

Análise da morfologia urbana para geração de energia solar fotovoltaica em Belém - PA¹

Analysis of urban morphology to generation of photovoltaic energy in Belém - PA

Análisis de la morfología urbana para generación de energía fotovoltaica en Belém - PA

Eixo temático: Arquitetura e Urbanismo, Conforto e qualidade ambiental

MAIA, Ana Lúcia Aragão, Unama, arq.analidiamai@gmail.com

BLASQUES, Luis Carlos Macedo, IFPA, blasques@ifpa.edu.br

MONTEIRO, Marcela Marçal Maciel, Unifesspa, marcela.monteiro@unifesspa.edu.br

Resumo: A fonte solar fotovoltaica é aquela que apresenta as melhores possibilidades de integração ao meio urbano dentre todas as demais fontes de geração de eletricidade e representa uma das soluções tecnológicas mais utilizadas e em processo de estudo no que se refere aos aspectos relativos à eficiência energética predial. O artigo analisa a influência da morfologia urbana na geração de energia fotovoltaica, no bairro do Marco, na cidade de Belém, Pará (Brasil). Os padrões urbanísticos juntamente com fatores de radiação solar, identificam parâmetros que maximizam ou minimizam o aproveitamento do recurso solar para a geração de energia fotovoltaica. Foi utilizado o software SketchUp, com o plug-in Skelion, para modelar em duas edificações específicas do bairro que representavam a predominância da tipologia arquitetônica local: edificações térreas e verticais de padrão residencial até 4 pavimentos. Os resultados obtidos demonstram que em todas as superfícies instaladas, obteve-se, mesmo com as perdas por orientação e inclinação, um valor suficiente que suprisse a necessidade de geração de cada uma das unidades habitacionais estudadas.

Palavras-chaves: Sistemas Fotovoltaicos, Morfologia Urbana, Arquitetura Solar.

Abstract: The photovoltaic solar source represents the best possibilities for integration to the urban environment among all the other sources of electricity generation. The article analyzes the influence of urban morphology in generation of photovoltaic energy, in the city of Belém, Pará (Brazil), at Marco's neighborhood. Urbanistic patterns, together with solar radiation factors, identify parameters that maximize or minimize the use of solar resource for generation of photovoltaic energy. The SketchUp software, in collaboration with the Skelion plug-in, was used to model two kinds of building in the neighborhood that represents predominance of architectural typology: ground floor residential buildings and vertical residential buildings up to 4 floors. The results obtained demonstrate that in all installed surfaces, even considering losses due to orientation and inclination, a sufficient value was obtained to supply the need to

¹MAIA, Ana Lúcia Aragão; MONTEIRO, Marcela Marçal e Maciel; BLASQUES, Luis Carlos Macedo, Análise da morfologia urbana para geração de energia solar fotovoltaica em Belém - PA. In: CONGRESSO ARAGUAIENSE DE CIÊNCIAS EXATA, TECNOLÓGICA E SOCIAL APLICADA, 2020, Santana do Araguaia. **Anais...** Santana do Araguaia: II CONARA, 2020.

generate each of the studied housing units.

Keywords: *Photovoltaic Systems, Urban Morphology, Solar Architecture.*

Resumen: *La fuente solar fotovoltaica presenta las mejores posibilidades de integración con el entorno urbano entre todas las demás fuentes de generación de electricidad. El artículo analiza la influência de la morfología urbana en la generación de energía fotovoltaica, en la ciudad de Belém, Pará (Brasil), barrio de Marco. Las normas urbanísticas, en conjunto con los factores de radiación solar, identifican parámetros que maximizan o minimizan el uso del recurso solar para la generación de energía fotovoltaica. Fue utilizado el software SketchUp, con el complemento Skelion, para modelar dos tipos específicos de edificio en el barrio que representaban el predominio de la tipología arquitectónica: edificios residenciales verticales de una sola planta y con hasta 4 pisos. Los resultados obtenidos demuestran que en todas las superficies instaladas, incluso con las pérdidas debidas a la orientación e inclinación, se obtuvo un valor suficiente para satisfacer la necesidad de generar cada una de las unidades de vivienda estudiadas.*

Palabras clave: *Sistemas Fotovoltaicos, Morfología Urbana, Arquitectura Solar.*

1 Introdução

O assunto sustentabilidade tem sido bastante inserido na construção civil por meio da sua relação com a utilização racional dos recursos naturais para satisfazer as necessidades do homem atual, sem comprometer os mesmos para as gerações futuras. Aquecimento global, escassez de energia, fontes alternativas e renováveis, grandes catástrofes anunciadas por conta das mudanças climáticas por que passa nosso planeta estão na agenda do dia da comunidade mundial.

Por sua vez, algumas técnicas e formas de utilização de energias renováveis, como a energia solar fotovoltaica surgem como uma opção de abastecimento sustentado das edificações e atividades humanas, por permitirem a geração de energia (térmica e elétrica) a partir de fontes pouco poluentes e com maior renovação (SANTOS, 2013). Como elemento principal para geração de energia renovável, apresenta-se a tecnologia solar fotovoltaica (FV), desenvolvida em 1954 por pesquisadores da Bell Telephone (EIA, 2019). Características como funcionamento e tipologias do sistema FV permitem a sua integração às edificações dentro da realidade do clima e servindo como elemento construtivo e estético.

A morfologia urbana das cidades, assim como o potencial solar de cada região, são os principais fatores que justificam (ou não) a utilização e eficiência do sistema fotovoltaico. O objetivo desse artigo é definir diretrizes projetuais para auxiliar os projetistas e profissionais da construção civil sobre a integração da tecnologia fotovoltaica em suas edificações, analisando, para isso, a morfologia urbana de um bairro específico na cidade de Belém no estado do Pará, assim como o potencial solar da região e conceitos dos sistemas fotovoltaicos de geração de energia. Para alcançar este objetivo, partiu-se de uma metodologia dividida em quatro etapas: apresentação das características gerais da cidade; definição do potencial solar disponível na região; área disponível para a instalação do sistema fotovoltaico e estudo de caso no bairro do Marco, em Belém, Pará, Brasil.

A primeira etapa tem por objetivo pesquisar e analisar dados referentes às características da cidade como ocupação, morfologia urbana, tipologia arquitetônica predominante, etc. A segunda etapa visa avaliar o potencial solar disponível em diferentes ângulos de orientação e

inclinação. A terceira etapa visa, com base nos conceitos de BIPV e BAPV, associar qual a área da superfície da envoltória disponível para a instalação fotovoltaica. A quarta etapa, apresentação de estudo de caso, visa apontar em uma edificação real, por meio da utilização de um software, formas de integração do sistema FV às superfícies de um edifício, focando em sua máxima geração.

2 Referencial teórico

2.1 Características da cidade de Belém

Localizada na Região Norte do Brasil, a cidade de Belém, capital do Pará, está situada às margens da Baía do Guajará e Rio Guamá, exatamente a 1° 28' S de latitude e 48° 29' W de longitude, com uma altitude média de 10 metros acima do nível do mar. Em decorrência da baixa latitude, o fotoperíodo, duração do dia astronômico, ou seja, o número máximo de horas de insolação ou brilho solar, que em dias claros representam doze horas, pode ser reduzido pela concentração de chuvas e o total anual fica em torno de 2.300 h e a média diária na faixa de 6,4h (BASTOS *et al*, 2002). As características morfológicas da cidade, responsáveis pela divisão da mesma em zonas determinadas pelo tipo de uso e ocupação do solo, levou em consideração a relação dos assentamentos urbanos da cidade com os cursos d'água e a topografia, assim como o crescimento populacional da mesma. Isso se justifica por se tratar de uma cidade de baixas cotas altimétricas e por estar em um sítio originalmente alagado e entrecortado por igarapés (LOPES, LIMA, 2014).

2.2 Potencial solar da cidade em estudo: Belém – Pará (Brasil)

De acordo com Vinagre *et al*. (2016) Belém é considerada como aquela que detém o melhor potencial para utilização de energia solar das principais cidades da região amazônica brasileira. A média anual de insolação diária é de 6 (seis) horas. A radiação solar global é de 16 (MJ/m².dia). O clima é predominante tropical quente e úmido, com temperatura média de 26,8° C e uma pluviosidade média anual de 2537 mm (CLIMATE-DATA, 2020). A altura do sol nesta região é sempre elevada às doze horas, com menor altura acima de 60°, o que acarreta uma radiação solar global alta, seja como radiação direta em dias ensolarados, seja em forma de radiação difusa em dias nublados, sendo esta última uma componente significativa da radiação global, devido ao alto índice de nebulosidade durante todo o ano. Em se tratando de valores de potencial solar, pode-se considerar o número de horas de sol pleno (HSP), ou número de horas de insolação, disponíveis no ano em cada região.

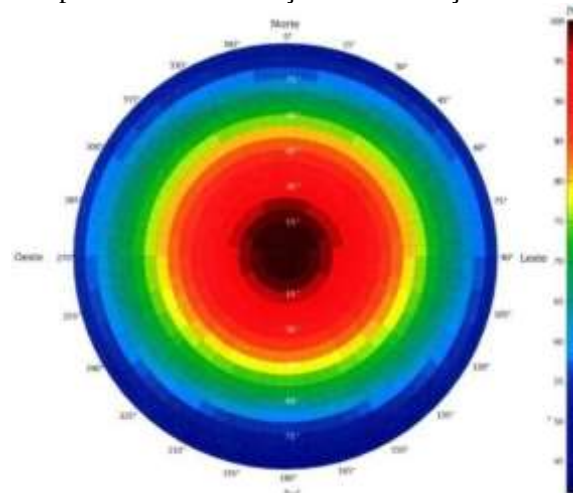
De maneira conceitual, o número de horas de sol pleno é o valor equivalente ao tempo, em horas, em que a irradiância solar se equivale a 1.000 W/m², valor padrão considerado pela indústria solar para geração de eletricidade, e verificado usualmente em condições de sol forte e céu claro. Em resumo, a cidade de Belém, por exemplo, tem ao longo do ano um total de 1.844 horas de sol pleno disponíveis no plano horizontal (aproximadamente 5 horas de insolação diária). Para considerar o potencial solar de Belém em sua totalidade, o gerador FV precisaria estar perfeitamente paralelo ao solo. Porém, quando busca-se a maximização da geração FV e compatibilidade com as características arquitetônicas das edificações, deve-se observar a disponibilidade de superfícies da envoltória com inclinações e orientações distintas.

Como Belém está abaixo da linha do Equador, no hemisfério Sul, a inclinação ideal do gerador deve ser ao norte. Isso acontece pela influência da inclinação na maximização da utilização do potencial solar. Outro ponto fundamental é a sua orientação, cujo ângulo é chamado de

azimutal de superfície, ou simplesmente azimuth, pois ela também está diretamente relacionada com a radiação solar incidente no plano e pode influenciar significativamente no aproveitamento do recurso solar. O azimuth é a medida angular tomada a partir da orientação norte do observador, considerado neste caso igual a 0° , sendo considerado positivo quando a projeção se encontra negativo quando à direita do norte (leste= -90°), à esquerda do norte (oeste= 90°), e 180° quando a projeção encontra-se ao sul.

Em Belém, para inclinações até aproximadamente 10° , o recurso solar incidente em geradores instalados em todas as orientações é praticamente equivalente. Por outro lado, a partir de inclinações de 15° existe uma maior disponibilidade na orientação norte, o que neste caso a caracteriza como a melhor escolha, conforme recomendação anteriormente apresentada. (Figura1). É sempre necessário avaliar o potencial solar da cidade onde se pretende instalar sistemas FV a fim de se obter um melhor aproveitamento do recurso. Programas como *Meteonorm*, *Radiasol* e *Sundata* podem auxiliar na análise. Apesar de se recomendar o estudo da inclinação e orientação para a instalação dos geradores FV, é certo que diversas situações podem surgir, principalmente na integração arquitetônica. Por isso a necessidade de se conhecer todas as possibilidades de instalação disponíveis, assim como os impactos de cada uma delas.

Figura 1 – Recurso solar para Belém em função da orientação e inclinação do gerador FV.

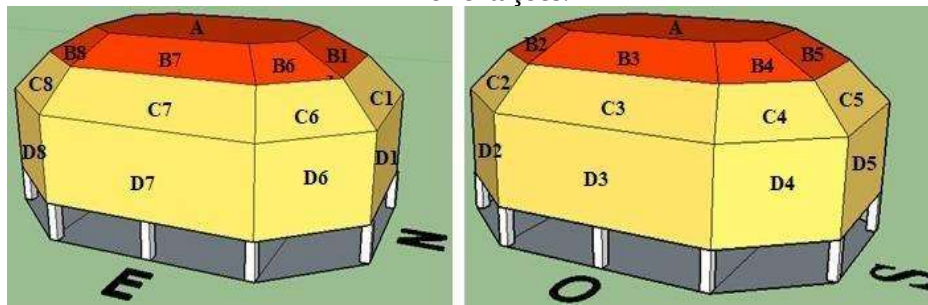


Fonte: ZILLES *et al*, 2012.

2.3 Impacto da instalação dos módulos na geração FV

Dentre os fatores que interferem na geração FV, se destacam o posicionamento da envoltória da edificação existente e/ou do lote. Entretanto, o conhecimento dos dados solarimétricos e geográficos da cidade, favorecem o melhor aproveitamento energético por meio da identificação das melhores superfícies e inclinações, não sombreadas, para inserção dos painéis. Com base nas informações acima e, de acordo com Vinagre *et al* (2016), pode-se elaborar ábacos volumétricos que representam fatores de orientação e inclinação encontrados nas respectivas faces, sendo elas (orientações e inclinações): Norte (0° , 6° , 35° , 90°), Leste (6° , 35° , 90°), Nordeste (6° , 35° , 90°), Oeste (6° , 35° , 90°), Noroeste (6° , 35° , 90°), Sudeste (6° , 35° , 90°) e Sudoeste (6° , 35° , 90°), conforme ilustram a Figura 2 e o Quadro 1.

Figura 2: Ábaco volumétrico representativo das inclinações do plano de geração em função das orientações.



Fonte: VINAGRE *et al*, 2016.

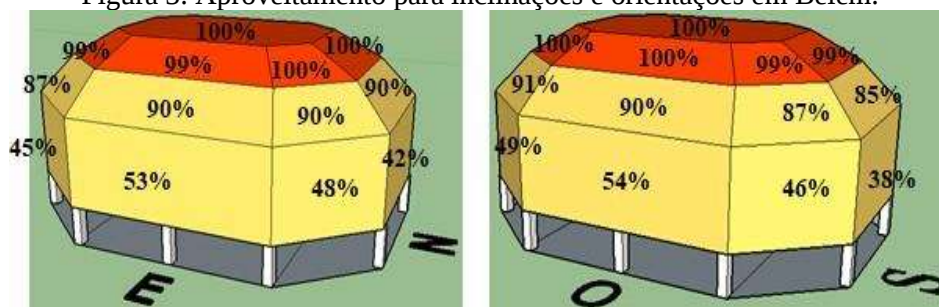
Quadro 1: Inclinação para cada orientação.

Orientação	Azimute	Inclinação do módulo FV (em graus)			
		0°	6°	35°	90°
Norte	0°	A	B1	C1	D1
Noroeste	45°		B2	C2	D2
Oeste	90°		B3	C3	D3
Sudoeste	135°		B4	C4	D4
Sul	180°		B5	C5	D5
Nordeste	-45°		B6	C6	D6
Leste	-90°		B7	C7	D7
Sudeste	-135°		B8	C8	D8

Fonte: VINAGRE *et al*, 2016.

Para a cidade de Belém-Pa, em função da orientação (ângulo azimutal da superfície, γ) e da inclinação dos módulos FV (β), os percentuais de aproveitamento de irradiância à situação de geração FV ideal, de 100%. (Figura 3)

Figura 3: Aproveitamento para inclinações e orientações em Belém.



Fonte: VINAGRE *et al*, 2016.

Com base no ábaco e de acordo com os autores (VINAGRE *et al*, 2016), a inclinação (β) de 6° é a ideal para a cidade de Belém, com $\gamma = 0^\circ$, pois essa instalação apresenta uma irradiância global anual de 1.851 kWh/m², ou horas de sol pleno (HSP). Considerando este valor como ideal, ou 100 % do aproveitamento do recurso, a figura acima ilustra o resultado para os tipos de instalações apresentadas no Quadro 1, com diferentes inclinações e orientações, com seus respectivos valores percentuais de recurso solar disponível, se comparados ao caso ideal. Nota-se, por exemplo, que a instalação de módulos na vertical ($\gamma=90^\circ$), orientados também ao norte, apresenta disponibilidade de somente 42% do recurso da posição ideal, aproveitamento este que só perde para módulos verticais voltados à Sul, cuja disponibilidade é de apenas 38%.

2.3.1 Características dos sistemas fotovoltaicos: conceitos de BIPV e BAPV

Para Didone, Wagner e Pereira (2014), os componentes fotovoltaicos podem ser aplicados na envoltória dos edifícios de diferentes maneiras: integrados ao edifício (*Building-Integrated PV* - BIPV) e adicionados/anexados ao edifício (*Building-Added/Attached PV* - BAPV). Os produtos BAPV requerem sistemas de montagem adicionais e são normalmente utilizados em *retrofit*, enquanto os produtos BIPV tornam-se parte integrante da envoltória do edifício e podem substituir completamente os seus componentes.

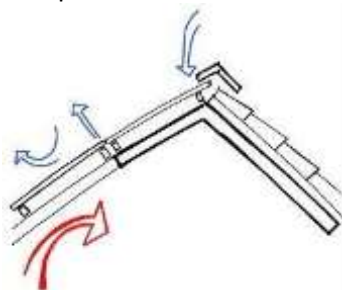
Existem três tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos, sendo a primeira dividida em duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que representam a maior parte da produção mundial (85%) por ser uma tecnologia consolidada, confiável e ter a maior eficiência comercial entre as demais tecnologias. As três possibilidades de encapsulamento nos painéis para a tecnologia c-Si são: Silício monocristalino, Silício policristalino e silício monocristalino com encapsulamento vidro-vidro.

2.3.2 Possibilidades de Integração

Sobre as opções para integração dos módulos, podem-se destacar cinco posições básicas: Coberturas e claraboias, brises, sistemas de janelas, sistemas de parede cortina e fachadas ventiladas. A cobertura é a melhor opção quando não se pretende alterar a imagem da edificação e quando se pretende ter um maior nível de captação de energia solar (VINAGRE *et al*, 2016). Santos (2013) afirma que nas coberturas (Figura 4) os módulos podem ser usados em substituição a telhados ou telhas inclinadas, nos sheds, claraboias e coberturas curvas. Particularmente livre de sombras, na cobertura pode-se orientar os módulos para um melhor ângulo solar e garantir a ventilação na parte posterior dos painéis.

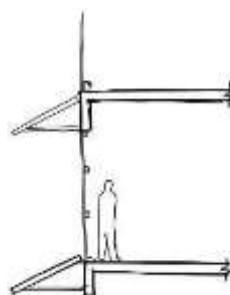
Para Santos (2013), no uso em brises, fixos ou móveis, os módulos também apresentam a vantagem de poderem ser utilizados de forma inclinada, adequando-se à latitude local. Em fachadas e brises os módulos podem ficar mais visíveis e, portanto, as definições do projeto devem ser feitas de forma mais cuidadosa, observando a composição do arquiteto. Para Vinagre *et al* (2016), os brises podem ser elementos de vidro ou metal colocados na posição vertical, inclinada ou horizontal, por fora da vedação principal. Podem cobrir parte da fachada, sob as janelas, e serem fixos ou móveis. (Figura 5)

Figura 4: Esquema de Cobertura e claraboia



Fonte: VINAGRE *et al*, 2016.

Figura 5: Esquema de brises

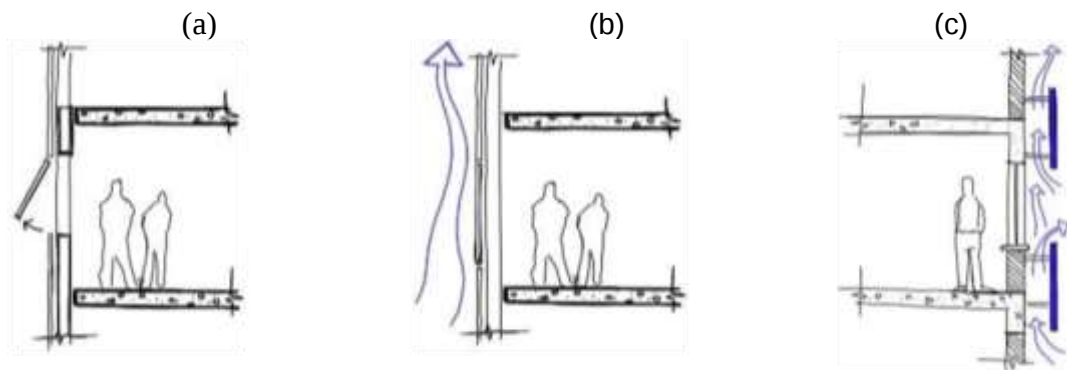


Fonte: VINAGRE *et al*, 2016.

Nas fachadas, segundo Santos (2013) os módulos podem ser instalados em paredes cegas, paredes com janelas ou paredes inclinadas. Nas fachadas cegas os módulos podem ser utilizados como material de vedação integrante da construção, ou então podem ser utilizados afastados da edificação criando uma 'segunda pele'. Neste caso há a vantagem da ventilação na parte posterior dos módulos que melhora o seu desempenho. Dependendo da orientação da

edificação, as fachadas inclinadas favorecem a instalação dos módulos já que a inclinação pode ser determinada em ângulo próximo à latitude local (SANTOS, 2013 apud THOMAS, 1999). (Figura6)

Figura 6: Esquema de fachadas: (a) Sistema de Janela; (b) Sistema de parede cortina; (c) Fachadas ventiladas



Fonte: VINAGRE *et al*, 2016.

2.4 Estudo de caso: Bairro do Marco

O Marco é um bairro planejado na capital paraense, predominantemente residencial de classe média e periférico localizado entre a periferia e o centro, possui como principais avenidas e ruas a Av. João Paulo II (antiga Av. Primeiro de Dezembro - dia em que D. Pedro foi coroado Imperador Constitucional do Brasil no ano de 1822), e parte da Av. Almirante Barroso (uma das principais avenidas de integração da cidade), entre outras. Vale ressaltar que o bairro recebeu essa nomenclatura pelo fato de ter sido considerado a primeira légua de crescimento de Belém, delimitando a área da cidade.

Na cidade de Belém, o bairro do Marco destacou-se pelo traçado retilíneo e ortogonal, com quadras amplas e vias largas no entorno da Av. Almirante Barroso, principal meio de acesso à capital paraense por via terrestre. A existência deste traçado é atribuída ao Plano de Expansão da Cidade de Belém, elaborado entre 1883-1886 pelo engenheiro municipal Nina Ribeiro (ABREU, 2016). Em se tratando do tipo de uso das edificações no bairro do Marco, percebe-se uma configuração gráfica bastante mista, compreendendo usos diversos que abrangem desde o residencial até o sistema de recreio. Contudo a predominância se dá no uso residencial. No que diz respeito ao gabarito das edificações do bairro do Marco, percebe-se que as edificações são predominantemente baixas, sendo a maioria de até 02 pavimentos.

3 Metodologia

A metodologia está dividida em quatro etapas: apresentação das características gerais da cidade; definição do potencial solar disponível na região; área disponível para a instalação do sistema fotovoltaico e estudo de caso no bairro do Marco, em Belém, Pará, Brasil.

- A primeira etapa tem por objetivo pesquisar e analisar dados referentes às características da cidade como ocupação, morfologia urbana, tipologia arquitetônica predominante, etc.
- A segunda etapa visa avaliar o potencial solar disponível em diferentes ângulos de orientação e inclinação.
- A terceira etapa visa, com base nos conceitos de BIPV e BAPV, associar qual a área

da superfície da envoltória disponível para a instalação fotovoltaica.

- A quarta etapa, apresentação de estudo de caso, visa apontar em uma edificação real, por meio da utilização de um software, formas de integração do sistema FV às superfícies de um edifício, focando em sua máxima geração.

Com base nas características da cidade, do potencial solar disponível e da morfologia do bairro, e adotando os procedimentos metodológicos apresentados, foi possível selecionar duas tipologias arquitetônicas (predominantes) para a aplicação e estudo dos painéis PV, sendo uma delas residência e a outra dois edifício de até 4 pavimentos (Figura 7).

A primeira edificação, residencial, está localizada na Rua Catalina, entre Travessa Alferes Costa e Avenida Doutor Freitas. Nessa edificação, foi trabalhada a implantação de painéis apenas na cobertura, de forma adaptada à telha existente, em virtude de sua dimensão e presença de vegetação no entorno que possa gerar sombreamento na fachada ou em outras aberturas (janelas e portas).

A segunda edificação (Figura 7b), padrão residencial também, se trata de dois edifícios de 4 pavimentos, localizados na esquina da Travessa Alferes Costa com Avenida Duque de Caxias, com acesso pela Avenida Visconde de Inhaúma e Travessa Perebebuí. Essas edificações, diferentemente da grande maioria encontrada no bairro, se encontram orientadas a Norte, com telhado obedecendo à mesma orientação (Norte-Sul). Por ter essa configuração, e pela implantação e situação no terreno, foi utilizada, em um dos edifícios, a sua cobertura para implantação dos painéis. Em outro, foram aplicados painéis na sua fachada a fim de observar como a mesma se comporta em se tratando da geração fotovoltaica.

Figura 7: (a) Localização da residência e dos edifícios; (b) Implantação dos edifícios no terreno



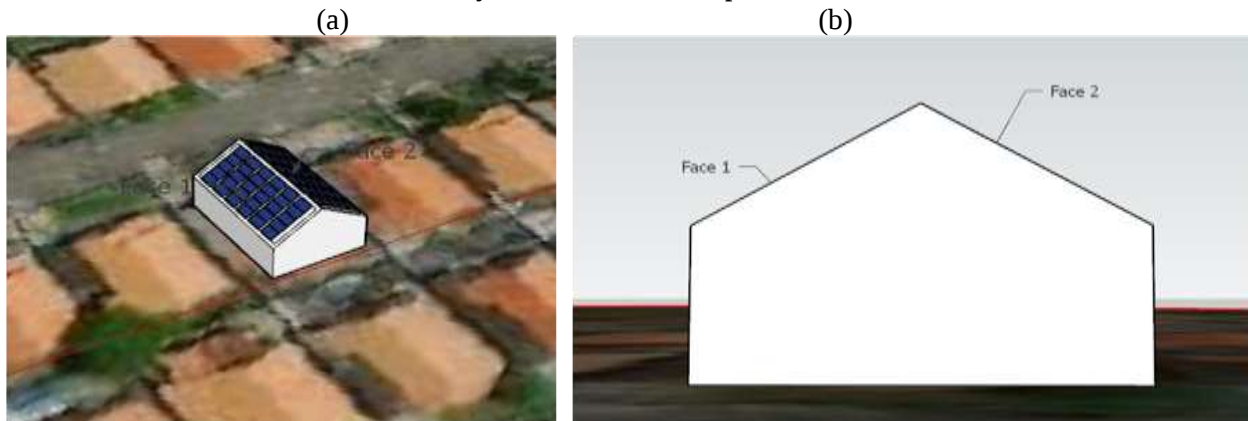
Fonte: GOOGLE MAPS, 2020

4 Resultados

4.1. Residência

No caso da residência, foi utilizado o módulo fotovoltaico 3E:STK-230P6-A de silício policristalino, nas duas águas da cobertura (à Nordeste e Sudoeste), obedecendo a inclinação do telhado existente que se aproxima de 30°. (Figura 8)

Figura 8: Adaptação dos painéis na cobertura da residência: (a) Perspectiva da residência; (b) Identificação das faces com os painéis PV.



Fonte: SketchUp com plugin Skelion, 2020.

Em cada uma das águas (faces) foram utilizados 30 painéis, totalizando 60 unidades, com 230 Wp de potência em cada módulo solar, e com uma potência nominal de 13,80kWp (Quadro 2). Neste trabalho, são consideradas perdas pela orientação (variáveis de acordo com a disposição dos módulos na edificação), e outras perdas, como as devidas ao aquecimento (consideradas fixas iguais a 10%).

Quadro 2: Resultados de geração dos módulos solares em cada face da cobertura.

Results for solar modules in each face								
Face	Model	NºP.	P. power (Wp)	Power (kWp)	Weight (kg)	Azimuth	Tilt	Relative tilt
1	3E:STK-230P6-A	30	230,00	6,90	690,00	212,47	30,96	0,00
2	3E:STK-230P6-A	30	230,00	6,90	690,00	32,47	30,96	0,00

Fonte: Skelion, 2020.

Analisando os dados obtidos, pode-se concluir que um módulo fotovoltaico de 230Wp gera, por dia, 0,92 kWh.dia, considerando as possíveis perdas. No final do mês, esse mesmo módulo geraria 27,60 kWh.mês. (Equação 1, 2 e 3)

$$\text{Energia} = \text{Potência} \times \text{Tempo} \times (\text{rendimento}) \quad (1)$$

$$\text{Energia} = 230 \times 5 \times (1-0,10-0,10) = 0,92 \text{ kWh.dia} \quad (2)$$

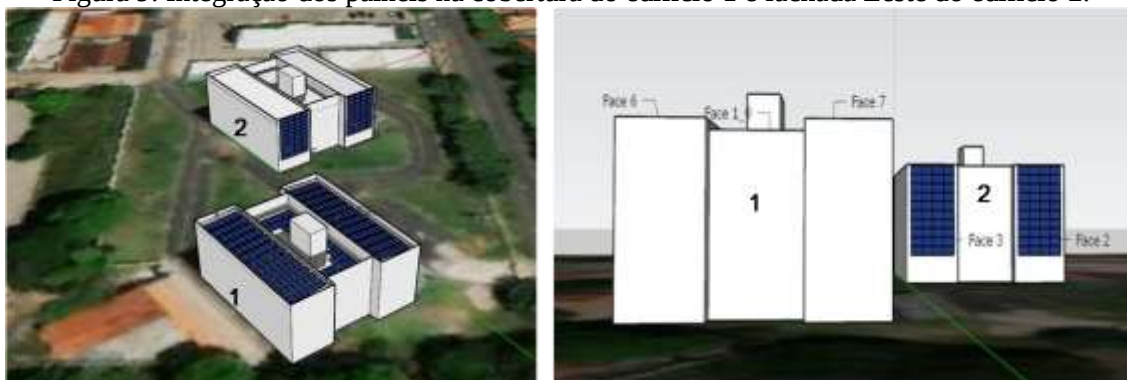
$$\text{Energia} = 0,92 \times 30 = 27,60 \text{ kWh.mês} \quad (3)$$

Dessa forma, essa residência que consome, em média, 250kWh.mês na região Norte, precisa aproximadamente de 9 módulos fotovoltaicos para suprir a sua necessidade. Tendo espaço na cobertura para 60 módulos, conclui-se que residências térreas, via de regra, possuem um potencial maior de geração em sua área de cobertura. Sendo a geração suficiente para o pleno funcionamento desta edificação, assim como de mais 5 outras.

4.2. Edifícios

Nos edifícios de até quatro pavimentos (Figura 9), foram inseridos módulos FV de duas maneiras diferentes: no edifício 1 foram instalados em sua cobertura 204 módulos, e no edifício 2 foram instalados 80 módulos em sua fachada Leste.

Figura 9: Integração dos painéis na cobertura do edifício 1 e fachada Leste do edifício 2.



Fonte: SketchUp com plugin Skelion, 2020.

Cada módulo utilizado, semelhante ao estudo feito na residência térrea, tem uma capacidade de geração de 230Wp, no dia 1,035kWph.dia e 31,05 kWh.mês. Apesar dessa geração, e por ser uma edificação residencial de 4 pavimentos, a potência gerada deverá ser dividida entre as 6 unidades habitacionais presentes em cada prédio. (Equação 4, 5 e 6)

$$\text{Energia} = \text{Potência} \times \text{Tempo} \times (\text{rendimento}) \quad (4)$$

$$\text{Energia} = 230 \times 5 \times (1-0,1) \text{ (nessa orientação e inclinação a perda é pequena)} = 1,035 \text{ kWh.dia} \quad (5)$$

$$\text{Energia} = 1,035 \times 30 = 31,05 \text{ kWh.mês} \quad (6)$$

No caso do edifício 1, e considerando também 250 kWh.mês de consumo médio por unidade habitacional, a edificação precisaria de no mínimo 8 módulos FV, para suprir a necessidade de cada uma das 6 unidades habitacionais, portanto, de 48 módulos no mínimo. Entretanto, percebe-se que a cobertura (em virtude da sua orientação, localização no terreno e limite de 4 andares/unidades habitacionais) conseguiu suprir a necessidade total das habitações desta edificação e teria também capacidade para sustentar todo o edifício 2. Vale ressaltar que somente na cobertura, seriam instalados 204 módulos.

No edifício 2, pôde-se gerar com os 80 módulos instalados na fachada Leste, 1.176kWh.mês. Este valor em virtude do local da implantação (fachada) sofreu uma perda de 57% na geração (47% devido à disposição dos módulos e 10% devido à temperatura e outros). Entretanto, o edifício 2 precisaria também suprir o consumo de 6 habitações que utilizam em média 250kWhmês. (Equação 7, 8 e 9)

$$\text{Energia} = \text{Potência} \times \text{Tempo} \times (\text{rendimento}) \quad (7)$$

$$\text{Energia} = 230 \times 5 \times (1-0,47-0,1) = 0,49 \text{ kWh.dia} \quad (8)$$

$$\text{Energia} = 0,49 \times 30 = 14,7 \text{ kWh.mês} \quad (9)$$

Apesar dessa grande perda, e mesmo utilizando apenas uma das fachadas para a implantação dos módulos, percebe-se que os módulos na fachada supririam quase 80% das necessidades das unidades habitacionais que compõem essa edificação. A utilização de uma outra fachada ou a cobertura para a instalação de módulos FV, como também, a própria energia excedente gerada no edifício 1, seriam alternativas para suprir estes 20% faltantes.

5 Discussões

Para a cidade de Belém, especificamente o bairro do Marco, o melhor aproveitamento, a maior eficiência do sistema fotovoltaico, ocorreu pela utilização da cobertura, em edificações térreas residenciais e em edifícios de até 4 pavimentos. O que favorece este resultado é o fato do bairro ser predominantemente residencial, com edificações relativamente baixas em sua maioria.

Em casos de utilização do sistema na vertical, para um maior aproveitamento de geração, é possível aproveitar a fachada oeste, chegando a 54% de eficiência em relação ao caso ótimo. Em termos de geração, 100% equivale a 1.851 horas de sol pleno e 54% a 1.001 horas. Entretanto, para alcançar este nível de aproveitamento, devem-se avaliar as superfícies, em relação ao sombreamento e áreas de janelas, para verificar as melhores possibilidades de geração.

6 Conclusões

Nos dois estudos de caso, os sistemas se mostraram eficientes, por se tratarem de edificações de pequeno porte residenciais. Dessa forma, percebe-se bairro ou regiões da cidade, com predomínio de edificações residenciais ou edificações com poucos pavimentos, a implantação do sistema de energia fotovoltaica se mostrou viável e eficaz em quase totalidade das edificações, tanto em suas coberturas, quanto nas fachadas e/ou cobertura das edificações com mais de um pavimento.

O que ratifica que para chegar a esse fim, devem ser definidas variáveis que deverão ser consideradas e analisadas no processo como o clima e localização da cidade, identificar possíveis elementos no entorno que possam gerar sombreamento, pois essas informações nortearão o posicionamento e a correta orientação dos módulos, além das melhores escolhas com relação às tecnologias fotovoltaicas e estratégias bioclimáticas que favoreçam as condições de conforto com mínima dependência de sistemas ativos de resfriamento. Além disso, a implantação deste sistema ajuda a disseminar a tecnologia e inserir conhecimento à população no que diz respeito à energia solar no Norte do Brasil.

Referências

- ABREU, Paula Vanessa Luz de, **A Morfologia do plano de expansão da cidade de Belém e a estrutura fundiária do município no século XIX** / Paula Vanessa Luz de Abreu; orientador, José Júlio Ferreira Lima; coorientadora, Luly Rodrigues da CunhaFischer.— 2016. Disponível em: <http://ppgau.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/documentos/Dissertação%20-%20Paula%20Vanessa%20Luz%20de%20Abreu.pdf>. Acesso em: 20/01/2020.
- BASTOS, T. X. *et al.* **Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 31p.
- DIDONÉ, Evelise Leite; WAGNER, Andreas; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p.27-42, jul./set. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000300003. Acesso em 10/11/2019.

JÚNIOR, João de Athaydes Silva. *et al.* **Variabilidade Espacial do Conforto Térmico e a Segregação Social do Espaço Urbano na Cidade de Belém, Pa.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.28, n.4, 419 - 428, 2013. Disponível em:
<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v28n4/a08v28n4.pdf>. Acesso em: 26/01/2020.

LOPES, Rebeca Nunes. LIMA, José Júlio. **Estudo Morfológico de Assentamentos em áreas de várzea em Belém – PA: Bacia do Una.** APPURBANA, 2014. Disponível em:
<http://anpur.org.br/app-urbana-2014/anais/ARQUIVOS/GT4-9-61-20140520090053.pdf>. Acesso em: 20/01/2020.

SANTOS, Isis Portolan dos. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em Projetos de Integração Solar Fotovoltaica à Arquitetura** / Isis Portolan dos Santos; orientador, Ricardo Ruther – Florianópolis, SC, 2013. Disponível em:
http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/Tese_IsisPortolanDosSantos.pdf. Acesso em 20/11/2019.

VINAGRE, *et al.* **Diretrizes Arquitetônicas para projetos fotovoltaicos na Região Amazônica:** Edificações Contemporâneas e Históricas, 2016.