

Energia solar na construção civil nos Gerais de Balsas, Maranhão: uma perspectiva de sustentabilidade

Natália dos Santos Mota¹, Vinicius Farias de Albuquerque¹, Regina Maria Mendes Oliveira²

¹Coordenação de Engenharia Civil – Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Balsas – MA – Brazil.

²Coordenação de Ciência e Tecnologia – Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Balsas – MA – Brazil.

natalia.mota@discente.ufma.br, vinicius.fa@ufma.br,
regina.oliveira@ufma.br

Resumo. Considerando a importância dos recursos energéticos renováveis, o objetivo desta pesquisa é analisar o uso de energia solar na construção civil nos Gerais de Balsas-MA. Realizou-se estudo bibliográfico, aplicação de questionários e simulação de um sistema fotovoltaico. Os dados indicaram que: o uso de sistemas fotovoltaicos integrados à construção ainda é pontual; há alto índice de irradiação solar na região; no consumo de 1000 kWh/mês a economia com o uso de energia solar foi de cerca de 80%, e o consumo anual de 11.400,00 kWh reduz a emissão de 280,44 kg de gás carbônico. Portanto, a aplicação da energia solar em edificações é uma alternativa viável para construções mais sustentáveis e conta com uma percepção otimista da população.

Abstract. Considering the importance of renewable energy resources, the objective of this research is to analyze the use of solar energy in civil construction in Gerais de Balsas-MA. A bibliographic study, application of questionnaires and simulation of a photovoltaic system were carried out. The data indicated that: the use of photovoltaic systems integrated to the construction is still occasional; there is a high rate of solar irradiation in the region; in the consumption of 1000 kWh/month, the savings with the use of solar energy were around 80%, and the annual consumption of 11,400.00 kWh reduces the emission of 280.44 kg of carbon dioxide. Therefore, the application of solar energy in buildings is a viable alternative for more sustainable buildings and has an optimistic perception of the population.

1. Introdução

O uso dos combustíveis fósseis ainda é predominante na matriz energética, representando 81,2% da oferta mundial de energia no ano de 2018 [IEA, 2020a]. Mas combustível fóssil é um recurso natural de energia limitado, já que leva milhões de anos para se formar e, por isso, é considerado “não renovável”, gerando preocupações ambientais.

No entanto, 64% da oferta de eletricidade no Brasil é proveniente de hidrelétricas, mas estas dependem da variação dos ciclos hidrológicos e são suscetíveis às mudanças climáticas, o que torna a energia solar importante no campo da diversificação da matriz energética renovável [CBIC, 2017].

A energia solar é a fonte que apresenta a maior expansão de capacidade de geração instalada anualmente no mundo [IRENA, 2020] e, estudos realizados por Moreira Junior e Souza (2020), sobre o aproveitamento fotovoltaico, mostram que o Brasil tem potencial promissor.

A energia solar fotovoltaica é a energia produzida pela transformação da luz em eletricidade, em que a célula formada por semicondutores é a unidade responsável pelo processo de conversão [Pinho e Galdino, 2014]. A Figura 1 mostra o esquema de funcionamento simplificado de uma célula fotovoltaica. À medida que a luz solar incide na superfície da célula, os elétrons livres se movimentam devido uma tensão resultante do efeito fotovoltaico. O circuito externo, que conecta a parte positiva à negativa, dá origem a corrente elétrica, a qual é dependente da incidência da luz e da capacidade de absorção do material semicondutor. Um módulo fotovoltaico é formado pela junção de várias células.

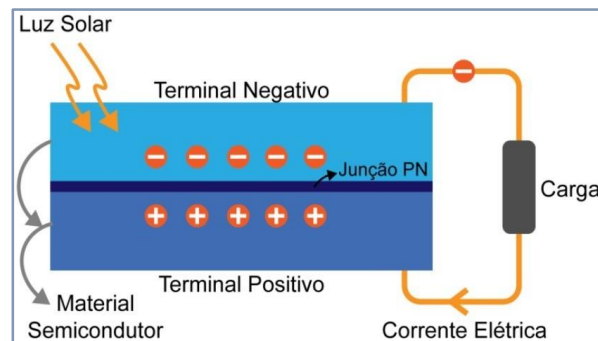


Figura 1. Esquema de funcionamento da célula fotovoltaica de silício [Morais, 2020].

Em escala mundial, o setor da indústria de construção civil consumiu 35% da produção total de energia em 2019, com participação de 38% das emissões globais de CO₂ relacionadas ao uso de eletricidade [IEA, 2020b]. No Brasil, o setor consumiu cerca de 50% da energia elétrica em 2017 [EPE, 2018]. Por isso, é essencial o estudo de novas tecnologias energéticas que possam se integrar a proposta de construções mais sustentáveis [CBIC, 2017].

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é analisar os tipos, as características das tecnologias de geração de energia elétrica a partir da radiação solar e avaliar a disponibilidade e viabilidade de uso na construção civil na região dos Gerais de Balsas, no Estado do Maranhão.

2. Metodologia

Essa pesquisa é do tipo exploratória de natureza qualitativa [Oliveira, 2007]. Inicialmente, analisou-se os tipos e as características de células solares a partir de pesquisa bibliográfica, a qual refere-se ao estudo e análise de documentos científicos de domínio público. Também foi realizado o levantamento dos diferentes tipos de dispositivos solares nos principais sites de empresas que comercializam esses materiais no Brasil. Por fim, foi feito um estudo de caso na região dos Gerais de Balsas a fim de se avaliar a viabilidade econômica do uso da energia solar, a disponibilidade de radiação nos municípios, a percepção da comunidade e a presença de serviços especializados.

2.1. Área do estudo

Os Gerais de Balsas é uma região de planejamento administrativa que fica localizada do Sul

do Estado do Maranhão (Figura 2), e envolve seis municípios: Alto Parnaíba, Balsas, Fortaleza dos Nogueiras, Nova Colinas, Riachão e Tasso Fragoso [Maranhão, 2008].

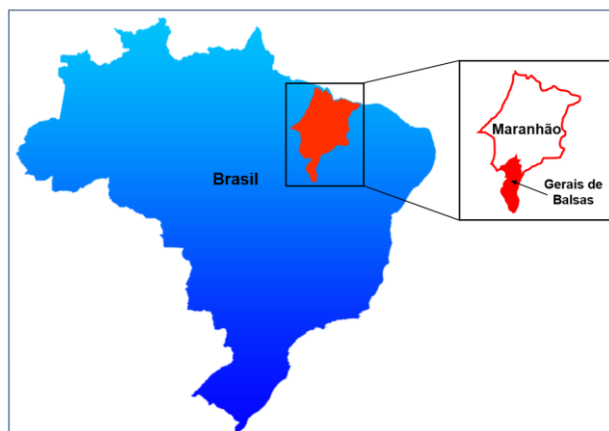


Figura 2. Localização da região dos Gerais de Balsas [adaptado de Maranhão, 2008].

Na Tabela 1 são mostrados os dados geográficos e populacional dos municípios dos Gerais de Balsas, em que Balsas é o mais populoso e com maior extensão territorial.

Tabela 1. Dados geográficos dos municípios da região dos Gerais de Balsas, adaptado de IBGE (2010) e IBGE (2020).

Município	Área (Km ²) em 2020	Latitude	Longitude	População em 2010
Alto Parnaíba	11.127,384	-9.1114	-45.9305	11.2012
Fortaleza dos Nogueiras	1.853,406	-6.9602	-46.1788	11.646
Balsas	13.141,162	-7.53292	-46.035	83.528
Nova Colinas	743,085	-7.116389	-46.257222	4.885
Riachão	6.402,830	-7.36012	-46.6146	20.209
Tasso Fragoso	4.369,159	-8.46798	-45.7573	7.796

2.2. Estudo de caso

O estudo de caso é um método de pesquisa que, em geral, baseia-se em dados qualitativos obtidos a partir de situações reais visando explicar, explorar ou descrever fenômenos relacionados ao contexto na atualidade [Eisenhardt, 1989].

As irradiações global horizontal, no plano inclinado e difusa foram obtidas a partir do banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar [Pereira *et al.*, 2017], o qual é baseado em informações do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. A pesquisa de campo envolveu a realização de entrevistas semiestruturadas com consumidores e o gestor de uma empresa local fornecedora de serviços de venda e instalação de sistemas fotovoltaicos. Na ocasião, o Termo de Consentimento Livre foi previamente apresentado. Além disso, foram aplicados questionários sobre a energia solar, de forma *online* pela plataforma “Formulários Google Docs”, para a população geral e à profissionais da construção (arquitetos e engenheiros civis) da região dos Gerais Balsas no período 20 de julho a 15 de agosto de 2021. A divulgação do *link* virtual foi feita com a ajuda de representantes da comunidade e via redes sociais. Os dados foram organizados em formato tabular, possibilitando melhor discussão dos resultados a partir de gráficos e tabelas.

3. Resultados e Discussão

3.1. Principais tipos de células solares

Basicamente, existem três gerações de células solares (Figura 3).

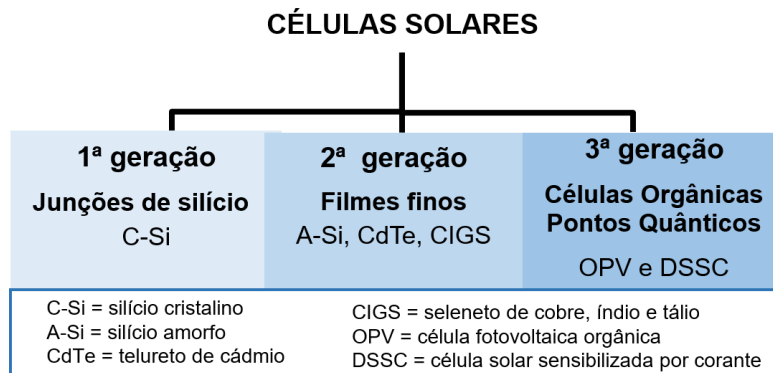


Figura 3. Gerações de células solares, adaptado de Vasconcelos (2013).

As células da primeira geração possuem maior representatividade no mercado global atualmente, cerca de 84%, e se baseiam no uso do silício cristalino (C-Si), sendo subdividido em duas categorias de fabricação: monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si). São chamados de primeira geração por serem os primeiros tipos de células solares a serem comercializadas mundialmente. As células de m-Si possuem maior eficiência de laboratório na conversão em energia elétrica, com máxima de 26,7% [Fraunhofer ISE, 2019]. Tal eficiência é favorecida pelo fato das células de m-Si serem formadas por um único cristal, o que favorece o fluxo de elétrons. Porém, alto custo e grande quantidade de material e energia envolvidos no processo de fabricação ainda são obstáculos a serem ultrapassados [Torres *et al.*, 2019]. Já as células p-Si são formadas por diversos cristais não uniformes, cujo processo de purificação é menos complexo e de menor custo, mas com eficiência máxima em laboratório de 24,4% [Fraunhofer ISE, 2019]. Assim, a diferença de eficiência entre as células de primeira geração está relacionada à uniformidade da estrutura molecular e ao nível de pureza do silício.

A segunda geração corresponde aos filmes finos comerciais, cujas células possuem apenas alguns micrômetros de espessura, podendo ser flexíveis [Marques, 2014] e, assim, contribuir para diversas aplicações na arquitetura. Nessa categoria o mercado é representado principalmente por materiais à base de “silício amorfo (A-Si), CIGS (seleneto de cobre, índio, gálio), CdTe (telureto de cádmio) ou CZTS (sulfeto de cobre, zinco, estanho)” [Raphael *et al.*, 2017, p. 61]. São tecnologias relativamente mais baratas, com menor utilização de materiais e energia, mas possui menor eficiência que a geração anterior, com máxima de 23,4% em laboratório para a célula CIGS [Fraunhofer ISE, 2019] e de 17,4% no módulo comercial, cuja discrepância se dá em razão da cinética de crescimento dos cristais em grande escala. No entanto, a baixa eficiência e a demanda no processo de fabricação por materiais tóxicos e escassos na natureza (como o índio), prejudicam a disseminação desses produtos no mercado.

A terceira geração, ou de filmes finos emergentes, são uma perspectiva promissora para o futuro por ter como principais objetivos conciliar alta eficiência e baixo custo, além do processo de fabricação dessas células envolver novas metodologias e materiais alternativos, abundantes e não tóxicos. São exemplos as células solares sensibilizadas por

corantes (DSSC, *Dye Sensitized Solar Cells*), as células solares orgânicas, as de pontos quânticos e as de perovskitas. Dentre estas, as do tipo DSSC vêm chamando a atenção de pesquisadores, pois fatores como facilidade de produção combinados a maior flexibilidade no design e geração elétrica mais estável, devido ao funcionamento mesmo sob baixa luminosidade viabilizariam um grande alcance comercial [Tractz *et al.*, 2020]. Nessa tecnologia, os complexos de rutênio estão entre os primeiros corantes inorgânicos desenvolvidos, e são ainda os mais usados devido à sua alta estabilidade térmica e química. Exemplos são o N3, o N719 e o N749, com eficiência superior a 10%. Porém, tais corantes ainda apresentam vários obstáculos para a ampla comercialização dos módulos fotovoltaicos, devido à funcionalização limitada, alto custo de síntese, etapas de purificação demoradas e escassez do rutênio na natureza [Błaszczuk *et al.*, 2021].

Nota-se que nas três gerações de células solares há entraves tecnológicos que requerem aperfeiçoamento para melhor atender à população quanto à acessibilidade. Em termos de custo de fabricação, as células de terceira geração atendem melhor a este quesito, mas para que a comercialização seja viável ainda é necessário atingir o grande objetivo de eficiência e estabilidade, cuja busca deve identificar as mais ideais em termos de parâmetros físicos, químicos e de avaliação do ciclo de vida sustentável.

3.2. Sistemas fotovoltaicos na construção civil e disponibilidade no mercado

A geração de eletricidade a partir de fonte fotovoltaica se divide em dois grupos: *on grid* e *off grid* [Bortoloto *et al.*, 2017]. O sistema *on grid* é constituído por painéis (isto é, agrupamento de módulos fotovoltaicos que realizam a conversão da energia solar em elétrica) e inversores, os quais convertem a corrente contínua em corrente alternada. Caso o sistema produza acima do seu consumo, os créditos são injetados na rede. Já os sistemas *off grid* são autônomos, pois a energia produzida pelos painéis é armazenada em baterias.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser aplicados nas edificações de duas formas diferentes [Didoné, Wagner e Pereira, 2014]. Os sistemas Fotovoltaicos Aplicados à Construção (BAPV, *Building Applied Photovoltaic*) podem ser aplicados sobre a estrutura de construções já existentes (Figura 4(a)), enquanto que os sistemas Fotovoltaicos Integrados à Construção (BIPV, *Building Integrated Photovoltaic*), podem substituir materiais funcionais da construção (Figura 4(b)).



Figura 4. Telhados com o sistema: (a) BAPV; (b) BIPV [Peng, 2011].

No sistema BAPV os elementos fotovoltaicos instalados não substituem um material construtivo, sendo sobrepostos após construção da edificação. Geralmente há a

necessidade de estruturas adicionais de montagem para auxiliar na fixação dos elementos e o desempenho da geração de energia é prejudicado por conta da orientação não ideal. Por sua vez, os sistemas BIVP possuem os módulos integrados a elementos construtivos que envelopam o edifício, em que fatores como sombreamento e inclinação ideal podem ser predefinidos nas etapas iniciais do projeto, contribuindo para a eficiência energética da edificação. Os elementos fotovoltaicos nos sistemas BIPV exercem as mesmas funções que as coberturas, fachadas ou revestimentos convencionais, abrangendo fatores como dimensão dos elementos de vedação, impermeabilidade, resistência a cargas, longevidade, manutenção e segurança [Chivelet e Solla, 2010].

Os painéis de silício m-Si e p-Si ainda são os que dominam o mercado fotovoltaico, por serem produzidos em maior escala e terem valores comerciais mais atrativos. Quanto ao uso na construção civil, geralmente são aplicados nas coberturas dos edifícios. Santos (2013) destaca que os painéis solares podem substituir telhados inclinados, planos ou curvilíneos e resistir a variações climáticas diversas.

O Quadro 1 mostra o levantamento dos principais componentes da cadeia de geração solar fotovoltaica comercializados no Brasil. Em geral, junto aos painéis são comercializados os inversores e as estruturas de fixação e, em casos de estruturas de solo, os *trackers*, os quais alteram o posicionamento dos painéis ao longo do dia a fim de se obter maior eficiência energética.

Quadro 1. Principais tecnologias solares comercializadas no mercado brasileiro.

Dispositivo	Empresa	Website
Painel fotovoltaico	Canadion Solar	https://www.canadiansolar.com/br/
Painéis Filmes Finos	Rbi Solar	https://www.rbisolar.com/
Inversores	Weg	https://www.weg.net/institucional/BR/pt/
Estruturas/Trackers	Solar Group	https://solargroup.com.br/
Telha solar	Tesla	https://www.tesla.com/
Vidro fotovoltaico	Sunew	https://www.sunew.co/
Fitas orgânicas	Sunew	https://www.sunew.co/
Película fotovoltaica	Sunew	https://www.sunew.co/

As telhas solares que desempenham a função de cobertura são comercializadas no Brasil em material cimentício, cerâmicas ou vidros temperados, tendo como principal vantagem a facilidade de montagem. Os vidros solares podem ser usados em coberturas, janelas, claraboias e fachadas. O Brasil já conta com empresas nacionais, como a Sunew, que é líder mundial em tecnologia fotovoltaica orgânica (OPV, *Organic Photovoltaic*), fabricando filmes, fitas e películas fotovoltaicas que possuem diversas possibilidades de integração em edificações, podendo ser sobrepostas a materiais diversos (Figura 5).

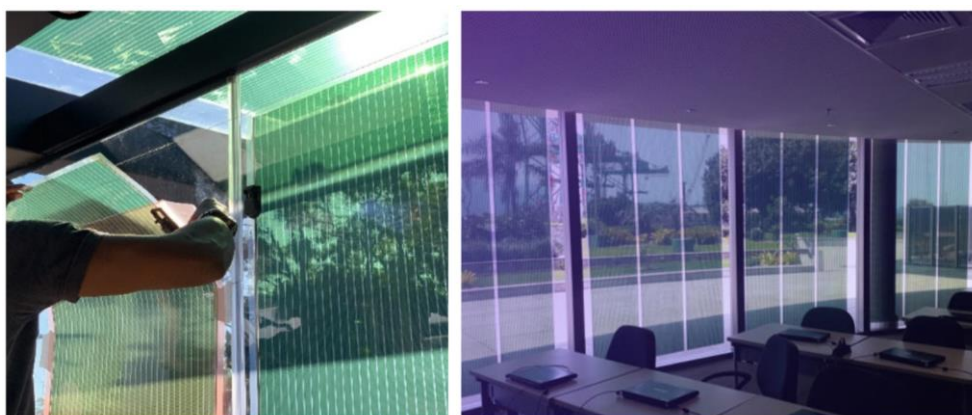


Figura 5. Aplicação de película semitransparente em superfície de vidro de edifício [Sunew, 2020].

Como observado, leveza, semitransparência e flexibilidade são características que ampliam as possibilidades de aplicação dos materiais em edificações, e que tornam as células solares emergentes promissoras no mercado fotovoltaico futuro. Além disso, a variedade de cores e a capacidade de explorar luz difusa são outros destaques importantes das células emergentes DSSCs, cuja versatilidade permite prever o potencial para alcançar e dominar diferentes nichos do mercado fotovoltaico, especialmente no setor de sistemas integrado em edifícios, até mesmo em ambientes e dispositivos internos, onde desempenhos sob baixa intensidade de luz pode se traduzir em uma importante vantagem comercial.

De fato, o mercado BIPV, que comercializa materiais para as edificações, ainda é pontual e de baixa escala, devido ao alto custo de investimento. No entanto, esse segmento está em desenvolvimento no país e apresenta perspectiva promissora de crescimento futuro.

Em entrevista com gestor de uma empresa de energia solar, localizada em Balsas-MA, que atende os seis municípios dos Gerais de Balsas desde o ano de 2018, o entrevistado 01 disse que os principais dispositivos solares comercializados na Região dos Gerais de Balsas são os “Kits Solares”. Estes são constituídos por painel fotovoltaico, geralmente em silício mono ou policristalino, inversor e estrutura de fixação, em que as principais aplicações são nos sistemas BAPV. Quando as edificações não suportam a carga dos painéis ou a área do telhado não possui dimensões suficientes para a montagem, uma alternativa são as estruturas de solo, que podem desempenhar o papel de estacionamentos solares. Mas até então só existem alguns projetos de implantação na região. A exemplo, há uma instalação no Parque Centenário da cidade de Balsas com pérgolas de tecnologia OPV, que além de desempenharem função de cobertura geram energia para carregar celulares, *tablets*, etc.

3.3. Viabilidade

A região dos Gerais de Balsas possui altos índices de radiação e com pouca variação ao longo do ano. Como é mostrado na Figura 6, o rendimento energético anual para essa Região está entre 1500-1550 kWh/KWp.ano (isto é, kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada).

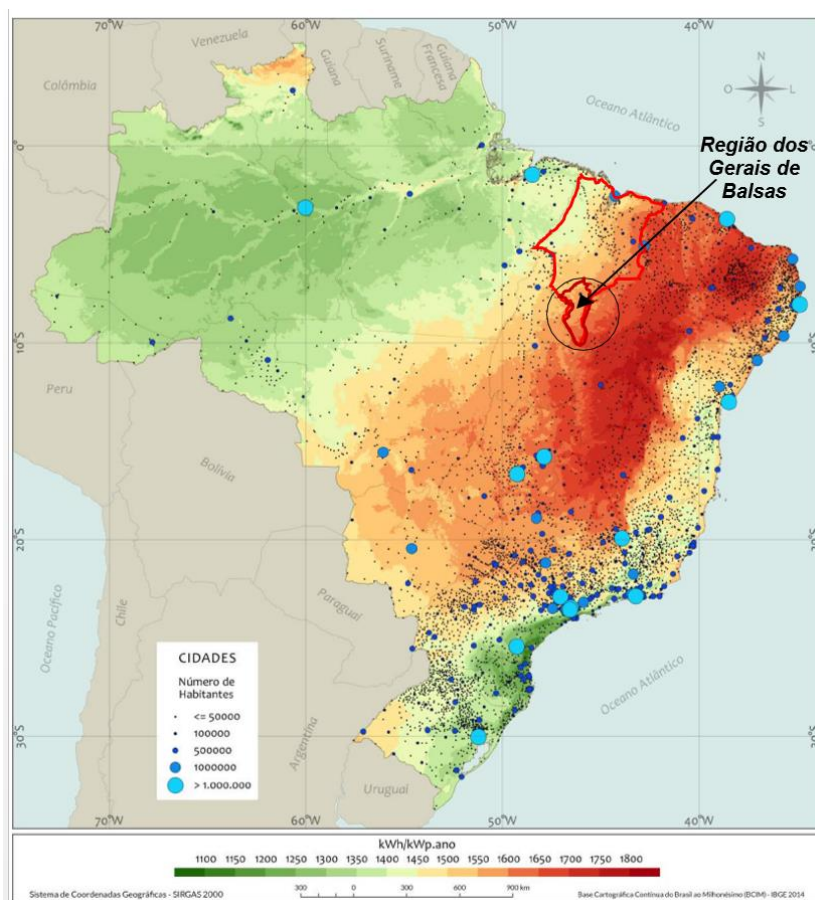


Figura 6. Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para o Brasil [adaptado de Pereira *et al.*, 2017].

Na Tabela 2, obtida a partir do banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), são listados os valores de irradiação anual dos seis municípios da região dos Gerais de Balsas, cuja média de irradiação solar global horizontal diária é de 5,33 kWh/m². Este valor é próximo ao da região Nordeste do Brasil (5,48 kWh/m²), a qual possui os maiores níveis de incidência solar do país [Pereira *et al.*, 2017], devido à localização mais próxima à linha do Equador.

Tabela 2. Irradiação anual dos municípios dos Gerais de Balsas no ano de 2017.

Município	Irrad. global horizontal (Wh/m ² .dia)	Irrad. no plano inclinado (Wh/m ² .dia)	Irrad. difusa (Wh/m ² .dia)
Alto Parnaíba	5508	5570	2024
Balsas	5350	5394	2074
Fortaleza dos Nogueiras	5224	5271	2132
Nova Colinas	5212	5260	2140
Riachão	5208	5257	2116
Tasso Fragoso	5476	5533	2026

Segundo Moreira Júnior e Souza (2020), a Alemanha “recebe 40% menos radiação do que o lugar menos ensolarado do Brasil e, mesmo assim, é o país em que a tecnologia fotovoltaica já se encontra em estágio muito avançado tanto de pesquisa

quanto de instalações”. Tais fatos evidenciam o potencial solar da Região dos Gerais de Balsas para o aproveitamento fotovoltaico.

Além do potencial solar, o entrevistado 01 (gestor empresarial do ramo fotovoltaico da região) explicou um dos motivos que levou a empresa a atuar nessa região: “Essa é uma região promissora, de fronteira. O agronegócio nos dá mais abertura para investimentos e, por isso escolhemos a cidade de Balsas para a instalação de uma de nossas filiais.” Ele ainda destacou os ganhos relacionados à sustentabilidade ambiental e econômica, e enfatizou que existe procura para instalação de novos sistemas por todas as classes de consumo (residencial, comercial, industrial e rural), existindo ainda muito espaço para crescimento desse recurso energético na região.

A Tabela 3, elaborada a partir dos dados da Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL, 2021], mostra o número de unidades fotovoltaicas instaladas na região e suas respectivas potências.

Tabela 3. Unidades fotovoltaicas conectadas na rede de distribuição de energia nos municípios da região dos Gerais de Balsas, em 2021.

Município	Nº de unidades que recebem créditos	Potência instalada (kW)
Alto Parnaíba	4	59,90
Balsas	549	5902,84
Fortaleza dos Nogueiras	33	377,55
Nova Colinas	3	17,50
Riachão	49	262,64
Tasso Fragoso	13	89,71

Os dados mostram que o número de unidades fotovoltaicas instaladas na região ainda é pequeno, com 651 no total, dos quais cerca de 84% estão em Balsas-MA. O município de Balsas conta com quatro empresas privadas que prestam serviços de venda, instalação e manutenção de equipamentos solares. Além disso, este possui o maior PIB (Produto Interno Bruto) entre os seis municípios, um indicador econômico que pode estar associado ao maior número de instalações. De acordo com os dados da ANEEL (2021), 90% das unidades em funcionamento nessa região foram instaladas entre os anos de 2018 e 2021, o que mostra que a disponibilidade regional da tecnologia fotovoltaica ainda é um recurso relativamente novo para a população.

Na perspectiva do consumidor (entrevistado 02), usuário do sistema fotovoltaico em sua residência e comércio há um ano e oito meses na cidade de Balsas, esse tipo de investimento é satisfatório. O mesmo relatou que o motivo da procura foi devido aos aumentos na fatura de energia, chegando a pagar R\$ 2.000,00 (dois mil reais) por mês juntando as duas unidades, enquanto que atualmente paga um total de R\$ 89,00 (oitenta e nove reais) por mês. Já o entrevistado 03, também da cidade de Balsas, possui um sistema desde 2018 e o utiliza no seu ponto comercial. A sua principal motivação para aquisição do sistema fotovoltaico foi também o fator econômico, obtendo uma redução de 70% nos custos da fatura de energia, segundo ele. Relatou ainda que o retorno do investimento na sua proposta comercial é estimado para quatro anos e seis meses. Destaca-se que, ambos os consumidores entrevistados afirmaram não ter dificuldade com questões relacionadas à limpeza de painéis e manutenção dos sistemas. Geralmente, a limpeza anual requer somente água corrente e, em alguns casos, é necessário panos, escovas ou esponjas macias.

3.4. Simulação de sistema fotovoltaico *on grid*

Para atender ao consumo de 950 kWh/mês foi simulada no ano de 2021 a instalação na cidade de Balsas-MA de um Gerador Solar Fotovoltaico (GSF) de 8,03 kWp constituído por 22 painéis com potência de 365 W e um inversor de 6,00 kW, com geração média de 1000 kWh/mês e valor de R\$ 41.215,00 (quarenta e um mil e duzentos e quinze reais). A simulação de potências geradas e consumidas em kWh em função dos meses é mostrado na Figura 7.

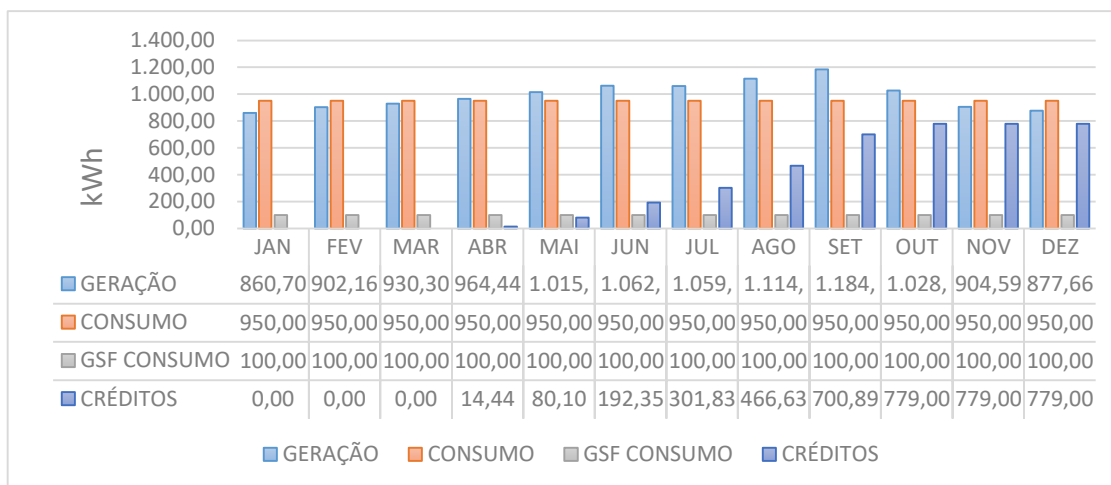


Figura 7. Projeção de geração de eletricidade, em kWh em função dos meses, após instalação de um gerador solar fotovoltaico.

Na Figura 7, as barras em azul claro indicam a produção mensal do gerador solar, em laranja o consumo da residência antes do gerador, em cinza a taxa de disponibilidade para a rede trifásica cobrado pela concessionária de energia local de 100 kWh, e em azul escuro os créditos.

Após a instalação do mesmo o consumidor ainda teria um consumo médio de 100 kWh/mês (indicado na Figura 7 como GSF CONSUMO), referente ao custo de disponibilidade exigido pela concessionária de energia para o padrão trifásico. Conforme os dados, nos períodos do ano em que a irradiação na cidade é maior, especialmente nos meses de agosto a dezembro, o consumidor acumularia créditos que resultaria em descontos na fatura de energia.

Para o consumo de 950,00 kWh/mês, o custo sem o uso do gerador seria de cerca de R\$ 836,00, considerando a tarifa residencial convencional da concessionária de energia de 0,64207 R\$/kWh, os impostos e a taxa de iluminação pública. Mas, após a instalação do gerador o consumidor pagaria em média R\$ 112,00 mensais, cujo valor inclui o custo da taxa mínima de 100,00 kW e a taxa de iluminação pública de R\$ 47,94 cobrado na cidade de Balsas no período da pesquisa, realizada nos meses de junho a agosto de 2021.

Também foi verificado que o tempo de retorno do investimento realizado é de 43 meses, desconsiderando os reajustes anuais de tarifa e inflação. Sabendo que a garantia de durabilidade das células fotovoltaicas é de 25 anos, sob condições adequadas de manutenção, então, embora o investimento inicial seja alto, o sistema solar fotovoltaico se paga em poucos anos Silva *et al.* (2019a). A partir disso, os gastos com o consumo de energia são drasticamente reduzidos, chegando a ser autossuficiente neste sentido.

Com relação às questões ambientais, de acordo com a calculadora de dióxido de

carbono (CO₂) da Fundação SOS Mata Atlântica (2021), a redução da emissão desse gás para o consumo anual de 11.400,00 kWh é estimada em 280,44 kg de CO₂.

3.5. Percepção dos moradores dos Gerais de Balsas

Dos 164 entrevistados por meio de questionário *online* intitulado “Percepção sobre Energia Solar”, a maioria são mulheres (57,9%). Com relação à faixa etária, 62,2% tem idade entre 18 e 25 anos, 30,5% entre 26 e 40 anos e 7% entre 40 e 60 anos.

Quanto ao município de residência, 84,8% dos entrevistados residem na cidade de Balsas, 4,9% em Fortaleza dos Nogueiras, 4,3% em Tasso Fragoso, 3% em Riachão, 1,8% em Alto Parnaíba e 1,2% em Nova Colinas. Este elevado percentual registrado para Balsas pode ter sido influenciado pela maior divulgação do questionário neste município.

Com relação à escolaridade, a maioria (44,5%) possui ensino superior incompleto, seguido de 41,5% com ensino superior completo, 11,6% com ensino médio, 1,2% com ensino médio incompleto, 0,6% com ensino fundamental e 0,6% com ensino fundamental incompleto. Considerando que, a maior parte dos entrevistados concluiu ou está cursando o ensino superior, é importante destacar que esses dados são justificados pela ampla divulgação do questionário aos acadêmicos da Universidade Federal do Maranhão do Campus de Balsas.

No que diz respeito ao conhecimento sobre energias renováveis, 90,2% afirmaram saber do que se trata, enquanto 9,8% desconhecem (Figura 8(a)). A popularidade do tema se dá principalmente pela importância, constância em debates em diferentes meios sociais e de comunicação, além do fato de que quase metade (47%) da matriz energética do Brasil é baseada em fontes renováveis, das quais 85% da eletricidade gerada é a partir de hidrelétricas [Bondarik, Pilatti e Horst, 2018]. Por outro lado, quando questionados sobre o conhecimento relacionado à energia solar fotovoltaica, 48,8% afirmaram conhecer, mas um percentual significativo não conhece (28%) ou tem dúvidas (23,2%), Figura 8(b). Isto pode ser um reflexo do fato de que, embora o Brasil tenha grande potencial solar, ainda há pouco incentivo à tecnologia [Ferreira *et al.*, 2018], com representação abaixo de 0,1% na matriz energética do país [Pinto *et al.*, 2016].

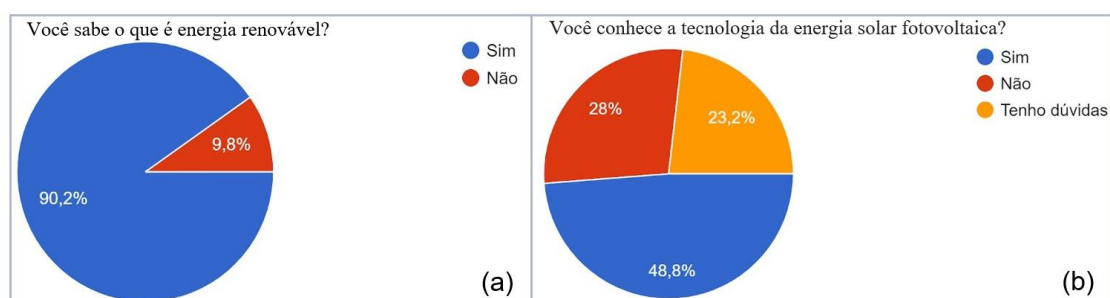


Figura 8. Percepção dos entrevistados quanto a: (a) saber o que é energia renovável; (b) conhecer a tecnologia da energia solar fotovoltaica.

Apenas 7,3% dos entrevistados possuem um sistema fotovoltaico em suas residências e 92,7% afirmaram ter interesse em usá-lo. Dentre os principais motivos que justificam esse interesse estão a “economia” e a “preservação do meio ambiente” conforme a percepção de 68,9% e 28% dos respondentes, respectivamente.

Em termos de vantagens do uso da energia solar (Figura 9(a)), para 37,8% dos entrevistados a principal é a “economia”, enquanto que, dentre as demais opções, 25% e

18,3% consideram a tecnologia “sem impacto ambiental” e de “energia limpa”, respectivamente. Com relação às desvantagens (Figura 9(b)), mais da metade dos entrevistados destacaram o “custo muito alto” de aquisição do sistema (51,2%), seguido do “baixo rendimento em períodos de chuva” (13,4%) e o fato do sistema não produzir eletricidade em períodos noturnos (9,1%).

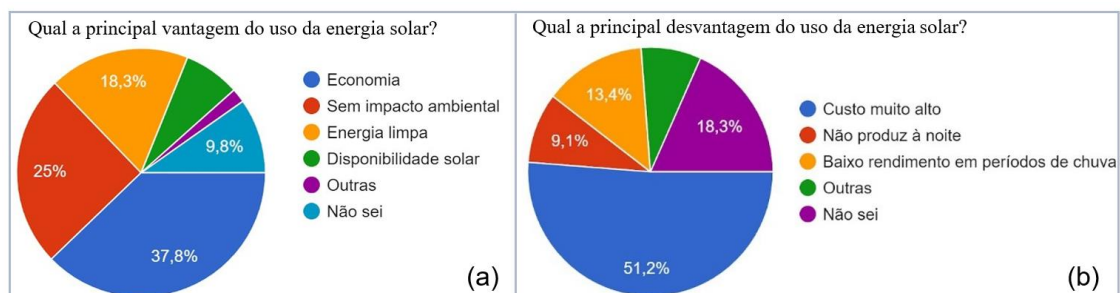


Figura 9. Uso da energia solar: (a) principal vantagem; (b) principal desvantagem.

Foi verificado que, dentre os entrevistados, 49,4% não sabem da existência de sistemas fotovoltaicos instalados em seus municípios, mas 45,7% afirmam saber que há mais de um (Figura 10). Como mostrado na Tabela 3, todos os municípios dos Gerais de Balsas possuem ao menos duas unidades geradoras de energia solar conectados na rede, fora os projetos *off grid* que não foram contabilizados. Nesse sentido, percebe-se a falta de difusão de informação, tendo em vista que a maioria dos entrevistados é de Balsas, cujo município já conta com quatro empresas nesse segmento, até o presente momento.

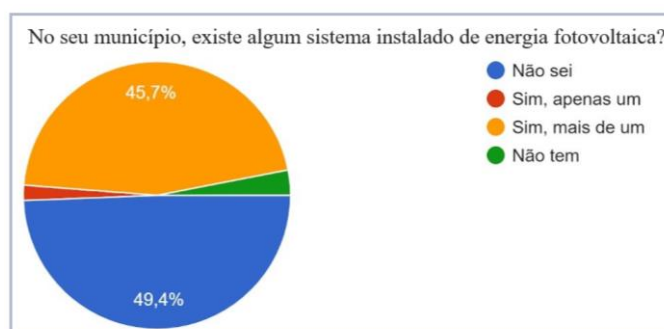


Figura 10. Gráficos referentes à questão: “No seu município, existe algum sistema instalado de energia fotovoltaica?”.

A maioria dos entrevistados (54,3%) também afirmou não conhecer pessoas que trabalhem com energia fotovoltaica na região. No entanto, 81,7% acreditam que esse tipo de sistema pode proporcionar a criação de novos empregos na região, conforme Figura 11(a). Além disso, 94,5% também concorda que tais sistemas trazem benefícios ao meio ambiente (Figura 11(b)) e 88,4% dos entrevistados acreditam que a instalação de sistemas fotovoltaicos é positiva para o desenvolvimento regional, Figura 11(c).

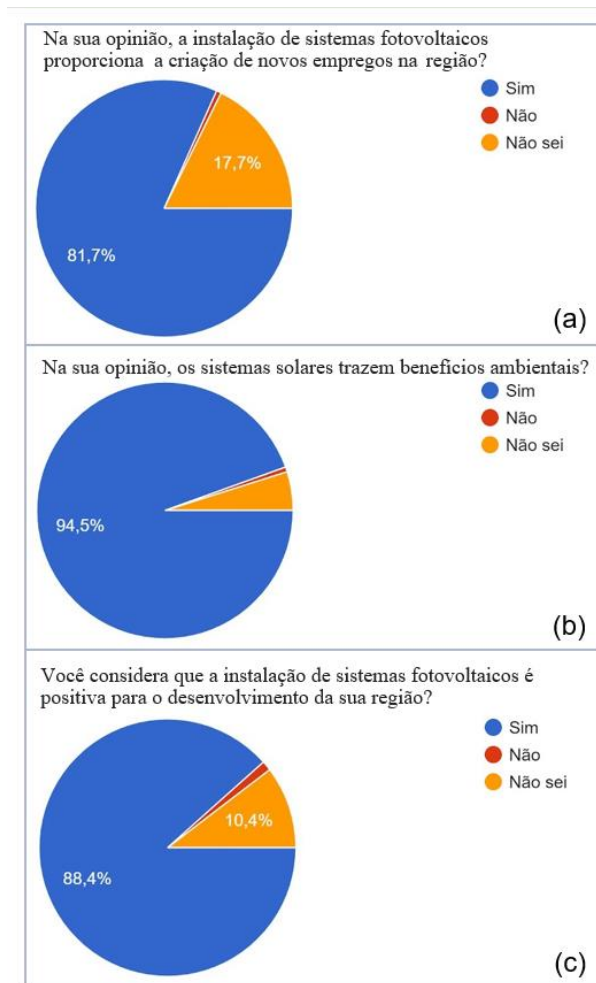


Figura 11. A instalação de sistemas fotovoltaicos: (a) “proporciona a criação de novos empregos na região?”; (b) “traz benefícios ambientais?”; (c) “é positiva para o desenvolvimento da sua região?”.

3.6. Percepção dos profissionais da área da construção civil

Dos 29 profissionais da construção civil entrevistados por meio do questionário *online* intitulado “Energia Solar na Construção”, 24 (82,8%) são engenheiros civis e 5 (17,2%) são arquitetos. A maioria (93,1%) reside na cidade de Balsas e 6,9% no município de Fortaleza dos Nogueiras.

Com relação ao conhecimento a respeito da energia solar fotovoltaica, um percentual significativo de 86,2% diz conhecer essa tecnologia e as possibilidades de aplicação na construção civil (75,9%). Também, mais da metade dos profissionais da construção civil entrevistados (62,1%) afirmaram ter contato com pessoas ou empresas na região que disponibilizam materiais e serviços para sistemas fotovoltaicos e a maioria acredita que os clientes estariam dispostos a investir nesses recursos (89,7%).

No entanto, quando questionados sobre os materiais construtivos com essa tecnologia, quase metade (48,3%) diz não saber da existência, conforme é mostrado na Figura 12(a). Esta percepção pode estar relacionada ao fato do mercado BIPV, apesar de apresentar grandes perspectivas de crescimento, ainda ser relativamente novo. Além disso, quando questionados se já fizeram uso dessa tecnologia em algum projeto na

região, a maioria (79,3%) diz nunca ter usado, conforme a Figura 12(b). Isto indica que a aplicação da tecnologia solar fotovoltaica ainda não tem uma dimensão ampla nos projetos dos profissionais da construção nessa região.

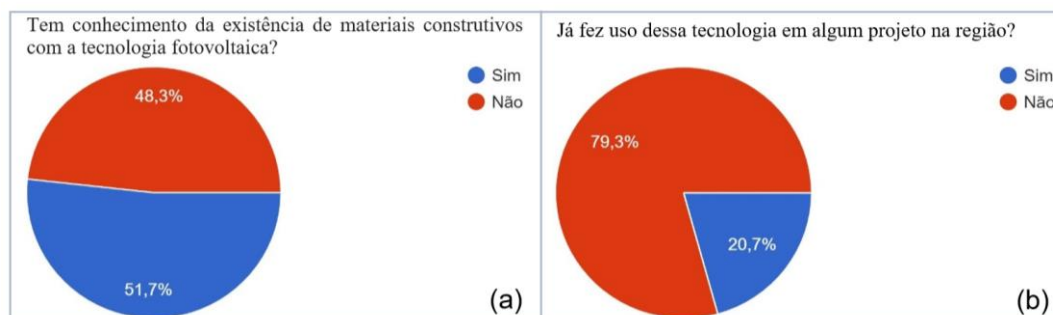


Figura 12. Gráficos resultantes das questões: (a) Tem conhecimento da existência de materiais construtivos com a tecnologia fotovoltaica? (b) Já fez uso dessa tecnologia em algum projeto da região?

Ressalta-se que todos os profissionais da construção civil entrevistados consideram que a inserção da tecnologia solar fotovoltaica, desde a fase inicial do projeto, pode ter um retorno positivo, pois acreditam na possibilidade de trazer benefícios ambientais, proporcionar a criação de novos empregos e contribuir para o desenvolvimento da região.

3.7. Dificuldades de popularização da tecnologia solar fotovoltaica

Em termos de popularização dos sistemas fotovoltaicos, segundo os moradores entrevistados, os principais impeditivos estão relacionados ao alto custo (48,8%), a falta de conhecimento (23,8%) e a falta de incentivo governamental (14%), conforme é mostrado na Figura 13(a). Os profissionais da construção civil apresentaram percepção semelhante, apontando como principais motivos o alto custo (41,4%) e a falta de conhecimento (31%), além da falta de linhas de crédito à juros mais baixos, conforme é mostrado na Figura 13(b).

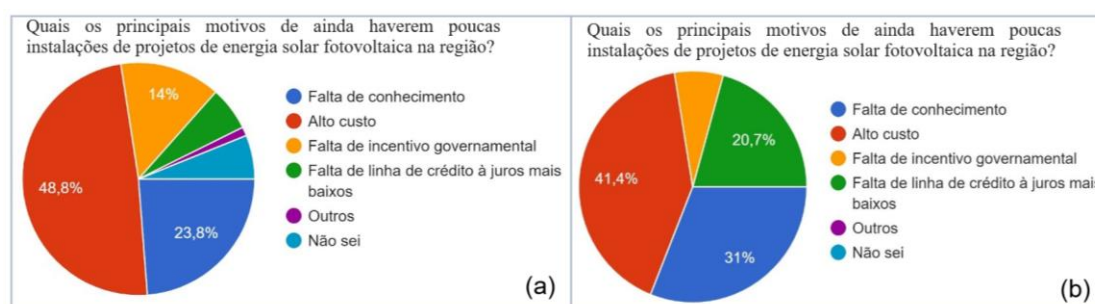
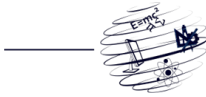


Figura 13. Motivos de ainda haverem poucas instalações de projetos de energia solar fotovoltaica na região sob a percepção: (a) dos moradores; (b) dos profissionais da construção civil.

Na percepção do gestor de uma empresa prestadora de serviços especializados em energia solar, entrevistado 01, poderia existir maior incentivo governamental, como há em países como a Alemanha, por exemplo. O mesmo também afirma que os principais impasses para popularização estão relacionados à falta de conhecimento. No entanto, a disseminação de informações dos serviços prestados por esse tipo de empresa parece ainda não alcançar de forma efetiva a população da Região.



Logo, no sentido de corroborar com a população em ter mais acesso ao conhecimento sobre custos e viabilidade da produção de eletricidade a partir da energia solar, é importante que mais estudos na área sejam desenvolvidos e divulgados.

4. Conclusão

Os dispositivos solares que se baseiam no uso do silício cristalino são os que têm maior representação no mercado mundial, mas as tecnologias de terceira geração são as que apresentam perspectivas futuras mais promissoras, devido as maiores possibilidades de integração arquitetônica, menores custos e impactos ambientais reduzidos.

Tanto no Brasil quanto na região dos Gerais de Balsas, os painéis solares de silício são os dispositivos mais comercializados, embora o alto custo torna o mercado BIPV ainda pontual, mas com potencial de desenvolvimento.

A região dos Gerais de Balsas possui altos índices de radiação, e com pouca variação ao longo do ano, o que favorece a geração solar fotovoltaica.

A simulação do orçamento indica que embora o investimento financeiro seja alto, o tempo de retorno é relativamente baixo quando comparada a vida útil dos painéis. Assim, esse investimento pode impactar de forma positiva, em médio prazo, na renda das famílias, além de proporcionar a criação de novas oportunidades de emprego, movimentando a economia da região.

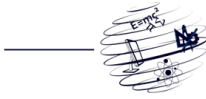
Apesar do alto nível de desinformação sobre as tecnologias solar geradoras de eletricidade (já que 51,2% afirma não conhecer ou ter dúvidas e 54,3% não saber da existência de serviços de instalação de sistema fotovoltaico na região), a população tem percepção positiva quanto à sua importância ambiental (94,5%) e para o desenvolvimento regional (88,4%), de modo que 92,7% afirma ter interesse em usá-la.

Dos profissionais da construção civil, 75,9% diz conhecer as possibilidades de aplicação do sistema fotovoltaico na construção civil e embora 79,3% afirma nunca ter usado em seus projetos e 48,3% não saber da existência dos materiais construtivos com essa tecnologia, 89,7% acredita que os clientes estariam dispostos a investir. Desta forma, trazer informações sobre essa temática pode despertar um maior interesse em estudar a aplicação de técnicas e dos materiais construtivos já existentes que possibilitem maximizar a integração dessas tecnologias na construção civil.

Portanto, considerando o consumo de energia e o impacto do setor da construção nos níveis de emissões de poluentes, as tecnologias fotovoltaicas e as possibilidades de aplicação em edificações se mostram como uma alternativa para construções mais sustentáveis.

Referências

- Błaszczuk, A., Joachimiak-Lechman, K., Sady, S., Tanski, T., Szindler, M. e Drygala, A. (2021) "Environmental performance of dye-sensitized solar cells based on natural dyes". *Solar energy*, p. 346-355.
- Bondarik, R., Pilatti, L. A. e Horst, D. J. (2018) "Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil". *Interciencia*, v. 43, n. 10, p. 680-688.
- Bortoloto, V., Gois, G., Martins, M. A., Berghe, M. J. e Montanha, G. K. (2017) "Geração de energia solar *on grid* e *off grid*". In: 6ª jornada Científica e Tecnológica da Fatec de



- Botucatu, <http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/view/1069>, Junho.
- CBIC – Câmara Brasileira de Indústria da Construção. (2017) “Energia nas construções: uma contribuição do setor à redução de emissões e de uso de fontes renováveis de energia”, https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Energia_na_Construcao_2017-1.pdf, Junho.
- Chivelet, N. M. e Solla, I. F. (2010) “Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura”, Bookman, Porto Alegre.
- Didoné, E. L., Wagner, A. e Pereira, F. O. R. (2014) “Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV”. *Ambient. Constr.*, v. 14, n.3.
- Eisenhardt, K. (1989) “Building theories form case study research”. *Academy of Management Review*, v. 14 n. 4.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. (2018) “Balço Energético Nacional”, <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>, Junho.
- Ferreira, A., Kuhn, S. S., Fagnani, K. C., De Souza, T. A., Tonezer, C., Dos Santos, G. R. e Carlos H. Coimbra-Araújo, C. H. (2018) “Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil”. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, v. 81, p. 181-191.
- Fraunhofer ISE. (2019) “Photovoltaics report, Fraunhofer ISE and PSE”, <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/photovoltaics-report.html>, Janeiro.
- Fundação SOS Mata Atlântica. (2021) “Calculadora de CO₂”, <https://www.sosma.org.br/calculadora-sua-emissao-de-co2/>, Agosto.
- Hug, H., Bader, M., Mair, P. e Glatzel, T. (2014) “Biophotovoltaics: Natural Pigments in Dye-Sensitized Solar Cells”. *Appl. Energy*, v. 15, p. 216-225.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010) “Informações dos Municípios”, <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma>, Julho.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020) “Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2019”, https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic_2019_v29_informativo.pdf, Junho.
- IEA - International Energy Agency. (2020a) “Key World Energy Statistics”, <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020>, Junho.
- IEA - International Energy Agency. (2020b) “World Energy Statistics and Balances”, https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf, Junho.
- IRENA - International Renewable Energy Agency. (2020) “Renewable Capacity Highlights”, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2020.pdf, Junho.
- Maranhão. Secretaria de Estado do Planejamento e Orçamento. (2008) “Regiões de Planejamento do Estado do Maranhão”. SEPLAN, São Luís.
- Marques, F. C. (2014) “Células solares sendo organizadas para iniciar a etapa de



- montagem do módulo fotovoltaico”, <https://www.iei-brasil.org/pdf/4inovafvminicursofrancisco.pdf>, Agosto.
- Moreira Júnior, O. e Souza, C. C. (2020). “Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha”. *Interações*, v.21, n.2.
- Oliveira, M. M. (2007) “Como fazer Pesquisa Qualitativa”. Vozes, Petrópolis.
- Peng, C., Huang, Y. e Wu, Z. (2011) “Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China”. *Energy and Buildings*, p. 3592-3598. Elsevier.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. L., Rütther, R., Abreu, S. L., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V. e Souza, J. G. (2017) “Atlas brasileiro de energia solar”. 2. ed., INPE, São José dos Campos.
- Pinho, J. T. e Galdino, M. A. (2014) “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf, Junho.
- Pinto, J. T. M., Amaral, K. J. e Janissek, P. R. (2016) “Deployment of photovoltaics in Brazil: Scenarios, perspectives and policies for low-income housing”. *Solar Energy*, v. 133, p.73-84.
- Raphael, E., Silva, M. N., Szostak, R., Schiavon, M. A. e Nogueira, A. F. (2017) “Células solares de perovskitas: uma nova tecnologia emergente”. *Quím. Nova*, v.41, n.1.
- Santos, Í. P. (2013) “Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura”, <https://repositorio.ufsc.br/handle//123456789/106916>, Agosto.
- Silva, L. S., Assunção, R. F., Sobrinho, D. C. R., Freitas, E. S. e Assunção, W.R. (2019a) “Avaliação de custo benefício da utilização de energia fotovoltaica”. *Revista de Ciência e Tecnologia*, v.5, n.9.
- Silva, A., Perico, D., Carneiro, L. H. C. e Brosato, C. (2019b) “Energia fotovoltaica no Brasil: uma revisão de literatura”. *Pesquisa e Inovação*, v. 1, n. 1, p. 100-115.
- Sunew. (2021) “OPV: Terceira geração de células solares. Belo Horizonte”, <https://materiais.sunew.com.br/webinar>, Agosto.
- Torres, D. G. B., Luca, B. H., Malacarne, J. A., Souza, J., Casarolli, D., Silva, E. D. C. e Guerra, T. (2019) “Células fotovoltaicas: desenvolvimento e as três gerações”. *Revista Técnico-Científica do CREA-PR*, p. 1-6.
- Tractz, G. T., Dias, B. V., Banczek, E. P., da Cunha, M. T., Alves, G. J. T. e Rodrigues, P. R. P. (2020) “Células Solares Sensibilizadas por Corante (CSSC): perspectivas, materiais, funcionamento e técnicas de caracterização”. *Rev. Virtual Quím.*, v.12, n.3, p.748-774.
- Vasconcelos, Y. (2013) “O desafio do Sol”, [072-075_CelulasOrganicas_207.pdf](https://www.crea.org.br/revista/072-075_CelulasOrganicas_207.pdf), Junho.