

# **ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL PARA BAIRROS DE PORTO ALEGRE**

**Angélica Duarte Lima** (UFRGS) - gueia.lima@gmail.com

**Arno Krenzinger** (UFRGS) - arno.krenzinger@ufrgs.br

## **Resumo:**

*Este trabalho apresenta um levantamento da capacidade teórica de geração fotovoltaica em bairros da cidade de Porto Alegre selecionados por critério de renda familiar. Para o estudo foi levantada a área dos telhados de uma fração de cada bairro com o software Google Earth e atribuído o valor médio dessas áreas a todo bairro. Posteriormente foi levantado o número de edificações e classificado em cinco tipologias de telhado por meio de inspeção visual de imagens do Google Maps. Com essas informações foi encontrada a área aproximada das coberturas das edificações. Para estimar a área disponível para instalação foi aplicado um de redução devido à orientação dos telhados, além de um fator de 70% para considerar a utilização das áreas dos telhados. Com os dados considerados para os cálculos verifica-se que a geração distribuída de energia variou significativamente conforme o perfil das edificações e a taxa de ocupação de cada bairro. Os mais verticais apresentaram potencial para atender de 20% a 40% da demanda, enquanto que os horizontais essa capacidade ultrapassou 100% nas áreas analisadas*

**Palavras-chave:** *Geração distribuída, Sistemas fotovoltaicos, Potencial solar urbano*

**Área temática:** *Conversão Fotovoltaica*

**Subárea temática:** *Aspectos técnicos de sistemas fotovoltaicos instalados*

# ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL PARA BAIRROS DE PORTO ALEGRE.

Angélica Duarte Lima – gueia.lima@gmail.com

Arno Krenzinger – arno.krenzinger@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Energia Solar, PPGE3M

**Resumo.** Este trabalho apresenta um levantamento da capacidade teórica de geração fotovoltaica em bairros da cidade de Porto Alegre selecionados por critério de renda familiar. Para o estudo foi levantada a área dos telhados de uma fração de cada bairro com o software Google Earth e atribuído o valor médio dessas áreas a todo bairro. Posteriormente foi levantado o número de edificações e classificado em cinco tipologias de telhado por meio de inspeção visual de imagens do Google Maps Street View. Com essas informações foi encontrada a área aproximada das coberturas das edificações. Para estimar a área disponível para instalação foi aplicado um fator de redução devido à orientação dos telhados, além de um fator de 70% para considerar a utilização parcial das áreas dos telhados. Com o estudo é possível concluir que a geração distribuída de energia FV tem potencial para atender 46% da demanda residencial da cidade.

**Palavras-chave:** Geração distribuída, Sistemas fotovoltaicos, Potencial solar urbano.

## 1. INTRODUÇÃO

A geração distribuída (GD) tem crescido nos últimos anos no Brasil. Estimulada por ações regulatórias e incentivos a mini e micro geração atingiram a marca de 2.474 MW de potência instalada em 2020 (ANEEL, 2020). A principal fonte na GD é a solar, representando em 2019 mais de 99% do percentual de unidades instaladas e 92% da potência produzida na GD no País (ANEEL, 2020).

O Rio Grande do Sul tem se destacado no mercado de energia solar, sendo o segundo em maior em percentual de instalações e em potência instalada de sistemas urbanos no país (ANEEL, 2019). Petter e Rodrigues (2018) observam que as áreas de maior expansão da energia solar no Brasil não é necessariamente a de maior potencial solar, mas sim as áreas de maior desenvolvimento econômico.

Devido à importância do Estado na área solar torna-se relevante o levantamento da capacidade de geração em áreas economicamente desenvolvidas no Estado. Freitas et al. (2015) afirmam que o conhecimento do potencial de uma região ajuda a criar políticas para evitar disparidade de oferta e demanda.

Nesse sentido diversas metodologias estão presentes na literatura para o levantamento da capacidade teórica de geração de energia solar em espaços urbanos. Um dos fatores importantes na escolha do método é a abrangência do estudo: deve-se escolher um método adequado para uma escala local, regional ou continental (RODRIGUEZ et al., 2017).

O objetivo deste estudo é aplicar uma metodologia de levantamento de capacidade teórica de geração de eletricidade por conversão fotovoltaica em alguns bairros de Porto Alegre. Para isso foi realizado um estudo na região, levando em conta inicialmente critério de renda para seleção dos bairros e o estudo do perfil das edificações para análise técnica.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

As diversas metodologias de levantamento da capacidade de geração de energia solar em espaços urbanos apresentam uma sequência de etapas semelhantes, apesar de diferirem nos procedimentos em cada uma destas etapas. Os autores estimam a área dos telhados, identificam a irradiação solar no local, definem um fator de utilização e então calculam o potencial de geração de energia fotovoltaica.

Melius et al. (2013) classificam os métodos de estimativa das coberturas em três grupos. O primeiro é o Método do Valor Constante, que se baseia em suposições de configuração típica dos telhados e um multiplicador aplicado a região inteira, apresenta um valor aproximado aplicado a grandes áreas. O segundo é o Método da Seleção Manual, que está baseado na observação de fotos aérea e inspeção visual; o método é aplicado em menor escala. Por último o autor apresenta o Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizado principalmente com modelos 3D para determinar a área de cobertura disponível, aplicado com precisão a grandes áreas, mas requer mais recursos para sua aplicação.

Sabe-se que não é possível utilizar toda a área disponível das coberturas para instalação dos painéis. Entre os principais fatores de redução das áreas estão as restrições na construção (elevadores, extratores de ar, chaminés, escadas, tanques de água etc), as perdas por orientação do telhado e por inclinação dos painéis, a separação entre os painéis, a relação entre o tamanho do painel e a área disponível, os edifícios protegidos (por exemplo por razão histórica) etc.

### 3. METODOLOGIA

O estudo foi realizado em seis etapas: (i) Escolha da região para estudo, (ii) Levantamento da área dos telhados de uma porção de cada bairro escolhido, (iii) Verificação da irradiação solar, (iv) Levantamento do número de edificações e classificação das tipologias de cada bairro; (v) Análise qualitativa das sombras e (vi) Cálculo da produção de energia elétrica.

#### 3.1 Etapa 1: Escolha da região para estudo

A cidade do estudo é Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul. Foram selecionados 30 bairros, atendendo a premissa de média salarial familiar superior a dez salários mínimos.

#### 3.2 Etapa 2: Levantamento da área dos telhados

Em cada bairro selecionado foi escolhida uma quadra e levantada a área dos telhados das edificações. Foi assumido que a média dessas áreas se aplica ao bairro inteiro. Para o levantamento da área das coberturas foi utilizado o método da seleção manual, utilizando a ferramenta régua da plataforma online Google Earth. A Fig. 1 apresenta a utilização da ferramenta.

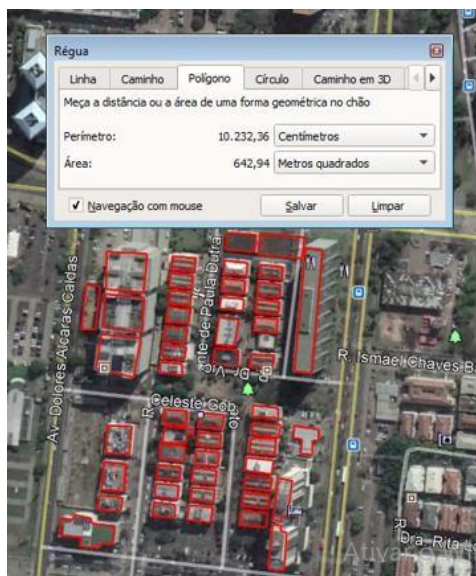


Figura 1 - Dimensionamento da área dos telhados utilizando a plataforma Google Earth.

#### 3.3 Etapa 3: Verificação da irradiação solar

Nesta etapa foram criados modelos 3D de uma quadra de bairro para análise com *software* Revit. Para elaboração do modelo utilizou-se o contorno das coberturas feita no Google Earth e para estimar a altura foram analisadas imagens do Google Street View, considerando três metros de altura para cada pavimento.

O Revit permite gerar a representação visual da trajetória do movimento aparente do sol ao longo do ano. A Fig. 2 (a) apresenta os volumes 3D das edificações no Google Earth e a (b) imagem gerada no Revit com a trajetória do sol ao longo de um ano.

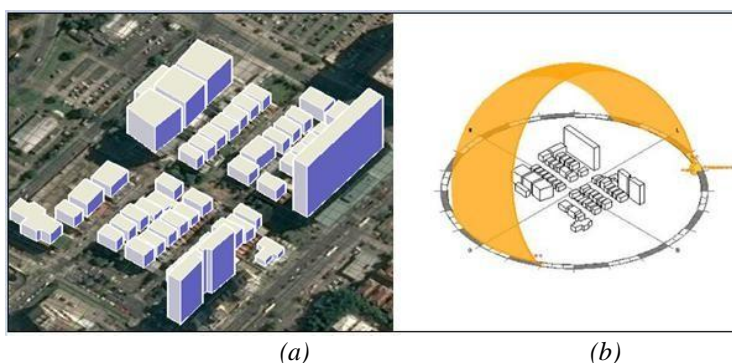


Figura 2: (a) edificações no Google Earth (b) trajetória do sol ao longo de um ano

Com o *plugin* Solar Analysis no Revit foi verificada a irradiação acumulada ao longo de um ano nas coberturas. O software apresenta imagem com uma escala de cor da irradiação acumulada nas áreas selecionadas como pode ser visto na Fig. 3. Para considerar a irradiação solar média incidente na cidade foram utilizados dados do Atlas Solar do Rio Grande do Sul (Back et al., 1918) os quais usados como referência para ajustar em proporção os dados fornecidos pelo Revit.

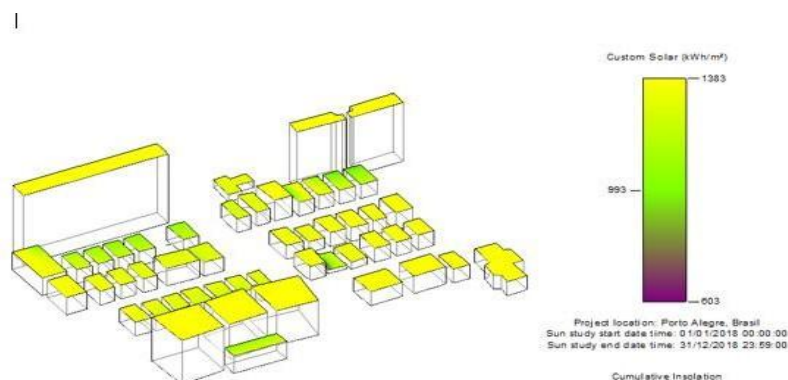


Figura 3: Irradiação solar acumulada durante o ano de 2018. Fonte: Revit

### 3.4 Etapa 4: Levantamento do número de edificações e classificação das tipologias de cada bairro

Foram definidas cinco tipologias de telhado mostradas na Fig. 4, conforme sugestão de Rampinelli e Scarduelli (2016). Em cada bairro foi verificada a quantidade de edificações com cada tipo de telhado utilizando imagens do Google Maps. Os telhados com formas complexas foram enquadrados em uma das cinco tipologias.

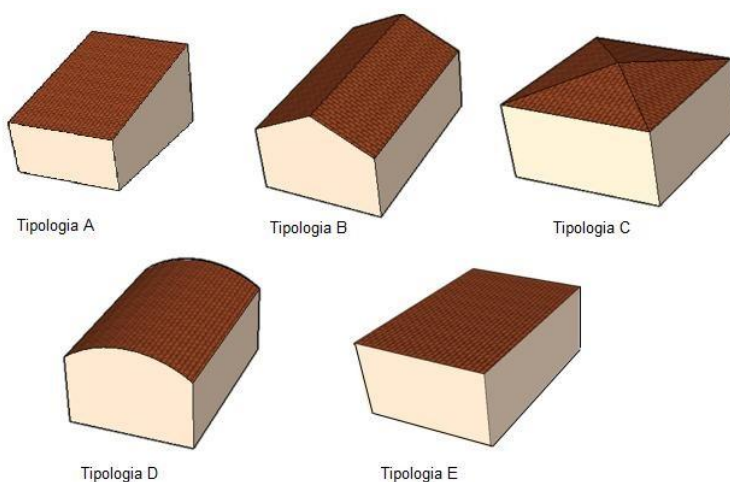


Figura 4: Tipologias dos telhados. Fonte: Rampinelli e Scarduelli (2016). Adaptado pelos autores

Nessa etapa foram consideradas algumas simplificações, como desconsiderar pequenas edificações e partes periféricas dos bairros em que as edificações não tivessem acesso por ruas e realizar contagem da metade da área para bairros grandes.

Como Porto Alegre é uma cidade com as ruas orientadas em todas as direções, de certa forma aleatória, e porque as casas são orientadas normalmente em função da orientação das ruas, considerou-se que as probabilidades de orientação geográfica seriam iguais em qualquer direção. Assim as orientações foram classificadas em 8 direções cardiais e colaterais. Considerou-se que todos os telhados inclinados tem ângulo de  $20^\circ$  em relação ao plano horizontal, com a óbvia exceção da tipologia E com cobertura plana. Também foi assumido que as faces dos telhados orientados para sul, sudeste e sudoeste não seriam utilizadas por receberem menor insolação. Por outro lado as demais faces teriam uma ocupação de até 70% de sua área e com um fator de redução devido à orientação (FO) com relação à orientação ideal (voltada para norte). A Tab. 1 apresenta para cada tipologia as orientações propostas, o percentual contemplado para cada orientação, o percentual de uso do telhado já multiplicado por 70% e o FO.

Tabela 1 – Proposição de uso das coberturas para cada tipologia.

TIPOLOGIAS	ORIENTAÇÃO	QUANTIDADE (%)	UTILIZAÇÃO	FO
A	S	12,5	0	-
	SO ou SE	25	0	-
	NO ou NE	25	70	0,97
	N	12,5	70	1
	E e O	25	70	0,97
B	N	25	35	1
	NO ou NE	50	35	0,97
	E e O	25	70	0,9
C	N	50	17,5	1
	NO e NE	50	35	0,97
D	N	25	35	1
	NO ou NE	50	35	0,97
	E e O	25	70	0,9
E	N	100	70	0,93

### 3.4 Etapa 5: Análise qualitativa das sombras

Com o uso do Revit foram geradas imagens, para análise das sombras projetadas das edificações sobre as outras. Foram desconsiderados outros elementos da região, tais como vegetações, chaminés e postes.

A análise visual foi feita para o solstício de Verão e o Solstício de Inverno nos horários das 09h, 12h, 15h e 18h no ano de 2018 para cada região. A Fig. 5 apresenta um exemplo das imagens geradas no Revit

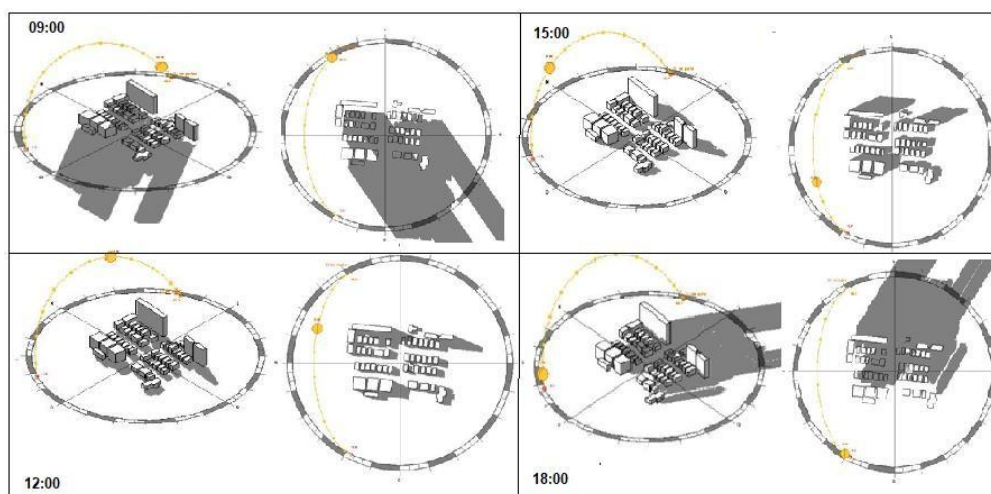


Figura 5: Sombreamento nas coberturas das edificações

### 3.5 Etapa 6: Cálculo da geração de energia elétrica

Depois de encontrada a área útil dos telhados na etapa 4, foi aplicado um fator de utilização de 70% já citado. Esse fator é aplicado pois no método não foram consideradas as restrições de construção, as áreas de manutenção, a separação entre os painéis, as áreas já ocupadas, a relação entre a área disponível e a área dos painéis entre outros.

Para cada 100 m<sup>2</sup> de área disponível em telhados, pode-se atribuir uma potência-pico instalada de 14,8 kWp com 62 módulos de 1,7 m x 1 m (TORRES, 2015). No presente trabalho foi utilizado como premissa de cálculo valor de 1.303 kWh/kWp produtividade descrita para a cidade de Porto Alegre, em escala anual (Back et al., 2018).

Para o cálculo do consumo de energia do bairro foram considerados os dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018 (EPE, 2018). Foi levada em conta a média dos anos de 2013 a 2017 do consumo médio (kWh/ano) per capita no Rio Grande do Sul.

### 3 RESULTADOS

Os bairros analisados possuem perfis de edificação diferentes entre si, sendo alguns destes mais verticais, como os bairros Bela vista, Petrópolis, Moinhos de Vento e o Mont'Serrat. Outros mais horizontais como Chácara das Pedras e Três Figueiras. Pode-se notar um impacto direto na irradiação devido a projeção de sombras em bairros com diferença de tamanho entre as edificações e o espaçamento entre elas.

Um aspecto da ocupação dos bairros mais verticais é a alta densidade de população o que faz com que a demanda seja maior que a geração. Os bairros Bom Fim, Centro, Cidade Baixa, Rio Branco, Independência e Santana apresentam uma maior densidade populacional.

Outra diferença nos bairros se dá quanto ao uso comercial e residencial, no entanto no comparativo apenas foi levada em conta a demanda prevista residencial.

Foram analisadas amostras de 22 a 50 edificações de cada bairro a Tab. 2 apresenta a área média dessas construções e os resultados de consumo e capacidade estimada de geração. A Fig. 6 apresenta o gráfico com os resultados.

Tabela 2 – Dados e resultados por bairro

BAIRRO	POP.	ÁREA (ha)	CONSUMO ANUAL (MWh)	CAPACIDADE ANUAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA (MWh)		
				100% DE USO DOS TELHADOS (MWh)	FATOR DE REDUÇÃO DEVIDO ORIENTAÇÃO (MWh)	70% DE USO DOS TELHADOS E FATOR DE REDUÇÃO DEVIDO ORIENTAÇÃO (MWh)
Centro	39154	228	62020	219921	116418	81492
Praia de Belas	2281	204	3613	14161	4428	3100
Auxiliadora	9683	82	15338	100421	65439	45807
Bela Vista	11128	92	17627	43303	23115	16181
Bom Fim	11630	160	18422	53097	26589	18612
Cidade Baixa	16522	79	26171	43879	24871	17410
Farroupilha	961	57	1522	4475	1956	1369
Floresta	14972	167	23716	64835	27274	19092
Independência	6121	40	9696	21414	10229	7160
Jardim Botânico	12521	203	19833	50835	21304	14913
Menino Deus	30507	215	48323	114721	54618	38233
Moinhos de Vento	7264	82	11506	34073	17138	11996
Petrópolis	38155	333	60438	109432	41018	28713
Rio Branco	21392	136	33885	38415	17274	12092
Mont'Serrat	11236	79	17798	45455	24710	17297
Santa Cecília	5768	60	9137	33353	16528	11570
Santana	20723	149	32825	91221	40029	28020
Boa Vista	8750	160	13767	47665	20807	14565
Cristo Redentor	16455	148	26065	154161	65665	45965
Higienópolis	10724	103	16987	84950	40792	28554
Jardim Lindóia	7417	79	11749	32363	13057	9140
Chácara das Pedras	7471	102	11834	31719	12332	8632
Três Figueiras	4070	106	6447	55836	22427	15699
Santo Antônio	13161	129	20847	53771	21413	14989
Guarujá	2612	126	4137	35997	13466	9426
Ipanema	15518	398	24581	148131	55686	38980
Pedra Redonda	274	47	434	4446	1615	1131
Tristeza	16198	264	25658	35147	17353	12147
Vila Assunção	4418	120	6998	46087	18974	13282
Vila Conceição	1349	35	2137	15994	5446	3812

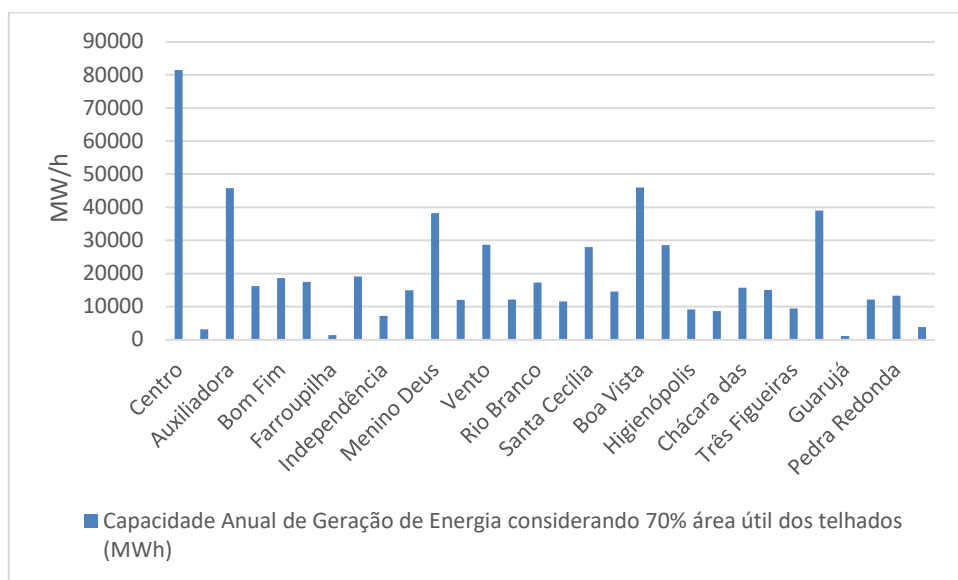


Figura 6: Capacidade Anual de Geração de Eletricidade considerando um fator de utilização de 70% e aplicado o Fator de Redução na área dos telhados.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve o objetivo de levantar o potencial de geração de energia elétrica por conversão fotovoltaica em bairros da cidade de Porto Alegre. Para tal foi estimada a área das coberturas e aplicados fatores de utilização e de orientação. Foi realizado também um estudo da irradiação considerando o sobreamento de edificações sobre as outras ao longo de um ano, para uma amostra de edificações de cada bairro, utilizando o software Revit.

Os resultados obtidos utilizando a metodologia apresentada indicaram capacidade de geração anual de 842,0 GWh na área analisada. Com o fator de utilização de 70% o potencial teórico de geração anual é limitado em 589,4 GWh. Este valor teria impacto de 20% na demanda total e 46% da demanda residencial de Porto Alegre. No entanto para melhor avaliação, sugere-se para estudos futuros, levantamento de dados de consumo reais e análises da viabilidade econômica

#### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq.

#### REFERÊNCIAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2018. Geração Distribuída. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 27 de Novembro de 2019
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2020. Matriz de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2020.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2020. Geração Distribuída. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD\\_Estadual.asp](http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Estadual.asp)>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2020.
- Back, C. A. ; Silva, F.J.L ; Catani, F. ; Lina, G.G. ; Coimbra, I. L. ; Amarante O. A. C. ; Andrade P. E. P. ; Freitas, R. M. ; Lima Neto, V. F. C. ; Silveira, E. J. T. ; Zamberlam, M. ; Moehlecke, A. ; Zanesco, I. ; Krenzinger, A. ; Prieb, C. W.M. ; Rossini, E. G. ; Gasparin, F. P. ; Haag, R. ; Aymani, J. ; Brower, M. ; Vidal, J. . Atlas Solar Rio Grande do Sul. 01. ed. Porto Alegre: SMERS, 2018. v. 01. 144p .
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018 – ano base 2017. Rio de Janeiro 2018.
- Freitas, S.; Catita, C.; Redweik, P.; Brito, M.C. Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review. *Renew. Sustain. Energy*, 915–931, (2015).
- Melius, J., Margolis, R., Ong, S., 2013. Estimating rooftop suitability for PV: A Review of Methods, Patents, and Validation Techniques. Technical Report NREL/TP-6A20-60593Petter, A.W.; Rodrigues, L.J. Perfil do mercado de energia solar voltaica no Rio Grande do Sul. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado, 2018
- Rampinelli, G. A.; Scardueli, C. Desenvolvimento de Metodologia para Mapeamento da Estimativa de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos em Áreas Urbanas. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 106-124, (2016) 4.
- Rodriguez, L.R., et al. Assessment of the photovoltaic potential at urban level based on 3D city models: A case study and new methodological approach, *Solar Energy*, 146 (2017), pp. 264-275

TORRES, R. G. Desenvolvimento de metodologia para avaliação do potencial de utilização de sistemas de energia solar fotovoltaica em meios urbanos. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

**ESTIMATIVE OF RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC GENERATION POTENTIAL  
FOR PORTO ALEGRE NEIGHBORHOODS.**

***Abstract.** This paper presents a survey of the theoretical capacity of photovoltaic generation in Porto Alegre neighborhoods selected by family income criteria. For the study, the roof area of a fraction of each neighborhood was estimated with the Google Earth software and the average value of these areas was attributed to each neighborhood. Subsequently, the number of buildings was surveyed and classified into five roof typologies by visual inspection of Google Maps Street View images. With this information the approximate area of the roofs of buildings was found. To estimate the area available for installation it was applied a reduction due to the orientation of the roofs, in addition a factor of 70% to consider the use of roof areas. With this study is possible to conclude that the distributed generation capacity of energy FV have the potential to attend 46% of the residential demand of the city.*

***Keywords:** Distributed generation, Photovoltaic systems, Potential urban solar.*