

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS COBERTURAS DAS RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES PARA O APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR

Ísis Portolan dos Santos (1); Ricardo Rütther (2)

(1) Mestre, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, isisporto@gmail.com

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, ruther@mbox1.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721 5184

RESUMO

A energia solar fotovoltaica é um dos meios de geração alternativa de energia, que não poluem o meio ambiente e podem contribuir para a disponibilidade de energia no mundo. Outra vantagem deste sistema é a possibilidade de instalação integrada às edificações, comumente feita nas coberturas e telhados. Deste modo é possível a geração energética junto ao ponto de consumo, diminuindo os custos com as linhas de transmissão e distribuição. Este trabalho analisou as características das coberturas das residências unifamiliares existentes em um bairro de Florianópolis-SC, buscando verificar o potencial das mesmas em integrar módulos fotovoltaicos de modo que estes pudessem receber uma quantidade satisfatória de radiação solar. A análise amostral das plantas de cobertura destas edificações mostrou que estas possuem um grande potencial de aproveitamento da energia solar, muito próximo do máximo aproveitamento possível para a cidade. Isto ocorreu tanto para um sistema fotovoltaico pré-definido que ocupa uma pequena área, quanto para um sistema que ocupasse o restante da cobertura. Os fatores que favoreceram este aproveitamento foi o tipo de telha utilizado, que mantém ângulos de inclinação em que a incidência da irradiação solar é satisfatória, e também o planejamento urbano do bairro, que ao definir a orientação das ruas também condiciona a orientação dos planos de cobertura. Deste modo pode-se concluir que mesmo residências não projetadas para inclusão de sistemas de aproveitamento de energia solar, possuem um aproveitamento satisfatório da irradiação, e também que o planejamento urbano e os projetistas das residências têm um papel importante na viabilização do aproveitamento da irradiação solar pelas coberturas.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica, tecnologia da habitação, planejamento urbano

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy is an alternative way of energy generation that does not pollutes the environment, and also can contribute to the energy availability in the world. Another gain of this technology is the possibility of installation integrated in the buildings, generally on the roofs. So, it makes possible the energy generation in the consumption point, decreasing costs with the transmission and distribution grid. In this paper was done an analysis about the single-familiar residential roofs features in a Florianópolis-SC neighborhood, in order to verify the roofs potential that receive a satisfactory piece of solar radiation. The sample analysis of residential roof design shows a great solar use potential, very closer with the highest potential in the city, as to little photovoltaic systems pre-defined, as the residual roof for exclusive systems. Factor that favored this use was the tile type that conditioned the angle in that are satisfactory solar radiation, and also the neighborhood urban planning, defining the street orientation and conditioning roofs parts. Concluding, even non-designed housing to use solar energy has a good solar reclamation, and the urban planning and designers has an important function in the solar radiation use level in the roofs.

Keywords: photovoltaic solar energy, housing technology, urban planning

1. INTRODUÇÃO

A grande demanda energética da atualidade tem levado a uma grande produção da mesma, e por ser a matriz mundial baseada em combustíveis fósseis, isso tem levado à degradação ambiental que tem comprometido a sustentabilidade ambiental do planeta. Assim são necessários estudos que busquem fontes de geração alternativa que garantam o fornecimento energético sem comprometer o meio ambiente. Dentre as fontes de energia alternativa está a energia solar fotovoltaica, uma tecnologia que utiliza a radiação solar para gerar energia elétrica.

A partir de alguns materiais semi-condutores específicos são fabricadas as “células-fotovoltaicas”. Estas podem ser pequenas lâminas de blocos sólidos, ou derivados de processos de plasma sobre superfícies rígidas ou flexíveis (RÜTHER, 2000). A junção de várias células origina os módulos fotovoltaicos. A conexão dos módulos fotovoltaicos pode ser feita de modo interligado à rede convencional ou isolados, quando isolados geralmente necessitam de um sistema de armazenamento, já que durante a noite não há geração energética. Quando interligado os módulos são conectados à rede elétrica pública, assim a energia gerada por estes sistemas é imediatamente injetada na rede elétrica convencional das cidades, sendo consumida por qualquer usuário do sistema.

A geração distribuída é uma das grandes vantagens da tecnologia fotovoltaica, isso porque esta tecnologia pode ser instalada junto à própria edificação e junto ao ponto de consumo, ao contrário da energia hidráulica que necessita de uma área muito grande para geração, e que geralmente se localiza longe dos pontos de consumo. Esta geração afastada, característica no Brasil, implica em grandes infra-estruturas de transmissão e distribuição (T&D), o que fatalmente incorre em maiores custos e perdas (RÜTHER, 2004). Assim a geração fotovoltaica distribuída proporciona um custo evitado das instalações elétricas de T&D do setor elétrico brasileiro.

A opção pelos sistemas de geração distribuída faz com que os sistemas fotovoltaicos apresentem alguns benefícios para as concessionárias. Pela adição de energia à rede, redução das perdas em transmissão e, principalmente, pela postergação dos custos de expansão, já que o sistema fotovoltaico pode estar instalado e dar suporte de capacidade a um alimentador considerado crítico para o sistema (JARDIM, 2007).

Segundo RÜTHER (2004), os módulos fotovoltaicos são fabricados para serem utilizados por muito tempo e em ambientes externos, sob diversas condições climáticas; assim, são apropriados para integração à envoltória da edificação. Deste modo têm dupla função por gerar eletricidade e também por servir como elemento arquitetônico. Para que tenham melhor aplicação aos telhados, paredes ou janelas, a indústria vem desenvolvendo uma série de produtos destinados a estes fins. Entre os benefícios da integração de painéis fotovoltaicos em edificações estão a viabilidade de integração na edificação, durante a construção ou mesmo em edificações já em uso; o fornecimento de energia diretamente no local de uso, sem perdas de transmissão e distribuição; a operação silenciosa; a baixa manutenção, já que não possuem partes móveis e são projetados para permanecer sob condições climáticas diversas, e; a disponibilidade de uma fonte inesgotável de energia limpa e gratuita, mas não ininterrupta já que não gera durante a noite e tem pouca geração sob céu encoberto (JONES *et al.*, 2000).

A aplicação mais comum dos módulos fotovoltaicos é sobre os telhados das edificações, justificado por este plano ser geralmente o que recebe maior radiação solar, em comparação às fachadas. Para este fim podem ser utilizados os módulos rígidos com simples superposição à cobertura existente. Mas existem também outras tecnologias que permitem uma maior integração, por exemplo, os módulos solares fotovoltaicos fabricados diretamente sobre telhas de vidro curvas, substituindo as telhas convencionais. Há também a tecnologia de módulos flexíveis de a-Si aplicados em substrato de aço inox, que permite que estes sejam colados sobre coberturas curvas de metal ou concreto (RÜTHER, 2004).

Segundo Salamoni (2004), os setores de áreas residenciais possuem grande área disponível para instalação de painéis fotovoltaicos, sendo capazes de gerar energia além do seu consumo. Por não possuir curva de demanda com pico durante o dia, a geração fotovoltaica não contribuiria para alívio de sobrecarga da rede. Mas pela quantidade de área disponível, este setor deveria ser aproveitado como uma mini-usina, aliviando a sobrecarga em setores adjacentes.

A arquitetura residencial unifamiliar possui geralmente as melhores aplicações para sistemas fotovoltaicos integrados às edificações. Isto por que apresentam grande área de telhado e por situarem-se próximas umas às outras, todas com mesmo porte, com menor sombreamento de sua cobertura (JONES *et al.*, 2000).

Além da área de cobertura necessária, também é importante a orientação e inclinação dos telhados, onde serão instalados os módulos. O maior aproveitamento da energia solar é possibilitado aonde a inclinação de um módulo é feita em ângulo igual à latitude local e orientado ao norte (no hemisfério sul), isso é ocasionado pela inclinação do eixo terrestre em relação a órbita solar. Um estudo na Suécia

(BROGREN e GREEN, 2003) demonstra a variação que ocorre no aproveitamento da energia solar conforme o ângulo de inclinação e a orientação do painel. Outro trabalho, referindo-se a Florianópolis e Freiburg (Alemanha) também analisou a variação nos níveis de radiação recebida por um corpo conforme sua inclinação e azimute (BURGER e RÜTHER, 2006). Esse trabalho identificou que baixas latitudes são menos sensíveis a desvios de azimute, já que Florianópolis a 27°S apresentou um gráfico com menores variações que Freiburg a 48°N (Figura 1).

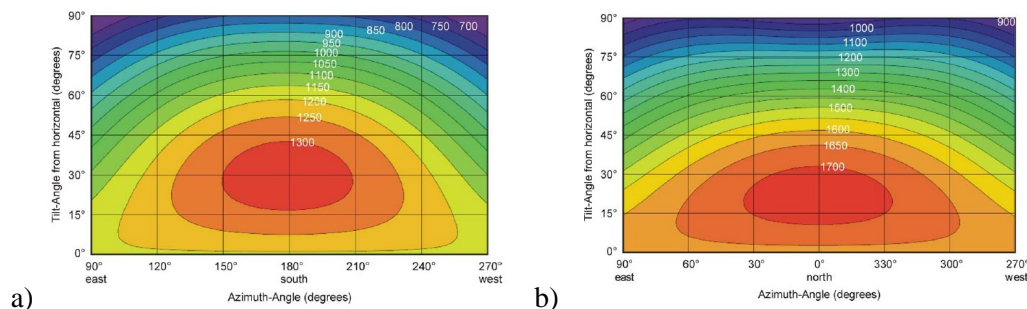


Figura 1 – Geração de energia total anual por kWp instalado de silício monocristalino, em a) Freiburg e em b) Florianópolis (Fonte: BURGUER e RÜTHER, 2006)

Assim diferentes posicionamentos dos módulos, sejam por questões técnicas ou estéticas, acarretam em perdas no potencial de geração. A análise deste artigo está focada em identificar os potenciais de geração que serão possibilitados pelas coberturas das residências já existentes em um bairro urbano.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é analisar as características (inclinação, orientação e área) dos telhados das residências unifamiliares para verificar a possibilidade de integração de módulos fotovoltaicos

3. MÉTODO

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho foi constituída de três partes:

1. Identificação das residências unifamiliares em um bairro urbano e seleção de amostra;
2. Análise amostral das coberturas das residências para verificar a possibilidade de integração de um kit fotovoltaico e o nível de irradiação solar que atinge esta cobertura;
3. Verificação do potencial de adequação das residências às necessidades dos painéis fotovoltaicos.

3.1. Identificação das residências de um bairro e seleção da amostra

Para que fosse possível estimar a quantidade de geração fotovoltaica de determinada zona urbana, foi necessário o conhecimento da área disponível para instalação de um determinado número de módulos fotovoltaicos. Como elemento para análise de área disponível foi utilizada a área ocupada pelos kits fotovoltaicos propostos por SANTOS (2009).

Para este estudo foi utilizado um bairro urbano de Florianópolis de uso misto possuindo residências, sendo todas residências unifamiliares limitadas pelo Plano Diretor Municipal, para facilitar a contagem das residências e também diminuir a influências dos sombreamentos provocados por edificações altas. Neste estudo foram consideradas somente as áreas das coberturas das residências unifamiliares isoladas, por serem os telhados destas residências os locais mais propícios à integração de sistema fotovoltaico, com menor possibilidade de sombreamento e também maior variedade para encontrar a melhor orientação e inclinação para instalação dos módulos.

A quantidade de residências existentes foi obtida através dos dados do Geoprocessamento Corporativo da Prefeitura de Florianópolis (GEO), selecionando as edificações com uso residencial unifamiliar. A partir da Secretaria Municipal de Urbanismo e Serviços Públicos (SUSP) foram obtidas as plantas de cobertura das edificações. A orientação das águas da cobertura e sua inclinação foram definidas a partir de amostra destas edificações do bairro definido. Assim sendo, estes valores de orientação e inclinação foram extrapolados para o restante do bairro, com erro e significância conhecidos.

O mapa de utilização disponível pelo site do GEO foi confrontado com a ortofoto da cidade do ano de 2007 (resolução 1:5000), assim alguns terrenos que indicavam possuir alguma edificação no cadastro, foram descobertos como sendo áreas sem construções.

3.2. Análise das amostras

Para a análise amostral foi feito o cálculo estatístico e identificado quantas plantas de cobertura deveriam ser analisadas. A partir deste número definido foram obtidas as cópias dos projetos junto ao SUSP e analisadas as características das coberturas.

Os valores de área de cobertura foram calculados manualmente sobre os projetos em papel das plantas de cobertura, tal como a metodologia utilizada por SALAMONI (2004). Como essas possuem dimensões somente da projeção da área construída, também não foi possível estimar exatamente o valor da área de cobertura disponível. E pelos erros inerentes à medição ser feita manualmente, os valores das áreas de coberturas são sempre aproximados (SALAMONI, 2004). A orientação e inclinação das coberturas também têm erros determinados referentes à amostra.

A análise da amostra englobou a área necessária para o kit e também as condições do restante da cobertura das residências. Deste modo todas as amostras tiveram suas áreas, inclinações e orientações identificadas, e posteriormente extrapoladas para o restante das residências do bairro.

3.3. Verificação do potencial de adequação das residências às necessidades dos painéis fotovoltaicos

Após a verificação das condições de instalação para os sistemas fotovoltaicos, foi estimada a geração dos mesmos e sua relação com o maior potencial possível na cidade. A variação da orientação das coberturas das residências pode então ser utilizada na estimativa de geração, já que o efeito fotovoltaico varia sua eficiência conforme a orientação do módulo. Foi considerado que cada orientação e inclinação possuem uma defasagem da geração ótima para Florianópolis, que é de desvio 0° do norte geográfico e inclinação de 27°, igual à latitude local, segundo dados do SWERA (PEREIRA et al., 2006) e do RADIASOL¹ (UFRGS, 2001). Através do programa RADIASOL foi verificada a influência da orientação e inclinação nos níveis de irradiação solar e então ponderado os valores dos potenciais de geração.

A partir disto puderam ser observadas algumas características arquitetônicas e urbanísticas que podem influir no aproveitamento da energia solar.

4. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos da metodologia utilizada.

4.1. Quantificação das residências

A zona definida para este trabalho foi o Bairro Santa Mônica, localizado na porção central da ilha de Florianópolis. A identificação do uso do solo, ocupação por residências ou comércios, foi obtida a partir do mapeamento do Geoprocessamento Corporativo da Prefeitura Municipal de Florianópolis. Na Figura 2a podem ser identificados os lotes do bairro Santa Mônica e o uso dos mesmos. Cada lote caracterizado como uso residencial foi reconhecido como sendo uma edificação residencial unifamiliar, isso porque o Plano Diretor de Florianópolis prevê para esta área somente edificações residenciais unifamiliares, e não permite residências multifamiliares, que também não são o foco deste trabalho. Para ser confirmada as informações do mapa de uso dos lotes, o mesmo foi comparado com a ortofoto do bairro (Figura 2b), onde pode ser identificado terrenos residenciais sem construção, assim foram identificadas 496 residências unifamiliares.

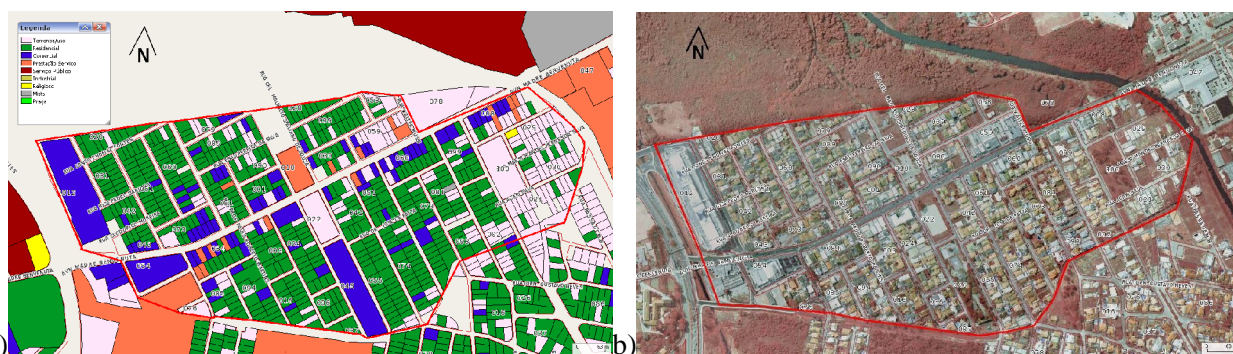


Figura 2 – a) Mapa definindo o tipo de utilização de cada terreno (Fonte: Geoprocessamento Corporativo da Prefeitura Municipal de Florianópolis) e b) Ortofoto do Bairro Santa Mônica (Fonte: Geoprocessamento Corporativo da Prefeitura Municipal de Florianópolis)

¹ Programa de cálculo da irradiação solar para cidades brasileiras. Em www.solar.ufrgs.br.

4.2. Análise da amostra

Após definido o número de residências existentes na área em estudo, foi calculado o número de amostras necessárias para definição das características de telhado, considerando que praticamente todas as residências (representado por 95% na Equação 1) irão possuir área suficiente para locação dos kits. De acordo com a Equação 1, o número de 31 amostras é suficiente para um erro de 7,5% e uma confiabilidade de 95%, considerando que 95% das residências do bairro se comportem como as amostras. Foi então utilizado este valor, já que para pesquisas um erro de até 10% é aceitável.

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q}{E^2 \cdot (N - 1) + Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q} \rightarrow n = \frac{496 \cdot 1,96^2 \cdot 0,95 \cdot 0,05}{0,075^2 \cdot (495) + 1,96^2 \cdot 0,95 \cdot 0,05} \rightarrow n = 30,5 \quad \text{Equação 1}$$

Deste modo foram consultadas 31 plantas de cobertura de diferentes edificações para identificar as características da geometria dos telhados, primeiramente para a instalação de um kit fotovoltaico, 8m² representados por um retângulo de 1,6x5m (SANTOS, 2009), e posteriormente da cobertura como um todo. A análise seguia um processo de identificação o norte na planta, a área suficiente para o kit na porção melhor orientada, a inclinação da cobertura, a orientação da área do kit e posteriormente eram identificados todos os planos de cobertura com área, orientação e inclinação.

Conforme pode ser percebido na planta de quadra do bairro Figura 2, as ruas são dispostas com o mesmo desvio em relação ao norte, assim quase todos os planos de cobertura analisados também se encontravam nesta orientação. Como é mais fácil orientar a edificação pelos limites do terreno, e a cobertura ser feita também em planos paralelos a estes limites, as residências apresentaram ângulos semelhantes de desvio azimutal em relação ao norte, como visto na Tabela 1, com os valores da amostra já extrapolados para as 496 residências.

Tabela 1 – Características dos telhados das 496 residências unifamiliares do Santa Mônica

Quant. Residências		Características		Quant. Residências		Características	
percentual	número	inclinação	orientação	percentual	número	inclinação	orientação
3,23%	16	15°	27°O	3,23%	16	22°	24°O
3,23%	16	17°	116°O	6,45%	32		26°O
3,23%	16		117°O	3,23%	16		39°L
12,90%	64		26°O	3,23%	16		63°L
3,23%	16	18°	60°L	3,23%	16		24°
3,23%	16	19°	154°L	3,23%	16	30°	19°L
6,45%	32		26°O	3,23%	16		26°O
3,23%	16		60°L	3,23%	16		27°O
3,23%	16	20°	26°O	3,23%	16		63°L
6,45%	32		27°O	3,23%	16	34°	26°O
3,23%	16		28°O	3,23%	16	35°	23°O
6,45%	32		65°L	3,23%	16		26°O

Segundo os valores obtidos na amostra, o comportamento dos telhados ocorre conforme a Tabela 1. Percebeu-se que a inclinação dos telhados varia menos que o desvio azimutal, ocorrendo entre ângulos de 15° e 35°. Isso porque grande parte dos telhados são de telhas cerâmicas e seguem os ângulos usuais para sua instalação. Já o desvio varia mais, tanto a leste quanto a oeste, ocorrendo isso pela necessidade da forma e da área mínima exigida no kit. Apesar desta variação, muitos telhados apresentam orientação semelhante, como já dito, ocasionado pela orientação das ruas do bairro e dos limites dos terrenos.

Os diferentes valores de inclinação e orientação foram utilizados para cálculo da estimativa dos níveis de irradiação de cada posição dos kits, em relação à instalação ótima (27° de inclinação e orientação a 0° do norte). A partir disto foi calculado um índice de defasagem do aproveitamento da energia, demonstrando o quanto as residências existentes estão preparadas ou não para a integração de sistemas fotovoltaicos.

A quantidade e orientação dos demais planos de cobertura, não utilizados pelos kits, também foram calculados para permitir uma análise do potencial de geração total das residências. Mas para isso seria necessária a instalação de sistemas fotovoltaicos que abrangesse todas as áreas de cobertura de todas as residências, independente de seu formato, inclinação e orientação, necessitando um projeto exclusivo, não contemplado pelos kits. A caracterização de todos os planos de cobertura é apresentada na Tabela 2. Nesta

tabela têm-se na primeira coluna os valores de inclinação encontrados para os telhados; na segunda coluna tem-se a orientação dos telhados; na terceira coluna tem-se a área disponível encontrada na orientação e inclinação definida, e; na quarta coluna tem-se o percentual que esta área representa em relação a toda área de cobertura existente no bairro Santa Mônica.

Tabela 2 – Características gerais de todas as áreas de cobertura das residências do bairro Santa Mônica

Inclinação	Orientação	Área disponível	Percentual	Inclinação	Orientação	Área disponível	Percentual
15°	154°L	717,12	0,9%	22°	114°O	991,04	1,2%
	27°O	1335,2	1,7%		116°O	162,56	0,2%
	64°L	689,92	0,9%		119°O	835,52	1,1%
17°	108°L	147,52	0,2%		135°O	1429,76	1,8%
	116°O	1459,52	1,8%		154°L	1522,88	1,9%
	117°O	603,04	0,8%		156°L	1056,64	1,3%
	153°L	577,6	0,7%		24°O	1677,12	2,1%
	154°L	2436,64	3,1%		26°O	1561,76	2,0%
	162°O	158,72	0,2%		39°L	1430,24	1,8%
	26°O	7696	9,7%		63°L	883,52	1,1%
	27°O	538,24	0,7%		64°L	756,8	1,0%
	64°L	367,04	0,5%		66°L	657,76	0,8%
	72°O	127,2	0,2%		6°O	349,44	0,4%
18°	120°O	1153,76	1,5%		24°	154°L	1077,76
	60°L	1449,12	1,8%	26°O	1018,88	1,3%	
19°	108°L	425,12	0,5%	30°	109°L	188,16	0,2%
	109°L	358,08	0,5%		116°O	708,16	0,9%
	116°O	171,68	0,2%		117°O	767,36	1,0%
	118°O	443,04	0,6%		153L	1924,96	2,4%
	120°O	327,2	0,4%		154°L	344,96	0,4%
	150°L	1358,24	1,7%		161°O	682,56	0,9%
	154°L	3017,12	3,8%		19°L	485,92	0,6%
	161°O	180,64	0,2%		26°O	499,52	0,6%
	19°L	212	0,3%		27°O	2477,6	3,1%
	26°O	2430,88	3,1%		63°L	1160,64	1,5%
	30°O	1203,04	1,5%		64°L	829,44	1,0%
	60°L	667,36	0,8%		71°O	488,8	0,6%
	64°L	182,24	0,2%		34°	154°L	542,88
20°	115°O	2260,8	2,8%	26°O		480	0,6%
	152°L	1720,64	2,2%	64°L		477,44	0,6%
	153°L	4202,4	5,3%	35°	113°O	336,48	0,4%
	26°O	723,04	0,9%		157°L	1480,64	1,9%
	27°O	3980,8	5,0%		23°O	578,72	0,7%
	28°O	941,44	1,2%		26°O	654,4	0,8%
	64°L	1828,48	2,3%		67°L	96,16	0,1%
	65°L	2691,2	3,4%				

4.3. Análise do posicionamento dos módulos fotovoltaicos

Como cada cobertura analisada na amostra possui uma inclinação e orientação específica, também seu potencial de geração de energia é característico. Assim seria necessário um cálculo específico para cada diferenciação, então, para tornar o trabalho mais eficiente, criou-se um gráfico que relacionasse os níveis de irradiação com a posição dos módulos, podendo verificar o quanto essas alterações no posicionamento dos módulos interferem no ganho de irradiação. O gráfico foi gerado a partir dos dados de irradiação do programa RADIASOL (UFRGS, 2001), calibrado com os níveis de radiação fornecido pelos dados de satélite do Programa SWERA (PEREIRA *et al.*, 2006).

O gráfico foi montado com objetivo de criar uma espécie de ábaco para facilitar a compreensão do potencial de geração solar fotovoltaica a partir da definição da orientação do plano em que os módulos serão

montados. O gráfico se refere somente aos potenciais de geração para a cidade de Florianópolis-SC, considerando que a latitude interfere no posicionamento dos módulos, e os dados base de entrada no programa também são referentes a esta cidade. Como exposto na revisão bibliográfica, um trabalho similar já foi desenvolvido na Suécia (BROGREN e GREEN, 2003), e na Alemanha e Brasil (BURGER e RÜTHER, 2006), e ambos os trabalhos foram utilizados como base para criação do gráfico deste trabalho.

No gráfico criado, a máxima geração, ou 100% no gráfico, refere-se à instalação orientada exatamente ao norte geográfico e inclinado 27° da horizontal. Para calibração do programa RADIASOL foram usados os valores de irradiação global média diária na horizontal, fornecidos pelo SWERA, a localização geográfica da cidade foi de 27,70° de latitude e 48,62° de longitude. Estes dados fornecem um valor de irradiação média diária anual de 4740 Wh/m²/dia, sendo então o máximo de aproveitamento (100%).

A escala de valores do gráfico abrangeu os 90° de inclinação em relação à horizontal, e a orientação dos azimutes de -180° e 180° em relação ao norte, sendo assim considerados todos os 360° de azimute e todas as possíveis inclinações de cobertura e também de paredes verticais. Para definição de qual seriam os submúltiplos desta escala para obtenção de dados, foi feita uma análise estatística dos desvios das variâncias.

Quanto à variação de azimute, a análise estatística mostrou que tanto na inclinação ótima de 27° quanto na de 45°, com 95% de confiança, não há diferença significativa entre as médias de irradiação até variação de 90° de azimute. Para isso foram testadas as variações de 5, 10, 15, 20, 30, 45 e 90°, que também apresentaram valores de desvio padrão semelhantes. Embora haja uma pequena diferença nas médias de irradiação, e esta será proporcionalmente refletida nos níveis de geração, foi estipulado que seriam utilizados submúltiplos menores que 90° na escala, definindo-se estes então como de 10° referente ao azimute.

Quanto à inclinação, o estudo estatístico mostrou que, em um plano orientado a norte, até variações de 20° na inclinação não há diferença significativa nas médias e os desvios padrão também são semelhantes, a 30 e 45° o desvio e a médias podem ser considerados iguais, a 90° os desvios e as médias não são semelhantes. Já em um plano orientado 90° do norte, seja a leste ou oeste, até 45° de variação as médias possuem desvios e médias semelhantes, já em 90° os desvios e as médias são diferentes. Para maior detalhamento do gráfico, será considerada a variação de 10° de inclinação como submúltiplo da escala.

O gráfico resultante é apresentado na Figura 3, indicando o potencial de geração em relação ao melhor posicionamento para Florianópolis, o valor máximo para a média de radiação é de 4,74 kWh/m² por dia, o que também indica que o 100% representa uma geração fotovoltaica em torno de 4,74kWh por dia, multiplicado para área que o painel abrange e pelo seu rendimento, ou também de uma geração de cerca de 3,8 kWh por kWp instalado (com um rendimento do sistema de 80%). O gráfico de manchas foi gerado a partir do programa WinSurf (GOLDEN SOFTWARE, 1994).

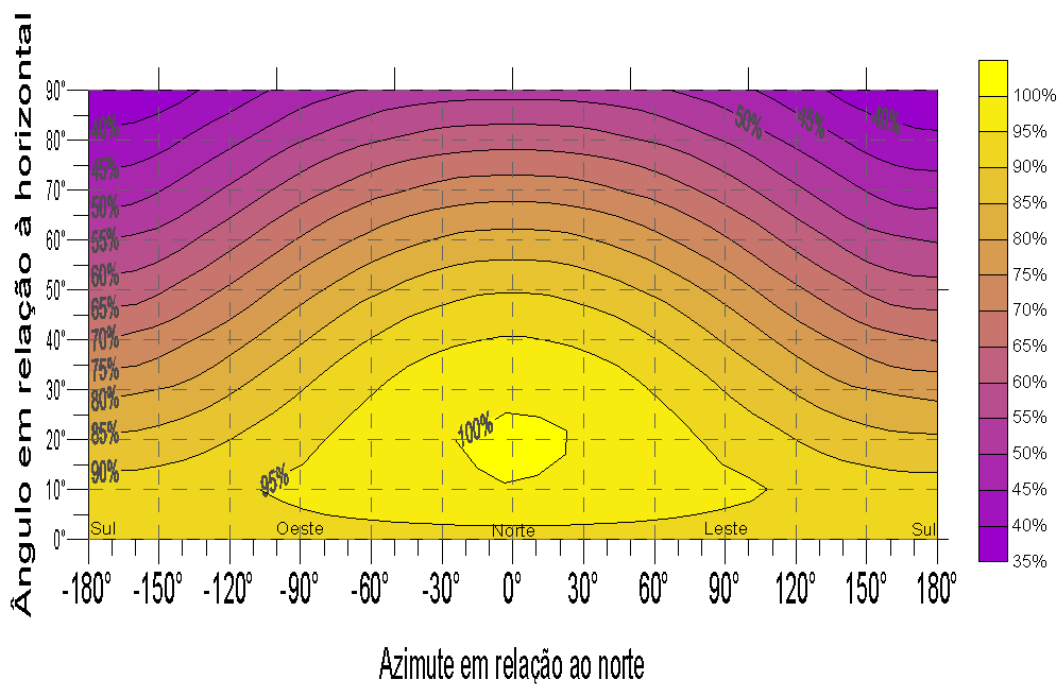


Figura 3—Potencial de geração anual em cada ângulo e azimute, em relação ao posicionamento ideal para Florianópolis.

A partir do gráfico da Figura 3 pode-se identificar o potencial de geração em qualquer posicionamento das águas dos telhados. Ao cruzar os valores de inclinação e desvio azimutal, a cor identificada no ponto

indicará o percentual de geração desta posição em relação à posição ideal para Florianópolis-SC. Deste modo foram identificados os posicionamentos da Tabela 1 no gráfico, representando a orientação e inclinação de cada kit, e o potencial de geração de cada um, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Potencial de geração dos 496 kits instalados nos telhados das residências unifamiliares do Santa Mônica

Quantidade de kits	Inclinação	Orientação	Potencial de geração
16	15°	27°O	95%
16	17°	116°O	90%
16		117°O	90%
64		26°O	95%
16	18°	60°L	95%
16	19°	154°L	85%
32		26°O	95%
16		60°L	95%
16	20°	26°O	95%
32		27°O	95%
16		28°O	95%
32		65°L	95%
16	22°	24°O	95%
32		26°O	95%
16		39°L	95%
16		63°L	95%
16	24°	26°O	95%
16	30°	19°L	95%
16		26°O	95%
16		27°O	95%
16		63°L	90%
16	34°	26°O	95%
16	35°	23°O	95%
16		26°O	95%

Agrupando as residências com mesmo percentual de geração tem-se a Tabela 4.

Tabela 4 – Potencial de geração de cada grupo de kits

Potencial de geração	Quantidade de kits
95%	432
90%	48
85%	16

Então através da média ponderada tem-se o potencial de geração dos 496 kits instalados nas coberturas do bairro: 94,19%. Estes 496 kits juntos se instalados, iriam gerar 94,19% da energia que seria gerada se todos estivessem instalados na melhor posição para a cidade de Florianópolis. Desde modo simplifica-se o cálculo do potencial de geração, sendo necessário apenas aplicar este fator na multiplicação da potência total instalada, e esta pela irradiação solar incidente na posição ideal e o rendimento do sistema. Ou apenas pode ser feito a multiplicação do número de kits pela geração dos sistemas existentes em Florianópolis e instalados na posição ideal.

Através deste estudo também foi possível perceber que as porções melhor orientadas dos telhados, apesar de não estar posicionadas na orientação ideal, não acarretaram em grandes perdas de aproveitamento da radiação solar. Isto demonstra que mesmo edificações existentes, não projetadas para aproveitamento da energia solar em sua cobertura, têm um grande potencial para instalação dos kits fotovoltaicos.

Também a partir do gráfico pode-se estimar o potencial total de geração de todas as parcelas dos telhados analisados, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Potencial de geração de todas as coberturas de residências do bairro Santa Mônica, em relação à localização ótima

Percentual de geração	Área disponível	Percentual da área total
75%	3051,04	3,84%
80%	3339,2	4,21%
85%	21040,16	26,50%
90%	9132,48	11,50%
95%	42486,24	53,51%
100%	349,44	0,44%

Através da análise de todas as coberturas, percebe-se que grande parte das coberturas, mais de 50%, possui ótima localização, correspondente a 95% ou 100% do potencial de geração. O menor potencial de geração encontrado é de 75%, mas ocorre em poucas áreas, assim como o potencial de 80%. Isso ocorre devido ao limite de inclinação das coberturas de 35°, que é a máxima inclinação encontrada nos telhados deste bairro e também na maioria das residências do país, sendo assim o mínimo potencial de geração é de 75% para qualquer cobertura que utilize este tipo de telhado. Com isso, pode-se inferir que qualquer instalação de painéis fotovoltaicos em coberturas de telhas cerâmicas, provavelmente terá uma geração de no mínimo 75% do ótimo e de que pelo menos 50% das instalações terão um ótimo potencial de geração, de no mínimo 95%. A média ponderada de geração total da zona também pode ser obtida destes valores, o que resultou em um potencial de geração de 90,39% do ideal em uma área disponível de coberturas de 79.398,56 m².

Ainda analisando o gráfico da Figura 3, pode ser estimado que para coberturas com baixa inclinação (de até 10%), estas terão sempre geração de no mínimo 90% do ideal, o que pode ser considerado um ótimo valor. Este tipo de cobertura é comumente encontrado em grandes edificações, principalmente as comerciais e as de serviço, que utilizam de telhas metálicas ou de fibrocimento. Assim observa-se que essas tipologias de edificações também possuem grande potencial de geração fotovoltaica.

Estas considerações, obtidas a partir da análise das coberturas e dos dados de irradiação, são válidas para Florianópolis, com suas características particulares de irradiação e localização geográfica. Mas gráficos similares específicos para outros locais tenderiam a seguir a mesma conformação, como o que ocorreu nos gráficos apresentados por outros estudos (BROGREN e GREEN, 2003) (BURGER e RÜTHER, 2006). Assim cidades com menores latitudes teriam gráficos com manchas mais achatadas, limitando um pouco o aproveitamento em maiores inclinações de cobertura, mas potencializando o aproveitamento em inclinações mais baixas de telhados. Do mesmo modo, locais de latitude mais elevada que Florianópolis teriam manchas com curva mais acentuada, potencializando a geração nas coberturas com inclinações mais elevadas, e diminuindo o aproveitamento em baixas inclinações.

5. CONCLUSÕES

Na análise feita foram levantadas 496 residências, e todas apresentaram telhados com área disponível para a instalação de um kit (5mx1,6m) e também com inclinação e orientação suficiente para o bom aproveitamento da radiação solar, podendo gerar energia equivalente a cerca de 95% da instalação ideal para Florianópolis-SC (a 27° de inclinação e orientação a norte). A análise das coberturas considerando toda área disponível mostrou que estas estão posicionadas de modo a gerar em média 90% da situação ideal, sendo nos piores casos ainda possibilitada uma geração de 75% do ideal. Estes valores demonstram que com o tipo de telha utilizada (cerâmica) que determina a inclinação média das coberturas, e pela orientação das ruas do bairro, as coberturas das residências deste bairro apresentam um satisfatório potencial de utilização da energia solar.

A partir disto percebe-se a importância do planejamento urbano e do projeto arquitetônico para potencializar o aproveitamento da energia solar. O planejamento urbano pode auxiliar pelo traçado das vias, já que estas determinam o alinhamento e a configuração dos lotes, e as coberturas tendem a ser traçadas com suas faces também paralelas aos limites dos lotes. Deste modo, ruas no sentido norte-sul terão seus lotes com as divisas laterais orientadas a estes sentidos, então as coberturas de duas águas com empena para frente do lote oferecerão uma de suas águas voltada ao norte. Ruas a leste-oeste favorecerão as coberturas de duas águas com empenas para as divisas laterais para que também uma das águas seja voltada ao norte. Já ruas com traçado em outras orientações, como a do bairro deste estudo, podem não apresentar nenhuma água alinhada exatamente com o norte, mas propiciam aproveitamento da radiação solar em todas as águas.

Embora com potencial um pouco menor que aquelas orientadas ao norte, mas sem nenhuma água ao sul que receba mínima radiação como ocorre quando se tem uma água ao norte.

Portanto, a função da arquitetura consciente é adequar a edificação ao posicionamento do terreno e configurar a cobertura de modo a aproveitar a radiação solar, seja por maximizar a insolação em uma das águas do telhado, ou por permitir que todas as águas recebam insolação, além de escolher o tipo de telha que irá definir a inclinação da cobertura. No caso da integração de um kit fotovoltaico o ideal seria orientar uma das águas, em que coubesse o kit, ao norte (para cidades no hemisfério sul) e utilizar uma telha que possibilitasse uma inclinação igual à latitude local. No caso do proprietário querer instalar módulos fotovoltaicos em toda cobertura, o projetista poderia optar por um telhado de uma só água ao norte, ou um telhado com várias águas em diversas orientações onde todas recebessem algum nível satisfatório de radiação solar.

6. REFERÊNCIAS

BROGREN, M.; GREEN, A. Hammarby Sjostad-an interdisciplinary case study of the integration of photovoltaics in a new ecologically sustainable residential area in Stockholm. **Solar Energy Materials and Solar Cells**. Issue 3-4, v.75, p.761-765, 2003.

BURGER, B.; RÜTHER, R. Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature. **Solar Energy**. Issue 1, v.80, p.32-45, 2006.

JARDIM, C. D. S. **A Inserção no Contexto Brasileiro de Sistemas Solares Fotovoltaicos Interligados à Rede Elétrica, quando analisados através do Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC), enfocando a redução do pico de demanda diurno em centros urbanos**. PPGEC, UFSC, Florianópolis, 2007.

JONES, D. L.; HATTERSLEY, L.; AGER, R.; KOYAMA, A. **Photovoltaics in buildings - BIPV projects**: Department of trade and industry. Londres, 2000.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. D.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**: INPE. São José dos Campos, 2006.

RÜTHER, R. **Fontes alternativas de energia**. In: A. D. A. Montenegro (Ed.). Florianópolis: Fundação de ensino e engenharia de Santa Catarina, 2000. Fontes alternativas de energia

_____. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**: Editora UFSC/LABSOLAR. Florianópolis, 2004.

SALAMONI, I. T. **Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte**. PPGEC, UFSC, Florianópolis, 2004.

SANTOS, I. P. D. **Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista**. (Dissertação de Mestrado). Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis-SC, 2009.

UFRGS. **Radiosol**. Porto Alegre: Laboratório de Energia Solar- GESTE-PROMEC 2001.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, órgão financiador da bolsa de mestrado da autora.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.