XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DA COBERTURA DE UMA EDIFICAÇÃO ATRAVÉS DO MÉTODO *SOLAR FAN*

Leno Pôrto Dutra (1); Celina Maria Britto Correa (2)
(1) Engenheiro Eletricista, Mestrando do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, leno.dutra@hotmail.com, Universidade Federal de Pelotas, Rua Benjamin Constant, 1359 – Pelotas (RS), (53) 98111.7541
(2) Arquiteta e Urbanista, Doutora em Arquitetura, Professora do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, celinab.sul@terra.com.br, Universidade Federal de Pelotas, Rua Benjamin Constant, 1359 – Pelotas (RS), (53) 3284.5511

RESUMO
Este trabalho tem como objetivo verificar a aplicabilidade do método *Solar Fan* na avaliação do potencial fotovoltaico. Geralmente usado para *playgrounds*, parques e jardins, é aplicado neste artigo no telhado de um edifício educacional para medir o acesso solar como um primeiro procedimento para a avaliação da quantidade de luz disponível para gerar eletricidade. Trata-se de uma ferramenta adequada para ajudar os projetistas a decidir se o edifício possui viabilidade para a geração fotovoltaica? A hipótese a ser verificada é de que o *software* pode ser usado para uma avaliação preliminar do potencial fotovoltaico. Um estudo de caso foi executado através de modelagem e simulação em programas gráficos de computador, levando em conta a morfologia do edifício e os limites legais para a construção na área circundante. Os resultados confirmam a hipótese e mostram uma maneira simples e rápida de avaliar qualitativamente o potencial e decidir se mais estudos devem ser realizados. Os autores concluem que o método é aplicável como uma avaliação preliminar, mas suas limitações quantitativas requerem outros meios para uma análise completa.
Palavras-chave: *Solar Fan*, potencial fotovoltaico, avaliação.

ABSTRACT
This work aims to verify the applicability of the Solar Fan method to photovoltaic potential assessment. Commonly used for playgrounds, parks and gardens, it is applied in this article on the roof of an educational building to measure the solar access as a first procedure to assess the amount of daylight available to generate electricity. Is it a suitable tool to help designers decide if the location is adequate for photovoltaic generation? The hypothesis is that the software might be used as a preliminary evaluation of the photovoltaic potential. A case study was carried out through modelling and simulation on graphical computer programs, taking into account the building morphology and the legal limits on construction in the surrounding area. The results confirm the hypothesis and show a simple and quick way to qualitatively assess the potential and decide if further studies are worth being performed. The authors conclude that the method is applicable as a preliminary assessment but its quantitative limitations require other means for a thorough evaluation.
Keywords: Solar fan. Photovoltaic potential. Evaluation.

1. INTRODUÇÃO

O acesso direto à radiação solar tem relevante valor para as edificações. Vianna (2017) realizou extensa pesquisa histórica sobre o reconhecimento, na legislação de diversos países, do direito que as pessoas têm a esse recurso natural, e comprovou a importância dada a ele, pela sociedade.

Além das vantagens que a exposição de um prédio à radiação solar proporciona, tais como a redução do consumo energético para iluminação dos ambientes internos, o efeito bactericida, o conforto ambiental, o efeito psicológico sobre os ocupantes (ASSIS, 2002), atualmente no Brasil existe uma variável econômica a ser considerada, que é a possibilidade de geração de energia elétrica no próprio local de consumo, através do aproveitamento de um recurso natural e da rede de distribuição pública para injeção da energia excedente produzida, com isso obtendo-se créditos a serem utilizados em períodos de baixa ou nenhuma geração. Essa forma de autoprodução de energia é denominada de microgeração ou de minigeração, conforme a potência nominal (ANEEL, 2012).

Dentre as opções disponíveis para geração de energia elétrica nas edificações, a mais simples e econômica é a conversão fotovoltaica (FV), obtida pela instalação de módulos geradores sobre a cobertura do imóvel. Além disso, o Brasil tem alta disponibilidade de radiação solar, superando países com potência instalada muito maior, o que mostra o grande potencial de crescimento dessa fonte no país. Florianópolis, que é uma das cidades com menor intensidade de radiação solar no país, recebe 20% mais luz solar do que a região mais ensolarada da Alemanha (DIDONÉ, 2014). A geração FV apresenta-se, portanto, como uma boa opção a fazer parte dos projetos de edificações brasileiras. Em 2018, a fonte solar FV representou 99,5% das instalações de microgeração e minigeração no Brasil (ABSOLAR, 2019). Mas para que tais benefícios sejam alcançados, essa tecnologia requer exposição à luz natural durante a maior parte do dia, portanto a obstrução do acesso à radiação solar por barreiras no entorno pode inviabilizar o uso desse recurso e diminuir a sustentabilidade da edificação e seu valor de mercado.

É neste contexto que o presente trabalho se desenvolve, para colaborar com a avaliação desse tipo de sistema, através de métodos computacionais tradicionalmente aplicados à determinação de índices urbanísticos que considerem o acesso à radiação solar.

O método do Envelope Solar foi estabelecido para auxiliar o desenvolvimento de leis garantidoras do acesso solar (VIANNA, 2017). Em síntese, ele estabelece um volume dentro do qual uma construção não produz sombra sobre sua vizinhança durante períodos críticos do dia (KNOWLES, 1982). O Envelope Solar delimita o volume do edifício que permite o acesso solar aos vizinhos. O método aplicado neste artigo utiliza o Envelope Solar de maneira inversa, na forma denominada *Solar Fan*. Trata-se de ferramenta de projeto que cria um volume que não deve ser bloqueado para que a superfície estudada possa ter acesso solar direto durante um certo tempo do ano, em quantidade especificada. Em vez de definir o limite para construção no terreno estudado, ele define o limite que as construções do entorno não podem invadir, a fim de preservar o acesso solar no próprio. Por envolver interpolação entre um conjunto limitado de vetores solares, resulta em uma aproximação (NIEMASZ, 2019).

Escolhida a área de análise ao acesso solar, o programa *Solar Fan* simula uma *Boundary Representation* (BREP) do volume que não pode ser invadido. A BREP é um conjunto de faces que formam um sólido em linguagem computacional (RUTTEN, 2012).

O método avaliativo descrito neste trabalho pode ser considerado como uma aplicação especial de uma ferramenta de planejamento urbanístico proposta por Vartholomaios (2015), denominada *Residential Solar Block (RSB) Envelope*, cujo objetivo é utilizar o *Solar Fan* para desenvolver conjuntos urbanos com acesso solar em quantidades especificadas.

O prédio escolhido para este estudo de caso pertence à Área Especial de Interesse do Ambiente Cultural da Zona de Preservação do Patrimônio Cultural (AEIAC-ZPPC) da cidade de Pelotas. As construções vizinhas, atuais ou futuras, que poderiam obstruir o acesso solar têm limite de altura de 13 metros, conforme o Art. 152 da Lei Municipal n° 5.502, de 11/09/2008 (PELOTAS, 2008). Esse limite de altura é um dado fundamental para a verificação do acesso solar, pois as faces da BREP são inclinadas em relação ao solo, e quanto maior a altura do obstáculo, mais distante ele deve estar para não obstruir o acesso solar.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo investigar a aplicabilidade e facilidade de uso do método *Solar Fan* aos estudos de viabilidade para implantação de sistema de geração FV sobre a cobertura de uma edificação.

3. MÉTODO

O método utilizado no desenvolvimento desse trabalho foi a simulação computacional, através de programas informáticos. Esse processo deu-se através de quatro etapas, relacionadas a seguir.

3.1. Modelagem

Inicialmente, a edificação escolhida foi modelada no *SketchUp Make* © (TRIMBLE NAVIGATION LIMITED, 2016).

A Figura 1 mostra uma vista em perspectiva do modelo desenvolvido.



Figura 1 – Modelo elaborado no *SketchUp Make* © (TRIMBLE NAVIGATION LIMITED, 2016)

3.2. Configuração

Após a modelagem, o arquivo-modelo foi importado no *Rhinoceros* 5 ® (ASSOCIATES, 2017), para simulação através do *plug-in DIVA-for-Rhino* (SOLEMMA LLC, 2019) instalado no editor gráfico de algoritmo *Grasshopper* ® (ASSOCIATES, 2014).

Foram os seguintes parâmetros configurados na função *Solar Fan* do *Grasshopper* ®:

a) *Curve*

A poligonal escolhida foi desenhada contornando o perímetro da edificação, sobre suas platibandas, encerrando em seu interior toda a área de cobertura disponível para instalação de módulos FV. A altura desta poligonal ao solo é de 10 metros, coincidindo com a altura, ao solo, do plano médio entre a base e a cumeeira do telhado.

b) *Latitude*

A latitude corresponde ao local da edificação, no caso de Pelotas, 31,5°S. Cabe salientar que o *slider* numérico que serviu para este parâmetro teve que ser ajustado em seus limites, pois todos eles possuem limite inferior igual a zero. Portanto, não são aceitos valores negativos, que todavia são necessários para representar as latitudes do hemisfério Sul.

c) *Sun hours required*

Este é o parâmetro de controle da simulação. Foram utilizados 5, 7 e 9. Valores inferiores a 5 não formaram BREP significativo e valores superiores a 9 produziram resultado espúrio, indicando impossibilidade de garantia do acesso solar nestas condições.

d) *First Frost Date*

Como o escopo do trabalho é a geração FV (possível e desejada ao longo de todo o ano) e não o cultivo de vegetais, este parâmetro foi ajustado em 365, significando disponibilidade requerida até 31 de dezembro.

e) *Distance*

Já que a altura máxima permitida para edificações no entorno estudado é de 13 metros, conforme já descrito na introdução deste artigo, este valor foi utilizado para desprezar volumes desnecessários acima deste nível.

3.3. Simulação

Como mencionado, a variável *Sun hours required* foi modificada de 5 a 9 horas e o volume do BREP foi examinado a cada valor, sendo medidas as distâncias horizontais entre os pontos extremos do BREP e as fachadas da edificação, perpendicularmente a estas, como mostram as cotas da vista *Top* (Figura 2).

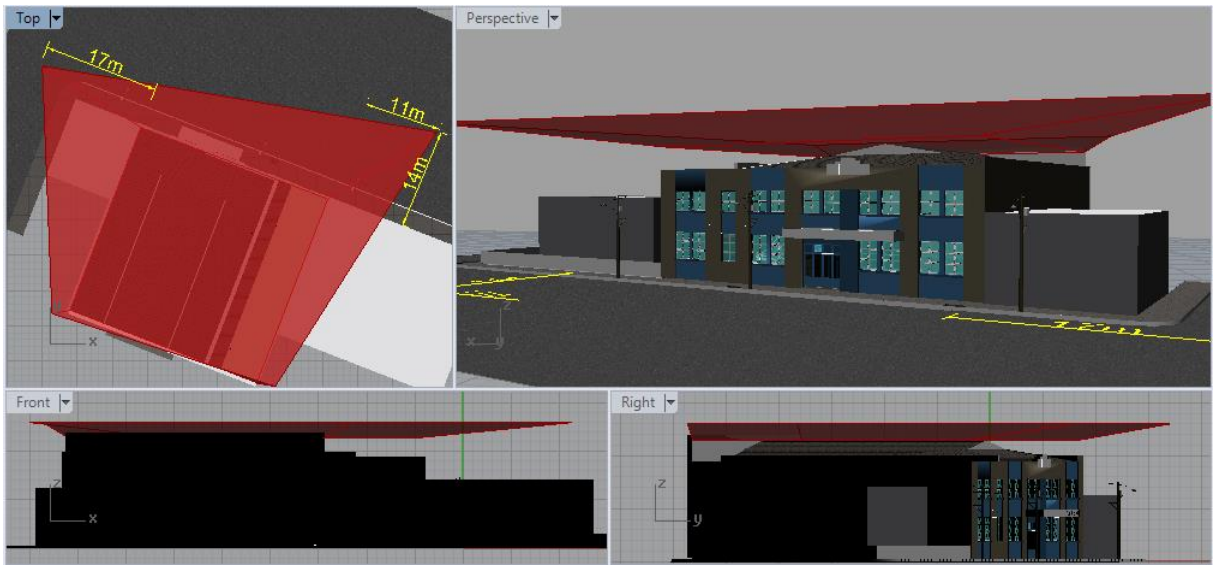


Figura 2 – Imagens geradas no *Rhinoceros* © (ASSOCIATES, 2017) para 9 horas de *Sun hours required*

4. RESULTADOS PRELIMINARES

A simulação resultou nas distâncias relacionadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados da simulação.

***Sun hours required* (h)**	**Afastamento do ponto do BREP mais distante à fachada, perpendicularmente a esta (m) [6]**		
	Fachada frontal	**Fachada direita**	**Fachada esquerda**
5	4	2	4
7	6	3	6
9	14	11	17

Tais resultados confirmam que maior exigência de horas de acesso solar implica maior volume livre em torno do plano de interesse. As distâncias necessárias para garantir acesso pleno até 5 horas diárias são muito reduzidas, podendo-se inferir que não há riscos para o potencial FV neste grau de exigência, ou seja, eventuais construções futuras não trarão impacto a este potencial, caso o atual limite de altura permitido pela Lei permaneça. No extremo oposto, o número máximo de horas que produziu resultados mensuráveis foi de nove. Isso mostra que, mesmo sem vizinhança, um prédio neste local não obtém insolação diária por tempo superior a 9 horas durante todo o ano.

Em relação à fachada frontal, é importante levar em consideração o gabarito da rua, pois não é possível construir nesta direção em distância inferior à largura total da mesma, considerando a faixa carroçável e os dois passeios, o que totaliza 16 metros. Este valor supera o afastamento máximo obtido na simulação, portanto esta direção não oferece risco ao potencial FV.

Ao lado direito da edificação não poderá haver construção de 13 metros de altura em distância inferior a 11 metros, para que se obtenha acesso solar por 9 horas diárias. Para 7 horas de radiação, essa distância pode ser reduzida para 3 metros. Em ordem um pouco superior, o mesmo ocorre com o lado esquerdo da edificação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo aprendizado proporcionado pela pesquisa de referenciais e parâmetros para a simulação e pelos resultados obtidos, é possível concluir que o método *Solar Fan* pode contribuir para os estudos de viabilidade para implantação de sistemas de geração FV na cobertura de edificações. Em uma análise preliminar, como teste piloto, de rápida e simples elaboração, pode-se verificar a possibilidade de acesso

[6] Corresponde ao ponto mais próximo que um obstáculo pode ficar, sem restrição de lado.

solar pelo período mínimo esperado, a fim de dar sequência aos estudos de viabilidade ou de antemão, descartar o local como potencial suporte de geração FV.

Apesar dos objetivos cumpridos, cabe observar que o método aqui descrito tem limitações, tanto por proporcionar resultados aproximados por sua própria natureza quanto por não possibilitar estimativa quantitativa do potencial FV. Para isto, outros métodos devem ser usados de forma complementar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. Energia solar fotovoltaica atinge marca histórica de 500 MW em microgeração e minigeração distribuída no Brasil. [*S.l.*]: ABSOLAR, 8 jan. 2019. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-fotovoltaica-atinge-marca-historica-de-500-mw-em-microgeracao-e-minigeracao-distribuid.html>. Acesso em: 16 fev. 2019.

ANEEL. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 53, v. 149, n. 76, 19 abr. 2012.

ASSIS, E. S. de. Critérios de acessibilidade ao sol e à luz natural para conservação de energia em escala de planejamento urbano. *In*: IX ENTAC Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. **Anais**... Foz do Iguaçu, 2002. p. 991–1000.

ASSOCIATES, R. M. &. **Grasshopper**. [*S.l.*]: [*s.n.*], 2014. Disponível em: http://www.grasshopper3d.com. Acesso em: 8 mar. 2018.

ASSOCIATES, R. M. &. **Rhinoceros**. Version 5. Barcelona: McNeel Europe, 2017. Disponível em: https://www.rhino3d.com/download/rhino/5/latest. Acesso em: 8 mar. 2018.

DIDONÉ, E. L. **Parametric study for net zero energy building strategies in Brazil considering semi-transparent PV windows**. Orientador: Andreas Wagner. 2014. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Department of Architecture, Karlsruhe Institute of Technology – KIT, Karlsruhe, 2014. Disponível em: https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000044721. Acesso em: 14 jul. 2018.

KNOWLES, R. Solar Access. *In*: KNOWLES, R. **Sun Rhythm Form**. Cambridge, MA: The MIT Press, 1982. cap. 1, p. 3-24.

NIEMASZ, J. **Diva for Rhino**. Solar Tools. [*S.l.*]: [*s.n.*], 2019. Disponível em: http://diva4rhino.com/user-guide/grasshopper/solar. Acesso em: 13 abr. 2019.

PELOTAS. **Lei nº 5.502, de 11 de Setembro de 2008**. Institui o Plano Diretor Municipal e estabelece as diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial no Município de Pelotas, e dá outras providências. Pelotas: Câmara Municipal, 2008. Disponível em: http://sapl2.camarapel.rs.gov.br/sapl_documentos/norma_juridica/1028_texto_integral. Acesso em: 13 abr. 2019.

RUTTEN, D. GRASSHOPPER. **How to make a BREP?** [*S.l.*]: [*s.n.*], 2012. Disponível em: https://www.grasshopper3d.com/forum/topics/how-to-make-a-brep. Acesso em: 11 mar. 2018.

SOLEMMA LLC. **DIVA-for-Rhino**. [*S.l*]: [*s.n.*], 2019. Disponível em: http://www.solemma.net/Diva.html. Acesso em: 13 abr. 2019.

TRIMBLE NAVIGATION LIMITED. **SketchUp Make 2016**. [*S.l.*]: Trimble Inc., 2016. Disponível em: https://www.sketchup.com/download. Acesso em: 11 mar. 2018.

VIANNA, S. D. **Análise do "Direito ao Sol" nos planos diretores de Pelotas – RS, em zonas residenciais**. Orientadora: Celina Maria Britto Correa. 2017. 200 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, UFPEL, Pelotas, 2017. Disponível em: http://prograu.ufpel.edu.br/uploads/biblioteca/dissertacao_saionara.pdf. Acesso em: 13 abr. 2019.

VARTHOLOMAIOS, A. The residential solar block envelope: A method for enabling the development of compact urban blocks with high passive solar potential. **Energy and Buildings**, v. 99, n. June 2015, p. 303–312, 2015.