

ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM DIFERENTES ÁREAS RESIDENCIAIS EM CIDADE DE MÉDIO PORTE NO SUL DO BRASIL

Ísis Portolan dos Santos – isis.santos@ufsm.br

Maurício da Silva Oliveira

Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo

Quétilan Rodrigues Domingues

Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo

Mariana Almeida da Silva

Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo

Resumo. *O uso de energias limpas e renováveis vem se tornando uma questão de grande relevância no cotidiano da sociedade, sobretudo, no sentido da geração de energia sustentável e no crescimento da adesão de sistemas renováveis por consumidores residenciais. O presente estudo tem como principal objetivo identificar a evolução da adesão de sistemas de geração de energia solar por meio de módulos fotovoltaicos em condomínios horizontais na cidade de Santa Maria (RS). O estudo foi realizado por meio de observações de imagens de satélite do Google Earth, dentro de um recorte temporal de 10 anos, observando-se a área disponível para a instalação dos sistemas fotovoltaicos em telhados de três condomínios, e a evolução de instalação de módulos fotovoltaicos nas respectivas residências. O estudo teve enfoque na tipologia espacial de habitação do tipo de condomínios horizontais, tendo como análise: o condomínio Providence Clube Eco-Residencial São José, o Bauhaus Residencial e o Condomínio Terra Nova, todos eles localizados a leste do território urbano de Santa Maria. Observou-se através do estudo uma adesão gradativa ao longo dos anos a esse tipo de sistema, e um elevado percentual de instalação ao longo do ano de 2022. Assim, conclui-se que nesses locais a demanda por instalação de energia fotovoltaica teve crescimento expressivo nos últimos anos, mas que ainda não contempla a totalidade da disponibilidade de área utilizável para sua implantação.*

Palavras-chave: *Energia Solar, Painéis fotovoltaicos, Condomínios horizontais*

1. INTRODUÇÃO

A Agenda 2030 prevê em seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ações para desacelerar a degradação dos recursos naturais e do meio ambiente. Os ODS propõem iniciativas para frear as mudanças globais climáticas e ampliar a utilização de energias limpas e acessíveis. Dentro do ODS 7 – Energia Limpa e Acessível, as metas giram em torno do aumento dos percentuais de energias renováveis dentro da matriz energética mundial; expandir e modernizar infraestruturas e tecnologias que possibilitam o uso de energia renovável; e dobrar as taxas de eficiência energética das edificações até o ano de 2030 (ONU, 2023).

No contexto brasileiro, observamos que a matriz energética nacional é diretamente ligada à energia hidrelétrica. Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2023 (ano base 2022), 63% de toda a energia produzida no Brasil é resultado das hidrelétricas, sendo seguida pela geração a partir de gás natural (6,2%), energia eólica (12,10%), até chegarmos na geração solar que representa 4,4% da matriz geral do Brasil (EPE, 2023). O anuário também apresenta dados significativos relacionados à distribuição e utilização da energia produzida no Brasil. De acordo com o relatório, o consumo residencial corresponde a 30,01% de toda a energia produzida, ficando atrás somente do setor industrial, que demanda 36,23% da produção (EPE, 2023). Esses percentuais destacam a importância de investimentos e incentivos na geração de energias alternativas com o objetivo de promover a sustentabilidade no uso residencial de energia.

Embora a geração de energia solar ainda tenha uma presença relativamente modesta no cenário nacional, em 2021, os investimentos nessa tecnologia ultrapassaram a marca de 21 bilhões de reais, representando um crescimento de 49% em relação ao montante total investido no período de 2012 a 2020 (ABSOLAR, 2022). Apesar de a participação dos sistemas fotovoltaicos na matriz energética nacional ainda ser considerada reduzida, é possível notar que essa parcela duplicou em relação a 2021, quando ocupava 2% da matriz, passando para 4,4% em 2022, tendo esse aumento ocorrido devido às possíveis taxas anunciadas para entrar em vigor no início de 2023 (EPE, 2023).

O funcionamento desse sistema consiste na geração de energia nas edificações que é posteriormente enviada para as empresas de abastecimento a fim de suprir a energia que foi consumida pelas residências oriunda das redes de energia convencionais. Essa taxa é aplicada devido ao uso das redes para efetuar essa transmissão de energia entre as residências e as empresas de abastecimento. Por essa razão, o ano de 2022 testemunhou um grande entusiasmo por parte das empresas instaladoras de sistemas fotovoltaicos, que aproveitaram a publicidade em torno das taxas para expandir suas instalações.

De acordo com Abrahão; Souza (2021), no que concerne ao consumo de energia das edificações, percebe-se que o maior percentual de gasto energético nas residências se dá pelo uso de equipamentos de climatização, sendo eles, em sua maioria, para conservação de alimentos, aquecimento de água ou conforto ambiental.

Pelo Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022, produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), verifica-se que a região sul, na qual estão inseridos os condomínios analisados neste artigo, liderou o ranking brasileiro no consumo de energia elétrica para o setor residencial em 2020, com 816 kWh por habitante, diminuindo sua participação em torno de 0,7% em 2021, com 792 kWh por habitante. E, diante dessa realidade, no conjunto amostral analisado pela mesma pesquisa, para os anos de 2018-2019, identificou-se a classe C1, como aquela que possuía o maior consumo médio mensal, alcançando valores acima dos 100.000 kWh (EPE, 2023).

Assim, a primeira parte deste estudo baseou-se na caracterização do consumo energético do município e das condições de radiação solar. Diante disso, não apenas a energia fotovoltaica se torna essencial nos domicílios como, também, a utilização de equipamentos complementares, tais como o aquecimento de água por sistema solar e projetos de arquitetura bioclimática que sejam adequados às condições climáticas locais, bem como a previsão para instalação dos sistemas de energia fotovoltaica, quando não houver a possibilidade de instalação em conjunto com a construção da residência.

A formação urbana se refere ao processo de desenvolvimento e organização das áreas urbanas, ou seja, das cidades e aglomerações urbanas, envolvendo o planejamento, crescimento, expansão e estruturação das cidades. Dentre as tipologias de aglomeração e densificação urbana, existe a tipologia habitacional do tipo condomínio vertical e condomínio horizontal. Em ambos os casos, os condôminos são proprietários de seu lote e mais uma porcentagem da área total do empreendimento, pagando o Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU) sobre este domínio. Além disso, todo condomínio é, segundo a Lei de Incorporações Imobiliárias, um empreendimento privado, ou seja, sempre será considerado fechado, com muros e sistemas de monitoramento (Silva, 2023).

Nesse contexto, o estudo realizado tem por objetivo a análise da evolução das instalações de painéis fotovoltaicos em três condomínios horizontais entre os anos de 2012 a 2022, no município de Santa Maria (RS), utilizando o método de análise de imagens de satélites disponíveis pelo software *Google Earth*.

2. INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS

Santa Maria, cidade do interior do Rio Grande do Sul, é conhecida por ser um polo de referência em serviços da área educacional, institucional e médico-hospitalar, além de possuir um dos mais importantes contingentes militares do Brasil. Localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, é classificada como Distrito Sede do COREDE Central. De acordo com Silva (2023), a distribuição populacional apresenta-se dividida em 95% na área urbana e 5% na área rural, e está na posição 45º do índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM), superando o próprio índice do estado do Rio Grande do Sul.

Outro fator importante a destacar é que a cidade se localiza na Zona Bioclimática 2 (NBR 15220-3), de clima subtropical, com quatro estações bem definidas: invernos frios e verões quentes, que apresenta grande amplitude térmica anual (Romes, 2019). Além disso, a zona urbana de Santa Maria é dividida em 42 bairros em sua distribuição territorial, porém, apesar de ser uma cidade de médio porte, exibe uma ascensão da ocorrência de condomínios horizontais em apenas 11 de seus bairros, apresentando até a presente data um número de 37 unidades dessa tipologia (Silva, 2023).

A criação de condomínios horizontais fechados é uma solução usualmente utilizada para tentar solucionar as problemáticas habitacionais e de segurança dos grandes centros urbanos. E que, apesar das críticas, sua disseminação tem sido um fato nas metrópoles sul-americanas. No caso de Santa Maria, as normativas utilizadas para regulamentar tais empreendimentos são: o Código de Obras e Edificações, e a Lei de Uso e Ocupação do Solo. Neste último destacam-se as tipologias, índices de ocupação e aproveitamento, e também as alturas permitidas para edificações dentro de condomínios (Silva, 2023).

Utilizando os dados disponíveis em publicações relacionadas ao tema, o estudo teve como objetivo analisar 3 dos 37 condomínios horizontais situados em Santa Maria. A escolha por analisar condomínios justifica-se pelo fato de que esses são locais de ocupação controlada. Os condomínios horizontais selecionados para a análise são: Providence Clube Eco-residencial, Bauhaus Residencial e Condomínio Terra Nova, todos localizados na região leste da cidade de Santa Maria. A seleção dessas unidades baseou-se em sua localização, numa área da cidade com alto crescimento de empreendimentos imobiliários. Além disso, as particularidades distintas de cada um deles auxiliam na representação dos aspectos que poderiam influenciar na utilização dos painéis fotovoltaicos, como as características socioeconômicas dos moradores, a compra de residências prontas, o loteamento onde os proprietários constroem as suas residências, dentre outros fatores. Além disso, essa região da cidade possui uma maior concentração de condomínios residenciais horizontais, os quais são propícios à instalação dos painéis solares fotovoltaicos.

A metodologia para análise dos sistemas foi baseada em imagens de satélite através do software *Google Earth*. Por meio da rolagem da barra temporal, que registra em que período as fotografias aéreas foram obtidas, pôde-se delimitar o crescimento construtivo dos condomínios estudados e também a adesão das residências aos sistemas fotovoltaicos. Neste sentido, foram analisados ano a ano a quantidade de unidades que foram sendo construídas ao longo do recorte temporal, bem como a disponibilidade de área em telhado dessas unidades e a adesão aos sistemas fotovoltaicos nas residências.

Para a definição da quantidade de áreas de telhados disponíveis e áreas de módulos fotovoltaicos, foi utilizada a ferramenta de criação de polígonos disponível no próprio software *Google Earth*, onde foram sendo verificados ao final de cada ano quais residências foram construídas ou aderiram ao sistema. Optou-se por essa metodologia uma vez que as imagens disponíveis eram de boa qualidade e não apresentaram interferência de nuvens, o que, por sua vez, possibilitou uma melhor precisão para a demarcação dos polígonos e respectivas metragens quadradas. Para estimar as áreas, foram

considerados os pontos nos quais via-se claramente nas imagens a presença de telhados ou painéis fotovoltaicos e, conseqüentemente, foram sendo preenchidos os dados nas tabelas criadas para acompanhar o processo de instalação dos painéis fotovoltaicos nas unidades habitacionais.

O recorte temporal abarcou os últimos 10 anos, sendo o início do estudo o ano de 2012, captando sempre a imagem mais nítida e mais ao final do ano (dezembro), com o intuito de obter o panorama total do ano e finalizando com imagens de abril de 2023, em decorrência do lapso temporal entre a última imagem de 2022, em outubro, e a primeira de 2023, em abril, tendo se optado pela imagem deste último mês para obter o panorama total do ano de 2022. Os dados obtidos a partir das observações das imagens aéreas foram sintetizados em tabelas compostas por dados relativos ao total de residências construídas em cada ano, ao número de unidades que aderiram aos sistemas fotovoltaicos em cada ano, à área de telhado disponível para instalação de painéis fotovoltaicos nas unidades já consolidadas em cada ano, à quantidade de área utilizada com módulos fotovoltaicos e ao percentual que essas instalações representam em relação às áreas totais de telhado disponível para instalação do sistema, separados por ano, sem considerar a orientação solar destas. Além disso, também foi realizada uma estimativa de cálculo para saber se a metragem quadrada instalada de painéis fotovoltaicos era suficiente para a demanda de cada tipo de faixa de renda.

3. OBJETO DE ESTUDO

Considerando as situações apresentadas e comparando as áreas disponíveis de telhado com os percentuais de painéis fotovoltaicos instalados, verificou-se que os condomínios possuem área disponível para a ampliação do uso de energia solar. Na Fig. 1 são apresentados dados para o consumo médio de energia elétrica na cidade de Santa Maria para o ano de 2019. Os dados foram coletados através de pesquisa quantitativa com 51 respondentes, de renda de 1 até mais de 10 salários mínimos, sendo que 72% da amostra possui renda acima de 5 salários mínimos, considerados de classe B2 a A. A média de consumo mensal para as residências teve seu menor valor nos meses de abril, junho, julho, setembro e novembro, com um consumo de cerca de 4000 kWh. O pico de consumo ocorreu no mês de janeiro, que apresentou consumo médio por volta dos 600 kWh (Zambonato, 2021).

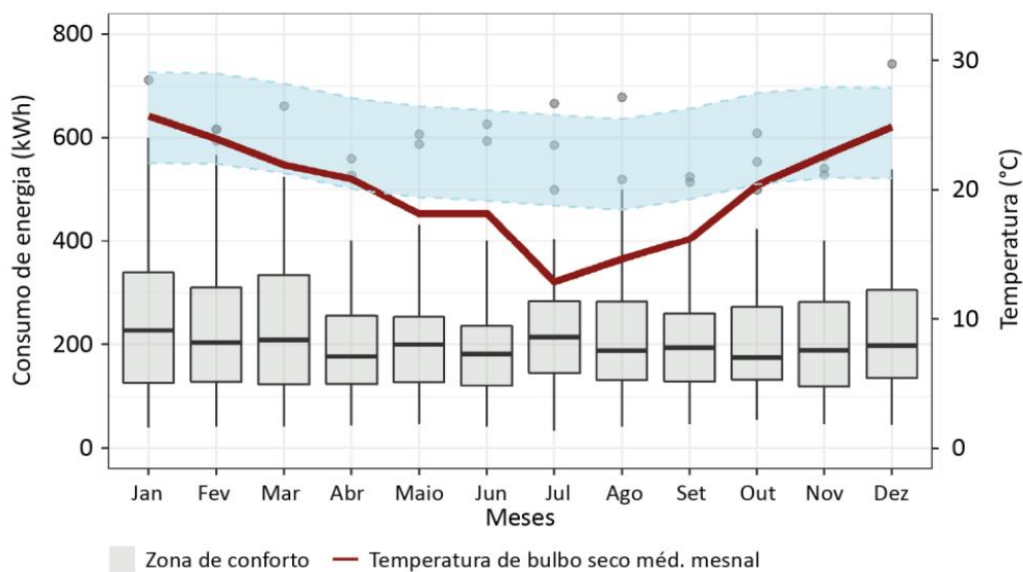


Figura 1: Gráfico de caixa do consumo de energia ano de 2019.

Fonte: Zambonato (2021).

A classe C1, como pode ser observado na Fig. 2, possui uma média salarial em torno dos R\$ 3.277, em 2021, e de acordo com a ABEP (2022), representa cerca de 25,3% do total da população da região sul, sendo a segunda com maior número de pessoas entre as seis classes consideradas no estudo.

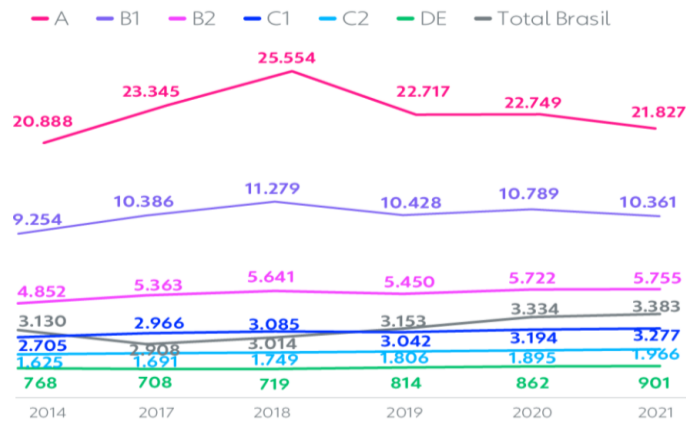


Figura 2: Renda média familiar por classe 2014-2021 (em R\$).
Fonte: Globo, 2022.

A insolação média diária no município é de 13,6 horas no verão, 11,4 horas no outono, 10,6 no inverno e 12,8 na primavera (Weather Spark, c2023). Com o objetivo de ilustrar uma média aproximada de irradiação disponível no município, elaborou-se a Tab. 1, a partir de cenário hipotético, para dois padrões bastante usuais de telhas especificadas na construção residencial na região.

Tabela 1: Valores para irradiação média na cidade de Santa Maria (RS).

Irradiação média por inclinação e orientação			
Orientação	Tipo de telha	Inclinação usual	Irradiação média mensal
Norte	Cerâmica	30°	4,77
	Fibrocimento	15°	4,68
Sul	Cerâmica	30°	4,12
	Fibrocimento	15°	3,93
Leste	Cerâmica	30°	3,31
	Fibrocimento	15°	4,32
Oeste	Cerâmica	30°	4,14
	Fibrocimento	15°	4,33

Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Radasol, 2023.

Em virtude de suas características geomorfológicas, Santa Maria possui maior concentração populacional em sua área central, tendo se desenvolvido de forma linear, ao longo de seu eixo Leste-Oeste. Os 3 condomínios analisados encontram-se nessa faixa de urbanização (sua delimitação e localização é apresentada na Fig. 3).

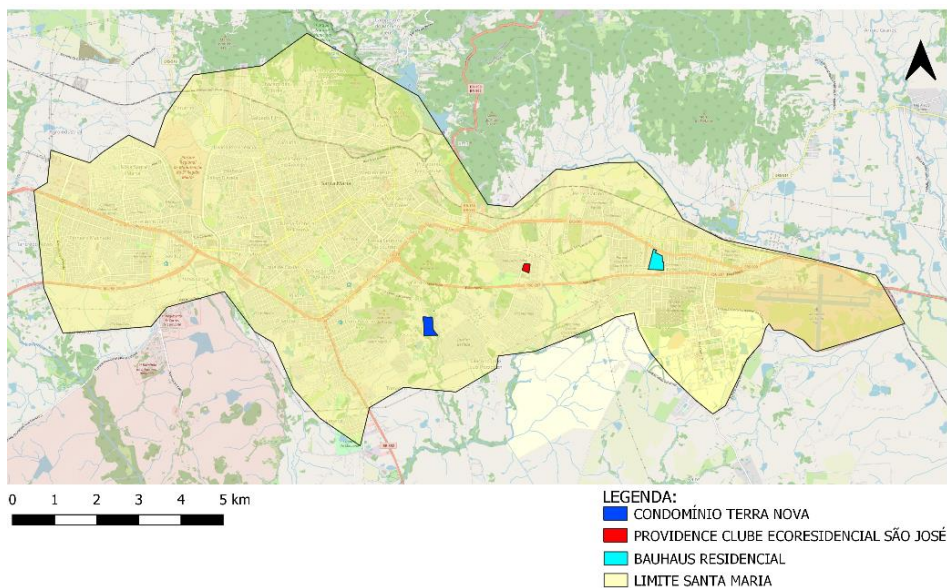


Figura 3: Localização dos condomínios analisados no estudo.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

4. ANÁLISE DOS CONDOMÍNIOS

Providence Clube Eco-Residencial.

Localizado na Estrada Antônio Ignácio de Ávila, o condomínio está na porção leste do território de Santa Maria. Composto por unidades unifamiliares geminadas em 2 e 3 modelos diferentes, o início da marcação do canteiro de obras ocorreu em 2009. Dentro do recorte temporal deste estudo (2012-2022), o condomínio, em 2012, já possuía 30 unidades ocupadas e, ao longo dos anos, esse número continuou a crescer. Em 2018, alcançou sua capacidade máxima de ocupação, com 55 unidades. A Fig. 4 apresenta uma comparação entre as imagens aéreas dos anos de 2012 e 2022.



Figura 4: Comparativo entre as implantações residenciais entre os anos de 2012 (à esquerda) e 2022 (à direita) - Providence Clube Eco-Residencial São José.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

Embora o residencial esteja totalmente consolidado há 5 anos, o surgimento de sistemas fotovoltaicos se deu apenas a partir do ano de 2022, no qual houve a instalação em 23 unidades residenciais, o que representa 42% do total do empreendimento. As áreas de instalação variaram entre 10,55m² (o que representa em média 8 módulos fotovoltaicos) e 28,36m² (em média 27 a 28 módulos). A Tab. 2 indica a evolução de implantação residencial ao longo do recorte temporal, bem como as áreas de telhado disponíveis para a instalação dos módulos fotovoltaicos e a representação de quantia em área que estão implantados os sistemas de energia solar.

Tabela 2: Quantificação de residências, área de instalação do sistema fotovoltaico e comparativos de área ocupada - Providence Clube Eco-Residencial São José.

Condomínio Providence Clube Eco-Residencial São José						
Ano	Total de residências	Residências c/ Fotovoltaico	% Fotovoltaico	A. Fotovoltaico (m ²)	A. Telhados	% Ocupado
2012	30	0	0%			0,000%
2013	34	0	0%			0,000%
2014	39	0	0%			0,000%
2015	43	0	0%			0,000%
2016	43	0	0%			0,000%
2017	51	0	0%			0,000%
2018	55	0	0%			0,000%
2019	55	0	0%			0,000%
2020	55	0	0%			0,000%
2021	55	0	0%			0,000%
2022	55	23	42%	448,35	8186	5,477%

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Considerando que a adesão aos sistemas fotovoltaicos foi iniciada apenas em 2022, quando o condomínio já estava consolidado e em sua capacidade máxima construtiva, pode-se concluir que no caso do Condomínio Providence Clube Eco-Residencial São José, a instalação dos módulos fotovoltaicos fora adaptada para a arquitetura já existente, não havendo a possibilidade de integração por elementos BIPV. Somando-se a isso, percebe-se que grande parte das unidades que aderiram ao sistema não utilizaram toda a extensão disponível em área de telhado para a instalação dos módulos. Isso pode ocorrer devido ao caimento das águas dos telhados. No caso do Residencial São José, as unidades dispõem de unidades com telhados em 4 águas que, por sua vez, podem não favorecer a instalação de sistemas fotovoltaicos em sua totalidade em virtude da posição solar que essas coberturas se encontram.

Residencial Bauhaus.

Localizado na Av. Pref. Evandro Behr nº 6105, no bairro Camobi, o condomínio conta com uma área total de 11,32ha, distribuída em 110 lotes, áreas verdes e infraestruturas (Silva, 2023). Por possuir um estilo residencial de alto padrão construtivo, as unidades variam entre 200m² e 600m² em lotes de 500m² a 1.000m². Isto também favorece a implementação de sistemas fotovoltaicos em coberturas, uma vez que existe a necessidade de área livre nas coberturas para a instalação dos módulos. Diante da análise da construção de residências no condomínio, e, também, em paralelo a análise de sistemas fotovoltaicos instalados nas residências, pode-se destacar que durante o tempo de estudo (2012 a 2022), o condomínio totalizou 50 casas construídas, sendo que 28 possuem sistema solar fotovoltaico instalados em suas coberturas. A Fig. 5 apresenta o desenvolvimento do condomínio, comparando imagens de satélite de 2012 e 2022.

O Bauhaus é um dos 5 condomínios de lotes que se encontram no corredor de urbanidade de Santa Maria, de acordo com Silva (2023). Nesses casos percebe-se que as tipologias condominiais possuem um padrão socioeconômico mais elevado em comparativo com os demais condomínios da cidade. Isso se dá pelo valor das unidades serem maiores pelo número de instalações nas áreas comuns e também nas benfeitorias de infraestruturas urbanas e acesso aos condomínios.



Figura 5: Comparativo entre as implantações residenciais entre os anos de 2012 (à esquerda) e 2022 (à direita) - Residencial Bauhaus.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

As obras de início do empreendimento datam de 2012, porém, apenas em 2016 as primeiras unidades começaram a surgir. Quanto aos sistemas fotovoltaicos, registrou-se as primeiras adesões ao sistema a partir de 2017, com a instalação em duas unidades já existentes. Nesse ano, o condomínio contava com 10 unidades já consolidadas. A partir de 2017 observou-se o crescimento na adesão aos sistemas fotovoltaicos nas residências, sendo a maioria das ocorrências em residências que já estavam construídas, o que caracteriza o uso do sistema de forma não integrada à arquitetura das unidades. A Tab. 3 apresenta o crescimento de unidades residenciais no condomínio, bem como a gradativa adesão aos sistemas fotovoltaicos nessas residências.

Tabela 3: Quantificação de residências, área de instalação do sistema fotovoltaico e comparativos de área ocupada - Residencial Bauhaus.

Residencial Bauhaus						
Ano	Total de Residências	Residências com Fotovoltaico	% Fotovoltaico	A. Fotovoltaico (m ²)	A. telhado (m ²)	% Ocupado
2012	-	-	-	-	-	-
2013	-	-	-	-	-	-
2014	-	-	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	-	-
2016	6	-	-	-	1.430	0,000%
2017	10	2	20%	35	2.390	1,464%
2018	25	3	12%	45	6.030	0,746%
2019	31	9	29%	240	7.810	3,072%
2020	35	15	43%	335	8.925	3,753%
2021	40	16	40%	360	10.100	3,564%
2022	56	39	69%	1247	14.716	8,473%

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

As análises por meio das imagens aéreas, puderam revelar que no caso do condomínio Bauhaus, a adesão pelos módulos fotovoltaicos ocorreu de forma gradual, sendo em 2022 um aumento significativo de instalação em relação aos demais anos. Pode-se observar também, que em sua maioria, a instalação dos módulos ocupou quase a totalidade das áreas disponíveis de telhado das residências, além de observar que em alguns casos, unidades que já apresentam o sistema, ampliaram sua instalação conforme ainda havia disponibilidade de área de telhado para este uso.

Condomínio Terra Nova.

Localizado no bairro Cerrito, região centro-sul da cidade (Fig. 6), suas imagens de satélite disponíveis no software *Google Earth*, informam sua conclusão em agosto de 2011. Assim, não é possível identificar o final das obras, já que a imagem anterior apresenta a data de julho de 2009. O condomínio possui uma área de 18,94ha, as quais estão distribuídas num total de 1.625 unidades habitacionais, área para prática de esportes e atividades de lazer (Silva, 2023). O condomínio possui 9 empreendimentos diferentes dentro de sua área, que foram aprovados em períodos de tempo diferentes e foram sendo acrescentados em sua extensão. É considerado um condomínio de representação de renda mais baixa, localizado nas proximidades de outros dois empreendimentos de mesmo caráter, o Condomínio Moradas e o Condomínio Moradas Clube. Isso se dá pela maior distância que tais empreendimentos possuem do corredor de urbanidade da cidade de estudo e, também por se caracterizarem em unidades do Programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal (Silva, 2023).



Figura 6: Comparativo entre as implantações residenciais entre os anos de 2012 (à esquerda) e 2023 (à direita) – Condomínio Terra Nova.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

Por meio da análise temporal (Tab. 4), identificou-se o ano de 2019 como o primeiro em que se teve instalação de sistema de geração de energia fotovoltaica. Foram identificadas 3 residências com o sistema. No ano seguinte, apesar de ainda baixo, o número de casas com placas fotovoltaicas mais que dobrou, totalizando 10 casas, (1% do número total de residências). Já em 2021, percebeu-se um incremento de mais 4 residências e, em 2020 um significativo aumento, saindo de 14 para 71 residências que passaram a contar com o sistema. Em 2022 a tendência de crescimento se manteve, chegando a 94 domicílios que possuíam a geração de energia fotovoltaica instalada. No total, ao final do período de análise, do total de residências, apenas 6% das residências do condomínio havia aderido ao sistema de geração de energia, sendo o percentual mais baixo entre os condomínios analisados. Para o cálculo da área de telhados nesse condomínio, devido ao grande número de unidades e adições de áreas nas unidades habitacionais ao longo dos anos, o cálculo dos primeiros anos baseou-se na área de telhados entregues pela construtora. Para o cálculo do último ano de análise, utilizando-se a imagem de 2022, foram consideradas também áreas de telhado adicionadas tidas como regulares pelos autores. Esse procedimento foi necessário devido a dificuldade de identificação de algumas dessas estruturas.

Tabela 4: Quantificação de residências, área de instalação do sistema fotovoltaico e comparativos de área ocupada – Condomínio Terra Nova.

Condomínio Res. Terra Nova						
Ano	Total de residências	Residências c/ Fotovoltaico	% Fotovoltaico	A. Fotovoltaico (m ²)	A. Telhados (m ²)	% Ocupado
2012	1625	0	0%	0,00	34008,00	0%
2013	1625	0	0%	0,00	34008,00	0%
2014	1625	0	0%	0,00	34008,00	0%
2015	1625	0	0%	0,00	34008,00	0%
2016	1625	0	0%	0,00	34008,00	0%
2017	1625	0	0%	0,00	34008,00	0%
2018	1625	0	0%	0,00	34008,00	0%
2019	1625	3	0%	87,00	34008,00	0,256%
2020	1625	10	1%	228,70	34008,00	0,672%
2021	1625	14	1%	305,60	34008,00	0,899%
2022	1625	94	6%	2135,70	43150,00	4,949%

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

5. DISCUSSÕES

Apesar de o sistema de geração de energia solar fotovoltaica ter sido criado no século XX, o início de sua popularização no Brasil ocorreu apenas após o ano de 2012, mediante publicação da Resolução Normativa nº 428, a qual passou a permitir ao consumidor a geração própria de energia elétrica conectada à rede de distribuição (ANEEL, 2012). A partir de então, profissionais e empresas especializadas nessa tecnologia começaram a surgir e o sistema ganhou gradativa popularidade no País. Acredita-se que, devido ao fato de Santa Maria ser considerada uma cidade do interior do estado, a disseminação do produto tenha ocorrido ainda mais tarde que nas capitais. Aliado a isso, também há aspectos referentes à disseminação do conhecimento sobre a tecnologia e dos benefícios da instalação de energia solar fotovoltaica, aliado também à renda da população do município ser diferente de outras regiões do País.

Nesse contexto, por meio da análise temporal apresentada, foi identificado que os condomínios em estudo iniciaram a implantação do sistema apenas em 2017 (Residencial Bauhaus). E ainda, a ocupação de 1 dos 3 condomínios avaliados se deu apenas no ano de 2022 (Providence Clube Eco-Residencial São José). Acredita-se que isso deveu-se aos proprietários demorem certo período de tempo a fazer benfeitorias que requeriam valores relativamente altos em seus imóveis, como por exemplo, a instalação do sistema fotovoltaico, após o alto investimento inicial necessário para adquiri-los ou construí-los. Para melhor visualização, foi desenvolvida a Tab. 5, demonstrando a evolução das edificações que contavam com o sistema instalado a cada ano.

Tabela 5: Quantificação de residências com instalação fotovoltaica para cada condomínio.

Nº de Residências que utilizam o sistema fotovoltaico						
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Eco Residencial São José	0	0	0	0	0	23
Residencial Bauhaus	2	3	9	15	16	39
Condomínio Terra Nova	0	0	3	10	14	94

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Com o passar dos anos, o número de empresas a oferecerem o produto aumentou, gerando maior competitividade relativa ao valor do mesmo, o que também tende a diminuir conforme a tecnologia evolui. Além de maior competitividade, segundo Lima *et. al.* (2022), os novos modelos de células fotovoltaicas possuem menor custo de produção, em virtude de seu desenvolvimento tecnológico ter possibilitado otimização de seus componentes, uma vez que as células são fabricadas com camadas mais finas. Dessa forma, ambos os fatores mencionados podem ter contribuído na relativa demora para a implementação do sistema, que só ocorreu após diminuição do custo do sistema.

Também considera-se que o aumento expressivo da aplicação do produto nas residências em 2022 possa ter relação com a previsão de mudança da legislação brasileira. Em janeiro de 2022 foi aprovada a Lei nº 14.300, estabelecendo novas regras para os usuários que instalem seus sistemas fotovoltaicos a partir de 2023. Conhecida vulgarmente como a “Lei de taxaço do sol”, a referida legislação exime os usuários que implantaram seus sistemas até 2022 de pagarem a taxa de utilização da infraestrutura das concessionárias distribuidoras, pelo menos até 2045.

Quanto ao fato de o Eco-residencial São José ter iniciado a inclusão dos painéis apenas em 2022, relativamente mais tarde do que os outros locais de análise, acredita-se que isso decorreu em razão da menor faixa de renda dos moradores do condomínio se comparado aos outros. Outro ponto importante é que a pandemia de Covid-19, que teve seu pico entre 2020 e 2021, gerou instabilidade econômica em todo o mundo e, como consequência, muitas pessoas postergaram investimentos significativos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da tecnologia implementada na geração de energias renováveis possibilitou a inserção, em maiores escalas, de sistemas fotovoltaicos em edificações residenciais. Esse mercado está ganhando cada vez mais espaço dentre os consumidores em razão dos aspectos econômicos e de investimentos a médio e longo prazo, porém, ainda é uma tecnologia bastante limitada em quantitativos de alcance diante do contexto nacional. Os condomínios residenciais de médio e alto padrão estudados são alguns exemplos de áreas da cidade de Santa Maria que demandam certo interesse no uso de sistemas fotovoltaicos.

Tomando como base a média de consumo mensal das residências respondentes à pesquisa, chegou-se à média anual de consumo de 460 kWh (Zambonato, 2021). Para verificar se a área instalada nas residências é suficiente para suprir tal consumo, elaborou-se uma tabela com a área média de painéis instalados no condomínio ao final do espaço temporal definido para a pesquisa (Tab. 6) e, para fins de cálculo, considerou-se módulos fotovoltaicos da marca OSDA, Painel Solar 330W (Ref. ODA330-36-P), com dimensões de 1960 x 992 mm, fabricados em Silício Policristalino. Cada módulo ocupa uma área de 1,94m² e tem potência de até 0,33 kW. Supondo cenário de orientação norte, com telhas cerâmicas (Tab. 1), obtém-se uma potência instalada média de 4kWp (ver Eq. 1), para isso, seriam necessários 13 módulos fotovoltaicos (ver Eq. 2), que ocupariam uma área mínima de 25m². Contudo, é importante considerar, no mínimo, 25% de erro na unidade de medida do software *Google Earth*. Dessa forma, apenas o condomínio Residencial Bauhaus teria metragem suficiente para suprir a demanda. Partindo da análise da metragem quadrada dos painéis fotovoltaicos

instalados nas unidades habitacionais, pode-se supor que as unidades que dispõem de menor área de painéis instalados provavelmente têm menor consumo, classificando-se como de menor classe. Para verificar se as residências com instalação fotovoltaica dos demais condomínios têm suas demandas de consumo energético supridas, seria necessário realizar uma pesquisa apontando o consumo médio em Santa Maria para outras faixas de renda.

Tabela 6: Quantificação de residências com instalação fotovoltaica, área total de instalação do sistema fotovoltaico e área média ocupada no condomínio no ano de 2023.

Condomínio	Faixa de renda estimada	Total de residência c/ fotovoltaico	Área total de fotovoltaico	Área média de fotovoltaico por residência
Eco Residencial São José	Média	23	448,35m ²	19,49m ²
Residencial Bauhaus	Alta	39	1.247,00m ²	31,97m ²
Condomínio Terra Nova	Média/baixa	94	2135,70m ²	22,72m ²

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

$$Pot. = \frac{\text{consumo médio}}{\text{irradiação média} \times 30 \times 0,8} \quad Pot. = \frac{460}{4,77 \times 30 \times 0,8} \quad Pot. = 4 \text{ kW} \quad (1)$$

$$n = \frac{Pot.}{Pot. \text{máx. módulo}} \quad n = \frac{4}{\left(\frac{300W}{1000}\right)} \quad n = 12,12 \rightarrow 13 \quad (2)$$

O estudo individual dos três condomínios residenciais, quanto ao quantitativo de residências construídas e residências construídas que possuem sistema fotovoltaico instalado, possibilitou: a análise da porcentagem de habitações com o sistema instalado, a área ocupada pelo sistema e porcentagem de área de sistemas instalados comparada com área total das coberturas. Outrossim, foi realizada a análise visual, a partir de imagens de satélite, sobre aspectos dimensionais de cada condomínio e seu entorno imediato.

Conclui-se, a partir da correspondência entre as análises individuais, que de 2012 a 2016 não houve nenhuma ocorrência de instalação de módulos fotovoltaicos em coberturas de residências construídas nos condomínios analisados, mesmo já havendo casas construídas nos condomínios Providence Clube Eco-Residencial São José, Condomínio Terra Nova e Residencial Bauhaus, nessas datas.

A expansão da instalação de sistemas fotovoltaicos na maioria desses condomínios iniciou-se entre os anos de 2017 e 2019, quando as primeiras casas começaram a adquirir o sistema de geração de energia com módulos fotovoltaicos. Ademais, 2020 foi o ano com o maior percentual de residências que instalaram em suas coberturas módulos fotovoltaicos, seguindo uma alta exponencial nos anos de 2021 e 2022.

Com o avanço das construções e ocupação dos lotes do condomínio Residencial Bauhaus, observou-se que, à medida que a demanda de construção aumentou, aumentou também o número de sistemas fotovoltaicos, em proporções próximas a evolução das construções. No condomínio Residencial Terra Nova, o avanço nas instalações ocorreu, principalmente, no ano de 2022 e, no condomínio São José, no ano de 2021. Por fim, observou-se que, à medida que os condomínios foram preenchendo os seus lotes com construções de novas residências e os consumidores investindo cada vez mais o seu capital em sistema fotovoltaicos, as porcentagens de área ocupada por módulos fotovoltaicos em coberturas foi aumentando em uma crescente exponencial. Ressaltasse ainda que, através das análises, as construções não possuíam o sistema integrado às edificações, sendo os painéis fotovoltaicos instalados sobre as coberturas após a execução dos telhados, indo de encontro às faixas de renda que são atendidas nos condomínios analisados, devido à integração do sistema fotovoltaico ao edifício demandar maior investimento.

Após a identificação dos dados, foi observado que os índices encontrados compactuam com o crescimento de geração de eletricidade no Brasil, que cresceu 8,3% entre 2021 e 2022, com destaque para o aumento de 82,4% na geração solar, adicionando 11 GW. A produção de eletricidade atingiu 677 TWh em 2022, com crescimento de 3,2%, impulsionado principalmente pela geração solar (79,8%) e hidrelétrica (17,7%). O aumento na geração hidrelétrica se deveu a condições hidrológicas favoráveis, reduzindo o uso de termelétricas a combustíveis fósseis. Como resultado, a participação de combustíveis fósseis na matriz elétrica caiu de 18,7% em 2021, para 8,5% em 2022, enquanto a geração hidrelétrica voltou a representar 63,1% (EPE, 2023).

7. REFERÊNCIAS

- ABEP - Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. **Critério Brasil 2022**. Disponível em: <https://www.abep.org/criterio-brasil>. Acesso em: 03 fev. 2023.
- ABRAHÃO, K. C. de F. J.; SOUZA, R. G. V. de. **Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 383-408, abr./jun. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/MC5DNWHS46jH6hCKKtCzFCc/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 03 fev. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, ASSOLAR. 2022: o melhor ano da energia solar no Brasil. **São Paulo: ABSOLAR, 2022**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/2022-o-melhor-ano-da-energia-solar-no-brasil/>. Acesso em 11 jan. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.
- BRASIL. EPE, **Anuário Estatístico de energia elétrica 2023 (Ano base 2022)**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 20 set. 2023.
- GLOBO – Sintonia com a Sociedade. **PANORAMA DAS CLASSES ABCDE**. Disponível em: <https://gente.globo.com/infografico-pesquisa-panorama-das-classes-abcde/>. Acesso em: 03 fev. 2023.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Santa Maria**. Rio de Janeiro, 2022
- MOURA, Nina; NASCIMENTO, Marilene. Análise espacial da expansão urbana de Santa Maria-RS e tendências atuais. **Boletim gaúcho de geografia**, 2014. ISSN 2357-9447 versão online. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/index.php/bgg/article/view/42621>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- ONU – Organização das Nações Unidas. **Os objetivos de desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>. Acesso em: 11 jan. 2023.
- ROMES, Djalma. Clima subtropical geografia prof. Djalma Romes. Youtube, 10 jun. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=s4cADdBuZq0>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- SILVA, M. A. **Análise da ocorrência de condomínios horizontais: o caso de Santa Maria, RS**. Dissertação (Mestrado). Programa de pós-graduação e Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo (PPGAUP/UFMS), Santa Maria, 2023.
- WEATHER SPARK. Clima e condições meteorológicas médias em Santa Maria no ano todo. c2023. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29563/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Santa-Maria-Brasil-durante-o-ano#:~:text=Em%20Santa%20Maria%2C%20o%20ver%20C3%A3o,superior%20a%2035%20%C2%B0C>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- ZAMBONATO, Bruna. **Influência do comportamento do usuário no consumo energético de habitações multifamiliares em Santa Maria, RS**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2021.

GROWTH ANALYSIS OF THE USE OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN DIFFERENT RESIDENTIAL AREAS IN A MEDIUM-SIZED CITY IN SOUTHERN BRAZIL

Abstract. *The use of clean and renewable energy has become an issue of great relevance in society's daily life, especially in terms of generating sustainable energy and increasing the adoption of renewable systems by residential consumers. The main objective of this study is to identify the evolution of the adoption of solar energy generation systems through photovoltaic modules in horizontal condominiums in the city of Santa Maria (RS). The study was carried out through observations of satellite images from Google Earth, within a 10-year time frame, observing the area available for the installation of photovoltaic systems on the roofs of three condominiums, and the evolution of module installation photovoltaics in their respective homes. The study focused on the spatial typology of housing of the type of horizontal condominiums, analyzing: the Providence Clube Eco-Residencial São José condominium, the Bauhaus Residencial and the Terra Nova Condominium, all of them located east of the urban territory of Santa Maria. Through the study, a gradual adoption over the years of this type of system was observed, and a high percentage of installation throughout the year 2022. Thus, it is concluded that in these locations the demand for photovoltaic energy installation had significant growth in recent years, but which still does not include the entire availability of usable area for its implementation.*

Keywords: *Solar Energy, Photovoltaic panels, Horizontal condominiums.*