XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

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

Análise de um sistema fotovoltaico para um ZEB no sul do Brasil

Analysis of a photovoltaic system for a ZEB in southern Brazil

Sidnei Matana Júnior
Universidade de Passo Fundo | Passo Fundo | Brasil | sidneimatana@gmail.com
Marcos Antonio Leite Frandoloso
Universidade de Passo Fundo | Passo Fundo | frandoloso@upf.br
Vandré Barbosa Brião
Universidade de Passo Fundo | Passo Fundo | vandre@upf.br

Resumo

O ODS7 da Agenda 2030 visa ampliar o uso de fontes de energia renovável, entretanto, é necessário analisar sua viabilidade técnica. O objetivo do estudo é avaliar o desempenho de um sistema fotovoltaico visando converter edifício universitário em Zero Energy Building - ZEB. Inicialmente foi desenvolvida a análise das taxas de desempenho do sistema existente. A geração in-loco foi aferida por um ano e posteriormente comparada a geração potencial para dimensionar a autossuficiência do edifício. A taxa de desempenho média foi de 0,92 e a geração média atingiu 68,5% do consumo atual, indicando ser viável atingir a autossuficiência do edifício.

Palavras-chave: Energia renovável. Eficiência energética. ODS7. Infraestrutura sustentável.

Abstract

The 2030 Agenda SDG7 aims to increase renewable energy sources use, however, it is necessary to analyze its technical feasibility. The study objective is to evaluate a photovoltaic system performance, aiming to convert a university building into a Zero Energy Building - ZEB. Initially, was developed the performance rates analysis of the existing system. The on-site generation was measured for one year and then compared to the potential generation to scale the building's self-sufficiency. The average performance rate was 0.92, and the average generation reached 68.5% of current consumption, indicating that it is feasible to achieve self-sufficiency in the building.

Keywords: Renewable energy. Energy efficiency. SDG7. Sustainable infrastructure.

Como citar:
MATANA JÚNIOR, S.; FRANDOLOSO, M.A.L.; BRIÃO, V.B. Análise de um sistema fotovoltaico para um ZEB no sul do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

As infraestruturas de geração de energia produzem impactos ambientais, que devem ser considerados para o planejamento do setor, pois além do suprimento da demanda, há a necessidade de se projetar infraestruturas acessíveis, limpas e resilientes, pautas do Objetivo 7 da Agenda 2030. No cenário estabelecido pela pandemia, as energias renováveis contribuíram com a maior parcela de geração de eletricidade, com aumento de 3% impulsionado pela produção fotovoltaica [1]. Porém, para atingir as metas do ODS7, serão necessárias intervenções políticas, investimentos, parcerias público-privadas, cooperação entre governos e instituições, fomento à pesquisa [2].

A matriz elétrica mundial é predominantemente constituída por fontes não renováveis. As fontes renováveis como a solar e eólica juntas somam menos de 10% da matriz, apesar do aumento da sua participação [3]. A matriz elétrica do Brasil foi composta por 84,8% de renováveis em 2020, através do crescimento das fontes eólica, biomassa e fotovoltaica [4]. No Brasil, além de incentivos, a localização geográfica permite que quase a totalidade do território brasileiro tenha maiores índices de radiação solar mesmo durante o inverno, criando um ambiente favorável a adoção de energia solar fotovoltaica [5]. A irradiação média anual de 1.200 a 2.400 kWh/m²/ano no Brasil é superior à de países europeus com elevadas taxas de utilização de fontes solares como a Alemanha com 900 a 1.250 kWh/m² e a Espanha com 1.200 a 1.850 kWh/m² [6].

No Brasil, em 2020, a geração distribuída aumentou 137%, sendo a energia solar fotovoltaica responsável por 90,4% desse crescimento [4]. Esta estratégia gera menor impacto ambiental, reduz sobrecargas na rede, aumenta os prazos e a necessidade de expansão do sistema de distribuição e transmissão, bem como a reduz perdas [7]. Os estados que concentram as maiores potências de geração fotovoltaica são Minas Gerais, 372 MW; Rio Grande do Sul 223MW e São Paulo, 194MW [8]. Entretanto, o cenário de crise hídrica fez com que o governo brasileiro utilizasse energia termelétrica para garantir o fornecimento, ao custo de 13,1 bilhões em 2021, conforme simulações do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), atingindo o recorde diário de 19,2 mil megawatts gerados [9]. Além do impacto financeiro aos consumidores, a utilização das termelétricas também impacta o meio ambiente através das emissões de CO_2 e demonstra como aspectos climáticos afetam a garantia do fornecimento de energia.

Estudos vêm sendo realizados para simular e avaliar o desempenho de sistemas fotovoltaicos no Brasil. Por exemplo, um estudo simulou a geração fotovoltaica em Fortaleza-CE e Florianópolis-SC, visando o aproveitamento para edifícios autossuficientes em energia, demonstrando que mesmo com a maior irradiação solar e potencial de geração, cidades em climas mais temperados tendem a apresentar maior consumo de energia e de forma análoga, cidades com menor irradiação podem apresentar menor consumo [10]. Outro estudo simulou a incorporação de sistemas fotovoltaicos integrados a fachadas, substituindo materiais de envoltória e ainda gerando energia para autoconsumo [11].

A utilização de fontes de energia renovável junto aos locais de consumo faz parte do conceito dos edifícios autossuficientes em energia ou Zero Energy Buildings (ZEB).

Conforme o Green Building Council Brasil, que realiza a certificação GBC Brasil Zero Energy, o edifício autossuficiente é aquele que gera energia igual ou superior ao consumo durante um ano e é energeticamente eficiente [12]. Para a INI-C - Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas [13], a edificação com eficiência energética e geração renovável *in-loco* superior à demanda é considerada uma Edificação de Energia Positiva – EEP, enquanto a edificação com eficiência energética que gere energia renovável *in-loco* suprindo 50% ou mais de sua demanda é considerada uma Edificação de Energia Quase Zero – NZEB.

As estratégias de eficiência energética em edificações podem ser definidas como técnicas para reduzir o consumo de um edifício, mantendo o mesmo nível de uso, através do aumento da razão entre a energia produzida e a energia consumida, concentradas na fase de uso da edificação, a fim de reduzir os custos de manutenção e operação, resultando também na otimização de custos e aumento da confiabilidade dos sistemas [14]. Estas estratégias já são regulamentadas e incentivadas no Brasil há décadas a partir do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e pelos regulamentos técnicos de eficiência energética.

Considerando estes fatores, o Brasil oferece condições muito favoráveis a ampliação da geração fotovoltaica a partir da geração distribuída pelos ZEBs, integrando painéis à arquitetura das edificações. O objetivo deste trabalho é avaliar o sistema fotovoltaico de um edifício universitário para que seja convertido em um ZEB. Será adotado o conceito do GBC Brasil, que considera também que um edifício que atinja a autossuficiência receba a certificação, mesmo que ainda não possua alto desempenho energético, mas ressaltando que o edifício analisado já é objeto de estudos de melhorias de eficiência energética através de retrofit luminotécnico, retrofit de climatização e aproveitamento de luz natural [15] inseridos dentro das estratégias de retrofit da Universidade de Passo Fundo [16].

MÉTODO

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no norte do Rio Grande do Sul, em Passo Fundo, cidade de médio porte com população estimada de 206.103 habitantes [17], localizada a 28°15’ S, 52°24” O, a 687 metros de altitude e inserida na Zona Climática Fundamental temperada (C), com clima fundamental úmido (f), variedade subtropical (Cfa), segundo a classificação Köppen [18].

O objeto de estudo é o edifício L1, utilizado pelos cursos de graduação em Engenharia de Alimentos, Engenharia Química, pelo Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - PPGCTA, abrigando também o CEPA – Centro de Pesquisa em Alimentos. O edifício foi escolhido devido ao fato de ser o primeiro a receber placas fotovoltaicas em sua própria estrutura, que serão utilizadas para alimentar equipamentos do projeto de pesquisa “Drinking Water From Rain: a Standalone Green Energy Powered Rainwater Purification System”. Por utilizar energia renovável em sua

própria estrutura para autoconsumo, surge a possibilidade de ser convertido em um ZEB. Com predominância de laboratórios, o edifício de 3.842,92m² consome em média 1321,80 kWh/mês. A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo.

Figura 1: Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

ANÁLISE DA TAXA DE DESEMPENHO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA AUTOSSUFICIENTE

O sistema fotovoltaico começou a operar em fevereiro de 2021, com 3,6 kWp de potência, sendo ampliado para 6,76 kWp em julho de 2021. Os dados de geração foram coletados mensalmente, durante um ano, conforme indicado pela certificação GBC Zero Energy. O aplicativo para smartphone Fusion Home forneceu dados referentes à geração, sendo acessado via leitura de QR Code, conectado à rede de wi-fi junto ao inversor. A figura 2 demonstra os dados gerados pelo aplicativo.

Figura 2: Telas do aplicativo Fusion Home



Fonte: Aplicativo Fusion Home.

Além das medições *in-loco*, neste estudo também foi realizado o cálculo da geração projetada a partir das médias de irradiação solar, de modo a comparar o potencial de geração de energia que o sistema possui e a quantidade efetivamente gerada. A energia máxima teórica foi estimada a partir dos dados de irradiação solar de Passo Fundo, fornecidos pelo CRESESB - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica [19]. A Equação 1 apresenta o cálculo da geração fotovoltaica potencial.

Equação 1: Cálculo da produção potencial de energia do sistema fotovoltaico

$$E = N \times \mathrm{P} \times \mathrm{I}$$

Onde:

E = Energia a ser gerada em kWh/dia,

N = Número de painéis fotovoltaicos,

P = Potência máxima do painel em kWh,

I = Irradiação em kWh/m²/dia

Fonte: [7], adaptado pelo autor.

A relação entre energia gerada e energia potencial é denominada taxa de desempenho (TD), que considera o rendimento do sistema, a temperatura de operação, as perdas de cabeamento, a sujeira na superfície, entre outras perdas [7]. O CRESESB recomenda valores de TD entre 0,7 e 0,8 para o Brasil, desse modo, através da TD foi possível pré-dimensionar os sistemas fotovoltaicos para atingir a autossuficiência. A equação 2 apresenta o cálculo da taxa de desempenho.

Equação 2: Cálculo taxa de desempenho do sistema fotovoltaico

$$Taxa\ de\ desempenho\ (TD) = \frac{\text{Energia real fornecida pelo sistema}}{\text{Energia máxima teórica possível}}$$

Fonte: [7], adaptado pelo autor.

A taxa de desempenho do sistema foi utilizada para ajustar a estimativa de geração de energia renovável em relação às perdas do sistema. Desse modo, foi possível estimar a geração de energia baseada em perdas que ocorrem devido à disponibilidade de irradiação e condições climáticas, conforme a equação 2.

Equação 3: Produção de energia do sistema FV considerando a taxa de desempenho

$$E = N \times \mathrm{P} \times \mathrm{I} \times \mathrm{TD}$$

Onde:

E = Energia a ser gerada em kWh/dia,

N = Número de painéis fotovoltaicos,

P = Potência máxima do painel em kWh,

I = Irradiação em kWh/m²/dia

TD = Taxa de desempenho

Fonte: [7], adaptado pelo autor.

Também foi utilizada a modelagem do edifício em BIM no software Autodesk Revit [20] para identificar quais as áreas de telhado livres de sombreamento pela volumetria

e entorno. O sistema deve receber o máximo de radiação solar, sendo aceitável uma parcela de sombreamento, com o período das 9h às 15h apresentando a maior faixa de irradiação. Obstruções, como elementos construídos e árvores podem sombrear o conjunto, alterando o comportamento do sistema e o nível de produção de energia. Além disso, elementos climáticos, tais como chuvas, nuvens e neblina, também afetam a produção dos painéis, necessitando que painéis extras sejam previstos para compensar essas perdas [21].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

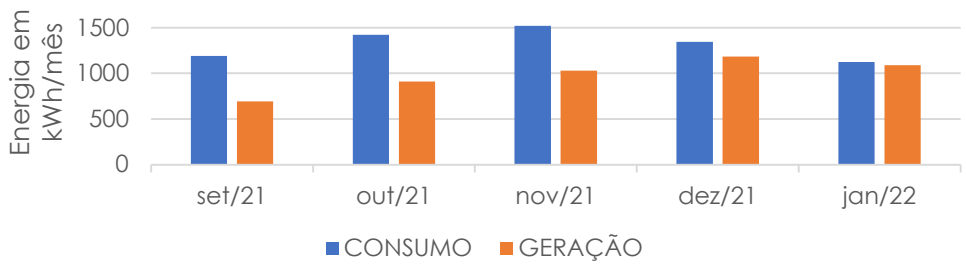
A seguir serão apresentados os resultados do desempenho do sistema e a projeção deste para que o edifício seja convertido em um ZEB.

GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL IN LOCO

No primeiro ano de operação, o sistema gerou 8.595,52 kWh de energia (média de 716,29 kWh/mês); considerando os meses com capacidade total, a média foi de 906,73 kWh/mês. Com base neste monitoramento, o valor máximo de geração diária foi de 47,28kWh em janeiro e, a mínima, de 0,91kWh em setembro. A média de 906,73 kWh/mês representa 68,5% da média de consumo (1.321,80kWh), sendo superior a 50% da demanda atual, demonstrando a viabilidade de transformar o edifício em um ZEB. No mês de dezembro, o sistema atingiu o maior valor de geração, de 1.185,18 kWh/mês, que representa 89,66% do consumo médio atual.

Em janeiro, mês com menor utilização do prédio, a geração representou 96,69% do consumo, quase atingindo a autossuficiência. Porém, como a geração de energia no período de inverno é menor (em junho a geração foi de 671,62kWh, equivalente a 50,8% do consumo médio), o sistema deve ser projetado para compensar o consumo anual através da geração de verão através de créditos de energia ou, para atender a demanda através do autoconsumo a fim de que o sistema atenda completamente a demanda no período de menor geração. O autoconsumo no edifício é preferível ao invés de exportar a energia do edifício, pois ao injetar a energia na rede, haverá a incidência de tarifas para exportá-la e importá-la [22]. A figura 3 apresenta o comparativo entre consumo e geração nos últimos 5 meses (meses em que o consumo foi fornecido pelo setor de sistemas elétricos da universidade).

Figura 3: Comparativo entre consumo e geração de energia in loco.

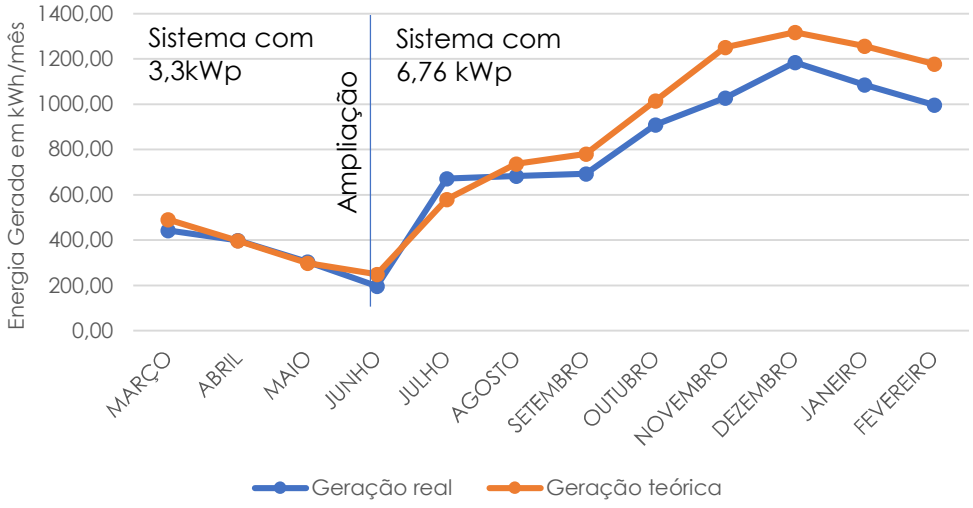


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Dentre os fatores que podem afetar a geração estão o sombreamento e as condições climáticas. Em áreas urbanas densas, o sombreamento constitui o maior desafio, uma vez que as sombras de árvores ou de outros edifícios, mesmo que de modo parcial, podem levar a perdas de 20% na geração [23]. No caso do edifício L1, o sombreamento pode ocorrer pela própria volumetria do prédio, visto que não há outras edificações próximas que projetem sombras sobre os telhados. Variáveis como a precipitação e a nebulosidade também reduzem a geração de energia fotovoltaica [24], porém, conforme os dados levantados no estudo, a precipitação não foi um fator preponderante para reduzir a geração de energia. Por exemplo, no mês de setembro ocorreu uma precipitação quase 4 vezes superior à registrada em agosto, no entanto, a geração de energia apresentou valores similares ao mês anterior. Portanto, a redução na geração no período analisado deve-se mais a condição de céu nublado do que propriamente aos dias chuvosos, considerando, também, que parte da precipitação pode ocorrer em períodos determinados do dia, como à noite, quando não há geração de energia. Nesse sentido, é possível que haja um dia com alta precipitação no período noturno e uma geração dentro da média no período diurno, se houver céu limpo.

De acordo com os procedimentos metodológicos descritos anteriormente, a partir dos dados de irradiação solar de Passo Fundo, foi estimada a geração potencial e comparada à geração real, estabelecendo a taxa de desempenho para o sistema. A taxa de desempenho média verificada foi de 0,92 nos 12 primeiros meses de geração, superior à utilizada em outros estudos simulando a geração fotovoltaica com valores entre 0,70 e 0,85 [10][11] e a taxa indicada pelo CRESESB de 0,70 a 0,80, demonstrando que a verificação *in loco* permite uma estimativa mais assertiva da geração. A menor taxa de desempenho foi de 0,79 no mês de junho e, alguns meses apresentaram geração superior ao estimado pelos dados de irradiação devido a condições climáticas, como dias sem nuvens, que podem aumentar a produtividade do sistema. A figura 4 apresenta o comparativo entre geração real (monitorada através de aplicativo) e potencial (estimada por meio dos dados de irradiação do CRESESB).

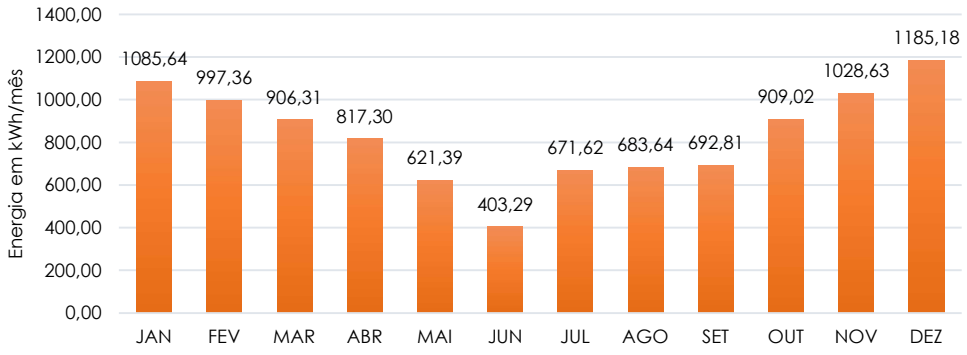
Figura 4: Comparativo geração real x geração potencial



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Em seguida, a geração teórica foi projetada ao longo do ano para o sistema existente com 6,76kWp, considerando a taxa de desempenho média e os dados de irradiação solar fornecidos para Passo Fundo, adotando os valores de irradiação para o plano horizontal (0°), valor mais próximo ao do ângulo de inclinação do telhado do edifício L1, de 10°. Pela capacidade teórica do sistema atual, a geração projetada totalizaria 10.002,19 kWh/ano, cerca de 63,05% do consumo estimado de 15.861,60 kWh/ano. Os valores da geração projetada são apresentados na figura 5.

Figura 5: Geração teórica projetada para o primeiro ano



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Considerando o custo de implantação de R$ 32.220,00, o custo da energia no primeiro ano foi de R$3,75/kWh, porém, esse valor é reduzido tendo em vista a vida útil do sistema. Foi realizada a estimativa de geração para 25 anos a fim de determinar a geração total pelo sistema, levando em conta a depreciação dos painéis, conforme dados do fabricante, reduzindo a performance para até 80% [25]. O montante de energia gerada estimada seria de 228.815,54 kWh, uma média de 9.152,62 kWh/ano, realizando o payback em 7 anos e com custo médio de R$ 0,14/kWh, abaixo do valor médio de R$ 0,77/kWh contratado via mercado livre de energia pela UPF. Entretanto, esses valores são insuficientes para atender completamente a demanda atual de energia do edifício, sendo necessária a ampliação do sistema existente.

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

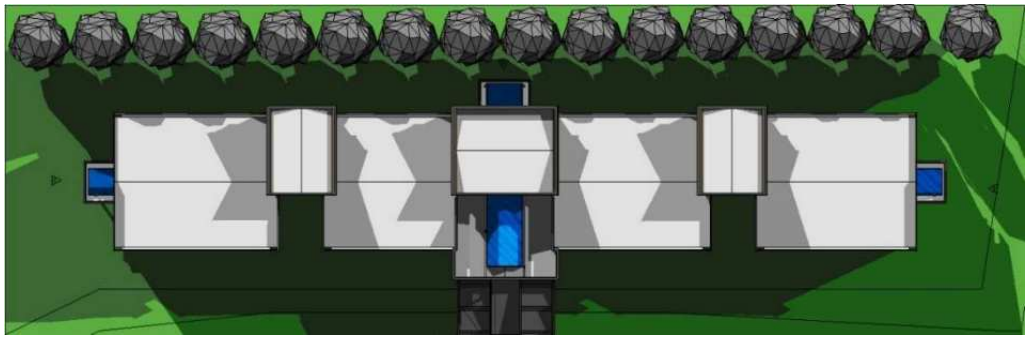
Com base nas avaliações, o edifício L1 apresenta potencial para geração de energia renovável tendo em vista a forma e a orientação do telhado para o norte, com área total disponível para instalação de 1.945,45m², entretanto, parte dessa área é voltada para o sul ou recebe mais de uma hora de sombra por dia. A localização afeta a disponibilidade de elementos de energias renováveis, como ventos e irradiação solar, portanto, esse fator também pode limitar ou potencializar a quantidade de energia a ser gerada, assim como as condições do clima, que irão adicionar incerteza nas projeções [26].

O sombreamento de apenas um painel pode comprometer o rendimento conjunto de painéis e o posicionamento horizontal reduz a produtividade e aumenta o acúmulo de sujeira. Utilizar um ângulo igual à latitude fornece um desempenho adequado durante

o ano inteiro [21], enquanto outras inclinações podem melhorar as médias máxima e mínima. O sombreamento produz a inversão dos polos dos módulos, ocasionando a dissipação da energia em forma de calor, criando pontos quentes (hot spots), que degradam fisicamente as células fotovoltaicas devido ao aumento de temperatura, que possuem temperatura crítica de 150°C, provocando danos irreversíveis e diminuição da geração de energia [27].

Levando estes fatores em consideração, através da modelagem em BIM, foi possível delimitar as áreas sombreadas do telhado ao longo do ano utilizando a ferramenta de estudo solar do Revit, permitindo estabelecer quais os locais ideais para a instalação dos painéis fotovoltaicos, visando o máximo potencial de geração de energia. A simulação do sombreamento utilizou a data do solstício de inverno (21 de junho) como referência em função da data apresentar o menor ângulo de incidência solar (38°N às 12h), gerando uma área de sombreamento maior sobre o telhado. Dessa forma, as áreas livres não recebem mais do que uma hora de sombra por dia a fim de não prejudicar a produção do sistema a ser instalado. A figura 6 apresenta as áreas livres de sombreamento, mesclando sombras do começo e final do dia 21 de junho:

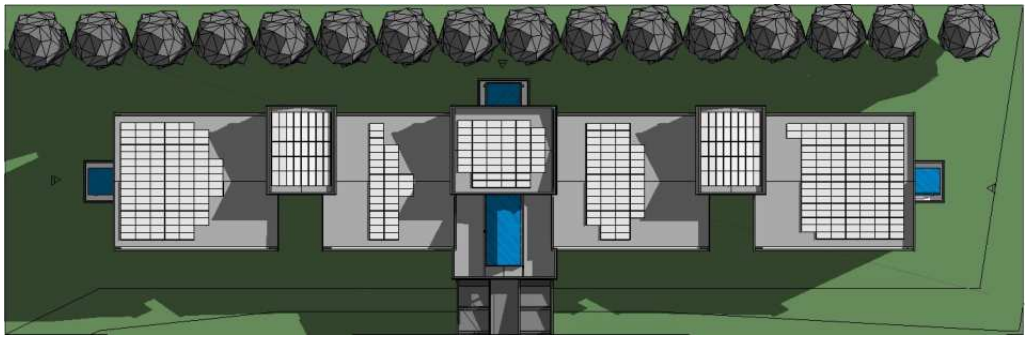
Figura 6: Áreas livres de sombreamento no telhado do edifício L1



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A partir das áreas livres sem sombreamento e das áreas de telhado voltadas para a orientação norte e parte das águas para sul (para aproveitamento do sol a pino no verão) seria possível instalar um sistema fotovoltaico de até 434 painéis. A figura 7 apresenta a possibilidade de instalação de painéis sobre a cobertura do edifício fora das áreas de sombreamento.

Figura 7: Áreas livres de sombreamento no telhado do edifício L1



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Com 195,3kWp (considerando painéis de 450Wp), o sistema seria classificado como minigeração (superior a 75 kW até 5MW), contudo, para que não fossem necessárias adequações nas redes de infraestrutura, subestações e no próprio prédio, o sistema poderia ser reduzido para 75kW para que fosse classificado como microgeração, necessitando de 166 placas de 450W. Haveria área disponível nas águas do telhado voltadas para norte, que teria potencial de geração médio de 9.210,59 kWh/mês, totalizando 110,52 MWh/ano, convertendo o edifício em um EEP – Edifício de Energia Positiva, pois geraria energia excedente ao próprio consumo. Considerando o valor atual de 1.321,80 kWh/mês no L1, a geração seria 6,96 vezes superior ao consumo.

Essa situação seria a ideal para que o sistema não fosse prejudicado por áreas sombreadas e reduzisse as perdas na geração. A energia gerada poderia ser maior ao cobrir o restante da cobertura, porém, para manter a orientação norte e ampliar a área de painéis seria necessária a execução de uma estrutura de suporte. A utilização das águas da cobertura voltadas para o sul não é recomendada pela redução da eficiência dos painéis e, apesar do ângulo de incidência solar no verão ficar quase perpendicular aos painéis, o ganho na geração poderia não compensar as perdas durante o inverno.

A utilização das áreas livres de sombreamento permitiria o melhor funcionamento durante todas as épocas do ano. De qualquer modo, a geração durante o verão poderia compensar a menor geração durante o inverno, quando o consumo é maior, por tratar-se de um sistema integrado à rede; se fosse utilizado o autoconsumo, o excedente de energia geraria créditos a serem utilizados para abater os valores do consumo no inverno, quando a geração não é suficiente para abastecer a demanda total do edifício. Porém, a conversão do edifício em um EEP demandaria de altos investimentos, sendo possível atingir a autossuficiência pela complementação do sistema existente para atingir 15,76 kWp, compensando um consumo anual estimado em 15.861,60 kWh [15].

Neste contexto, a implantação conjunta de edifícios zero energia ou com balanço positivo, integrados a rede, passa a compensar o consumo de outros edifícios sem equilíbrio energético, constituindo o conceito de Net Zero Energy Clusters, uma rede integrada de edificações autossuficientes [28]. Este conceito pode ser aplicado e desenvolvido em campus universitários e posteriormente replicado para a escala das cidades.

CONCLUSÃO

A expansão da geração distribuída através de fontes renováveis como a energia solar fotovoltaica permitirá construir infraestruturas acessíveis, sustentáveis e resilientes em face as mudanças climáticas e alinhadas às premissas do ODS7 da Agenda 2030. O Brasil apresenta um potencial favorável a expansão do setor, seja pelas características geográficas que propiciam excelentes níveis de irradiação, seja pelas políticas de incentivo ao setor e a matriz elétrica historicamente composta por fontes renováveis.

A avaliação realizada demonstrou o potencial do edifício em ser convertido em um ZEB, dado que o sistema atual já produz valores superiores a 68% da demanda, necessitando a complementação do sistema, salientando que estratégias de eficiência

energética para reduzir o consumo também podem contribuir na viabilidade da autossuficiência em energia e atender ao requisito principal da certificação GBC Brasil Zero Energy, compensando totalmente a demanda com energia gerada no local. A taxa de desempenho encontrada foi superior a recomendada pela literatura, demonstrando a importância da avaliação *in loco* para dimensionamento dos sistemas, devido as diferentes características dos equipamentos e dos locais onde serão implantados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Universidade de Passo Fundo (FUPF) pela bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

[1] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review 2020**. 2020. Disponível em: https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/electricity#abstract. Acesso em 12 set. 2020.

[2] YANKSON, E. Sustainable Awareness: Actions and Possibilities to Achieve the SDG 7. In: LEAL FILHO W., AZUL A., BRANDLI L., LANGE SALVIA A., WALL T. (eds) **Affordable and Clean Energy**, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. 1 ed. Berlin: Springer International Publishing, 2020, p. 1-12. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-71057-0_122-1. Acesso em 13 out. 2020.

[3] OUR WORLD IN DATA. **Share of electricity production by source, World, 2020**. 2021. Disponível em: https://ourworldindata.org/grapher/share-elec-by-source?time=latest. Acesso em: 31 mai. 2021.

[4] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional 2021 – relatório síntese / ano base 2020**. 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202021-ab%202020_v2.pdf. Acesso em 31 mai. 2021.

[5] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **NOTA TÉCNICA PR 04/18 - Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050**. 2018a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04%20PR_RecursosEnergeticos%202050.pdf. Acesso em: 29 ago. 2020.

[6] RIO GRANDE DO SUL. **Atlas socioeconômico Rio Grande do Sul**. 2020. Disponível em: https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/geracao-e-transmisao-de-energia. Acesso em: 11 set. 2020.

[7] NAKANO, A.; PACHECO, C. R. F.; GRIMONI, J. A. B. Princípios dos geradores fotovoltaicos conectados à rede elétrica. In: MOREIRA, J.R.S. (org). **Energias Renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

[8] EIA - U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Brazil's net metering policy leads to growth in solar distributed generation**. 2019. Disponível em: https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=42035. Acesso em: 13 mai. 2021.

[9] G1. **Governo eleva de R$ 9 bi para R$ 13 bi previsão de gasto com termelétricas; consumidor paga**. 2021. Disponível em: https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/07/11/governo-eleva-de-r-9-bi-para-r-13-

bi-previsao-de-gasto-com-termeletricas-consumidor-paga.ghtml Acesso em 20 jun. 2021.

[10] DIDONÉ, E. L.; WAGNER, A.; PEREIRA, F. O. R. Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV TT. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 3, p. 27–42, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000300003&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/ac/v14n3/03.pdf>. Acesso em: 12 set. 2021.

[11] BENDER, L. V.; LEITZKE, R. K.; FREITAS, J. R. DE; CUNHA, E. G. DA; SALAMONI, I. T. Estudo da paridade econômica e do desempenho energético de fachadas solares fotovoltaicas no extremo sul do Brasil. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 4, p. 489–508, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000400484. Acesso em: 03 jan. 2022.

[12] GBC BRASIL - GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. Certificação GBC Brasil Zero Energy. 2020. Disponível em: https://www.gbcbrasil.org.br/docs/zero.pdf. Acesso em: 30 set. 2020.

[13] INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021**: Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), especificando os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética. 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-42-de-24-de-fevereiro-de-2021-307486285. Acesso em: 10 jan. 2022.

[14] NETO, A. H.; IOSHIMOTO, E.; YAMADA, E.S.; KATO, E.; NEVES, L. O. Eficiência Energética. In: MOREIRA, J.R.S. (org.). **Energias Renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

[15] MATANA JÚNIOR, S. **Estudo de viabilidade técnica e econômica para edificação universitária zero energy building**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2022.

[16] MATANA JÚNIOR, S., FRANDOLOSO, M.A.L., BRIÃO, V.B. (2022). Lighting Retrofit: Consumption Reduction Practices in a University in Southern Brazil. In: Leal Filho, W., Portela de Vasconcelos, C.R. (eds) **Handbook of Best Practices in Sustainable Development at University Level**. World Sustainability Series. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04764-0_16

[17] IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Passo Fundo**. 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/passo-fundo.html. Acesso em: 29 jan. 2021.

[18] EMBRAPA. Clima de Passo Fundo - Normais climatológicas. 2001. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/Clima_de_Passo_Fundo.pdf. Acesso em 15 out. 2020.

[19] CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. 2018. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data. Acesso em: 14 mai. 2021.

[20] AUTODESK. **Software Autodesk Revit Architeture 2019**. Versão 19.0.0.420. Versão educacional. Autodesk, 2019.

[21] BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N. B. **Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

[22] RABANI, M.; MADESSA, H. B; NORD, N. Achieving zero-energy building performance with thermal and visual comfort enhancement through optimization of fenestration,

envelope, shading device, and energy supply system. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 44, n. January, p. 101020, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101020>. Acesso em 19 jan. 2022.

[23] SAILOR, D. J.; ANAND, J.; KING, R. R. Photovoltaics in the built environment: A critical review. **Energy and Buildings**, v. 253, p. 111479, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111479>. Acesso em 19 jan. 2022.

[24] CAMPOS, M. S.; ALCANTARA, L. D. S. Interpretação dos Efeitos de Tempo Nublado e Chuvoso Sobre a Radiação Solar em Belém/PA Para Uso em Sistemas Fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 570–579, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0102-7786312314b20150065. Acesso em: 30 set. 2021.

[25] TRINA SOLAR. **Datasheet Tallmax TSM-DE15H (II)**. 2019. Disponível em: https://static.trinasolar.com/sites/default/files/EU_TSM_DE15H%28II%29_datasheet_A_2019_Web.pdf. Acesso em: 18 jun. 2021.

[26] BRAVO HIDALGO, D.; BAEZ-HERNANDEZ, A. Technologies of zero energies buildings. A review. **Ingeniería Y Competitividad**, v. 21, n. 2, p. 1–11, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.25100/iyc.v21v2i.7150. Acesso em: 05 set. 2021.

[27] ANJOS, R. S. **Análise e simulação de pontos quentes em painéis fotovoltaicos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) – Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação, Instituo Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa 2016.

[28] SCOGNAMIGLIO, A.; ADINOLFI, G.; GRADITI, G.; SARETTA, E. Photovoltaics in net zero energy buildings and clusters: Enabling the smart city operation. **Energy Procedia**, v. 61, p. 1171–1174, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.1046>. Acesso em: 19 nov. 2020.