

## Desenvolvimento de Metodologia para Mapeamento da Estimativa de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos em Áreas Urbanas<sup>1</sup>

Giuliano Arns Rampinelli<sup>2</sup>, Caio Scardueli<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Aceito para Publicação no 1º Trimestre de 2016

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, giuliano.rampinelli@ufsc.br,  
caio\_scardueli@hotmail.com.

**Resumo:** O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para estimar o potencial de geração distribuída com sistemas fotovoltaicos utilizando as áreas de coberturas e telhados de edificações existentes. A metodologia desenvolvida também foi aplicada em duas regiões distintas da cidade de Araranguá, Santa Catarina. Primeiramente foram realizadas estimativas das áreas em potencial através do uso dos softwares *Google Earth* e *Google Street View*. Em um segundo momento foi realizada a classificação das coberturas e telhados quanto ao seu ângulo de inclinação e orientação azimutal e definidos critérios para utilização destas áreas urbanas. Para a simulação do desempenho dos sistemas fotovoltaicos foi utilizado o software *RETScreen*. A partir dos critérios estabelecidos para utilização das áreas urbanas e simulação dos sistemas fotovoltaicos, pode-se concluir que a geração distribuída é capaz de suprir a demanda de energia das edificações em uma dada região.

**Palavras chave:** Energia solar, sistemas fotovoltaicos, geração distribuída.

## **Development of Methodology for Mapping of Distributed Generation Using Photovoltaic Systems in Urban Areas**

**Abstract:** This paper presents a methodology to estimate the potential of distributed generation with buildings integrated photovoltaic systems. The methodology was applied in two different areas of the city of Araranguá, Santa Catarina. Google Earth and Google Street View were used to map urban areas. In a second moment, the areas of buildings were classified according to their inclination and orientation. Finally, we define rules for occupation of the area available and simulations were performed with Retscreen software. From the results obtained, it can be concluded that the distributed generation with photovoltaic systems has great potential to meet the energy demand.

**Keyword:** Solar energy, photovoltaic systems, distributed generation.

### **1. INTRODUÇÃO**

O panorama atual indica que as fontes de energias renováveis tendem a assumir um papel importante e considerável na matriz energética mundial. Utilizar-se da conversão direta da energia solar, apresenta-se como uma importante alternativa técnica e econômica. A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre através de um fenômeno denominado de efeito fotovoltaico que ocorre particularmente em semicondutores, sendo chamada de geração solar fotovoltaica (ANEEL, 2005).

Os sistemas fotovoltaicos de maneira geral apresentam duas configurações distintas: sistemas instalados de forma integrada à edificação (no telhado ou fachada) ou sistemas instalados de forma centralizada, como em uma usina geradora convencional (SALAMONI, 2004).

Nos sistemas fotovoltaicos integrados à edificação os geradores fotovoltaicos são dimensionados para atender toda ou parte da demanda. A geração de energia elétrica ocorre em corrente contínua sendo necessário a presença de um inversor para transformar a energia elétrica em corrente alternada. Outra característica presente no sistema é o fornecimento de energia elétrica em conjunto com a rede de distribuição

existente, ou seja, quando a geração do sistema fotovoltaico for menor que a demanda, a rede irá fornecer energia elétrica para a edificação, quando a geração for maior que a demanda, o excedente será injetado na rede, gerando créditos ao consumidor junto a distribuidora de energia elétrica (CÂMARA, 2011). O funcionamento deste modelo de compensação é normatizado conforme a Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012 que entrou em vigor em 17 de Abril (ANEEL,2015).

A geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico é influenciada por variáveis meteorológicas como: radiação solar e temperatura do ambiente, estes fatores são decorrentes das condições atmosféricas, da latitude local e a posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Outra questão que influencia na geração do sistema fotovoltaico é a geometria e aceitabilidade da envolvente urbana, já que em áreas com desenvolvimento urbano mais acentuado as coberturas planas de edifícios podem facilitar a integração dos módulos, por outro lado, perdas devido ao sombreamento, impossibilidade de ocupação total e utilização não otimizadas da inclinação e direção, são mais acentuadas (PEREIRA,2009).

Desse modo, para maximizar o aproveitamento da radiação solar, deve-se ajustar a posição do módulo fotovoltaico de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia. O módulo deverá ser inclinado para o lado oposto ao hemisfério de onde ele se encontra e o seu ângulo de inclinação deve ser estabelecido em função da latitude onde está localizado (SILVA, 2013). Desta forma é possível realizar diferentes abordagens quanto ao cálculo de estimativa de potencial de geração fotovoltaica.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

No trabalho realizado por Torres (2012) é possível verificar a influência da área e o ângulo de inclinação do telhado no dimensionamento fotovoltaico. No trabalho em questão foi considerado que os módulos fotovoltaicos seriam instalados em edificações hipotéticas com área construída de 200m<sup>2</sup>. Também se considera que os telhados são do tipo quatro águas e com inclinação de 30°. Determinou-se que os módulos seriam instalados apenas na área voltada para o norte geográfico e não utilizaria toda a área disponível, devido a perdas quanto ao espaçamento entre os módulos e o não uso das bordas, assim a área útil considerada foi de 50m<sup>2</sup>. Também foi estabelecido que os

módulos teriam a inclinação do próprio telhado. Para as simulações foram utilizados os programas *Radiasol 2* para a obtenção de dados referentes a radiação solar e o *PVsyst*.

No trabalho de Cellura e Orioli (2013), foi apresentado um estudo considerando o potencial das coberturas já construídas na cidade de Palermo, na Itália. Utilizou-se o *Google Earth* e o *Google Street View* para classificação das coberturas e identificação do número de pavimentos das edificações, já que a arquitetura histórica da cidade apresenta coberturas nas aberturas e varandas, que também podem ser utilizadas como base para módulos fotovoltaicos. Para o cálculo energético foi utilizado o programa *PVsyst*. A configuração utilizada para a simulação apresenta, a própria inclinação e orientação dos telhados inclinados e orientação Sul com inclinação de 30° para os planos. Também foram consideradas perdas quanto ao sombreamento, considerando a redução de 0 %, 5 % e 10 % da energia produzida.

Outro trabalho que considerou parâmetros hipotéticos para o cálculo do potencial fotovoltaico foi realizado por Gaviria, Pereira e Mizgier (2013). Primeiramente foi estabelecida uma área quadrada de 100m x 100m, representando uma porção de uma cidade onde foram inseridas 25 edificações uniformemente espaçadas entre si. Cada modelo possuía 35.965,62 m<sup>2</sup> de área total e fixa construída, com três porcentagens diferentes de ocupação 40 %, 30 % e 20 %. Para as simulações foi utilizado o software *Rhinoceros* junto com o *Plug-in DIVA 2.0* para a avaliação dos nodos, localizados nas superfícies a serem analisadas. Através da densidade destes nodos foi possível avaliar o potencial de energia solar disponível nas coberturas em kWh/m<sup>2</sup>. Quanto as perdas, adotou-se 40% como limite mínimo de radiação solar disponível para aproveitamento fotovoltaico. Também foram delimitadas três faixas de uso potencial devido aos espaçamentos entre os módulos e as aberturas das edificações, 25 %, 50 % e 75 % da área total disponível.

Outra forma de análise do potencial de geração de sistemas fotovoltaicos é encontrada em Miranda (2013), que utiliza dados sociais e de ocupação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para definir seus parâmetros para todo o Brasil. Foi considerado dois tomadores de decisão, uma pessoa física (caso normal) e uma distribuidora de energia elétrica (caso social).

O grupo normal incluiu os domicílios com faixa de renda maior ou igual a dois salários mínimos. O grupo social abordou todos domicílios com até dois salários mínimos que poderiam aderir a chamada tarifa social de energia elétrica, sendo que para

este nicho foi considerado que todas as residências eram casas. Foram então apresentados três métodos de cálculo de área das coberturas em potencial para a instalação fotovoltaica.

O primeiro método utilizou um estudo brasileiro com o objetivo de estimar a potência de economia de água através da captação da chuva, onde foram estimados 80 m<sup>2</sup> de telhado para casas e 15 m<sup>2</sup> para apartamentos. O número de casas e apartamentos considerado foi obtido através de dados do IBGE e este número então foi multiplicado pela área, em m<sup>2</sup>, de cada tipo de domicílio.

A segunda metodologia de cálculo foi similar ao primeiro método. A exceção para o segundo caso deu-se pela exclusão de todos os domicílios onde a faixa de renda domiciliar mensal era de até 2 salários mínimos. Este corte foi escolhido devido à baixa probabilidade de domicílios, com tais padrões de renda, optarem por instalar painéis fotovoltaicos em seus telhados. A partir dos dados disponíveis no IBGE, não foi possível obter quais desses domicílios eram do tipo casa ou apartamento. Dessa forma, optou-se por considerar que as residências retiradas do cálculo seriam todos do tipo casa e, portanto, o corte teria influência apenas sobre o número total de domicílios desse tipo.

A terceira metodologia utiliza os dados das metodologias anteriores como primeira estimativa e realiza o refinamento das áreas disponíveis através de coeficientes. Estes coeficientes levavam em consideração fatores como orientação das coberturas, outras funcionalidades como, caixas d'água e antenas e também perdas por conta de sombreamento.

Com uma maior exatidão no que se refere a perdas quanto ao sombreamento, Pereira (2009) tratou de dois tipos de metodologias. A primeira abordagem adotou um modelo que calcula a radiação solar global sobre uma superfície de um sistema genérico através de modelagem matemática.

A segunda metodologia considerou os efeitos urbanos, como o sombreamento causado pelos edifícios. Para tal foram utilizados modelos de análise espacial e tridimensional, suportados por sistemas de informação geográfica. O programa que foi utilizado para a modelagem em um ambiente urbano foi o *ArcGIS* que é um conjunto de programas informáticos que constitui um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Através de uma série de refinamentos, obtém-se uma representação geográfica utilizando várias pequenas células que podem ser comparadas com os ângulos entre a normal da

célula sujeita a análise e o ponto mais alto do obstáculo com o ângulo de incidência solar e assim estimar se esta região está ou não sombreada.

Lange (2012) utilizou Modelos Digitais de Terreno (DTM), através do programa *ArcGIS*, juntamente com dados de radiação solar do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o IBGE para estimar a radiação solar incidente sobre as coberturas no Brasil. Foi utilizado 80 m<sup>2</sup> de área para cada casa comum, 20 m<sup>2</sup> para apartamentos e 35 m<sup>2</sup> para cada casa classificada como “sub-normal”, que foi definido pelo IBGE como um conjunto constituído de no mínimo 51 unidades habitacionais carentes. A área de telhados aproveitável foi multiplicada pelo valor da radiação solar por metro quadrado de cada setor para obter a energia solar total, e também por uma taxa de aproveitamento utilizando dois cenários, otimista de 0,9 e conservador de 0,3.

Salamoni (2004) também tratou do assunto de estimativa de potencial de geração distribuída, mas considerando outro método de estimativa de perdas quanto ao sombreamento. Inicialmente são considerados dois setores da cidade de Florianópolis/SC e três de Belo Horizonte/MG. Através do software *Lightscape*, utilizando os setores das cidades como amostras, foram criadas maquetes eletrônicas das coberturas das edificações e simuladas as projeções de sombra. Assim, foi verificado o caminho percorrido pela sombra nas datas correspondentes aos três períodos marcados pela inclinação solar durante o ano, que são os solstícios e equinócios. Em cada mês foi escolhido o pior dia e o estudo foi realizado considerando três horários (9h00, 12h00 e 15h00). Após simular as projeções para cada período foi calculada uma média anual, em metros quadrados, de sombra nas coberturas de cada setor. Para obter a média anual da área sombreada para cada orientação foi verificada uma relação entre área total de sombra e área da edificação. Este valor foi multiplicado pela média de área de cada orientação. Com base nestes dados foram obtidas as áreas úteis para a implantação do sistema fotovoltaico.

Por fim, Silva (2013) apresentou uma metodologia utilizando dados fornecidos por ferramentas de sensoriamento remoto, especialmente o *Light Detection And Ranging* (LIDAR). A aquisição de dados foi feita por uma aeronave que sobrevoava uma região, enquanto o equipamento efetuava uma varredura no chão em direção perpendicular à direção do voo. A análise foi feita através da medida do tempo de ida e retorno de um pulso, sabendo a velocidade da onda eletromagnética, foi possível determinar a distância entre os pontos através da intensidade do sinal refletido e o tempo de

ida/retorno do pulso, e assim mapear o local. Uma série de *softwares* foi utilizada afim de filtrar os dados coletados e sobrepor as imagens com os valores de radiação solar disponibilizados pelo software *Radiasol 2*, e assim, obter uma estimativa da real capacidade de geração fotovoltaica das coberturas.

Desta forma fica evidente a variedade de metodologias e os diferentes níveis de complexidade e precisão que cada uma possui. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para estimar e mapear o potencial de geração distribuída com sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desenvolvida no presente trabalho pode ser replicada em qualquer região, entretanto, para validação e aplicação foram escolhidas duas áreas, da cidade de Araranguá, denominadas Região 1 e Região 2 (Figura 1).

A Região 1 caracteriza-se por não estar localizada na região central da cidade e por tanto apresentar predominância de residências do tipo casa e terrenos sem nenhuma construção. A Região 2 está localizada na região central e apresenta uma maior quantidade de edifícios e também uma maior taxa de ocupação.



Figura 1 – Vista superior da localização das regiões na cidade de Araranguá. Fonte: Google Earth (2015).

#### 2.1 Determinação das áreas de cobertura das edificações

A determinação do potencial de geração distribuída com sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas se baseia na área disponível para a inserção dos módulos fotovoltaicos e demais equipamentos periféricos do sistema. É necessário estimar a área de cobertura das edificações disponíveis para a instalação de sistemas fotovoltaicos. Para dimensionar aproximadamente as áreas de coberturas das edificações e a área total de estudo é utilizada a ferramenta “régua” do *Google Earth* (Figura 2). É importante destacar a metodologia deve estimar o potencial de geração distribuída com sistemas fotovoltaicos em grandes áreas de centros urbanos.

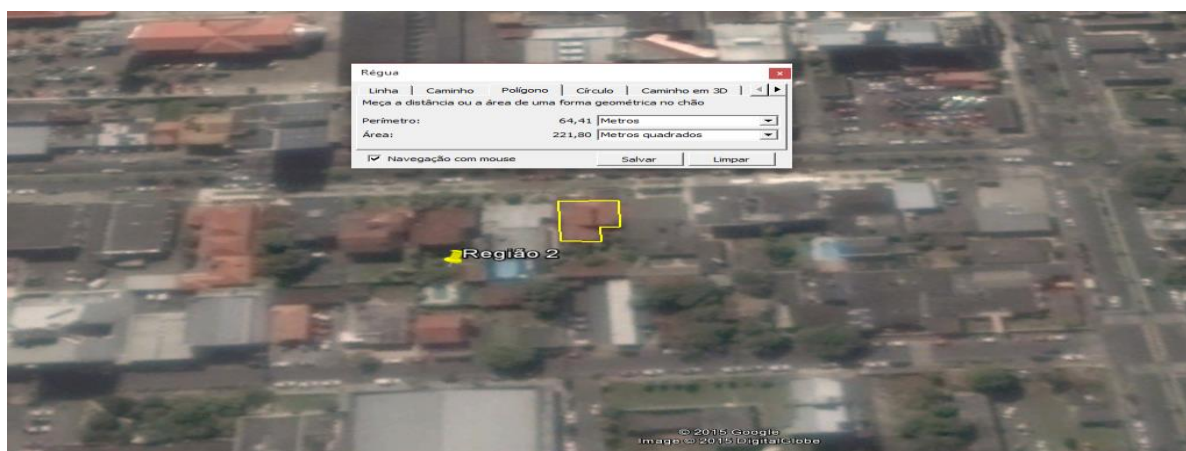


Figura 2 – Dimensões da área de cobertura de cada edificação na Região 2. Fonte: Google Earth (2015).

## 2.2 Classificação das coberturas

A metodologia desenvolvida neste trabalho utiliza preferencialmente ferramentas e softwares disponíveis gratuitamente. O próximo passo é realizar uma classificação das coberturas das edificações quanto à inclinação e orientação azimutal dos telhados. Para a classificação das coberturas foram utilizados os softwares *Google Earth* e *Google Street View*. Em relação à inclinação dos telhados foram utilizados cinco modelos básicos denominados por: Inclinado A, Inclinado B, Inclinado C, Inclinado D e Plano (Figura 3). Utiliza-se o modelo que mais se aproxima com a cobertura apresentada pela edificação.

Para identificação da orientação azimutal do telhado considerou-se como referência os polos geográficos e assim determinou-se, aproximadamente, qual percentual da cobertura está voltado para as direções Norte, Sul, Leste e Oeste. Este



tipo de classificação só ocorre para os telhados do tipo Inclinado, uma vez que os telhados do tipo Plano não possuem variação quanto a orientação azimuthal.

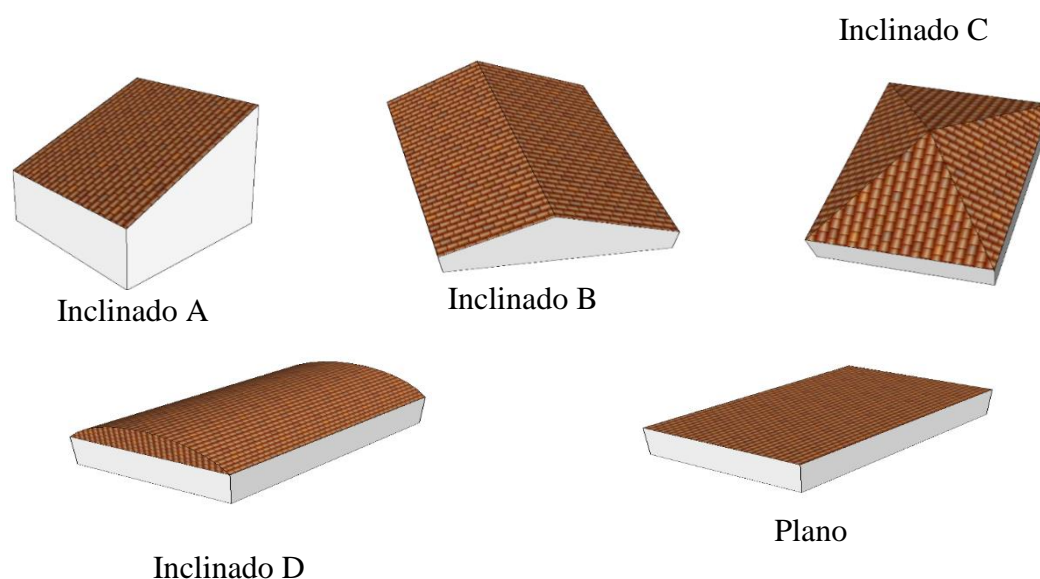


Figura 3 – Classificação das inclinações das coberturas (AUTOR,2015).

A área disponível em cada orientação azimuthal é estimada a partir do produto entre a área total de cada telhado e o percentual que cada orientação azimuthal representa do mesmo. Quando a cobertura não está exatamente voltada para as direções utilizadas, considerou-se a direção mais próxima.

### 2.3 Taxa de ocupação das coberturas das edificações

A próxima etapa foi estabelecer e determinar a taxa de ocupação disponível da cobertura do telhado. Para o estudo dos telhados do tipo Inclinado foram utilizadas as taxas de ocupação de 60 %, 70 % e 80 % da área disponível. Quanto ao telhado do tipo Plano, foram utilizadas as taxas de ocupação de 40 %, 50 % e 60 % da área disponível. Usa-se um percentual menor que os telhados do tipo Inclinado devido a necessidade da instalação de estruturas auxiliares que ajustam a orientação e inclinação dos módulos a fim de otimizar a geração de energia.

As perdas quanto ao sombreamento não foram consideradas neste trabalho já que em alguns casos, como o que ocorre na cidade de Araranguá, a envoltória urbana não apresenta grandes estruturas que podem ocasionar uma perda significativa devido este

fator. Também pelo fato que o sombreamento é mais intenso nos períodos de amanhecer e pôr do sol, o que também coincide com os períodos de menor geração do sistema fotovoltaico.

## 2.4 *Simulações dos sistemas fotovoltaicos*

O passo seguinte foi estimar o potencial de geração de energia elétrica a partir das considerações e critérios apresentados nas etapas descritas anteriormente. A estimativa de geração de energia elétrica pode ser realizada a partir de métodos analíticos ou métodos numéricos. Neste trabalho optou-se por utilizar um software gratuito denominado *RETScreen Software Suite*. Considera-se o uso das áreas finais disponíveis, após a aplicação de todas as reduções mencionadas anteriormente.

O software tem um banco de dados que apresenta diversas tecnologias e fabricantes de módulos fotovoltaicos. Para realizar as simulações deste trabalho foi escolhido o módulo fotovoltaico Yingli Solar Panda- YL265C-30b de tecnologia de silício monocristalino. O módulo fotovoltaico tem potência nominal de 265 W<sub>P</sub>, eficiência de 16,2% e área de 1,63 m<sup>2</sup>.

Quanto aos inversores, o software não apresenta uma biblioteca, ele apenas permite que o usuário entre com os dados como eficiência, potência nominal (kW) e perdas diversas. Para este trabalho utilizou-se como base o inversor *SMA Sunny Boy SB 4000TL*, que tem eficiência de 97 % e potência nominal de 5 kW. As perdas diversas consideradas foram de 1%.

Quanto a configuração dos módulos fotovoltaicos foi escolhida como inclinação a angulação de 20° para todas as configurações de cobertura, tanto os Inclinações quanto os Planos. Este valor se aproxima da inclinação comumente encontrada nos telhados das edificações. Caso a inclinação ótima para a região não seja próxima de 20°, pode-se realizar a simulação para os telhados do tipo Plano usando outro valor para o ângulo de inclinação.

Nos telhados do tipo Inclinado, a orientação (azimute) utilizada é a mesma já presente na edificação. Nas coberturas do tipo Plano, as simulações foram realizadas com módulos fotovoltaico orientados para o Norte, já que esta é a direção que otimiza a geração de energia nos países do Hemisfério Sul.

## 2.5 Estimativa da demanda de energia das edificações

Primeiramente foi necessário identificar, utilizando o software *Google Street View*, as possíveis unidades consumidoras em cada região amostral de estudo. Considerou-se que cada residência e sala comercial representava uma unidade consumidora. Também foi necessário identificar o número de pisos que cada edificação possuía. Para este estudo foi considerado que cada piso apresentava quatro unidades consumidoras em média.

Por fim, utiliza-se alguma fonte de dados referente ao consumo médio das unidades consumidoras da região em questão para que assim seja estimada a demanda. Como fonte de dados de consumo médio para a cidade de Araranguá foi utilizado os dados de Sebrae (2013) que apresenta os números da cidade para vários quesitos, inclusive no que se refere ao número de unidades consumidoras da cidade. A Tabela 1 apresenta informações sobre a demanda de energia.

Tabela 1 – Número de consumidores e demanda de energia elétrica, segundo tipologia da unidade consumidora de Araranguá, em 2010.

<b>Tipo de Consumidor</b>	<b>Número de Unidades Consumidoras</b>	<b>Consumo Total (MWh)</b>
Residencial	18.422	38.009,89
Industrial	1.038	15.464,82
Comercial	2.355	22.980,04
Rural	2.413	18.579,46
Poderes Públicos	161	2.921,38
Iluminação Pública	1	3.826,46
Serviço Público	9	1.022,66
Consumidor Próprio	3	88,227
Revenda	...	...
Total	24.402	102.892,94

Fonte: SEBRAE, 2013 *apud* CELESC, 2010.

Considerou-se que o número de unidades consumidoras do estudo era formado apenas pelas tipologias Residencial e Comercial. Tomando como base os valores da Tabela 1, o consumo médio anual por unidade do tipo Residencial é de 2,06 MWh e do tipo Comercial é de 9,75 MWh.

Se for tomado como base apenas os consumidores residenciais e comerciais apresentados pela Tabela 1, tem-se um total de 20.777 unidades consumidoras sendo que 88,6% das unidades são do tipo Residencial e 11,3% são unidades consumidoras do tipo Comercial. A representação das unidades consumidoras é importante para estabelecer a mesma proporção de representatividade nas regiões amostrais que são utilizadas como referência neste trabalho.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Região 1 apresentou um total de 8.698,27 m<sup>2</sup> de área de cobertura, sendo que a área total aproximada da região é de 26.166 m<sup>2</sup> resultando em uma ocupação de 33,24 %. A Região 2 apresentou uma área total de cobertura de 8.634 m<sup>2</sup> em uma região com aproximadamente 18.500 m<sup>2</sup>, totalizando uma ocupação de 46,67 %.

A Região 2 tem um número maior de edificações verticais já que apresenta predominância de telhados do tipo Plano, que são característicos destas edificações. Tal informação pode ser comprovada através da Tabela 2 onde se encontra a área disponível, sem reduções, para cada direção e a representatividade quanto a área total das coberturas.

Tabela 2 – Área disponível em cada direção, sem reduções, e sua representatividade da área total de cobertura.

<b>Direção (Azimute)</b>	<b>Áreas (m<sup>2</sup>)</b>		<b>Representatividade</b>	
	<b>Região 01</b>	<b>Região 02</b>	<b>Região 01</b>	<b>Região 02</b>
Norte	1.612,44	796,00	18,54%	9,22%
Oeste	484,50	454,70	5,57%	5,27%
Leste	950,84	1.166,50	10,93%	13,51%
Plano	4.233,00	4.969,00	48,66%	57,55%
Sul	1.417,49	1.247,80	16,30%	14,45%
Total	8.698,27	8.634,00	100%	100%

Fonte: Autor, 2015.

As Tabelas 3 e 4 apresentam a área disponível de cobertura após as devidas reduções para cada região de estudo. Esta é área que foi utilizada como referência nas simulações do potencial de geração fotovoltaica. Nota-se uma diferença considerável na disponibilidade de área nas diferentes direções, apresentando predominância do Norte e Sul na Região 1 e do Sul e Leste na Região 2

Tabela 3 – Área disponível em cada direção com as devidas reduções para a Região 1.

Direção (Azimute)			Norte (m <sup>2</sup> )	Sul (m <sup>2</sup> )	Leste (m <sup>2</sup> )	Oeste (m <sup>2</sup> )
Área de Ocupação	60%	Inclinados	967,46	850,49	570,50	290,7
	70%		1128,70	992,24	665,58	339,15
	80%		1289,95	1133,99	760,67	387,6
	40%	Planos	1693,2			
	50%		2116,5			
	60%		2539,8			

Fonte: Autor,2015.

Tabela 4 – Área disponível em cada direção com as devidas reduções para a Região 2

Direção (Azimute)			Norte (m <sup>2</sup> )	Sul (m <sup>2</sup> )	Leste (m <sup>2</sup> )	Oeste (m <sup>2</sup> )
Área de Ocupação	60%	Inclinados	477,6	748,68	699,9	272,82
	70%		557,2	873,46	816,55	318,29
	80%		636,8	998,24	933,2	363,76
	40%	Planos	1987,6			
	50%		2484,5			
	60%		2981,4			

Fonte: Autor,2015.

A Tabela 5 apresenta o número de módulos fotovoltaicos utilizados para a simulação em cada configuração. O número de módulos fotovoltaicos é determinado a partir da razão entre área disponível em cada direção e área do módulo escolhido para a simulação dos sistemas fotovoltaicos (1,63m<sup>2</sup>).

Tabela 5 – Número de módulos utilizados na simulação.

		Região 1				Região 2				
		Direção (Azimute)	Norte	Sul	Leste	Oeste	Norte	Sul	Leste	Oeste
Nº de Módulos	60%	Inclinados	594	522	350	178	293	459	429	167
	70%		692	609	408	208	342	536	501	195
	80%		791	696	467	238	391	612	573	223
	40%	Planos	1039				1219			
	50%		1298				1524			
	60%		1558				1829			

Fonte: Autor,2015.

As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados da geração de energia elétrica obtidos a partir das simulações dos sistemas fotovoltaico em diferentes configurações para os telhados do tipo Inclinado para as Regiões 1 e 2, respectivamente. É possível perceber que na Região 1 os telhados do tipo Inclinado possuem maior geração de energia elétrica em comparação a Região 2. Isto ocorre devido a maior predominância de edificações do tipo casa na Região 1.

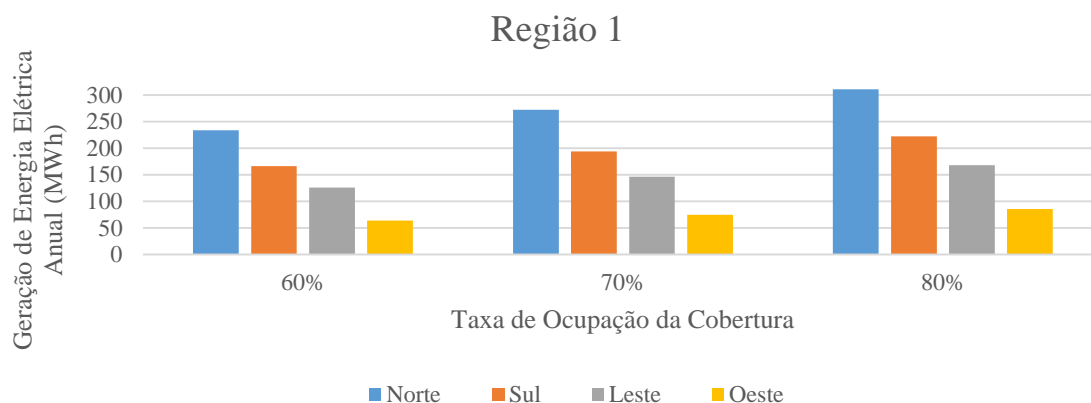


Figura 4 – Geração de energia elétrica com diferentes taxas de ocupação das coberturas do tipo Inclinado para a Região 1 (AUTOR, 2015).

Pode-se verificar que na Região 2 os telhados direcionados para o Norte não apresentam a maior geração de energia elétrica. Este fato é decorrente da diferença entre a área de cobertura voltada para o Norte e a área de cobertura voltada para o Leste e Sul, que são as direções predominantes nesta região apresentando maior área de cobertura disponível.

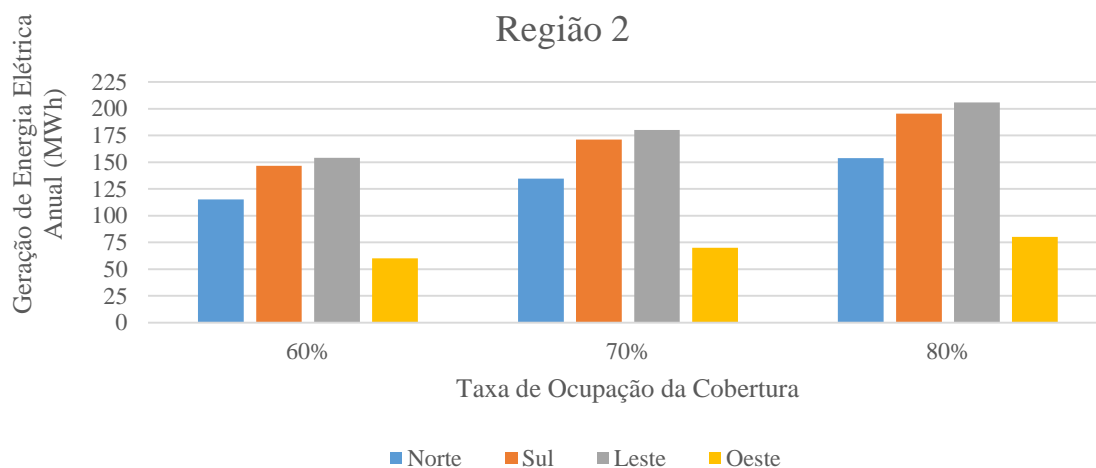


Figura 5 – Geração de energia elétrica com diferentes taxas de ocupação das coberturas do tipo Inclinado para a Região 2 (AUTOR, 2015).

Os resultados da simulação de geração de energia elétrica para as coberturas do tipo Plano são apresentados na Figura 6. Nota-se que os patamares de geração de energia elétrica são maiores do que os valores apresentados pelas coberturas do tipo Inclinado, uma vez que as áreas disponíveis são maiores. Os centros urbanos densamente povoados se caracterizam por apresentarem edificações verticais onde há predominância de telhados planos.

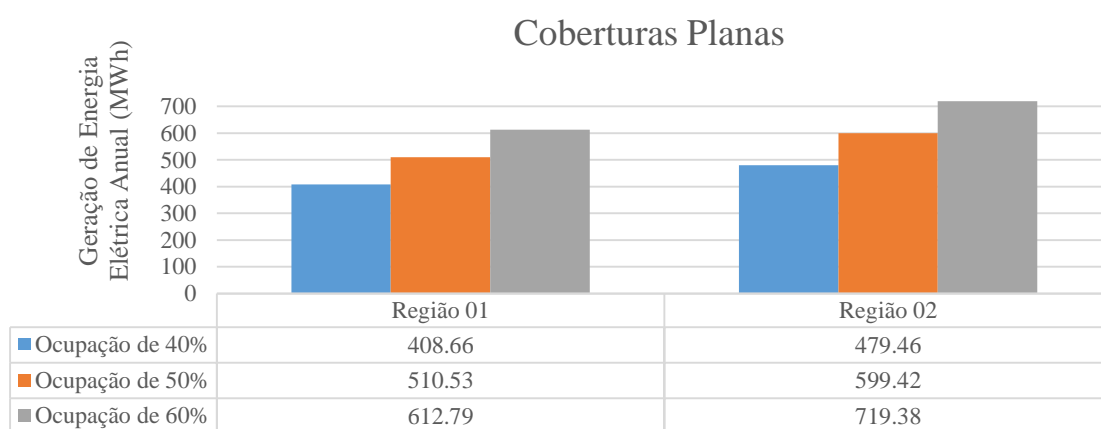


Figura 6 – Geração de energia elétrica com diferentes ocupações das coberturas do tipo Plano para as Regiões 1 e 2 (AUTOR, 2015).

Na Figura 7 são apresentados os valores de geração de energia elétrica de todas as possíveis combinações dos tipos de coberturas e taxas de ocupação que foram adotadas no estudo. É perceptível que o aumento da taxa de ocupação nas coberturas do tipo Plano causa os maiores impactos na geração de energia elétrica.

Na combinação de ocupação de 60% nos telhados Inclínados e 60% nos telhados Planos, as Regiões 1 e 2 praticamente se equivalem. Os valores se aproximam, uma vez que ocorre a maximização da área ocupada nas coberturas Planas já que a Região 2 possui maior representatividade destas áreas. A diferença entre as regiões só não é maior pois a Região 1 possui 18,54% de suas coberturas Inclínadas voltadas para o Norte, enquanto que a Região 2 apresenta apenas 9,22%. O que minimiza a superioridade de coberturas Planas na Região 2.

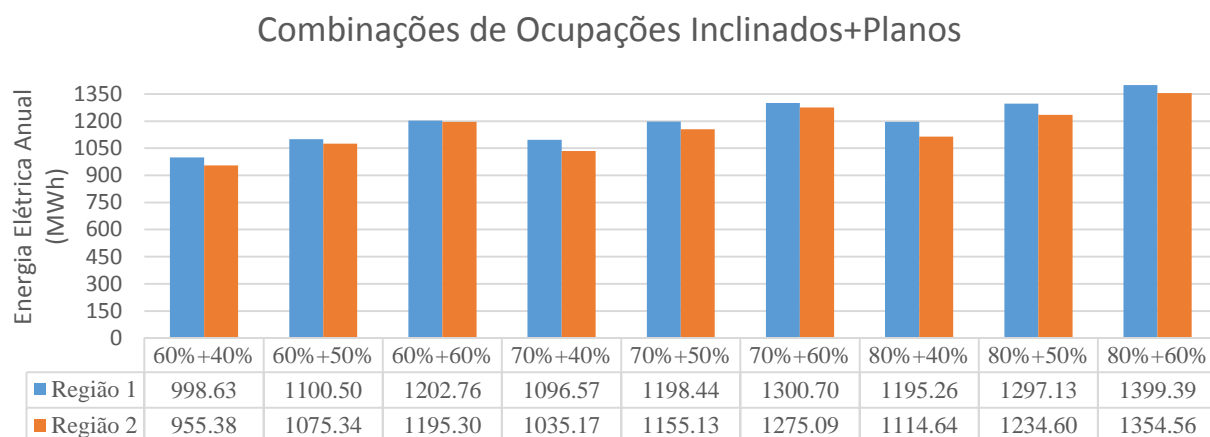


Figura 7 – Geração de energia elétrica anual considerando as diferentes taxas de ocupação das coberturas para as Regiões 1 e 2 (AUTOR, 2015).

A Tabela 6 apresenta os resultados de geração de energia elétrica por unidade de área de cobertura disponível e o Fator de Capacidade para cada direção. Pode-se observar a maior produção das coberturas voltadas para o Norte e a menor das voltadas para o Sul.

Tabela 6—Geração de energia elétrica por unidade de área de cobertura e Fator de Capacidade em cada orientação azimutal.

Ocupação		Produção Elétrica (MWh/ano.m²)				Fator de Capacidade (%)					
Inclinada	Plano	Norte	Sul	Leste	Oeste	Plano	Norte	Sul	Leste	Oeste	Plano
60%		0,145	0,117	0,132	0,132		16,90	13,70	15,50	15,50	
70%		0,169	0,137	0,154	0,154		16,90	13,70	15,50	15,50	
80%		0,193	0,156	0,176	0,176		16,90	13,70	15,50	15,50	
	40%					0,096					16,90
	50%					0,120					16,90
	60%					0,145					16,90

Fonte: Autor, 2015.

A Tabela 7 apresenta o número de unidades consumidoras identificadas e a demanda necessária para as regiões de estudo. É possível observar que a Região 2 apresenta um maior número de unidades consumidoras e consequentemente uma maior demanda. Tal fato se deve a localização mais central que esta região apresenta.



Tabela 7 – Demanda das regiões de estudo.

<b>Regiões de Estudo</b>	<b>Unidades Consumidoras Totais</b>	<b>Unidades Consumidoras do Tipo Residencial</b>	<b>Unidades Consumidoras do Tipo Comercial</b>	<b>Consumo Total Anual (MWh)</b>
Região 1	114	101	13	335
Região 2	152	135	17	446

Fonte: Autor, 2015.

A partir da análise da Tabela 8, fica evidenciado o potencial que a geração distribuída fotovoltaica apresenta, uma vez que o pior dos casos apresenta cerca de 2,98 vezes maior geração que a demanda para a Região 1 e 2,14 vezes para a Região 2. Tais valores são resultados da simples divisão da geração elétrica de cada combinação possível, de cada região do estudo, pela sua demanda estimada.

Tabela 8 – Razão entre a geração e a demanda estimada das regiões de estudo.

<b>Combinações Inclinados+Planos</b>	<b>Razão Entre a Geração e a Demanda</b>	
	<b>Região 1</b>	<b>Região 2</b>
60%+40%	2,98	2,14
60%+50%	3,29	2,41
60%+60%	3,59	2,68
70%+40%	3,28	2,32
70%+50%	3,58	2,59
70%+60%	3,89	2,86
80%+40%	3,57	2,50
80%+50%	3,88	2,77
80%+60%	4,18	3,04

Fonte: Autor, 2015.

Tais resultados condizem com o trabalho apresentado por EPE, 2014. Neste estudo estima-se que o potencial de geração para Santa Catarina é cerca de 1,91 vezes maior que a demanda do tipo residencial. Logo, o potencial apresentado pelas regiões comprova a viabilidade energética do uso de tal tecnologia nestes locais e também que a metodologia adotada produz resultados condizentes.

## 4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que é possível aplicar a metodologia desenvolvida e alcançar resultados satisfatórios quanto a estimativa do potencial de geração distribuída utilizando sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas. Como consequência da aplicação de tal metodologia também foi possível concluir que as Regiões 1 e 2, na cidade de Araranguá-SC, apresentam elevado potencial e viabilidade energética para a implementação de tal tecnologia. Entretanto, para que se tenha uma melhor avaliação, pode ser objetivo de pesquisa em trabalhos posteriores, um estudo de viabilidade econômica de acordo com a tarifa de energia elétrica apresentada pela concessionária de distribuição local, bem como, o aprimoramento das perdas relacionadas ao sombreamento, que não foram consideradas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005. 243 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Geração Distribuída**; Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=757>>.

CÂMARA, Carlos Fernando. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CELLURA, Maurizio; ORIOLI, Aldo. Assessment of Energy and Economic Effectiveness of Photovoltaic Systems Operating in a Dense Urban Context. **Journal Of Sustainable Development Of Energy, Water And Environment Systems**, Palermo, v. 1, n. 2, p.109-121, jun. 2013. International Centre for SustainableDevelopmentofWater.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil: Condicionantes e Impactos**. Rio de Janeiro: EPE, 2014. 64 p.

GAVIRIA, Laura Rendón; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay; MIZGIER, Martín Ordenes. Influência da Configuração Urbana na Geração Fotovoltaica com Sistemas Integrados às Fachadas. **Ambientei Construído**, v 13, n.4, p 7-23, 2013

JOÃO TAVARES PINHO (Org.). **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. 529 p.

LANGE, WolframJohannes. **Metodologia de Mapeamento da Área Potencial de Telhados de Edificações Residenciais no Brasil para Fins de Aproveitamento Energético Fotovoltaico**. Rio de Janeiro: Terragis, 2012. 35 p.

MIRANDA, Raul Figueiredo Carvalho. **Análise da Inserção de Geração Distribuída de Energia Solar Fotovoltaica no Setor Residencial Brasileiro**. 2013. 309 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PEREIRA, Márcio Filipe Coelho. **Estimativa da Produção de Sistemas Fotovoltaicos Integrados em Edifícios**. 2009. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade do Porto, Porto, 2009.

SALAMONI, Isabel Tourinho. **Metodologia Para Cálculo de Geração Fotovoltaica em Áreas Urbanas Aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte**. 2004. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Santa Catarina em Números- Araranguá**. Florianópolis: SEBRAE, 2013. 133 p.

SILVA, Karina de Souza. **Metodologia Para Análise Preliminar da Disponibilidade de Áreas Para Implantação de Painéis Solares Fotovoltaicos Com Dados Lidar**. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

TORRES, Regina Célia. **Energia Solar Fotovoltaica Como Fonte Alternativa de Geração de Energia Elétrica em Edificações Residenciais**. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.