

CENTRO PAULA SOUZA
ETEC ITAQUERA II
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL - TÉCNICO
EM EDIFICAÇÕES

CARLA OTERO DOS REIS
FERNANDO TEIXEIRA FLORENCIO
JONAS HENRIQUE ARDEL OLIVEIRA
PEDRO HENRIQUE OLIVEIRA
YAN OLIVEIRA DE SOUZA

VIDRO FOTOVOLTAICO
UMA JANELA PARA O FUTURO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL NO
BRASIL

SÃO PAULO

2025

CARLA OTERO DOS REIS
FERNANDO TEIXEIRA FLORENCIO
JONAS HENRIQUE ARDEL
PEDRO HENRIQUE OLIVEIRA
YAN OLIVEIRA DE SOUZA

VIDRO FOTOVOLTAICO
UMA JANELA PARA O FUTURO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL NO
BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Ensino Médio integrado ao Curso Técnico
em Edificações da Etec Itaquera II, orientado
pela Profª. Larissa Costa, como requisito para
obtenção do título de técnico em edificações.

SÃO PAULO

2025

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que nossos objetivos fossem alcançados durante todos os nossos anos de estudos. Aos amigos e familiares, por todo apoio e incentivo nos momentos difíceis, e compreenderam as nossas ausências em certos momentos. Aos professores Isabela Ribeiro de Oliveira, Jurandir Evangelista de Jesus Filho e Larissa Costa por sempre nos apoiarem desde o início do projeto, e sempre nos mostrarem o caminho certo. Aos nossos colegas e amigos, que nos acompanharam ao longo desses anos de curso. À instituição ETEC ITAQUERA 2, por nos receber e nos apoiar nessa fase muito importante para nossas vidas.

“Foi o tempo que dedicaste a tua rosa que a fez tão importante...”

- Antoine de Saint-Exupéry-

RESUMO

A crescente preocupação com os impactos ambientais, o aumento constante no consumo de energia e a necessidade de utilizar fontes energéticas renováveis tem impulsionado a criação de novas tecnologias que buscam mitigar tais problemáticas. Nesse contexto, o vidro fotovoltaico é uma excelente alternativa para aqueles que buscam adotar práticas mais sustentáveis de forma efetiva. O presente estudo aborda como ocorre o funcionamento deste vidro, sua viabilidade econômica, suas aplicações, vantagens, características e os obstáculos envolvidos em sua implementação no mercado brasileiro.

Palavras-chave: Energia; Vidro; Fotovoltaico; Viabilidade.

ABSTRACT

The growing concern about environmental impacts, the constant increase in energy consumption and the need to use renewable energy sources has driven the creation of new technologies that seek to mitigate these problems. In this context, photovoltaic glass is an excellent alternative for those looking to effectively adopt more sustainable practices. This study looks at how this glass works, its economic viability, its applications, advantages, characteristics and the obstacles involved in its implementation in the Brazilian market.

Keywords: Energy; Glass; Photovoltaic; Feasibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vidro Fotovoltaico.....	17
Figura 2 – Absorção da radiação solar pelo vidro	22
Figura 3 – Fachada predial	25
Figura 4 – Janela solar	25
Figura 5 – Cobertura feita de vidro solar	26
Figura 6 – Abrigo de ônibus feito de vidro solar	26
Figura 7 – Materiais	28
Figura 8 – Materiais	28
Figura 9 – Misturando dióxido de titânio com água	29
Figura 10 – Aplicando pó de grafite	29
Figura 11 – Jogando água desmineralizada	29
Figura12 – Juntando duas placas	30
Figura 13 – Aplicando Lugol	30
Figura14 – Colocando cliques	30
Figura 15 – Medição da voltagem	31
Figura 16 – Segunda amostra	32
Figura 17 – Segunda amostra.....	32
Figura 18 – Esquema.....	34
Figura 19 – Fachada	36
Figura 20 – Sala	37
Figura 21 – Lavabo	37
Figura 22– Cozinha	38
Figura 23 – Clara boia	38

Figura 24 – Planilha39

Sumário

INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo geral.....	11
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
1.2. Justificativa	12
1.3 Consumo energético	13
1.4 Fontes de energia limpa e não limpa	14
1.5 Tecnologia Fotovoltaica	15
1.5.1 Efeito Fotovoltaico	16
1.5.2 Aplicações da Energia Fotovoltaica.....	16
1.6 Vidro fotovoltaico.....	17
1.7 Mercado	19
DESENVOLVIMENTO.....	21
2.1 Revisão técnica do Vidro Fotovoltaico.....	21
2.2 Normas e diretrizes	22
2.3 Aplicações na construção sustentável.....	24
2.3.1 Fachadas e envelopes prediais.....	24
2.3.2 Janelas e claraboias	25
2.3.3 Coberturas e telhados translúcidos.....	25
2.3.4 Espaços públicos e mobiliário urbano.....	26
2.3.5 Benefícios complementares na arquitetura sustentável.....	27
2.4 Metodologia experimental	27
2.4.1 Primeiro teste.....	27
2.4.1.1 Materiais	27
2.4.1.2 Realização.....	29
2.4.1.3 Resultados.....	31
2.4.2 Segundo teste.....	32
2.4.3 Teoria experimental.....	32
2.4.4 Discussão dos resultados	33
2.5 Funcionamento da Antocianina	34
2.6 Aplicação em projeto arquitetônico real	35
2.6.1 Exterior.....	35
2.6.1.1 Fachada.....	35

2.6.2 Interior	36
2.6.2.1 Sala	36
2.6.2.2 Lavabo	36
2.6.2.3 Cozinha.....	37
2.6.3.4 Claraboia.....	37
2.7 Viabilidade.....	38
2.7.1 Aspecto econômico	38
2.7.2 Aspecto ambiental	38
2.8 Perspectivas para o mercado brasileiro.....	39
2.8.1 Desafios.....	39
2.8.2 Oportunidades	39
2.8.3 Cenário futuro	40
CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIA	44

INTRODUÇÃO

Na atualidade, o mundo tem sofrido transformações intensas que envolvem o crescimento populacional, urbanização desenfreada e o avanço da tecnologia para todos os setores da sociedade. Esses fatores, por mais que positivos em relação à qualidade de vida, também trazem consigo desafios complexos, entre eles, o aumento no consumo de energia, o aquecimento global e a degradação dos recursos naturais. As mudanças climáticas, por exemplo, são consequência da intensificação do efeito estufa, causado sobretudo pela queima de combustíveis fósseis (como carvão mineral, petróleo e gás natural), o que gera uma grande concentração de gases como dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. Nesse contexto, a busca por soluções sustentáveis ganha um maior espaço e importância na sociedade, visando inovações e a incorporação de tecnologias capazes de combinar eficiência e o uso consciente de recursos naturais, sem comprometer o meio ambiente e as gerações futuras, já que o ramo da construção civil, assume o papel de um dos maiores poluentes dentre as demais áreas de atuação. Desta forma, um desses meios é o vidro fotovoltaico, uma tecnologia capaz de gerar energia a partir da luz solar, ao mesmo tempo em que exerce funções arquitetônicas nas edificações.

1.1 Objetivos

O objetivo do presente trabalho é analisar a viabilidade da utilização de vidros fotovoltaicos como alternativa sustentável na construção civil brasileira, investigando seu potencial em edifícios residenciais, comerciais e públicos. Busca-se compreender como essa tecnologia inovadora pode contribuir para a geração de energia limpa e a redução do consumo energético em edificações, promovendo maior eficiência energética e redução dos impactos ambientais causados pelo setor da construção civil. Para isso, serão estudados aspectos técnicos, econômicos e ambientais, assim como analisadas as vantagens e desafios relacionados à sua implantação no contexto nacional. O trabalho visa ainda, estimular a reflexão quanto às práticas mais sustentáveis no âmbito da construção, paralelo às demandas atuais de desenvolvimento urbano responsável e à preocupação com fontes renováveis de energia.

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade do uso de vidros fotovoltaicos na construção civil no Brasil, considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e regulatórios, a fim de avaliar sua contribuição para a sustentabilidade no setor.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Investigar o funcionamento e os princípios técnicos dos vidros fotovoltaicos, assim como os seus tipos mais utilizados.
- b) Estudar as principais vantagens e limitações da aplicação dessa tecnologia em edificações, com foco em eficiência energética, conforto térmico e impacto ambiental.
- c) Analisar o cenário atual da adoção de vidros fotovoltaicos no Brasil e em outros países, identificando barreiras e oportunidades para sua implementação em larga escala.
- d) Avaliar a viabilidade econômica do uso dessa tecnologia em projetos de construção civil brasileiros, considerando custos de instalação, manutenção e retorno.
- e) Propor normas e recomendações para a aplicação estratégica dessa tecnologia em projetos arquitetônicos sustentáveis no cenário brasileiro.

1.2. Justificativa

A crescente demanda por energia, junto ao aumento das emissões de gases poluentes e à escassez de recursos naturais, tem exigido mudanças urgentes nas formas de construção e no uso de tecnologias mais sustentáveis. A construção civil, responsável por grande parte do consumo de energia e geração de resíduos no mundo, precisa se adaptar a uma nova realidade que exige eficiência energética, sustentabilidade ambiental e inovação tecnológica.

Neste contexto, o vidro fotovoltaico surge como uma alternativa promissora, capaz de transformar elementos das edificações, como janelas e fachadas, em geradores de energia limpa. No entanto, apesar de já ser utilizado em outros países, seu uso no Brasil ainda é limitado, seja por desconhecimento técnico, falta de incentivo, alto custo inicial ou ausência de normatização específica.

A ausência de reflexão e estudo aprofundado sobre essa tecnologia pode resultar na continuidade de práticas insustentáveis no setor da construção, contribuindo para o agravamento de problemas como o desperdício de energia, o aumento da pegada de carbono das edificações e a perpetuação de modelos arcaicos. Além disso, a falta de investimento em soluções inovadoras como o vidro fotovoltaico pode atrasar o desenvolvimento urbano sustentável no país e comprometer o cumprimento de metas ambientais estabelecidas em acordos internacionais.

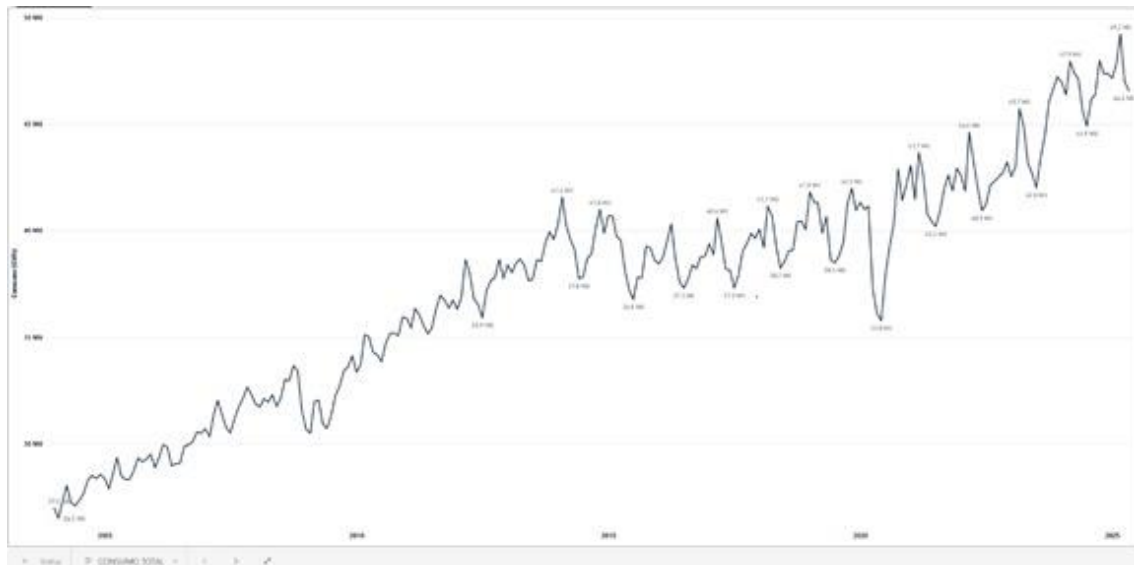
Este trabalho justifica-se, portanto, pela necessidade de se ampliar o debate sobre tecnologias sustentáveis na construção civil brasileira, avaliando as reais possibilidades de aplicação dos vidros fotovoltaicos e os benefícios que podem trazer à população. Além disso, espera-se que a pesquisa contribua para o avanço do conhecimento técnico sobre o tema, incentivando arquitetos, engenheiros, construtores e formuladores de políticas públicas a adotarem soluções mais responsáveis e alinhadas com os princípios da sustentabilidade.

1.3 Consumo energético

O consumo energético refere-se à quantidade de energia elétrica utilizada por residências, comércios, indústrias e instituições em geral. Esse consumo está diretamente ligado ao uso de aparelhos e equipamentos elétricos como: geladeiras, ar-condicionado, televisores, computadores, lâmpadas, entre outros; que exigem energia para funcionarem. A intensidade do consumo varia de acordo com a potência de cada equipamento (medida em watts) e o tempo em que permanecem ligados. Por exemplo, uma lâmpada de 100 watts acesa por 10 horas consome 1.000 watts-hora, ou seja, 1 kilowatt-hora (kWh), que é a unidade de medida utilizada nas contas de energia.

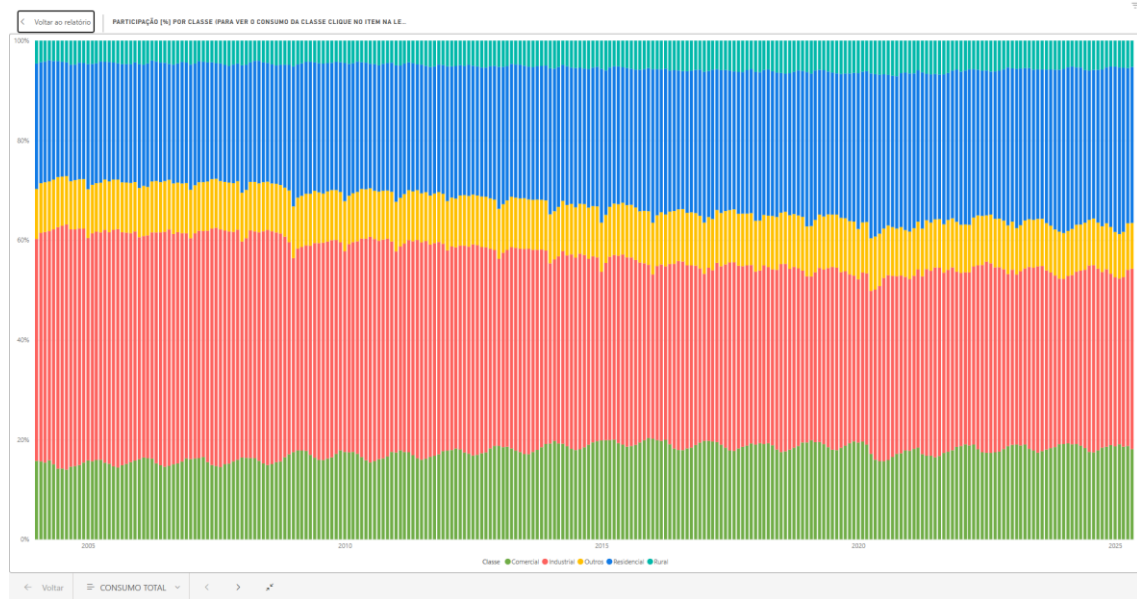
Com a modernização das residências e a crescente imersão da vida cotidiana no meio digital, o número de equipamentos conectados à rede elétrica aumentou significativamente. Além disso, muitos desses aparelhos permanecem ligados durante longos períodos, o que causa a elevação do consumo médio por domicílio. No Brasil, esse aumento tem impactos diretos nas contas de energia e pressiona o sistema de geração elétrica, que precisa atender a uma demanda cada vez maior. Em tempos de crise hídrica, por exemplo, o país costuma recorrer às usinas termelétricas, sendo estas mais caras e poluentes, para suprir a necessidade de energia, o que reflete negativamente tanto no meio ambiente quanto no bolso da população. Assim, torna-se cada vez mais necessário buscar formas de reduzir o consumo da rede elétrica convencional e adotar sistemas alternativos de geração de energia.

Gráfico 1 - Consumo Energético



Fonte - (EPE, 2025)

Gráfico 2 – Consumo Energético



Fonte – (EPE, 2025)

1.4 Fontes de energia limpa e não limpa

A energia elétrica pode ser gerada a partir de diferentes fontes, que são divididas em dois grandes grupos: fontes limpas (renováveis) e fontes não limpas (não renováveis).

As fontes limpas ou renováveis são aquelas na qual se usa fontes infinitas e que não agredem diretamente o meio ambiente. Entre as principais fontes renováveis estão a energia

solar (obtida a partir da luz do sol), a energia eólica (gerada pelo vento), a energia hidráulica (produzida pela força da água em movimento, como em usinas hidrelétricas), a biomassa (gerada a partir da decomposição de matéria orgânica) e a energia geotérmica (que aproveita o calor interno da Terra). O Brasil, por exemplo, tem uma matriz energética majoritariamente renovável, com destaque para a energia hidráulica, que representa uma parcela significativa da eletricidade gerada no país.

Diferente das energias sujas que possuem uma fonte finita e como estão associadas a queima de combustível, agredem diretamente o meio ambiente, colaborando para a poluição de ar, pois a combustão de petróleo e carvão promove a emissão de CO² (gás carbono), elemento que agride o ar que se respira, podendo causar doenças respiratórias, principalmente em áreas urbanas onde a sua emissão tem uma maior concentração.

Por outro lado, as fontes não limpas ou não renováveis são aquelas que existem em quantidades limitadas na natureza e cuja exploração causa grandes impactos ambientais. Isso inclui os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), que são altamente poluentes e estão entre os principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa. Além do impacto ambiental, outro fator preocupante é que, muitas vezes, a extração e transporte desses combustíveis envolvem riscos ambientais graves, como vazamentos de petróleo em oceanos, por exemplo.

Com o avanço das mudanças climáticas e o crescimento da preocupação quanto à sustentabilidade, cresce também a busca por tecnologias e soluções que priorizem as fontes limpas de energia. Entre essas alternativas, destaca-se a energia solar, que vem ganhando cada vez mais espaço por ser uma fonte abundante, renovável e de fácil captação, especialmente em países com alta incidência solar como é o caso do Brasil.

Diante disso, surge a necessidade de discutir mais profundamente as tecnologias fotovoltaicas, sendo estas os sistemas que convertem a luz do sol em energia elétrica, e como essas tecnologias podem ser aplicadas de maneira inovadora em diferentes contextos, incluindo a arquitetura e a construção civil.

1.5 Tecnologia Fotovoltaica

A tecnologia fotovoltaica é um dos principais avanços no campo da geração de energia limpa e renovável. Seu funcionamento baseia-se na geração de energia renovável e limpa a

partir da radiação, sem emissão de poluentes. Trata-se de um processo sustentável e eficiente que tem se popularizado mundialmente como alternativa viável à matriz energética convencional.

1.5.1 Efeito Fotovoltaico

O princípio físico que torna essa tecnologia possível é o chamado efeito fotovoltaico, descoberto em 1839 pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel. O efeito fotovoltaico ocorre quando certos materiais semicondutores (geralmente o silício cristalino) recebem a incidência da luz solar e transformam essa energia luminosa em corrente elétrica.

Resumidamente, quando a luz solar atinge a célula fotovoltaica (uma pequena placa composta por camadas de silício e outros materiais) presentes nos chamados módulos fotovoltaicos, os fótons da luz interagem com os átomos do material semicondutor, fazendo com que elétrons sejam liberados. Esses elétrons em movimento geram uma corrente elétrica, que pode então ser captada e utilizada para alimentar equipamentos elétricos ou ser armazenada em baterias. Esse sistema é modular e pode ser instalado em diversos formatos e escalas, desde pequenos painéis em residências até grandes usinas solares.

1.5.2 Aplicações da Energia Fotovoltaica

O avanço da tecnologia permitiu o desenvolvimento de soluções fotovoltaicas cada vez mais adaptáveis à vida urbana e às necessidades arquitetônicas. Hoje, além dos tradicionais painéis solares instalados em telhados, já é possível integrar células fotovoltaicas em outros elementos da construção civil, como fachadas, coberturas, mobiliário urbano e até superfícies de automóveis. Essa integração é chamada de BIPV (Building-Integrated Photovoltaics), ou em português, Fotovoltaico Integrado à Edificação.

Nesse cenário, surge uma inovação que amplia ainda mais as possibilidades de aproveitamento da luz solar: o vidro fotovoltaico transparente. Diferente dos tradicionais painéis opacos, essa tecnologia permite a passagem de luz visível, funcionando como uma janela comum, mas com a capacidade adicional de gerar eletricidade. No próximo tópico, será abordado em profundidade como o vidro fotovoltaico funciona, quais os seus tipos, vantagens, limitações e o potencial dessa solução no contexto da construção sustentável no Brasil.

1.6 Vidro fotovoltaico

O vidro fotovoltaico, ou painel solar transparente como também é conhecido, apesar de utilizar uma tecnologia descoberta a alguns anos atrás, inova quando diferentemente das placas solares comuns, são transparentes, podendo assim, ser colocada em qualquer fachada sem alterar a proposta arquitetônica e não necessitando de um espaço específico destinado para sua instalação, algo que ocorre com as placas solares.

Essa nova tecnologia utiliza, assim como sua antecessora, células solares, porém aqui estas são transparentes e absorvem energia a partir das finas camadas de semicondutores que são instaladas entres as placas de vidro. Apesar da eficiência dessa placa ser menor quando comparada individualmente com a célula solar opaca, quando se observa em um campo maior, ela fica uma posição à frente, já que por exemplo em um edifício, caso fossem instaladas placas solares, essas só poderiam estar localizadas em sua cobertura, enquanto os vidros fotovoltaicos estariam ocupando o lugar de todas as janelas sem utilizar um espaço e sem alterar a proposta arquitetônica inferido inicialmente no projeto.

O fator da transparência, é o grande diferencial dessa nova tecnologia que aos poucos está dominando o mercado estrangeiro. Existem vidros fotovoltaicos que podem chegar a 85% de transparência. Existem diversas universidades e indústrias que pesquisam a fundo cada vez mais sobre esse tema, sendo que, os resultados obtidos mais significativos foram alcançados em países como Estados Unidos e Coreia do Sul. Apesar de alguns resultados e métodos de pesquisa diferentes, os dois contribuem para a evolução tecnológica e para um futuro mais limpo.

As pesquisas feitas na Michigan State University, pelo professor de engenharia química e ciência dos materiais Richard Lunt, desenvolveu um vidro que absorve parte do espectro não visível da luz solar, ou seja, os raios ultravioletas e infravermelhos e a energia captada é conduzida até a borda das placas de vidro onde estão inseridas tiras muito finas de células solares que convertem a energia solar em eletricidade. Segundo Lunt, com a implantação desse tipo de vidro nas edificações futuras, os campos de placas solares deixariam de existir e dariam espaço e cidades com a mesma capacidade de absorção de energia.

Figura 1 - Vidro Fotovoltaico



Fonte – YouTube (Michigan State University), 2015

Na Coreia, os primeiros testes foram feitos por pesquisadores da Universidade Nacional de Incheon e liderados pelo professor Joondong Kim eles incorporaram no vidro, uma fina camada de silício amorfo o que permitiu a captação de comprimentos de ondas maiores. Com os testes a equipe também concluiu que a captação de fótons é mais eficiente podendo gerar uma maior quantidade de carga elétrica. Contudo, o professor Kim conclui "Nossa pesquisa é essencial para um futuro verde sustentável — especialmente para conectar o sistema de energia limpa com pegada de carbono nula ou mínima".

Outro país que ganha destaque nesse mercado é o Japão. No país, a Panasonic Corporations desenvolveu um vidro fotovoltaico utilizando camadas de cristais perovskita (minério usado como material semiconductor), com essas camadas possuindo menos de um micrometro de espessura. Esses painéis possuem uma transparência entre 20% e 40%.

Além destes países citados, o Brasil ganha espaço neste cenário tecnológico. No ano de 2025, foi anunciado que o território brasileiro se tornou o primeiro, fora da China, a receber uma fábrica de vidro solar, com um investimento de R\$ 1,8 bilhão no município de Belmonte, a 600 quilômetros de Salvador. A escolha da localização, leva em conta a presença de uma grande reserva de areia silicosa de altíssima pureza na região. O empreendimento será conduzido pela empresa Homerun Brasil, subsidiária da mineradora canadense Homerun Resources e a unidade utilizará energia de ponta, integrando-se à cadeia de fornecimento da indústria fotovoltaica.

Em suma, a implantação do vidro fotovoltaico no cenário brasileiro pode trazer vantagens socioeconômicas e ecológicas, pensando em um futuro onde as necessidades elétricas possam ser supridas por um meio que combina um elemento arquitetônico com a geração de energia limpa.

Husain (2018, pag. 03) relata em seu artigo “Uma revisão das tecnologias solares fotovoltaicas transparentes” que:

Se todos os edifícios com 90% de vidro em sua superfície usassem células solares transparentes impressas na superfície do vidro, as células solares teriam potencial de alimentar mais de 40% do consumo de energia desse edifício.

Dessa forma, esse avanço traz consigo uma redução significativa nos gastos com energia elétrica e torna os empreendimentos mais autossuficientes. Apesar de inicialmente apresentar um investimento mais elevado em comparação aos demais vidros do mercado, o retorno a longo prazo se mostra vantajoso, principalmente em locais com elevada incidência solar, o que representa grande parte da geografia brasileira.

1.7 Mercado

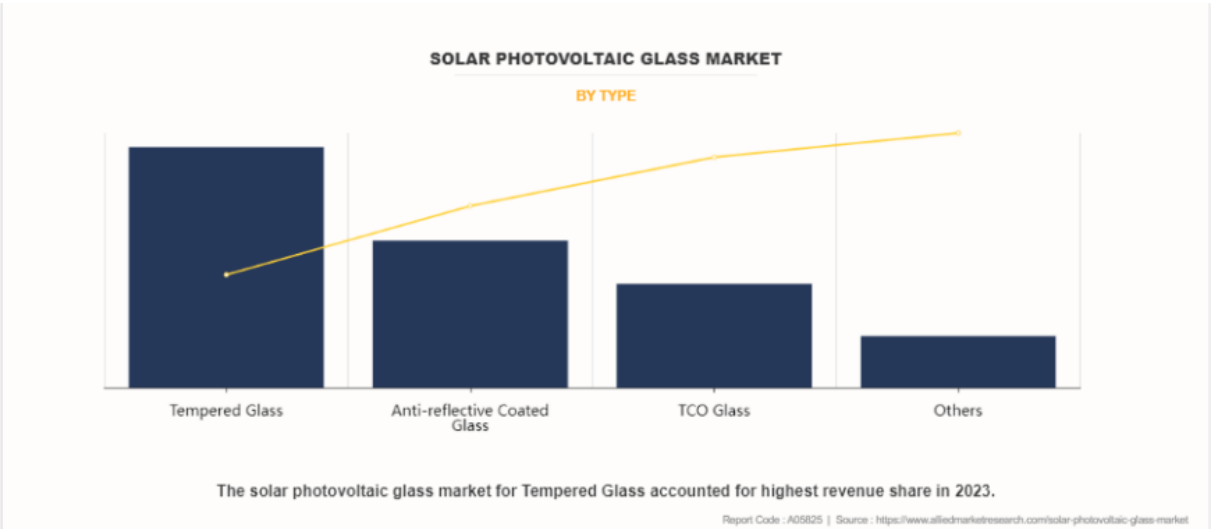
No ano de 2023, o mercado de vidro solar fotovoltaico foi avaliado em torno 17,1 bilhões de dólares com uma previsão que em 2033 atinja 243,7 bilhões de dólares. Grande parte desse avanço está diretamente ligado a China pelo grande investimento que o país tem feito nesse tipo de energia renovável. Segundo dados obtidos pela Associação da Indústria Fotovoltaica da China, a capacidade de produção anual de módulos solares no final de 2023 teve uma produção que atingiu 861 gigas watts (GW), mais que o dobro das instalações globais de 390 GW no mesmo período.

Apesar das dificuldades encontradas ao longo do tempo em relação ao investimento para esse tipo de energia, as inovações tecnológicas têm facilitado, barateando os custos e tornando-a mais acessível a um grande público. Dessa maneira, o mercado acaba sendo impulsionado pelos países emergentes Índia, China e Japão além de outros países principalmente do continente asiático.

Dentro de tudo isso, os dados da venda do produto é dividido em alguns fatores como tipo de vidro utilizado e a finalidade para qual será utilizado. Ocupando mais de dois quintos na participação no mercado global, o vidro temperado tem previsão de manter a posição até 2033. A escolha do material se deve a resistência elevada que possui quando comparado aos outros. Em relação a finalidade, esse está dividido em residencial, comercial e de grande porte, e dentro das pesquisas feitas, o que ocupa uma maior parte dentro das vendas seriam as construções de grande porte, tendo mais da metade da participação total de mercado. Se prevê que desse jeito, até 2033 que o CAGR - Taxa de Crescimento Anual Composta - seja maior que 30,8%, o que

significa que o retorno do investimento seria maior do que o que foi aplicado inicialmente no produto.

Gráfico 3 – Mercado



Fonte – (Allied Market Research, 2023)

DESENVOLVIMENTO

Dando continuidade ao embasamento teórico apresentado, o presente capítulo possui como objetivo aprofundar os conhecimentos já adquiridos, a partir de experimentos laboratoriais e da dissertação dos resultados obtidos. Essa etapa visa interligar a teoria e a prática, permitindo avaliar o real desempenho e viabilidade econômica, ambiental e mercadológica do material.

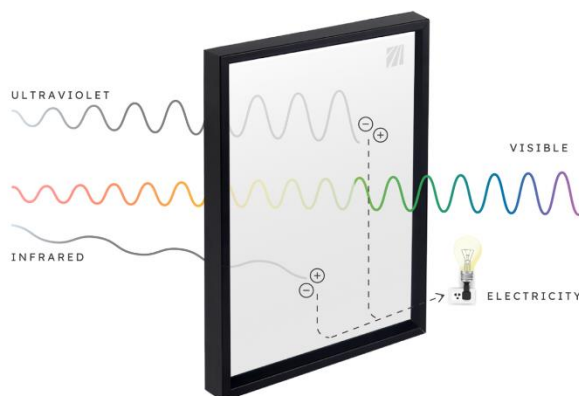
2.1 Revisão técnica do Vidro Fotovoltaico

O Vidro Fotovoltaico está entre uma das maiores inovações dentro do mundo da construção civil no que se diz respeito a energia renovável. Esse material pode substituir o uso de painéis solares, sendo mais eficiente, já que não precisa de um ponto específico para ser instalado, podendo ser colocado no lugar das janelas, já que além de captar a energia solar, ainda possui um design transparente. Com isso, muitas construções não precisariam mudar sua fachada, vez que os vidros substituiriam as placas e, além disso, muitas edificações que nem cogitaram ter um sistema de energia renovável por falta de espaço, poderiam utilizar o vidro fotovoltaico sem a preocupação de uma área separada para sua instalação.

Ademais, o vidro ainda está em fase de estudos e testes, que são feitos por diversas universidades de diferentes países. Mas a base para a sua confecção não diverge muito entre eles. Esses estudos, em sua maioria, utilizam duas placas de vidros condutoras, sendo que em uma delas é aplicado um semicondutor e células solares transparentes. Para uma maior captação da luz, pode ser aplicado algum corante fluorescente que esteja entre as cores azul e vermelho, que auxiliam na captação dessa energia, tornando o vidro com um aspecto meio roxo. Esse comportamento foi observado pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel que descobriu o efeito fotovoltaico e constatou a maior eficiência na absorção da radiação solar nessas tonalidades de cor.

Após, a energia do vidro é levada para as bordas do vidro que, ao ser inserido na moldura, passa a levar essa energia para um circuito que a converte em energia elétrica e gera assim, uma fonte renovável de eletricidade, diminuindo gastos e podendo até mesmo auxiliar o posto de abastecimento de energia da região.

Figura 2 – Absorção da radiação solar pelo vidro



Fonte – Google (Ubiquitous Energy), 2023

2.2 Normas e diretrizes

No Brasil, pode se observar um grande crescimento no uso de energias renováveis, na qual a energia solar fotovoltaica é a segunda maior fonte de energia do país, perdendo somente para a hídrica, nada impedindo que, com o tempo, se torne a maior fonte. Muito se deve a possibilidade de ser instalada em residências, porém para o seu uso correto e segurança do proprietário, existem algumas normas que devem ser seguidas fazendo com que seu uso também possa ser mais eficiente.

Dentre essas normas, temos algumas que se destacam:

- ABNT NBR 16274:2014;
- ABNT NBR 5410:2004;
- ABNT NBR 5419-1:2015;
- ABNT NBR 16690:2019;
- NR 10.

É importante dizer que algumas das ABNT's são de uso voluntário, porém podem ser incentivadas a serem cumpridas por contrato, regulamentações governamentais e critérios de clientes.

- ABNT NBR 16274:2014;

Esta diz respeito aos requisitos mínimos para a elaboração de projetos de sistemas fotovoltaicos ligados à rede elétrica de energia. Descrevendo documentações, ensaios de comissionamento e, abrangendo também, aspectos como dimensionamento do sistema, escolha

dos equipamentos e proteção contra surtos e aterramento. Sendo assim, esta norma tenta maximizar a geração de energia com os mínimos riscos

- ABNT NBR 5410:2004;

A norma estabelece os requisitos para a instalação de sistemas elétricos de baixa tensão, inclusive de painéis solares com o objetivo garantir a segurança das pessoas, animais e bens, assegurando o funcionamento adequado dos equipamentos elétricos. Além de abordar as escolhas de condutores e dispositivos de segurança, também auxilia na manutenção do sistema elétrico.

Essa norma é antiga e por conta da tecnologia que se encontrara presente na época de sua criação não ser o suficiente para atender todos os requisitos relacionados a geração de energia fotovoltaica, fora criada outra norma para auxiliá-la, a NBR 16690 de 2019.

- ABNT NBR 5419-1:2015;

Aqui serão tratadas as instalações, manutenções e inspeções de sistemas de proteções contra descargas atmosféricas (SPDA), também conhecido como para-raios. Essa norma é de suma importância para a segurança do sistema elétrico da edificação, inclusive o de painéis solares, isso porque os raios podem causar danos e prejuízos significativos a esses equipamentos, afetando a geração de energia e comprometendo o funcionamento do sistema.

- ABNT NBR 16690:2019;

Diferente da NBR 16274, essa estabelece os requisitos mínimos para a documentação técnica de projetos executivos de sistemas fotovoltaicos, servindo como guia para que a instalação do sistema seja segura e eficiente, podendo ser evitados choques elétricos e sobre tensões.

- NR10:

A norma regulamentadora está mais ligada aos trabalhadores e tem como objetivo garantir a segurança desses durante o processo de instalação e manutenção de redes e sistemas elétricos tendo requisitos e condições mínimas para a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos.

A NR10 é aplicável a todas as empresas que desenvolvem atividades com eletricidade, independentemente do setor. Seguir o que se pede é fundamental para garantir a integridade

física dos trabalhadores e prevenir acidentes relacionados à eletricidade. Empregadores e profissionais devem estar atentos às especificidades da norma e cumprir suas diretrizes para garantir um ambiente de trabalho seguro.

2.3 Aplicações na construção sustentável

Durante as últimas décadas, foi possível observar uma crescente busca por formas de tornar o mercado da construção civil menos poluente. Com isso, além de ser uma tendência mundial, o vidro fotovoltaico surge como premissa fundamental para o mercado das edificações, uma vez que traz consigo diversos benefícios, como a redução de custos, recursos e tempo a longo prazo, além de minimizar os impactos ambientais e melhorar a experiência e qualidade de vida da população.

O vidro é um material altamente reconhecido pela sua versatilidade e estética, entretanto, o que o torna mais especial é sua capacidade sustentável, levando em consideração que é reciclável, com alta durabilidade e eficiência energética e baixa manutenção. Entretanto, a utilização dessa peça é pouco repercutida, vez que não é conhecida em muitas áreas. Logo, torna-se importante avaliar sua aplicação em diferentes projetos de construção civil.

2.3.1 Fachadas e envelopes prediais

As fachadas são áreas de grande exposição solar, principalmente em edifícios corporativos, entretanto, as mesmas não são utilizadas de forma ativa. A incorporação do vidro fotovoltaico nesses espaços transforma a superfície inutilizada em um gerador de energia elétrica, sem comprometer o design moderno e transparente que caracteriza obras desse tipo.

Um exemplo prático pode ser aplicado em edifícios com fachadas inteiramente de vidro; quando substituída pelo material dessa pesquisa, será possível obter um prédio com uma própria usina de energia, sem a utilização de painéis solares na cobertura. Além disso, o material pode atuar como barreira térmica, reduzindo a necessidade de utilização de ar-condicionado (logo, reduz também o impacto ambiental) e gerando dupla economia de energia.

Figura 3 – Fachada predial



Fonte – Google (Ciclovivo), 2023

2.3.2 Janelas e claraboias

As janelas que possuem o vidro fotovoltaico como material base para sua produção possuem um papel duplo: permitem a ventilação e a entrada de luz natural, ao mesmo tempo que gera energia elétrica. A utilização dessa forma é útil em residências, hospitais e escolas, onde há demanda constante da iluminação natural para o conforto dos usuários.

Já no caso das claraboias, que são geralmente utilizadas em tetos de áreas centrais de prédios e obras comerciais de grande porte (como shoppings), o vidro proporciona uma iluminação difusa e homogênea durante o dia, substituindo a utilização de lâmpadas. Além disso, controla a entrada de calor e radiação, contribuindo para um equilíbrio térmico.

Figura 4 – Janela solar



Fonte – Google (Ciclovivo), 2024

2.3.3 Coberturas e telhados translúcidos

A instalação em coberturas é uma das alternativas mais eficientes na utilização do vidro, pois permite o aproveitamento direto da radiação solar incidente no topo das construções. Em obras industriais, estacionamentos ou passarelas, esse material possui a função de proteção contra intempéries, enquanto gera energia para abastecer tais locais.

Por exemplo, em estacionamentos, a cobertura fotovoltaica pode fornecer sombra para veículos enquanto gera energia elétrica suficiente para alimentar sistemas de iluminação, câmeras de segurança ou até mesmo pontos de recarga para carros elétricos, aliando sustentabilidade, inovação e funcionalidade em um mesmo elemento construtivo.

Figura 5 – Cobertura feita de vidro solar



Fonte – Google (Conexão planeta), 2016

2.3.4 Espaços públicos e mobiliário urbano

Em áreas urbanas, o vidro fotovoltaico pode ser aplicado em estruturas como pontos de ônibus, quiosques, passarelas e painéis informativos. Essa aplicação combina fatores de pontos comuns com um gerador próprio de energia, contribuindo para a aparição de cidades inteligentes.

Um exemplo seria a aplicação do material em abrigos de ônibus, que é capaz de gerar energia suficiente para alimentar painéis digitais de horário e iluminação noturna, reduzindo custos da prefeitura.

Figura 6 – Abrigo de ônibus feito de vidro solar



Fonte – Google (SustentArqui), 2016

2.3.5 Benefícios complementares na arquitetura sustentável

Além da produção de energia, o vidro fotovoltaico traz vantagens adicionais para projetos arquitetônicos. Dentre elas:

- Isolamento térmico: Ajuda a transferir calor para ambientes internos, ignorando a participação de equipamentos refrigeradores.
- Controle de luminosidade: A depender do tipo, o vidro pode filtrar parte da radiação, reduzindo o excesso de calor.
- Valorização imobiliária: empreendimentos com soluções sustentáveis (como o vidro fotovoltaico) possui maior valor no mercado.
- Estética moderna: mantém o visual sofisticado das fachadas de vidro, trazendo um diferencial tecnológico.

2.4 Metodologia experimental

No início do desenvolvimento do projeto, foram realizadas pesquisas sobre o assunto com o objetivo de compreender a formulação de um possível protótipo e os equipamentos que seriam utilizados. Além disso, foi de suma importância avaliar e observar os riscos e medidas de segurança adotados, uma vez que o uso desse material pode trazer ameaças, quando utilizado de forma incorreta. Para realização desse teste, todos os estudantes presentes utilizaram EPIs (Equipamento de Proteção Individual) como luvas e máscaras, já que as substâncias usadas trazem riscos como irritação respiratória, ocular ou dérmica. Após a criação do protótipo, os materiais utilizados foram descartados de forma correta, como resíduos químicos. Todo o teste foi realizado na presença do professor Jurandir Evangelista de Jesus Filho, seguindo medidas de segurança.

2.4.1 Primeiro teste

2.4.1.1 Materiais

Para esses testes foram utilizados os seguintes materiais:

- Placas de vidro no tamanho de 15x15 cm; esse material permite que a luz percorra e serve como base para montar os eletrodos.
- Dióxido de titânio; cria uma camada semicondutora que, sensibilizada pelo corante do suco de amora, gera elétrons quando iluminada.
- Clipes de fichário; usado para fixar as duas placas de vidro utilizadas.

- Água desmineralizada; evita contaminação por íons, garantindo que a pasta formada pelo dióxido de titânio tenha a consistência correta.
- Acetona; atestam a limpeza do vidro, removendo impurezas e fazendo com que o vidro absorva, de forma coerente, as substâncias e tenha um bom funcionamento elétrico.
- Suco de amora / beterraba / mirtilo; sensibiliza o dióxido de titânio a luz solar.
- Pó de grafite; atua como material condutor de elétrons.
- Perfil de alumínio; espalhar, de forma uniforme, o dióxido de titânio sobre o vidro.
- Multímetro; verifica a condutividade das placas de vidro e testa o protótipo ao fim do experimento.
- Solução de iodeto. Facilita a condução de elétrons entre os eletrodos quando aplicado nas bordas.

Figura 7 - Materiais



Fonte – Próprio Autor

Figura 8 - Materiais



Fonte – Próprio Autor

2.4.1.2 Realização

Após a compra e organização de todos os itens acima, os seguintes passos foram seguidos para obter o primeiro protótipo do projeto:

- 1- Limpeza do vidro com o uso do álcool isopropílico, garantindo o seu funcionamento correto;
- 2- Mistura do dióxido de titânio com água com o objetivo de obter uma mistura homogênea e de maior densidade;

Figura 9 – Misturando Dióxido de Titânio com Água



Fonte – Próprio Autor

- 3- Aplicação de uma camada fina da mistura em uma das placas de vidro;
- 4- Submersão da placa de vidro que contém a mistura em um recipiente com suco de amora e espera por 10 minutos;
- 5- Aplicação do pó de grafite em outra chapa de vidro;

Figura 10 – Aplicando Pó de Grafite



Fonte – Próprio Autor

- 6- Mantendo o dióxido de titânio em cima da lâmina de vidro, a retiramos do recipiente e despejamos água desmineralizada sobre ela;

Figura 11 – Jogando água desmineralizada



Fonte – Próprio Autor

- 7- Após isso, reunimos as placas de vidro que continham pó de grafite e dióxido de titânio, unindo as duas substâncias;

Figura 12 – Juntando as Duas Placas



Fonte – Próprio Autor

- 8- Em seguida, pingamos a solução de iodeto entre as chapas de vidro, focando, principalmente, nas bordas;

Figura 13 – Aplicando Lugol



Fonte – Próprio Autor

- 9- Mantendo ambas pressionadas uma contra a outra, as prendemos com os cliques de fichário.

Figura 14– Colocando os Cliques



Fonte – Próprio Autor

Logo após a conclusão de todas as etapas, utilizamos o multímetro para realizar testes e estudar a possível captação e armazenamento de energia, em ambientes com e sem incidência de luz solar.

2.4.1.3 Resultados

Após o fim das etapas descritas, com um multímetro, foi possível observar que o vidro absorvia e conduzia eletricidade. Os resultados encontrados acabaram não sendo totalmente estáveis pelo fato de ter sido utilizado uma placa de vidro comum no lugar de uma placa de vidro condutora assim como descreve a pesquisa sobre a confecção do vidro do site Autodesk Instructables.

A medição foi feita em 2 volts com corrente contínua e chegou a ser marcado no aparelho cerca de 0,399 volts.

Figura 15– Medição da Voltagem



Fonte – Próprio Autor

Por fim, primeiro protótipo acabou não sendo totalmente transparente, porém, com ele, foi possível observar que com alguns materiais era possível fazer uma célula solar que funcionasse em um vidro.

2.4.2 Segundo teste

No segundo protótipo, feito com o mesmo passo a passo descrito, foi obtido um resultado com certa transparência, no qual o vidro ficou com um aspecto roxo. Esse roxo se destaca por conta do suco da beterraba. A herbácia possui um componente chamado antociana, uma espécie de corante natural que ajuda na absorção da luz solar.

Figura 16– Segunda amostra



Fonte – Próprio Autor

Figura 17– Segunda amostra



Fonte – Próprio Autor

2.4.3 Teoria experimental

A realização do terceiro teste não foi feita por meio de protótipos, e sim através de uma pesquisa sobre a utilização de placas solares na fabricação do vidro fotovoltaico, com o intuito de relacionar transparência com captação de energia. Além disso, o sistema tem como objetivo

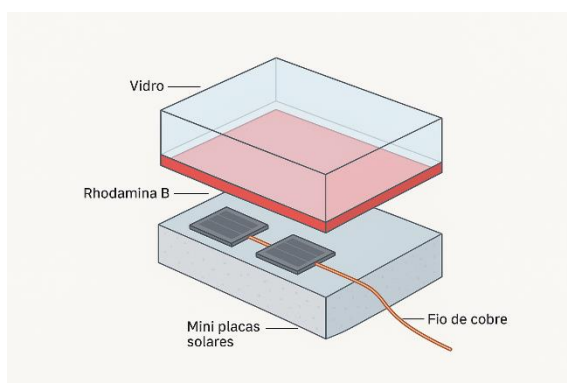
transformar energia solar em energia elétrica utilizando resina, corante Rhodamina B e minis placas-solares.

O teste se inicia com a soldagem das minis placas-solares no formato exato das bordas das placas de vidro, após isso, mistura-se a resina epóxi, seu endurecedor e o corante Rhodamina B, despejando-os sobre o vidro com as placas solares. O intuito do modelo final é que apenas a área com resina fique em contato direto com a luz solar e o restante fique na parte de dentro da alvenaria, eliminando chances de torná-lo visível.

A combinação do corante com a resina tem como objetivo atuar como camada fotoluminescente, sendo capaz de absorver a radiação solar incidente e reemitir parte dessa energia em comprimento de onda. Já as placas solares serão responsáveis por transformar essa luz absorvida pela resina em energia elétrica.

Em teoria, esse teste deve funcionar. Entretanto, alguns pontos devem ser analisados ao realiza-lo, como a eficiência limitada da Rhodamina B, a pouca radiação útil recebida pelas placas solares e a necessidade de um bom acoplamento óptico, sem bolhas nem impurezas.

Figura 18- Esquema



Fonte- Gerado por IA

2.4.4 Discussão dos resultados

Sobre os resultados obtidos com o experimento e com os primeiros protótipos, pode se concluir que em um nível tão simples de experimentos e com recursos mais simples, não se pode obter uma quantidade de energia elétrica que atenda a uma única pessoa. Porém está sendo levado em consideração um único pedaço de vidro com medidas pequenas.

Se pensarmos no mesmo processo aplicado nos protótipos em diversos vidros de uma única casa, pode se dizer que as necessidades básicas de até duas pessoas poderiam ser atendidas

facilmente. Esse simples experimento, nos mostra que a tecnologia pode chegar cada vez mais longe de forma que não degrada o meio ambiente, sendo esta a principal busca do mundo atual.

Com um maior investimento em estudo e material, pode ser fazer um vidro com maior capacidade de absorção e transformação de energia atendendo a todas as necessidades de uma residência unifamiliar.

Apesar de que com os resultados, o grupo não tenha conseguido acender uma lâmpada de LED, foi possível compreender como funcionaria esse tipo de tecnologia além de que com o processo, foi possível fazer com que um material encontrado diariamente em diversos lugares, fosse transformado em uma célula solar transparente.

2.5 Funcionamento da Antocianina

A antocianina é o pigmento natural que dá a cor roxa ou avermelhada da amora, pertencente à família dos flavonoides, este corante natural encontra-se principalmente em alimentos como frutas vermelhas, groselhas, uva e algumas frutas tropicais. Mas o que torna ela realmente interessante para nosso trabalho é a forma como ela interage com a luz. Diferente de outros corantes artificiais, a antocianina tem a capacidade de **absorver radiação solar** em diferentes comprimentos de onda, principalmente na faixa do visível. Essa propriedade é o que permite que ela seja usada em células solares, como as de vidro fotovoltaico que tentamos produzir.

O funcionamento ocorre da seguinte forma: quando a luz do sol atinge a antocianina, os elétrons da molécula dela ficam “excitados”, ou seja, ganham energia. Esse processo é parecido com o que acontece em painéis solares comerciais, só que nesses painéis se usam semicondutores como o silício. No nosso caso, a antocianina age como um **sensibilizador**, ou seja, ela absorve a luz e transfere essa energia para o sistema, ajudando a gerar corrente elétrica.

Inicialmente, utilizamos a amora como nossa fonte de antocianina por esta ser rica do componente desejado. Porém, mais adiante em nossos testes, também foi utilizada a beterraba. Além disso, a antocianina é um corante **hidrossolúvel** e relativamente fácil de extrair, o que torna todo o processo barato e acessível para experiências de laboratório escolar. Outro ponto é que a cor intensa dela cobre uma boa parte do espectro de luz visível, o que aumenta as chances de capturar diferentes energias da luz solar.

Em resumo, a relação da antocianina com energia não é só sobre saúde ou antioxidantes, mas sobre **energia solar**: ela consegue absorver a luz, excitar elétrons e, quando usada em conjunto com materiais condutores, ajuda a transformar a radiação do sol em energia elétrica. Este é o cerne de nosso projeto, transformar o ramo da construção de modo que um simples fruto pode virar parte de uma tecnologia sustentável e ecológica

2.6 Aplicação em projeto arquitetônico real

O vidro fotovoltaico, como mencionado anteriormente, é extremamente versátil e pode ser integrado a diversos tipos de projetos, sejam eles residenciais, comerciais, industriais ou corporativos.

Para demonstrar na prática o potencial do vidro fotovoltaico e suas funcionalidades, foi desenvolvido um projeto do zero utilizando o software SketchUp. Onde aproveitamos o máximo da luz solar para maior eficiência.

2.6.1 Exterior

2.6.1.1 Fachada

Figura 19 - Fachada



Fonte - Próprio autor

Como foi dito, o projeto foi meticulosamente pensado para receber os vidros e extrair total rendimento, portanto, a edificação conta com a presença de grandes janelas na sua face esquerda, onde a mesma está localizada no Norte. Assim recebendo o máximo de luz solar durante o dia, o vidro fotovoltaico será aplicado também no guarda-corpo, já que o mesmo se localiza em uma posição privilegiada da edificação.

2.6.2 Interior

2.6.2.1 Sala

Figura 20 - Sala



Fonte- Próprio autor

Ao longo das imagens, percebe-se que a edificação se aproveita ao máximo de iluminação natural, além de ser essencial para o vidro fotovoltaico, se torna muito favorável na questão de gasto energético, pois se necessita menos de luzes artificiais, favorecendo ainda mais o investimento.

2.6.2.2 Lavabo

Figura 21 - Lavabo



Fonte – Próprio autor

Para esse lavabo, aproveitamos muito do espaço reduzido para fazer um ambiente confortável e muito bem iluminado naturalmente, pois por estar localizado na face esquerda da edificação, recebe o maior índice de luz solar.

2.6.2.3 Cozinha

Figura 22 - Cozinha



Fonte - Próprio autor

A cozinha por estar localizada da parte posterior da edificação, acaba sofrendo com o menor índice de radiação solar em sua face comparada com suas adjacentes, porém, por conta da grande área externa que a cerca, acaba compensando com uma boa iluminação natural. Tirando assim a dependência por outros meios de iluminação.

2.6.3.4 Claraboia

Figura 23 - Claraboia



Fonte - Próprio autor

E como principal meio de captação de raios solares, a claraboia se destaca unificando o melhor dos dois mundos, grande eficiência e uma espetacular iluminação natural, além de ser esteticamente impecável.

2.6.3 Cálculos de energia gerada e economia

Para cada ambiente foi considerada a potência específica de 100 Wp/m² (0,1 kWp/m²). Com irradiação média de 5 horas de sol pleno por dia e eficiência global do sistema estimada em 80%, obteve-se a geração diária por ambiente pela multiplicação:

$$\text{Energia/dia} = \text{área} \times 0,1 \times 5\text{h} \times 0,8$$

Figura 24 – Planilha

Ambiente	Área (m ²)	Potência instalada (kWp)	Geração diária (kWh/dia)	Geração mensal (kWh/mês)	Economia mensal (R\$)
Sala	1.5	0.15	0.6	18	16.2
Corredor	2	0.2	0.8	24	21.6
Lavabo	0.64	0.064	0.256	7.68	6.91
Cozinha	2	0.2	0.8	24	21.6
Quarto	1.5	0.15	0.6	18	16.2
Banheiro	0.36	0.036	0.144	4.32	3.89
Corredor 2	1.5	0.15	0.6	18	16.2
Porta vara	4.2	0.42	1.68	50.4	45.36
Claraboia	3.36	0.336	1.344	40.32	36.29
Guarda-co	2.52	0.252	1.008	30.24	27.22
Total	19.58	1.958	7.832	234.96	211.47

Fonte – Próprio autor

A geração mensal foi calculada por (Energia/mês = Energia/dia × 30). A economia correspondente foi obtida multiplicando-se (Energia/mês) pela tarifa de R\$ 0,90/kWh.

A área total de 19,58 m² resultou numa geração estimada de ≈ 234,96 kWh/mês, implicando uma economia aproximada de R\$ 211,46/mês.

2.7 Viabilidade

A análise para utilização do vidro fotovoltaico deve considerar dois pontos cruciais: o aspecto econômico, ligado ao custo-benefício de sua aplicação a curto e longo prazo, e o aspecto ambiental, associado ao impacto positivo na sociedade urbana.

2.7.1 Aspecto econômico

Inicialmente, o vidro fotovoltaico apresenta um custo elevado, sendo considerado superior ao de vidros comuns, ou até mesmo de painéis solares. Tal fato ocorre por ser considerado uma tecnologia em desenvolvimento e obter grande parte da sua matéria-prima importada.

Entretanto, analisa-se que do ponto de vista da edificação, a ideia é obter um retorno do valor gasto em médio a longo prazo. A economia gerada nas contas de energia elétrica pode compensar o custo inicial em períodos que variam de 8 a 15 anos, dependendo do porte da construção, da quantidade de radiação solar e da localização. Além disso, imóveis que atendem ferramentas de energia sustentável tendem a ter maior valorização no mercado imobiliário.

2.7.2 Aspecto ambiental

Do ponto de vista ambiental, o vidro fotovoltaico contribui positivamente para diminuição de gases de efeito estufa (GEE), uma vez que substitui a energia adquirida a partir

de combustíveis fósseis por uma energia renovável. Além disso, ao gerar energia na própria edificação, há diminuição nas perdas energéticas do sistema de transmissão e distribuição.

Outro benefício é sua contribuição para as metas globais de sustentabilidade, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, em especial os relacionados à energia limpa e acessível (ODS 7), cidades e comunidades sustentáveis (ODS 11) e ação contra mudança global do clima (ODS 13).

Portanto, embora o custo inicial seja elevado, o impacto ambiental positivo e a economia a longo prazo reforçam a viabilidade da tecnologia.

2.8 Perspectivas para o mercado brasileiro

O mercado brasileiro apresenta desafios, mas também grandes oportunidades de crescimento para a inovação da utilização do vidro.

2.8.1 Desafios

- Custo inicial elevado: É um dos principais problemas para aplicação do vidro fotovoltaico, principalmente em obras de pequeno porte e residências.
- Baixa difusão de conhecimento técnico: Muitos profissionais da área desconhecem a aplicação prática e os benefícios do vidro fotovoltaico, o que dificulta sua utilização em projetos.
- Falta de normalização específica: Ainda não há normas específicas que orientem a instalação, manutenção e desempenho do vidro fotovoltaico no Brasil, o que gera insegurança para investidores.
- Dependência de importações: A maior parte dos materiais utilizados para sua fabricação vem de outros países, o que aumenta o custo e o prazo.

2.8.2 Oportunidades

- Alta incidência solar: O Brasil é um dos países com maior potencial de aproveitamento da energia solar no mundo, o que favorece diretamente a aplicação dessa tecnologia.
- Instalação de fábricas nacionais: Com a chegada de novos empreendimentos, os custos tendem a reduzir, aumentando a competitividade do produto no mercado interno.
- Políticas públicas e incentivos fiscais: programas governamentais de estímulo à energia renovável e à construção sustentável podem acelerar a adoção do vidro fotovoltaico.

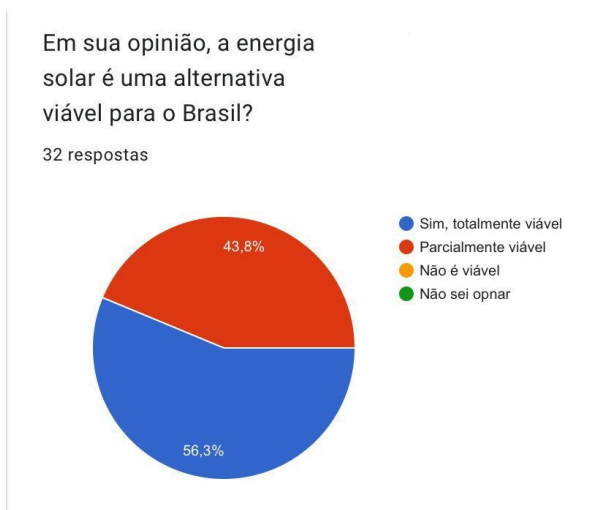
- Crescimento do mercado verde: consumidores e investidores estão cada vez mais atentos a soluções sustentáveis, o que pode impulsionar a demanda por edifícios que utilizem tecnologias limpas.
- Certificações ambientais: a busca por selos torna o vidro fotovoltaico uma solução atrativa para grandes incorporadoras que desejam se destacar em sustentabilidade.

2.8.3 Cenário futuro

A tendência é que, nos próximos anos, o vidro fotovoltaico passe de uma solução inovadora para uma tecnologia consolidada dentro do setor da construção civil brasileira. Com a queda dos custos de produção e a ampliação da oferta no mercado interno, a expectativa é que a tecnologia seja cada vez mais acessível, podendo ser utilizada não apenas em empreendimentos de alto padrão, mas também em obras públicas e habitacionais. Assim, o Brasil tem a oportunidade de se tornar referência na América Latina no uso de vidro fotovoltaico, integrando tecnologia, sustentabilidade e inovação na construção civil.

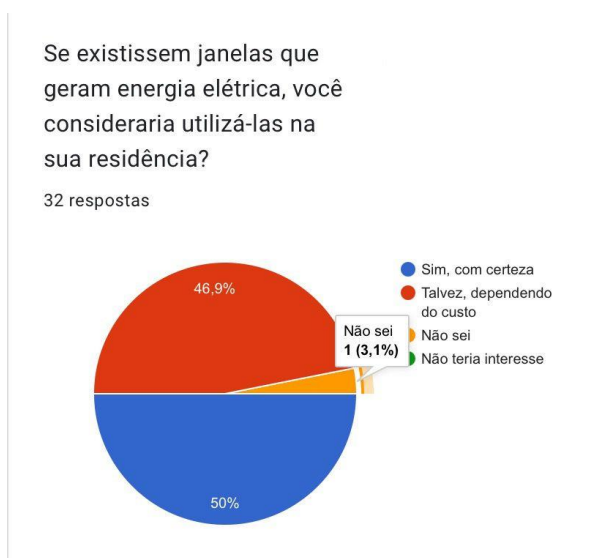
Além das perspectivas técnicas e econômicas, a opinião pública também demonstra um olhar favorável em relação ao uso do vidro fotovoltaico no país. Por meio de uma pesquisa popular realizada durante o desenvolvimento deste trabalho, foi possível observar que todos os participantes (100%) consideraram totalmente ou parcialmente viável o uso de energia solar no contexto brasileiro. Além disso, 96,9% dos participantes demonstraram interesse na utilização do vidro fotovoltaico em suas residências, com 46,9% afirmando que adotariam a tecnologia a depender do custo, sendo esse um fator decisivo para sua utilização. Esse resultado indica uma percepção positiva, mas também ressalta a importância da redução de custos de produção e comercialização para ampliar o acesso e consolidar o uso do vidro fotovoltaico na construção civil brasileira.

Figura 24 – Pesquisa de viabilidade do uso da energia solar



Fonte - Próprio autor

Figura 25 – Interesse dos participantes na adoção do vidro fotovoltaico em residências



Fonte - Próprio autor

CONCLUSÃO

Este trabalho teve como propósito analisar a viabilidade do uso de vidros fotovoltaicos na construção civil no Brasil. Após a realização deste trabalho, foi possível compreender o grande potencial desse material como uma alternativa inovadora e sustentável para o setor da construção civil. Os estudos realizados mostraram que o vidro fotovoltaico apresenta vantagens econômicas e ecológicas significativas, podendo contribuir diretamente para a redução do consumo de energia elétrica e para o surgimento de edificações mais modernas e eficientes.

Além dos resultados técnicos, a pesquisa popular realizada indicou que 96,9% dos participantes consideram a utilização do vidro fotovoltaico em suas residências, especialmente se os custos forem acessíveis. Esse dado reforça o potencial de aceitação social e de expansão dessa tecnologia no Brasil.

Em países asiáticos, como China e Coreia do Sul, essa tecnologia já vem recebendo investimentos expressivos e despertando o interesse de universidades e empresas, que buscam aprimorar o desempenho dos painéis transparentes e ampliar suas aplicações. Essa tendência demonstra que o mercado mundial foca, cada vez mais, para soluções sustentáveis que unam estética, eficiência e responsabilidade ambiental.

Os levantamentos indicam que, até o ano de 2033, o retorno financeiro do investimento em vidros fotovoltaicos deve superar o valor inicial aplicado, impulsionado pela redução dos custos de produção e pela popularização da tecnologia. Com o avanço constante da pesquisa e da inovação, o acesso a esse tipo de material tende a se tornar mais viável, alcançando tanto residências quanto edificações comerciais e empresariais.

Durante os experimentos realizados neste estudo, não foi possível obter protótipos com geração de energia suficiente para suprir as necessidades completas de uma edificação residencial. No entanto, é importante destacar que os testes foram feitos com materiais de fácil acesso e laboratórios dentro do contexto escolar, o que naturalmente limita os resultados. Ainda assim, os experimentos comprovaram o funcionamento básico do princípio fotovoltaico aplicado ao vidro, reforçando a viabilidade da ideia e abrindo caminho para estudos futuros mais aprofundados.

De modo geral, o vidro fotovoltaico representa uma janela para o futuro sustentável da construção civil, unindo tecnologia, inovação e sustentabilidade. Embora ainda haja desafios a

serem superados, os resultados obtidos apontam para um caminho promissor, no qual o desenvolvimento de novos materiais e o investimento em pesquisas poderão transformar a forma como as edificações interagem com a energia e com o meio ambiente.

REFERÊNCIA

ARCH GLASS. **Vidro Fotovoltaico**: O que é e como funciona. s.l.: Sustentabilidade Brasil, 2021. Disponível em: <http://archglassbrasil.com.br/tipos-de-vidro/vidro-fotovoltaico-o-que-e-e-como-funciona/?cn-reloaded=1>. Acesso em: 30 jul. 2025

BOSCH. **Sustentabilidade**: mudar atitudes nos conecta com uma vida melhor. Campinas, 2025. Disponível em: <https://www.bosch.com.br/noticias-e-historias/sustentabilidade/>. Acesso em: 16 jul. 2025

DE MEDEIROS, Rozélia. **Sustentabilidade**. Portal de educação ambiental SP. São Paulo: Rachel Azzari, 2022. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/sustentabilidade/>. Acesso em: 14 jul. 2025

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas)**. Rio de Janeiro: Consumo de Energia Elétrica, 2025. Disponível em: [Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe \(regiões e subsistemas\)](#). Acesso em: 17 jul. 2025

HUSAIN, Alaa A.F. **A review of transparent solar photovoltaic technologies**. Vol. 94. s.l.: Elsevier, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118304672>. Acesso em: 30 jul. 2025

INCHEON NATIONAL UNIVERSITY. **'Transparent solar cells' can take us towards a new era of personalized energy**. Incheon, 02 nov. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/11/201102173239.htm>. Acesso em: 17 jul. 2025

KUMARI, Arpita; PRASAD, Eswara. **Solar Photovoltaic Glass Market Research, 2033**. Allied Market Research. s.l.: Allied Market Research, [2023?]. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/solar-photovoltaic-glass-market>. Acesso em: 30 jul. 2025

LISENKO RIBEIRO, Bruno Henrique. **Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891): o criador da célula solar**. Paraná: Unicentro Paraná, 2021. Disponível em: <https://www3.unicentro.br/petfisica/2021/12/17/alexandre-edmond-becquerel-1820-1891-o-criador-da-celula-solar/>. Acesso em: 15 jul. 2025

MEIO SUSTENTÁVEL. **Sustentabilidade:** entenda o que é, importância e 7 seus pilares. Belo Horizonte, 2024. Disponível em: <https://meiosustentavel.com.br/sustentabilidade/>. Acesso em: 15 jul. 2025

MERCK. **Células fotovoltaicas e solares.** s.l., 2023. Disponível em: https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/applications/materials-science-and-engineering/photovoltaics-and-solar-cells?srltid=AfmBOorXxImlvN5BEGbl81pvF2F4EH_YcFKsTK1SAdIHls-Za3mY9nPI. Acesso em 15 jul. 2025

MICHIGAN STATE UNIVERSITY. **Transparent Solar Panels** | Michigan State University. [East Lansing]: Michigan State University, 2015. 1 vídeo (3 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qMhdpWMDp04>. Acesso em: 14 mai. 2025

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** Brasília: DF, 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 16 jul. 2025

PORTAL SOLAR. **Células solares:** o que são e como funcionam. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/celulas-solares>. Acesso em: 14 jul. 2025

PRECEDENCE RESEARCH. **Solar Photovoltaic Glass Market Size, Share, and Trends 2024 to 2034.** s.l.: Precedence Energy and Power Experts, 2024. Disponível em: <https://www.precedenceresearch.com/solar-photovoltaic-glass-market>. Acesso em: 30 jul. 2025

SAINT-EXUPÉRY, Antoine de. **O Pequeno Príncipe.** Tradução de Dom Marcos Barbosa. São Paulo: Companhia de letras, 2005.

SMART GLASS WORLD. **What Is Transparent Photovoltaic Smart Glass?.** Elche: Smart Glass World, 2022. Disponível em: <https://www.smartglassworld.net/what-is-photovoltaic-smart-glass>. Acesso em: 30 jul. 2025

SOUZA, Marcia. **Vidro fotovoltaico transforma fachadas em fontes de energia.** CicloVivo. s.l.: Ciclovivo, 2023. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/vidro-fotovoltaico-transforma-fachadas-em-fontes-de-energia/>. Acesso em: 30 jul. 2025

SRNE SOLAR CO.,LTD. **What is photovoltaic glass.** Shenzhen: SRNE, 2021. Disponível em: <https://www.srnesolar.com/blog/free-guides/what-is-photovoltaic-glass>. Acesso em: 30 jul. 2025

SUSTENTABILIDADE BRASIL. **Vidro fotovoltaico transforma luz solar em energia, inovando o setor.** s.l.: Sustentabilidade Brasil, 2025. Disponível em: <https://sustentabilidadebrasil.com/vidro-fotovoltaico-transforma-luz-solar-em-energia-inovando-o-setor/>. Acesso em: 01 ago. 2025

TIMES DE SUSTENTABILIDADE E COMUNICAÇÃO CORPORATIVA DA RAÍZEN. **Sustentabilidade:** O que é e por que é importante. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/sustentabilidade-empresa>. Acesso em: 15 jul. 2025

TSSHARA. **Célula fotovoltaica (célula solar):** O que é e qual a sua função. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://tsshara.com.br/blog/energia-eletrica/celula-fotovoltaica-celula-solar-o-que-e-e-qual-a-sua-funcao/>. Acesso em: 14 jul. 2025