utilizado como modelo o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizado na cidade de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul. A edificação apresenta fachada principal orientada para o norte, com significativa área envidraçada, conforme figura 1. O uso de vidros com

película escura, para obstrução da incidência solar, e a extensa aplicação de climatizadores artificiais nas fachadas do edifício são sintomáticos de uma preocupação com o ganho térmico excessivo em seu interior, prejudicial ao conforto ambiental.



Figura 1: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/INPE). Fonte: elaborado pelos autores.

Na pesquisa, foi abordada a fachada norte no trecho centro-leste da edificação, visto que outras faces apresentam elementos que comprometeriam a aplicação de protetores solares. O complemento da fachada norte (trecho centro-oeste) apresenta massas de vegetação de grande porte que inviabilizam a aplicação dos protetores solares, enquanto nas fachadas leste e oeste, orientando o uso de protetores solares verticais, os módulos fotovoltaicos apresentariam menor capacidade de geração de energia elétrica. A fachada sul foi desconsiderada, visto a sua deficiência em incidência solar.

Com a caracterização da edificação, ocorre o dimensionamento do modelo hipotético de protetor solar. Neste processo, o projeto dos protetores solares é desenvolvido segundo o método de temperatura neutra abordado por Pereira e Souza (2008), identificado como metodologia adequada ao associar a obstrução para irradiação solar e a zona de conforto térmico em um ambiente, potencializando a eficiência energética da edificação. No método, a carta solar apresenta temperaturas horárias estimadas segundo dados das Normas Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), permitindo a avaliação de períodos de conforto e desconforto térmico.

A figura 2 apresenta a carta solar para a cidade de Santa Maria (RS) com escala de temperaturas médias horárias em função da temperatura neutra (T_n), onde $T_n + x$ representa temperaturas médias horárias com intensidade superior à temperatura de conforto, enquanto $T_n - x$ representa temperaturas com intensidade inferior. Assim, é possível a identificação de períodos de desconforto térmico, onde as zonas em escala de cores quentes representam ambientes potencialmente sobreaquecidos; enquanto as escalas de cores frias identificam períodos de temperaturas baixas, onde a incidência solar deve ser utilizada como alternativa para aquecimento no interior de ambientes da edificação.

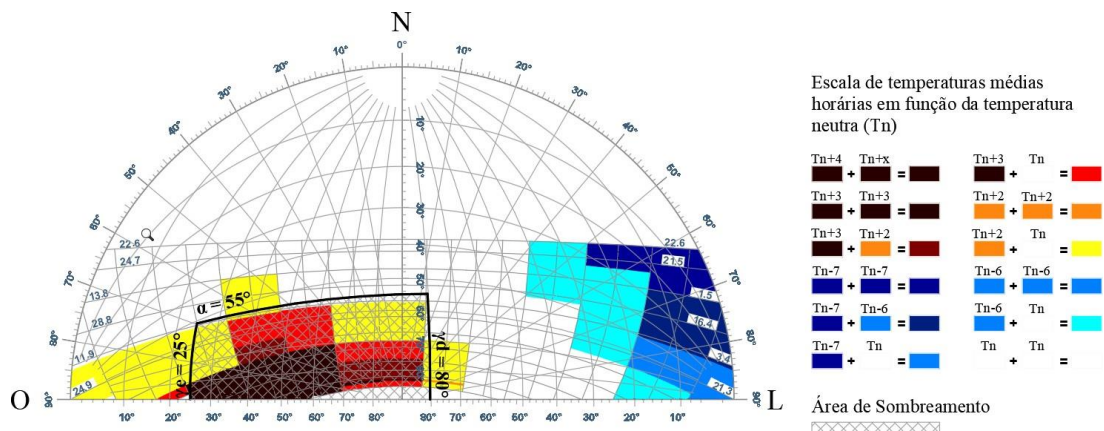


Figura 2: Carta solar para fachada norte de Santa Maria/ RS. Fonte: Pereira e Souza (2008).

Então, é demarcada a área de sombreamento pelo protetor sobre as janelas da edificação com a identificação dos ângulos de obstrução da incidência solar. Posteriormente, ocorre a inserção e adaptação do sistema fotovoltaico em protetor solar, utilizando módulos em inclinação ideal, como forma de potencializar sua característica de função dual, conforme figura 3. O módulo fotovoltaico adotado pertence à Tabela de Eficiência Energética - Sistema de Energia Fotovoltaica do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), sendo constituído de silício monocristalino, com 330w de potência, dimensões de 1,956 x 0,992m e classificação energética A. A inclinação utilizada para o sistema fotovoltaico é de 30° para orientação norte, identificada pelo software *PVsyst®* como favorável ao maior desempenho para geração de energia elétrica no local.

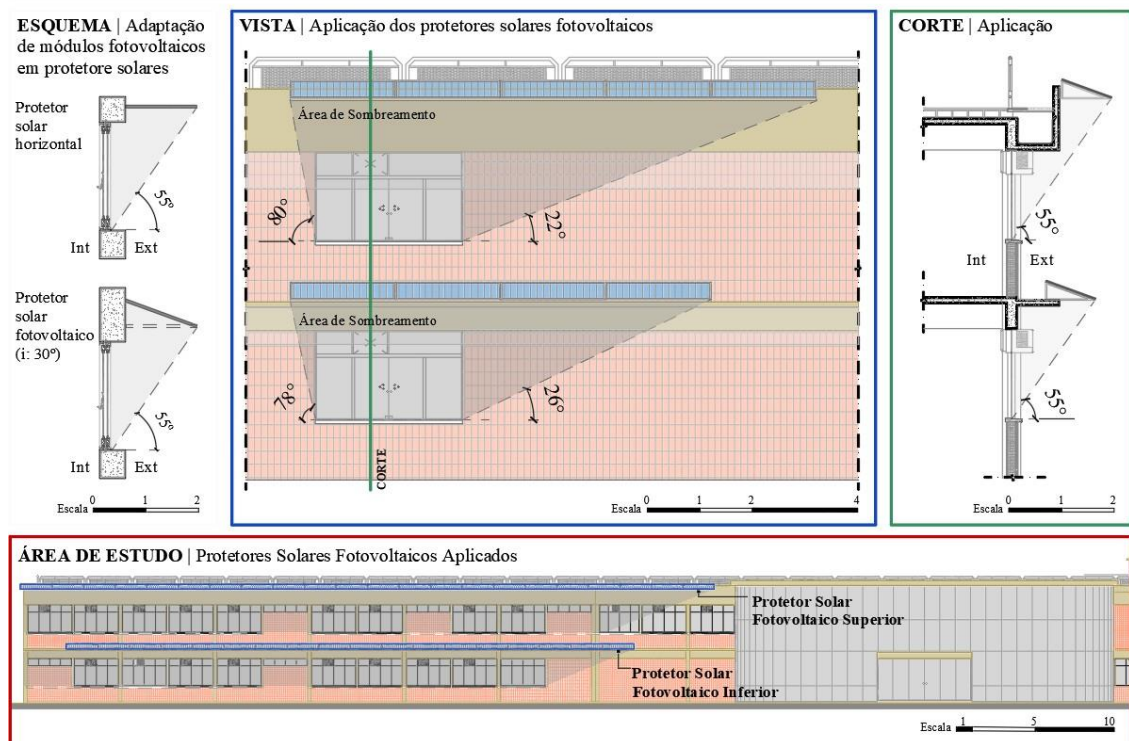


Figura 3: Aplicação da proteção solar fotovoltaica. Fonte: elaborado pelos autores.

Na figura, ainda, é verificada a adaptação do sistema fotovoltaico para a função de proteção segundo diretrizes da carta solar, originando os conjuntos de *Protetor Solar Fotovoltaico Superior (PSFS)* e *Protetor Solar Fotovoltaico Inferior (PSFI)*. A aplicação dos modelos indicou a necessidade de correção dos ângulos de sombreamento.

Na construção dos protetores solares fotovoltaicos, foram utilizados 22 módulos fotovoltaicos para formação do Protetor Solar Fotovoltaico Superior e 18 módulos fotovoltaicos para o Protetor Solar Fotovoltaico Inferior. A quantidade de módulos protetores foi proposta em um posicionamento ideal no edifício, na construção de um conjunto com máxima geração de energia como referência para a avaliação da eficiência dos protetores solares fotovoltaicos propostos.

Desse modo, a figura 4 apresenta a configuração do, denominado, *Sistema Fotovoltaico Ideal (SFI)* na cobertura da edificação; utilizando 40 módulos fotovoltaicos, dispostos em 4 séries com 10 módulos, com inclinação de 30°, a fim de apresentar maior eficiência e com afastamento suficiente para controle de sombreamento.

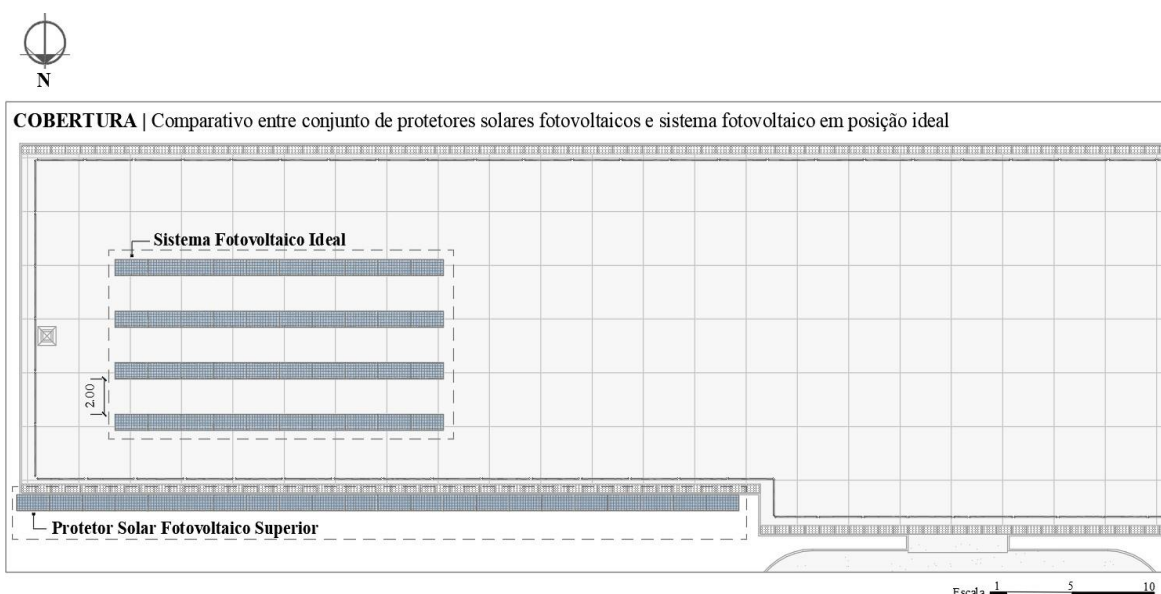


Figura 4: Aplicação do sistema fotovoltaico ideal. Fonte: elaborado pelos autores.

Então, os três conjuntos fotovoltaicos desenvolvidos são avaliados com o software PVsyst®, averiguando a geração de energia elétrica individualizada, bem como o quantitativo de perdas. Através do software, é possível o dimensionamento, simulação, cálculo e obtenção de relatórios referentes ao desempenho de sistemas fotovoltaicos para distintas localidades; fazendo uso, para isso, de fatores geográficos e característicos do ambiente, além de equipamentos comerciais disponíveis através de bancos de dados. Os resultados obtidos possibilitam a análise dos parâmetros influentes na disposição e geração elétrica dos conjuntos e, comparando-os, permitem orientar a viabilidade dos conjuntos de protetores solares fotovoltaicos propostos.

4. Resultados

Após o processo de simulação, é possível fazer avaliações comparativas para parâmetros fundamentais entre os três conjuntos propostos, através da análise da energia efetiva gerada, quantitativo de perdas e rendimento. A tabela 1 apresenta a energia efetiva gerada pelos conjuntos fotovoltaicos, individualmente, a partir de seus módulos, desconsiderando perdas relativas à transmissão e desempenho de inversores.

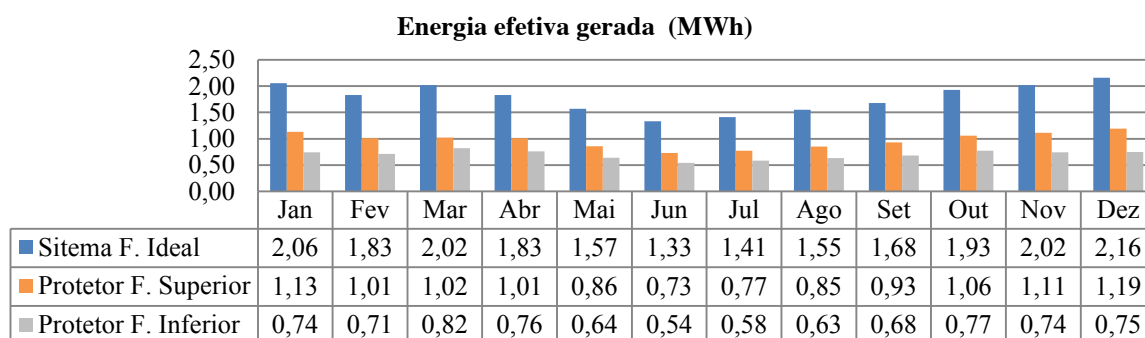


Tabela 1: Energia efetiva gerada pelos conjuntos fotovoltaicos. Fonte: elaborado pelos autores.

Entre os principais resultados, verifica-se que a dissociação do sistema de protetores em dois conjuntos independentes implica um somatório de energia gerada inferior ao total desenvolvido pelo conjunto ideal, em mesmas condições. O sistema fotovoltaico ideal apresentou média mensal de energia efetiva gerada de 1,78 MWh/mês, enquanto a média mensal gerada pelos protetores fotovoltaicos foi de 1,66 MWh/mês. Ainda, nos meses de verão e inverno são verificadas as diferenças máximas e mínimas, respectivamente, de energia gerada entre o conjunto ideal e o somatório gerado pelos protetores, com uma diferença mínima de 0,06 MWh, em junho, e máxima de 0,22 MWh, em dezembro. Esta relação é diretamente dependente da capacidade de geração e quantidade de módulos fotovoltaicos em cada sistema; além da influência do quantitativo de perdas dos conjuntos.

As perdas referentes à energia efetiva gerada estão, principalmente, relacionadas à incidência global abaixo do limite, fatores de sombreamento, ângulo de incidência, níveis de irradiação, temperatura do sistema e fatores de operação, como o efeito mismatch. A tabela 2 apresenta os índices de perdas individuais durante a geração para cada conjunto fotovoltaico.

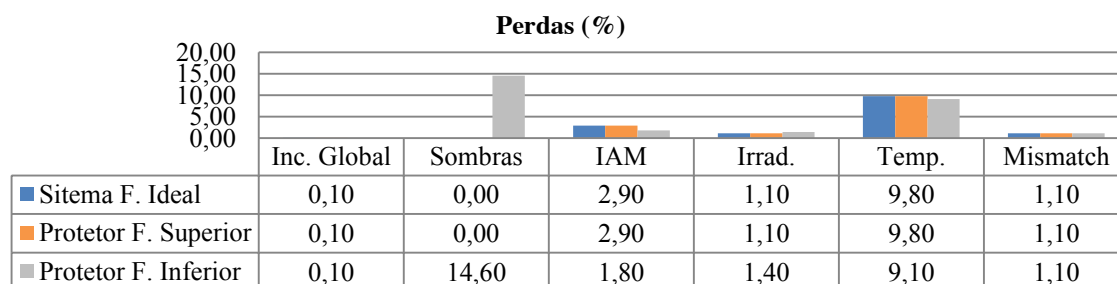


Tabela 2: Perdas individuais dos conjuntos fotovoltaicos. Fonte: elaborado pelos autores.

As perdas relativas à incidência global abaixo do limite representam períodos em que a irradiação global está abaixo do padrão determinado pelo software PVsyst® (10 W/m²), sendo equivalente para ambos os conjuntos. Perdas relativas a sombreamento identificam o parâmetro fundamental para distinção entre os conjuntos. Verifica-se que as perdas por sombreamento ocorrem, especialmente, no protetor solar inferior (14,60%), visto que apresenta cota inferior aos demais conjuntos, apresentando menor irradiação solar que os demais sistemas pela obstrução ocasionada pela volumetria da edificação e, mesmo, do protetor solar superior. Durante os meses de verão, há maior projeção de sombra ocasionadas pelo protetor fotovoltaico superior e características volumétricas da edificação – como beirais - sobre o protetor fotovoltaico inferior, sendo atenuada no período de inverno, quando a trajetória solar se apresenta inclinada em relação a face norte do edifício. As perdas decorrentes deste fator limitam a geração de energia total dos protetores, na perspectiva de equivaler a produção energética do conjunto ideal na cobertura da edificação.

Perdas relacionadas ao fator do ângulo de incidência (IAM) correspondem às perdas pela variação de incidência da irradiação sobre as superfícies do módulo fotovoltaico. Este fator implica perdas idênticas para o conjunto ideal e protetor solar superior (2,90%), e menores ao protetor solar inferior (1,80%), indicando que as perdas estão diretamente relacionadas ao nível em que o sistema fotovoltaico é inserido; onde, elevados, favorecem maiores variações na irradiação inclinada sobre os módulos. As perdas por irradiância são caracterizadas pela redução do desempenho do módulo, quando em situações de menores irradiâncias (abaixo de 1000 W/m²), apresentando índices maiores para o protetor solar inferior (1,40%), por apresentar menor nível de irradiância devido ao sombreamento.

As perdas de geração de energia por temperatura ocorrem, principalmente, pela variação da temperatura ambiente e do conjunto fotovoltaico, visto que a temperatura interfere na tensão de operação do sistema fotovoltaico, influenciando a geração energética. As perdas são relativamente menores no protetor solar inferior (9,10%) devido a maiores períodos de sombreamento e, por sua vez, menores ganhos térmicos; enquanto no conjunto fotovoltaico ideal e protetor solar superior as perdas são superiores (9,80%) por estarem inseridos em posições com maiores períodos de irradiância. As perdas por *mismatch*, equivalente entre os modelos (1,10%), ocorrem quando o sistema fotovoltaico, em série, opera com a corrente elétrica mínima do conjunto, limitada por módulos de menor desempenho devido a fatores circunstanciais, como sombreamentos parciais e variação da temperatura.

Considerando a energia gerada pelos sistemas e perdas em geração é possível identificar o rendimento dos conjuntos fotovoltaicos, conforme tabela 3.

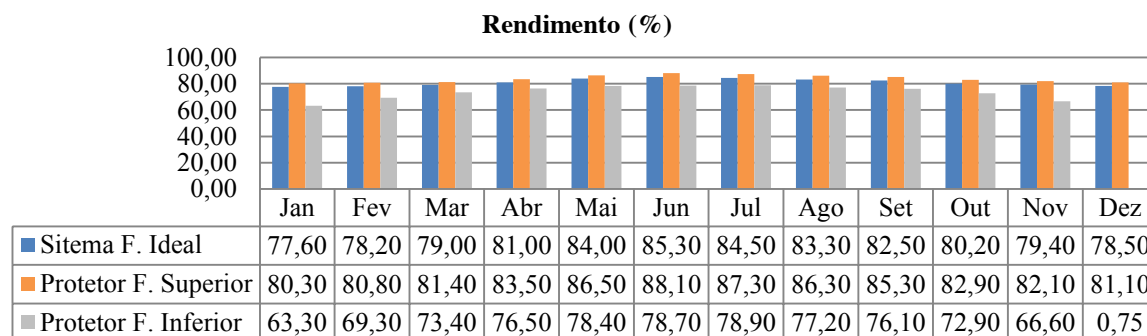


Tabela 3: Rendimento dos conjuntos fotovoltaicos. Fonte: elaborado pelos autores.

O rendimento do sistema fotovoltaico é definido pela relação entre energia gerada e o produto da incidência global de irradiação com a potência nominal dos módulos fotovoltaicos. Conforme o gráfico 3, ainda que o sistema fotovoltaico ideal tenha apresentado maior geração energética, o protetor solar superior apresentou maior rendimento anual (83,4%), seguido pelo sistema ideal (80,75%), enquanto o protetor solar apresentou o menor rendimento (71,9%). Esta relação se deve, principalmente, à menor variação na geração de energia evidenciada no protetor solar superior – por questões abordadas, anteriormente -, visto que apresentou quantitativo de perdas similares às do sistema ideal.

Ainda, de acordo com o gráfico, os conjuntos apresentaram melhores rendimentos no período de inverno, quando os índices individuais se aproximaram. Entre as justificativas para este evento, estão a menor ocorrência de perdas por temperatura nos módulos fotovoltaicos, identificado como principal fator de perdas. Por sua vez, no período de verão os conjuntos apresentaram menor rendimento, especialmente o protetor solar inferior. Para isto, justifica-se o predomínio de perdas de geração de energia por sombreamento, estando o protetor solar inferior exposto a maior ocorrência deste fator.

5. Considerações Finais

O uso intensivo de equipamentos com alto consumo energético, atualmente, representa sociedades com demandas estritamente tecnológicas. No Brasil, o alinhamento deste consumo atual favorece a saturação de matrizes energéticas que, predominantemente, apresentam-se configuradas em modelos convencionais, centralizados, de baixo rendimento e agentes de transformações no espaço geográfico. Então, indica-se a necessidade de alternativas que qualifiquem e diversifiquem o potencial gerador, enfatizado, especialmente, em características renováveis e descentralizadas.

Assim, a tecnologia fotovoltaica, ao fazer uso da energia solar, apresenta a possibilidade de geração energética distribuída; favorecendo iniciativas individuais e fornecendo volumes energéticos próximos aos pontos de consumo, reduzindo perdas em distribuição e necessidades de infraestruturas adicionais. As características dos componentes da tecnologia fotovoltaica permitem o desenvolvimento de seu potencial dual, como na composição de elementos de obstrução da incidência solar excessiva, tornando-os componentes de estratégias bioclimáticas para controle do conforto ambiental em ambientes.

A partir da avaliação de seu emprego como protetor solar fotovoltaico no edifício Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS), verificou-se que esta configuração apresenta geração energética inferior a conjuntos fotovoltaicos convencionais, instalados a favor da máxima geração. Entre os parâmetros que impedem maior desempenho, estão, principalmente, perdas relacionadas a exposição do conjunto a áreas de sombreamento. No entanto, os protetores solares fotovoltaicos apresentam potencial para a manutenção do conforto ambiental, reduzindo ganhos térmicos em ambientes internos da edificação e, posterior, redução do consumo energético com equipamentos de climatização artificial. Nesse sentido, estudos sobre a avaliação do impacto de protetores solares fotovoltaicos na eficiência energética de edifícios poderão fornecer novos entendimentos sobre a aplicação destes sistemas, viabilizando seu uso dual à novas configurações.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao INCTGD, CAPES, CNPq e FAPERGS pelo apoio financeiro recebido para o desenvolvimento deste trabalho. O presente trabalho foi realizado com o apoio do INCTGD e das agências financiadoras (processo CNPq 465640 / 2014-1, processo CAPES nº 23038.000776 / 2017-54 e FAPERGS 17 / 2551-0000517-1).

Referências

- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 687/2015. Brasília, DF, 2015.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL : atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024. Brasília, DF, 2017.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. BIG, banco de informações de geração. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 15 dez 2018.
- BASTIDE, A; GARDE, F; ADELARD, L; Boyer, H. Abordagem numérica para avaliar a porcentagem de ventilação em um espaço para avaliação do conforto térmico. in: Energy and Buildings, Université de La Réunion, França, 2006.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Eletrobrás. Manual para aplicação do RTQ- C. 4 ed. [S.l.]: 2017.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. BEN - Balanço Energético Nacional: Ano Base 2017, Brasília.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Matriz energética e elétrica. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 22 ago 2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Tabela de Eficiência Energética - Sistema de Energia Fotovoltaica. 7 ed. Brasília, DF, 2017.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. Eficiência Energética na Arquitetura. PROCEL - Eletrobrás 2014. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Guia prático de eficiência energética: reunindo a experiência prática do projeto de etiquetagem: Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Cultura. Brasília: MMA, 2014. 93p.
- PEREIRA, Iraci M; SOUZA, Roberta V. G. Proteção solar em edificações residenciais e comerciais: desenvolvimento de metodologia. XII Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído (ENTAC), Fortaleza, CE, 2008.
- PEREIRA, Enio B; MARTINS, Fernando R; ABREU, Samuel L; RUTHER, Ricardo. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.
- RÜTHER, R. Edifícios Solares fotovoltaicos: o potencial da geração fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis: Ed. UFSC/Labsolar, 2004.