ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Influência da morfologia urbana na capacidade de geração de energia fotovoltaica por BIPVs

Influence of urban configuration on photovoltaic energy generation capacity by BIPVs

Bianca Pereira Lucas
Universidade Federal de Pelotas |Pelotas | Brasil | biancaplucas@yahoo.com.br
Marcelo Epiphanio da Rosa
Universidade Federal de Pelotas |Pelotas | Brasil | marceloerosa29@gmail.com
Isabel Tourinho Salamoni
Universidade Federal de Pelotas |Pelotas | Brasil | isalamoni@gmail.com
Celina Maria Britto Correa
Universidade Federal de Pelotas |Pelotas | Brasil | celinabrittocorrea@gmail.com

Resumo

O equilíbrio entre o consumo e geração de energia permite que as edificações diminuam o impacto ambiental oriundos do processo construtivo e do seu uso. Neste sentido, a morfologia urbana é um fator determinante para que as cidades sejam energeticamente mais sustentáveis eficientes. Essa pesquisa tem como objetivo investigar o potencial de geração de sistemas BIPV em edificações residenciais, considerando os limites de exposição à radiação solar impostos pela morfologia urbana. Como método, foram realizados levantamentos em fontes primárias e observações in loco num recorte urbano de uma cidade média do extremo sul do Brasil. A partir de padrões de configuração urbana identificados, foram realizadas análises e avaliações em modelos representativos desta configuração. Como resultados, apresenta-se uma análise crítica sobre as restrições que a morfologia urbana impõe à geração BIPV, a partir de variáveis como: orientação solar, dimensões de vias e de lotes e volumetria edificada. Os resultados obtidos ajudam a orientar na política de planejamento urbano, favorecendo um melhor aproveitamento dessa fonte inesgotável de energia.

Palavras-chave: BIPV. Potencialidade de geração FV. Morfologia urbana.

Abstract

The balance between energy consumption and generation allows buildings to reduce the environmental impact resulting from the construction process and its use. In this sense, urban morphology is a determining factor for cities to be more sustainable and energy efficient. This research aims to investigate the potential for generating BIPV systems in residential buildings, considering the limits of exposure to solar radiation imposed by urban morphology. As a

Como citar:
LUCAS, B. P. et al. Influência da morfologia urbana na capacidade de geração de energia fotovoltaica por BIPVs. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

method, surveys were carried out using primary sources and on-site observations in an urban area of a medium-sized city in the extreme south of Brazil. Based on identified urban configuration patterns, analyses and evaluations were carried out on representative models of this configuration. As a result, a critical analysis is presented on the restrictions that urban morphology imposes on BIPV generation, based on variables such as: solar orientation, dimensions of roads and lots, and built volume. The results obtained help guide urban planning policy, favoring better use of this inexhaustible source of energy.

Keywords: BIPV. PV generation potential. Urban morphology.

INTRODUÇÃO

A construção civil é um campo que vem se transformando para respeitar os princípios de sustentabilidade. É importante buscar tecnologias capazes de diminuir os impactos ao meio ambiente tanto na construção da edificação quanto na utilização da mesma. No Brasil, a energia elétrica tem seu principal consumo, cerca de 52%, atribuído ao ambiente construído, desde o início da construção e ao longo da vida útil da edificação [1].

Os avanços tecnológicos possibilitaram que as edificações possuam geradores de energia instalados no corpo da construção, produzindo parte ou toda a energia que consomem e ainda que possam ser edifícios com conceito Zero Energy Buildings, Zeb, que geram mais energia do que consomem [2]. O equilíbrio entre o consumo e geração no mesmo edifício permite que edificações diminuam seu impacto ambiental, gerando sua própria energia ou contribuindo para a energia consumida na cidade.

Os conceitos de nearly Zero energy building e de Net Zero Energy Building (nZeb/NZEB) são considerados como soluções para minimizar o consumo de energia e de eletricidade nas edificações. Os países do sul da Europa que incluíram recentemente o conceito nZEB em seus requisitos regulatórios, têm necessidades de aquecimento e resfriamento. O Brasil pode se beneficiar da experiência europeia, uma vez que a maioria das zonas climáticas brasileiras apresenta semelhanças significativas com o clima do sul da Europa [3].

Isto posto, entre as tecnologias que permitem a geração de energia elétrica, a tecnologia fotovoltaica integrada à edificação (BIPV) é uma das mais promissoras. Esta permite a geração de energia elétrica através da conversão direta da luz solar, por meio de materiais semicondutores, e seus módulos fotovoltaicos podem substituir ou se sobrepor a elementos arquitetônicos.

Os BIPVs são integrações elaboradas durante a fase de projeto das edificações, os módulos devem ser considerados como parte do envelope e não como uma adição posterior aos elementos do edifício construído. Para ter a integração correta deve haver uma concepção formal na composição desses elementos com o restante da construção. Quando não inserida na fase inicial do projeto, os módulos são colocados em qualquer face ensolarada utilizando a edificação apenas como um suporte para os módulos e resultando em composições formais desagradáveis alterando de modo negativo a proposta visual inicial da edificação, criando preconceito por parte dos usuários e dos arquitetos quanto ao uso dessa tecnologia.

O sistema BIPV ganha, a cada dia, mais espaço no mercado e é uma aposta no futuro da tecnologia. Outra vantagem das instalações é a geração junto ao ponto de consumo, gerando energia para a rede de distribuição sem custos de transmissão de energia ao contrário do que é necessário nas grandes centrais de geração.

Uma maneira de beneficiar a geração de energia nas cidades é avaliando a influência da forma e organização urbana na produção local de energia a partir de fontes renováveis e o acesso ao abastecimento e distribuição de energia das cidades [4]. O crescimento das cidades leva ao adensamento construtivo e por isso algumas regras são criadas para garantir o acesso solar nos edifícios, elas atribuem limitações de alturas, espaçamentos das edificações e partidos arquitetônicos que garantem o acesso ao sol [5].

É necessário olhar para as oportunidades além da construção isolada, por este motivo a morfologia urbana é determinante para conseguirmos ter cidades energeticamente mais eficientes. A morfologia urbana é uma ciência que estuda as formas e relaciona os elementos externos do meio urbano e suas relações mútuas, explicando e definindo a paisagem urbana e sua estrutura. O estudo da forma urbana coloca em evidência a estrutura construída. Este estudo é muito importante para entender e planejar a cidade e interage com diversas disciplinas. Um estudo de morfologia urbana trata da divisão, em partes, do meio urbano (elementos morfológicos) e da articulação dos elementos entre si e com o conjunto que os definem, que são os lugares que definem, que são os lugares que constituem o espaço urbano [6].

Os arranjos das edificações, as larguras de vias e outros elementos urbanos podem criar barreiras/ sombreamentos que prejudicam o desempenho do sistema influenciando no potencial de geração BIPV [7], visto que um fator importante que determina o rendimento da eletricidade solar e a viabilidade econômica de um sistema BIPV é a disponibilidade de radiação solar.

O foco principal de análise e discussões sobre as relações entre morfologia urbana e sustentabilidade ambiental tem sido investigar se a forma das cidades e bairros pode determinar a sua eficiência energética, e consequentemente, seu menor impacto ambiental. Nesses termos, o potencial de geração de energia renovável dentro dos limites da cidade é um tema de crescente interesse e a energia solar parece ser uma alternativa simples e eficiente entre os recursos disponíveis.

A energia solar é a fonte que apresenta o maior aumento anual de capacidade instalada no mundo. Isso se deve aos preços decrescentes nos últimos anos, à robustez tecnológica, ao vasto potencial técnico e à ausência de emissões de gases de efeito estufa durante a operação [8].

No Brasil, essa tendência também se aplica devido aos altos índices de radiação solar e à sua distribuição relativamente uniforme por todo o território nacional. Isso permite o desenvolvimento de projetos solares viáveis em diferentes regiões, contribuindo para os compromissos do país na redução de gases de efeito estufa [9].

Considerando as elevadas tarifas residenciais, a grande disponibilidade do recurso solar em todo o país, a geração distribuída e junto ao ponto de consumo integrada a edificações urbanas, a tecnologia fotovoltaica se destaca quando comparada a fontes convencionais de energia, mesmo com seu custo inicial de instalação ainda mais elevado que as demais. A utilização de sistemas solares fotovoltaicos nos centros

urbanos é benéfica também para o alívio de carga do sistema de distribuição convencional, evitando custos de expansão de rede e reduzindo quedas no fornecimento de energia elétrica [10].
Este trabalho busca identificar o impacto da configuração urbana na geração de energia solar FV por meio de BIPVS, criando uma discussão sobre as restrições que a morfologia urbana impõe à geração FV, a partir de variáveis como diferentes orientações solares, dimensões de vias e de lotes, e volumetria edificada.

MÉTODO

A pesquisa é um estudo exploratório que visa avaliar o impacto da morfologia urbana na capacidade de geração de energia solar, por meio de BIPVs. Foram escolhidos os parâmetros usados na construção do cenário urbano e, com o auxílio do programa *REVIT*, foi produzido o modelo computacional. A partir da simulação computacional de um modelo por meio do *plugin Insight*, foram obtidos os dados de disponibilidade de radiação solar incidente nas superfícies verticais e horizontais das edificações. Após, foram calculadas as áreas disponíveis para a instalação dos BIPVs no cenário urbano. Nesta análise foi utilizado um percentual de abertura de fachadas. Assim, foi calculada a contribuição na geração de energia de cada unidade.

DEFINIÇÃO DOS CENÁRIO URBANO

O modelo do cenário urbano foi construído a partir da análise realizada em quatro objetos de estudo, condomínios urbanísticos residenciais e loteamentos, localizados na zona administrativa do Bairro Laranjal, na cidade de Pelotas no Rio Grande do Sul.
Foram mapeadas e analisadas as normas urbanísticas respeitadas nos quatro novos empreendimentos do bairro, denominados A; B; C e D, seguindo as categorias: altura das edificações; recuos de ajardinamento; dimensões de lotes; ocupação dos lotes; estrutura viária; distância entre as edificações e orientação solar das edificações. A tabela 1 mostra a síntese da caracterização dos objetos de estudo para a construção do modelo urbano simulado.

Tabela 1- Síntese da caracterização dos objetos de estudo (OE)

OE	Dimensões (m)		Recuos			Ocupação	Distâncias entre edificações		
	Frente	Prof.	Ajardinamento	Lateral	Fundo		Frontal	Lateral	Fundos
A	11	30	5m	1,5m	6m	2 pav.	24	3	Variável
B	11	24	4m	1,5m	4m	-	20	3	8
C	13	30	5m	1,5m	3m	2 pav.	24	3	6
D	11	25	4m	isento	3m	1 pav	24	-	6
Orientação Solar									
NE, NO, SE, SO									

Fonte: o autor.

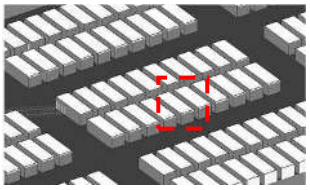
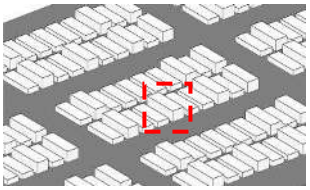
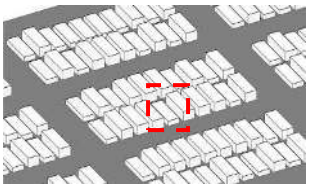
Após esse estudo foram desenvolvidos três modelos representando os dados encontrados com mais frequência nos objetos de estudo afim de representar a realidade do local. Os modelos apresentam as seguintes características:

- Tipologia das edificações: moradias isoladas com recuos laterais de 1,5m;

- Distribuição vertical: no modelo uniforme todas as edificações possuem dois pavimentos e nos modelos mistos as edificações possuem um e dois pavimentos;
- Distribuição horizontal: distância lateral entre edifícios é 3m, distância frontal entre edifícios é 24m e distância fundos entre edifícios é de 6m;
- Cada modelo será simulado respeitando as orientações solares encontradas nos Objetos de Estudo: nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste;
- Foi estabelecida uma área com nove quadras, cada uma possui 20 edificações. As quadras medem 110m x 60m e lotes de 11m x 30m. As simulações ocorrem em um volume edificado, porém todas as edificações do entorno fornecem informações de sombreamento de acordo com as distâncias e as alturas que possuem em relação ao volume simulado.

A tabela 2 apresenta os três modelos utilizados nesse artigo com a marcação da edificação simulada.

Tabela 2- Modelos elaborados a partir da síntese de caracterização dos Objetos de estudo

Modelo	**1) Uniforme**	**2) Misto 1**	**3) Misto 2**
Altura da edificação	7m	7m	3,5m
Altura das edificações confrontantes	7m	3,5m	7m
Imagem			

Fonte: o autor.

Os modelos foram simulados com as fachadas principais voltadas para as orientações solares SE e NO e as fachadas laterais para as orientações NE e SO, resultando em seis simulações.

SIMULAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR

A partir da criação dos modelos no programa *REVIT*, foram feitas as simulações de disponibilidade de radiação solar nas superfícies das edificações, nas diferentes orientações solares, por meio do *plugin Insight*. Os resultados das simulações, indicados em kWh/m²/ano, foram armazenados em tabelas eletrônicas.

CRIAÇÃO DAS FAIXAS DE DISPONIBILIDADE SOLAR

As superfícies de cada edificação foram divididas em três faixas de disponibilidade de radiação solar. As faixas foram criadas a partir dos níveis mínimos de radiação para o aproveitamento fotovoltaico recomendados na Europa, que seria de 60% do valor máximo de radiação solar encontrado[11], e afim de gerar uma comparação equilibrada, levando em consideração a quantidade de obstruções que as superfícies apresentam, foi estabelecido um limite mínimo de radiação solar disponível, seguindo o trabalho realizado em Florianópolis, SC, [12] que estabelece que apenas 40% do valor máximo pode ser aproveitado para conversão fotovoltaica nas superfícies.
A tabela 2 apresenta os valores utilizados como comparação e os valores calculados para Pelotas.

Tabela 2- Limite mínimo de disponibilidade de irradiação solar (kWh/m²/ano) para aproveitamento FV em superfícies verticais em ambientes urbanos

	Europa			Florianópolis			Pelotas		
	Alemanha	Espanha	França						
Níveis máximos	1.200	1.850	1.650	1.376			1.461		
Nível Mínimo recomendado (Europa)		60%							
	750	1.110	990						
Valor mínimo calculado				40%	50%	60%	40%	50%	60%
				550	688	826	584	733	877

Fonte: o autor.

Com base nessas informações as faixas de disponibilidade ficaram definidas como identificado na tabela 3.

Tabela 3- Definição das faixas de disponibilidade de radiação solar

Faixa de disponibilidade	Média da disponibilidade de radiação solar
Baixa	0-584 kWh/m²/ano
Média	585-800 kWh/m²/ano
Alta	>800 kWh/m²/ano

Fonte: o autor.

DEFINIÇÃO DO PERCENTUAL DE ABERTURAS DA FACHADA

Para avaliar o potencial real de determinado fechamento vertical para receber os BIPVs, foi considerada a área útil, descontando a área de possíveis aberturas.
Para definir os valores do percentual de abertura de fachada a serem aplicados nas fachadas, foi necessário considerar as três faixas de disponibilidade. As áreas da edificação que se encontram na faixa alta devem aproveitar o máximo possível de área conversora, limitando sua área envidraçada e as faixas média e baixa possuem baixo potencial de geração fotovoltaica e consequentemente devem usufruir do local para utilizar mais e maiores aberturas [12]. A tabela 4 apresenta o percentual de aberturas para cada faixa de disponibilidade de radiação solar.

Tabela 4- Atribuição dos valores de percentual de aberturas da fachada

Faixa de disponibilidade	Percentual de aberturas da fachada
Alta	25%
Média	50%
Baixa	75%

Fonte: o autor.

Os fechamentos horizontais também podem receber elementos construtivos que reduzem a área útil disponível, por isso os percentuais também foram aplicados nesses espaços.

ESCOLHA DO SISTEMA FV

No mercado existem diversos modelos de sistemas fotovoltaicos que variam em custo, eficiência, aparência e materiais de fabricação. Neste trabalho foi escolhido o módulo que está representado na tabela 5 visando adotar características médias entre os diferentes sistemas disponíveis no mercado.

Tabela 5- Características do módulo FV utilizado

Modelo	Tecnologia	Eficiência	Potência nominal	Área (m²)
JKM410M-6RL3	Silício multicristalino	21,48%	410W	1,91

Fonte: Jinko Solar.

CÁLCULO DA GERAÇÃO DE ENERGIA

A partir dos dados de disponibilidade de irradiação solar, da área disponível de acordo com as faixas de disponibilidade solar e do percentual de aberturas na fachada e levando em consideração o sistema FV adotado, foi calculado a quantidade de energia produzida pela edificação no período de um ano.
O cálculo será realizado por meio da seguinte equação 1:

$$E = G \times r \times Pcc \qquad \text{(Equação 1)}$$

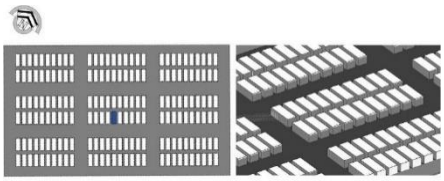
Onde:
E= Geração solar fotovoltaica (kWh/ano)
G = Irradiação diária recebida no plano do painel fotovoltaico (kWh/m2), dividida pela irradiância de referência de 1Kw/m², expressa em número de horas (h) [11] e [12]
r= Rendimento do sistema. Utiliza-se o valor 0,8 por ser um rendimento do sistema comumente recomendado na literatura [11] e [12]
Pcc= Potência do sistema em corrente contínua (Kw)

RESULTADOS

Com base nas etapas descritas na metodologia, a seguir são apresentados os resultados em diferentes orientações solares para cada modelo criado a partir das características predominantes na morfologia urbana do bairro Laranjal.

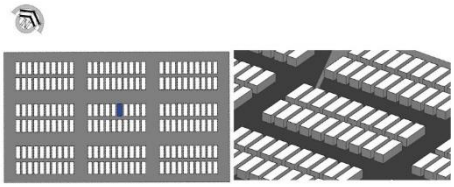
As tabelas 6 e 7 mostram os resultados para o modelo uniforme, onde todas as edificações possuem dois pavimentos, com a fachada principal voltada para a orientação solar SE e NO, respectivamente.

Tabela 6- Resumo dos resultados obtidos no Modelo 1- Uniforme com orientação solar SE

Modelo 1					
					
Fachada / orientação solar	Principal / SE	Fundos/ NO	Lateral /NE	Lateral / SO	Cobertura
Radiação solar (kWh/m²/ano)	400	740	477	302	1461
Faixa de disponibilidade de radiação solar	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Alta
Percentual de aberturas da fachada	75%	50%	75%	75%	25%
Área disponível para colocação de módulos opacos	14m²	29m²	39,75m²	39,75m²	48m²
Geração de energia (kWh/mês)	76,5	303,4	273,79	165	998,35

Fonte: o autor.

Tabela 7- Resumo dos resultados obtidos no Modelo 1- Uniforme com orientação solar NO

Modelo 1					
					
Fachada / orientação solar	Principal / NO	Fundos/ SE	Lateral / NE	Lateral / SO	Cobertura
Radiação solar (kWh/m²/ano)	938	322	475	308	1461
Faixa de disponibilidade de radiação solar	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	Alta
Percentual de aberturas da fachada	75%	75%	75%	75%	25%
Área disponível para colocação de módulos opaco	43,5m²	14,5m²	39,75m²	39,75m²	48m²
Geração de energia (kWh/mês)	564	60	259,66	168,37	998,35

Fonte: o autor.

Ao comparar o desempenho das simulações indicadas nas tabelas 6 e 7, nota-se que a cobertura não possui diferença no rendimento com a mudança de orientação solar e distância entre as edificações, por estar em um plano horizontal, e não sofre influência

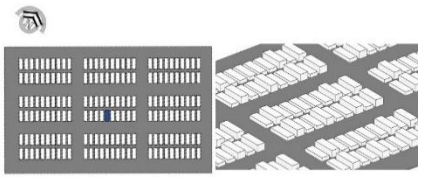
de volumes mais altos, criando sombreamento, ficando em uma faixa de disponibilidade de radiação solar alta e com uma geração de energia muito boa.

Quando avaliamos a faixa de disponibilidade apenas nos planos verticais a indicação alta aparece apenas na fachada orientada a NO com distância de 24m entre as edificações. Na mesma orientação solar, porém, com uma distância de 6m entre as edificações tem uma redução significativa, faixa média, mas ainda assim possui uma disponibilidade maior que a fachada orientada a SE com distância entre edificações de 24m.

O rendimento na faixa de disponibilidade alta é 36% menor no plano vertical quando comparado ao plano horizontal devido a troca de angulação dos planos e por apresentar obstruções de outras edificações no plano vertical.

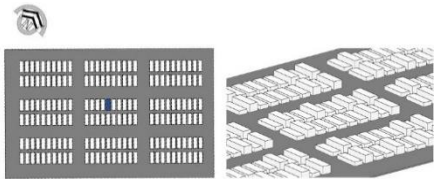
As tabelas 8 e 9 apresentam os resultados para o modelo 2 com características mistas, onde a edificação simulada possui dois pavimentos e as lindeiras possuem um pavimento.

Tabela 8- Resumo dos resultados obtidos do Modelo 2 Misto com orientação solar SE

Modelo 2					
					
Fachada / orientação solar	Principal / SE	Fundos/ NO	Lateral /NE	Lateral / SO	Cobertura
Radiação solar (kWh/m²/ano)	415	925	768	448	1461
Faixa de disponibilidade de radiação solar	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta
Percentual de aberturas da fachada	75%	25%	50%	75%	25%
Área disponível para colocação de módulos opaco	14,5m²	43,5m²	79,5m²	39,75m²	48m²
Geração de energia (kWh/mês)	79,4	556	860	244	998,35

Fonte: o autor.

Tabela 9- Resumo dos resultados obtidos do Modelo 2 Misto com orientação solar NO

Modelo 2					
					
Fachada / orientação solar	Principal / NO	Fundos/ SE	Lateral /NE	Lateral / SO	Cobertura
Radiação solar (kWh/m²/ano)	962	396	768	445	1461
Faixa de disponibilidade de radiação solar	Alta	Baixa	Média	Baixa	Alta

Percentual de aberturas da fachada	25%	75%	50%	75%	25%
Área disponível para colocação de módulos opaco	43,5m²	14,5m²	79,5m²	39,75m²	48m²
Geração de energia (kWh/mês)	578,48	75,76	860	243	998,35

Fonte: o autor.

As simulações apresentadas nas tabelas 8 e 9 mostram algumas mudanças em relação ao modelo uniforme, principalmente quando avaliamos as distâncias laterais entre as edificações de 3m. Por possuírem vizinhos com alturas mais baixas o rendimento das superfícies verticais aumentam, chegando a elevar para a faixa de disponibilidade de radiação média quando orientadas a NE, no caso da orientação SE a faixa de disponibilidade ainda é baixa, porém sofre um aumento na geração de energia se comparada com o modelo uniforme, apresentado anteriormente, por não possuir barreiras solares pela existência de dois pavimentos.

As tabelas 10 e 11 apontam os resultados para o modelo 3 com características mistas, onde a edificação simulada possui um pavimento e as lindeiras possuem dois pavimentos.

Tabela 10-Resumo dos resultados obtidos do Modelo 3 Misto com orientação solar SE

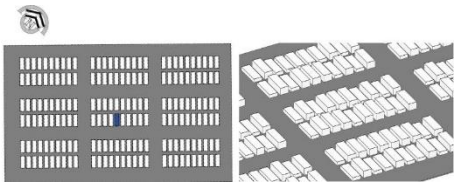
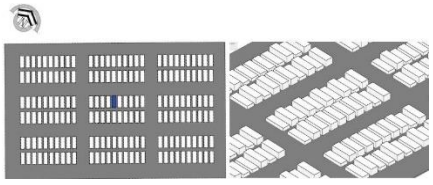
Modelo 3					
					
Fachada / orientação solar	Principal / SE	Fundos/ NO	Lateral /SO	Lateral / NE	Cobertura
Radiação solar (kWh/m²/ano)	384	621	229	306	1333
Faixa de disponibilidade de radiação solar	Baixa	Média	Baixa	Baixa	Alta
Percentual de aberturas da fachada	75%	50%	75%	75%	25%
Área disponível para colocação de módulos opaco	7m²	14m²	20m²	20m²	48m²
Geração de energia (kWh/mês)	31,48	118,8	62,59	83,64	910,88

Tabela 11- Resumo dos resultados obtidos do Modelo 3 Misto com orientação solar NO

Modelo 3					
					
Fachada / orientação solar	Principal / NO	Fundos/ SE	Lateral /NE	Lateral / SO	Cobertura
Radiação solar (kWh/m²/ano)	920	277	302	239	1333

Faixa de disponibilidade de radiação solar	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	Alta
Percentual de aberturas da fachada	25%	75%	75%	75%	25%
Área disponível para colocação de módulos opaco	21m²	7m²	20m²	20m²	48m²
Geração de energia (kWh/mês)	251,46	22,71	82,54	65,32	910,88

Fonte: o autor.

Ao comparar com os resultados encontrados nos dois primeiros modelos nota-se uma pequena redução na radiação solar disponível na cobertura do modelo 3, isso ocorre por apresentar obstruções vindas dos vizinhos que possuem dois pavimentos. Ainda assim, a cobertura segue pertencendo a faixa de disponibilidade de radiação alta.

Mesmo ambos serem modelos mistos, o modelo 3 apresenta rendimento inferior em relação ao modelo 2 em todas as superfícies verticais, principalmente quando comparado a fachada de fundos com distância entre edificações de 6m e orientação NO, no modelo 2 a faixa de disponibilidade de radiação solar é alta (925 kWh/m²/ano) e no modelo 3 a faixa de disponibilidade reduz para média (621 kWh/m²/ano).

O modelo 2 apresenta um potencial de geração de energia total maior que os outros dois modelos, principalmente por possuir menor obstrução das edificações vizinhas e o modelo 3, por ter mais obstrução, apresenta a menor geração de energia.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho teve como foco principal o estudo das características da morfologia urbana existente em um recorte do município de Pelotas e o impacto dessa morfologia no potencial de BIPVs.

Quando comparados os resultados de cada superfície percebe-se como a orientação solar, a distância entre edificações e a diferença de altura influencia na geração de energia. Locais que possuem todas as edificações com alturas iguais tem um rendimento mediano quando comparado com modelos mistos e isso tem relação direta com a altura das edificações e distância entre elas. Entre os modelos mistos, quando as edificações lindeiras são mais baixas a geração de energia é maior.

Quando voltadas para orientações solares mais ao norte seria interessante aumentar as distâncias entre as edificações para aproveitar o rendimento superior que essas superfícies apresentam. A pesquisa mostra que a morfologia existente no bairro do Laranjal é favorável para a aplicação de BIPVs principalmente em fachadas voltadas para NO e com a distância entre edificações de 24m. O somatório dos planos verticais e horizontais suprem as necessidades de geração de energia de uma edificação.

REFERÊNCIAS

[1] ZOMER, C; CUSTÓDIO, I. **O que toda empresa de energia solar precisa saber sobre integração de sistemas fotovoltaicos a edificações residenciais e comerciais**. [S. L]: Arquitetando Energia Solar, 2022. 54

[2] ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS DIRECTIVE (EPBD) 2010/31/EU Disponível em:<https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF> Acesso em: 05 de maio, 2023.

[3] RESENDE, J., MONZÓN-CHAVARRÍAS, M., & CORVACHO, H. **The applicability of nearly/net zero energy residential buildings in Brazil – A study of a low standard dwelling in three different Brazilian climate zones**. Indoor and Built Environment, 1420326X2096115, 2020.

[4] ZANON, B., & VERONES, S. **Climate change, urban energy and planning practices: Italian experiences of innovation in land management tools.** Land Use Policy, 32, 343–355, 2013.

[5] VIANNA, S. **Análise do "Direito ao sol" nos planos diretores de Pelotas- RS, em zonas residenciais.** 2017. 200 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

[6] LAMAS, J. M. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. 12. ed. Lisboa: [s.n.], v. 1, 2009.

[7] CHATZIPOULKA, C., NIKOLOPOULOU, M. **Urban geometry, SVF and insolation of open spaces: London and Paris**. Building Research & Information, 46(8), 881–898, 2018.

[8] IRENA – Agência Internacional de Energias Renováveis Disponível em: <https://www.irena.org/>. Acesso em: 3 de outubro 2023.

[9] PNE 2050. **Plano Nacional de Energia**. Ministério de Minas e Energia, 2020.

[10] ZOMER, C. **Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Uma Edificação Inserida em Meio Urbano e Conectada à Rede Elétrica**. Florianópolis, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Departamento da Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianóplis, 2010.

[11] CRONEMBERGER, J.; CAAMAÑO-MARTÍN, E.; SÁNCHEZ, S.V. **Assessing the Solar Irradiation Potencial For Solar Photovoltaic Aplications in Buildings at Low Latitudes: making the case for Brazil.** Energy and Buildings, v. 55, p. 264-272, set. 2012.LEWIN, R. **Complexity: life at the edge of chaos**. 2. ed. Chicago: University of Chicago Press, 2000.

[12] GAVIRA, L. R.; PEREIRA, F. O. R.; MIZGIER, M. O. **Influência da configuração urbana na geração fotovoltaica com sistemas integrados às fachadas**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 7-23, out./dez. 2013. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.