



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ENGENHARIA CIVIL
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Bruno Eduardo Da Silva

Uso Da Tecnologia Fotovoltaica Em Fachadas Prediais

PAU DOS FERROS

2024

Bruno Eduardo Da Silva

Uso Da Tecnologia Fotovoltaica Em Fachadas Prediais

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Sâmara de Cavalcante Paiva,
Prof.

PAU DOS FERROS

2024

Uso Da Tecnologia Fotovoltaica Em Fachadas Prediais

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

DATA DE APROVAÇÃO: 18 de outubro de 2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



SAMARA DE CAVALCANTE PAIVA

Data: 23/10/2024 11:06:00-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. SÂMARA DE CAVALCANTE PAIVA
Orientador

Documento assinado digitalmente



CECILIO MARTINS DE SOUSA NETO

Data: 24/10/2024 20:40:08-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CECÍLIO MARTINS DE SOUSA NETO
1º Examinador

Documento assinado digitalmente



ADLLER DE OLIVEIRA GUIMARÃES

Data: 26/10/2024 06:29:25-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. ÁDLLER DE OLIVEIRA GUIMARÃES
2º Examinador

"Cada dia é uma nova página em branco na sua história; escreva com coragem e faça dela um conto que inspire e transforme."

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me guiado e abençoado durante toda a jornada acadêmica. Sua presença constante foi uma fonte de força e inspiração, iluminando o caminho e oferecendo conforto nas horas desafiadoras. Sem sua orientação divina, este trabalho não teria sido possível.

A minha profunda gratidão vai para a Professora Sâmara de Cavalcante Paiva, cuja orientação foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Seu conhecimento, paciência e encorajamento foram essenciais para a concretização deste projeto. Agradeço sinceramente por todo o apoio e pelas valiosas contribuições ao longo dessa caminhada.

Expresso minha imensa gratidão à minha família, que sempre esteve ao meu lado. Agradeço ao meu pai, Martinho Eliano da Silva, e à minha mãe, Francisca Núbia da Silva, pelo amor incondicional e apoio constante. Ao meu irmão, Gean Marques da Silva, pelo incentivo e apoio moral. Sem o suporte e compreensão de vocês, este trabalho não teria sido realizado com tanto êxito.

A minha esposa, Geovanna de Oliveira Nogueira, merece um agradecimento especial por sua paciência, compreensão e amor inabaláveis. Seu suporte emocional e incentivo foram vitais para superar os desafios e alcançar este marco. A sua presença ao meu lado foi um pilar de força durante todo o percurso.

Finalmente, agradeço à comunidade da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) por todo o aprendizado proporcionado. A convivência acadêmica e o ambiente estimulante foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Sou grato a todos os colegas, professores e funcionários que contribuíram para a minha formação e para a realização deste projeto.

RESUMO

No presente trabalho, foi realizada uma análise do uso da tecnologia fotovoltaica em fachadas prediais, com foco na previsão de substituição de fachadas convencionais por fachadas equipadas com filmes fotovoltaicos. Para a execução deste estudo, foi selecionado um edifício específico, considerando aspectos como localização, orientação solar e outras características relevantes. Durante a pesquisa, foram medidas as temperaturas externa e interna utilizando o equipamento Flir Pro, permitindo uma avaliação precisa do desempenho térmico da edificação. Com os dados obtidos, foi possível prever uma significativa redução na emissão de CO₂, além de avaliar os impactos ambientais positivos e a contribuição para a sustentabilidade do edifício. Este trabalho destaca a importância da integração da tecnologia fotovoltaica nas fachadas como uma solução viável para promover a eficiência energética e minimizar os efeitos negativos das construções sobre o meio ambiente.

Palavras-chave: fachadas; filmes fotovoltaicos; energia; fontes alternativas.

ABSTRACT

In this study, an analysis was conducted on the use of photovoltaic technology in building facades, focusing on the potential replacement of conventional facades with facades equipped with photovoltaic films. For this study, a specific building was selected, considering aspects such as location, solar orientation, and other relevant characteristics. During the research, external and internal temperatures were measured using the Flir Pro equipment, allowing for an accurate evaluation of the building's thermal performance. With the data obtained, it was possible to predict a significant reduction in CO₂ emissions, as well as assess the positive environmental impacts and the contribution to the building's sustainability. This study highlights the importance of integrating photovoltaic technology into facades as a viable solution to promote energy efficiency and minimize the negative effects of construction on the environment.

Keywords: facades; photovoltaic films; energy; alternative sources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Museu Público de Milwaukee	11
Figura 2: Sede da Caltrans District 9, Los Angeles. Arquitetos: Morphosis.	12
Figura 3 - Temperatura média horária em Uiraúna-PB	16
Figura 4 - Climatologia da precipitação anual acumulada (mm).....	17
Figura 5 - Temperaturas máximas e mínimas médias em Uiraúna-PB	18
Figura 6 - Categorias de nebulosidade em Uiraúna-PB	19
Figura 7 - Nascer e pôr do sol com crepúsculo em Uiraúna.....	20
Figura 8 - Elevação solar e azimute em Uiraúna.....	20
Figura 9 - Representação do Sistema Interligado Nacional (SIN).....	22
Figura 10 - Representação das componentes de radiação solar	23
Figura 11 - Configuração básica de um SFV.....	24
Figura 12 - Classificação de acordo com as categorias de sistemas BIPV/T	27
Figura 13 - Edifício com placas solares em Goiás, Brasil.	28
Figura 14 - Módulos Fotovoltaicos Concentrados	29
Figura 15 - Etapas e métodos	30
Figura 16 - : Localização geográfica da edificação	31
Figura 17 - Fachada da edificação e características da fachada	34
Figura 18 - Aspectos geométricos e dimensões da fachada.....	35
Figura 19 - Câmera Termográfica Flir E5 Pro	36
Figura 20 - Captura termográfica a 10 metros da fachada.....	37
Figura 21 - Faixas de temperatura em Uiraúna-PB.....	38
Figura 22 - Captura termográfica próximo a fachada central	39
Figura 23 - Captura extremidade esquerda da fachada	40
Figura 24 - Captura extremidade esquerda da fachada	40
Figura 25 - Pontos de captura no interior da edificação	41
Figura 26 - Captura interna direita.....	42
Figura 27 - Captura interna esquerda	42
Figura 28 - Captura no fundo da sala da fachada	43
Figura 29 - Visão geral da sala.....	43
Figura 30 - Captura no centro da edificação	44
Figura 31 - Captura no fundo da edificação	45
Figura 32 - Vidro Fotovoltaico Onyx Solar.....	46

Figura 33 - Tamanho padrão em mercado	47
Figura 34 - Estimativa quanto a quantidade e tamanho dos vidros	48
Figura 35 - Características do tipo de vidro escolhido.....	49
Figura 36 - Resultados	50
Figura 37 - Resultados	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 CONFORTO TÉRMICO	15
3.2 PRECIPITAÇÃO	16
3.3 TEMPERATURA E NEBULOSIDADE	18
3.4 O SOL, ELEVAÇÃO SOLAR E AZIMUTE	19
3.5 ENERGIA SOLAR	21
3.6 USOS E TECNOLOGIAS PARA CAPTURA DA ENERGIA SOLAR DIRETA	23
3.6.1 Potencial fotovoltaico	24
3.7 EDIFÍCIOS E CONSUMO ENERGÉTICO	25
3.7.1 Sistemas fotovoltaicos integrados à edificação (bipv/t)	26
4 METODOLOGIA	30
4.1 DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA, PROPIEDADES DA ENVOLTÓRIA E LOCALIZAÇÃO	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1 AMBIENTE E FACHADA	33
5.2 ASPECTOS GEOMÉTRICOS E DIMENSÕES	35
5.3 AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA DO AMBIENTE	36
5.4 TEMPERATURA EXTERNA	37
5.5 TEMPERATURA INTERNA	41
5.6 ONYX SOLAR E FILMES SOLARES	45
5.7 ESPECIFICAÇÕES PADRÕES DA ONYX SOLAR	47
5.8 PROJETO DA FACHADA	47
5.9 CARACTERÍSTICAS DOS VIDROS/FILMES	48
5.10 DIMENSIONAMENTO QUANTO A ÁREA E FILMES DISPONÍVEIS EM MERCADO	49
5.11 DIMENSIONAMENTO QUANTO AS ADAPTAÇÕES JUNTO TODA ÁREA DA FACHADA EM VIDRO	50
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53

REFERÊNCIAS.....55

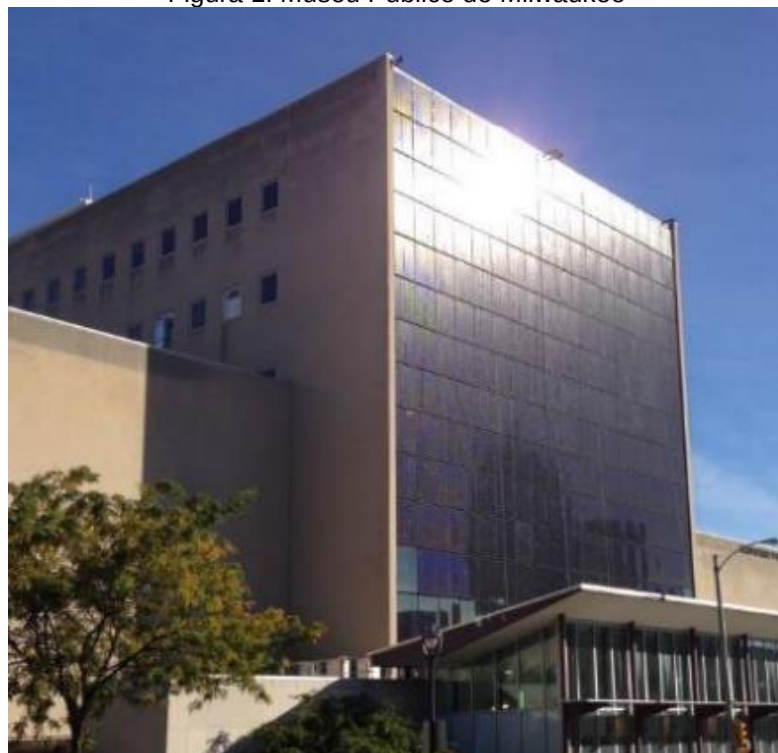
1 INTRODUÇÃO

O uso crescente de peles de vidro refletivo em fachadas comerciais é impulsionado pela estética, mas foi originalmente concebido para climas temperados do hemisfério norte. Em climas tropicais como o Brasil, esses revestimentos contribuindo para o aumento da temperatura no interior dos estabelecimentos e, conseqüentemente, elevando os custos com climatização. Nesse sentido, torna-se essencial considerar cuidadosamente os materiais e implementar medidas complementares para amenizar esses efeitos, tipos de materiais e seu quantitativo, além de implementar medidas e melhorar a eficiência.

A aplicação de filmes fotovoltaicos nas fachadas de edifícios é uma inovação em arquitetura sustentável, permitindo que as superfícies externas convertem luz solar em eletricidade. Esses filmes são leves, flexíveis e adaptáveis, o que possibilita a geração de energia renovável e a redução de custos operacionais, enquanto mantêm a estética do edifício, representando um avanço significativo na construção sustentável, combinando eficiência energética com projeto integrado (Mota; Nunes, 2020).

A Figura 1 exemplifica o modelo de painéis fotovoltaicos em fachadas.

Figura 1: Museu Público de Milwaukee



Fonte: Fachada (2024).

Com o aumento da temperatura interna devido aos vidros refletivos, surge uma maneira de solucionar o calor e ainda gerar energia elétrica, trata-se do *brise-soleil*. O *brise-soleil* é um componente arquitetônico projetado para bloquear a incidência direta da radiação solar nos edifícios, prevenindo o aumento excessivo de temperatura em seu interior. Quando integrados com painéis fotovoltaicos nas fachadas de prédios, na forma de *brise-soleils*, proporcionam uma solução eficaz para melhorar a eficiência energética do edifício (Mota; Nunes, 2020).

Essa abordagem combinada oferece muitas vantagens, onde, primeiramente, os *brise-soleils* reduzem a quantidade de radiação no interior do edifício, o que ajuda a manter os espaços internos mais frescos e reduz a necessidade de climatização. Isso não apenas aumenta o conforto dos ocupantes, mas também resulta em economia de energia e redução dos custos operacionais. O conforto térmico de um espaço é atingido quando a maioria das pessoas se sente confortável, sem preferência por um ambiente excessivamente frio ou quente (Mota; Nunes, 2020). O que implica que é relativo, depende da idade, vestimenta, sexo e hábitos alimentares também. Além disso, ao incorporar painéis fotovoltaicos nos *brise-soleils*, é possível aproveitar a energia solar para gerar eletricidade de maneira sustentável. Essa energia renovável pode ser utilizada para suprir parte das demandas energéticas do edifício, contribuindo para a autonomia. Diferente da Figura 1, a Figura 2 mostra uma fachada preenchida inteiramente de *brises* pela parte externa.

Figura 2: Sede da Caltrans District 9, Los Angeles. Arquitetos: Morphosis.



Fonte: Chivelet e Solla (2010, p. 193).

Segundo Mota e Nunes (2020) a energia solar é essencial para a vida na Terra e existem três principais tecnologias para captá-la: solar térmica, efeito fotovoltaico e solar passiva. Um edifício bem projetado pode captar até 70% da energia que precisa através de uma boa orientação solar e plano eficiente.

Diante do apresentado, será realizado um estudo acerca da substituição de fachadas de vidro convencional por vidros/filmes fotovoltaicos na cidade de Uiraúna-PB. Sua localização, foi dada preferência para as fachadas viradas para o Norte e Oeste Geográfico, pois são as mais indicadas para filmes fotovoltaicos, além do tipo de fachada e uso da ocupação daquela edificação.

A substituição de vidros convencionais por vidros ou filmes fotovoltaicos já é uma realidade no mercado, oferecendo uma solução inovadora e sustentável para a construção civil. Esses materiais, além de gerarem energia solar de forma eficiente, conferem maior autonomia energética aos edifícios, diminuindo a dependência de fontes externas de eletricidade (Mota; Nunes, 2020).

Outros benefícios incluem a redução da emissão de gases de efeito estufa, a redução dos custos operacionais a longo prazo e a possibilidade de integração estética ao design inovador, sem comprometer a estética do projeto. Essa tecnologia representa um avanço significativo para construções mais inteligentes e sustentáveis (Mota; Nunes, 2020).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar e comparar o desempenho termo energético e potencial de geração energética através de painéis fotovoltaicos na fachada de um comércio na cidade de Uiraúna-PB.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

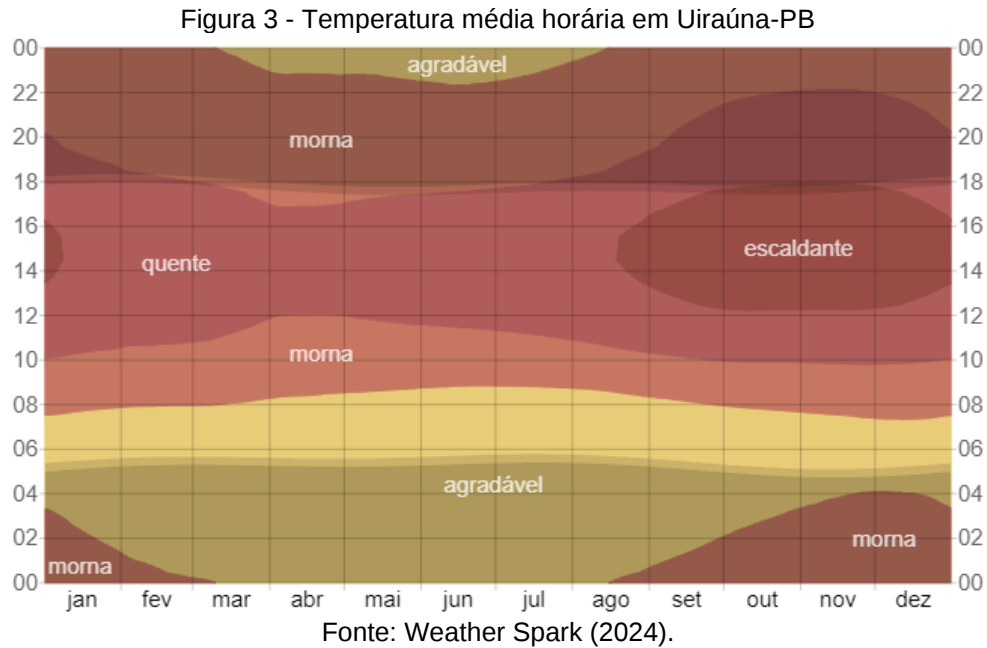
- Realizar um levantamento bibliográfico acerca da utilização de painéis fotovoltaicos em fachadas;
- Identificar uma fachada que possa ser utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, através de um estudo na cidade de Uiraúna-P;
- Definir a quantidade de painéis fotovoltaicos a ser utilizada, levando em consideração a área da fachada em questão;
- Realizar uma simulação computadorizada;
- Verificar a temperatura do ambiente externo e interno.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico é um elemento essencial no planejamento inovador e no *design* de interiores, influenciando diretamente a qualidade de vida e a eficiência energética dos edifícios. Ele se refere ao equilíbrio entre temperatura, umidade e ventilação, sendo crucial para criar ambientes modernos e saudáveis. Em um cenário de valorização crescente da eficiência energética e da sustentabilidade, aplicar princípios de conforto térmico é fundamental para reduzir custos operacionais e atender às necessidades dos ocupantes. Esse conceito é subjetivo e varia conforme o clima externo e a experiência dos usuários, com a aclimação de pessoas em edificações ventiladas naturalmente resultando em maior variação na zona de conforto térmico (Ashrae, 2005).

Além da temperatura, diversos fatores ambientais afetam a sensação de conforto, incluindo a temperatura radiante média, a velocidade do ar e a umidade relativa (Hoyt *et al.*, 2019). Entre os principais fatores comportamentais mensuráveis estão a taxa de vestimenta e o índice metabólico (Hoyt *et al.*, 2019). Outros aspectos que também desempenham um papel na percepção do conforto térmico são a adaptação ao clima local, a taxa de gordura subcutânea, a idade e o gênero (Lamberts; Dutra; Pereira, 2017). Assim, a combinação desses fatores influencia a temperatura de conforto, que varia de acordo com a atividade realizada, o vestuário e as características individuais de cada pessoa. A Figura 3, ilustra a temperatura média horária em Uiraúna-PB.



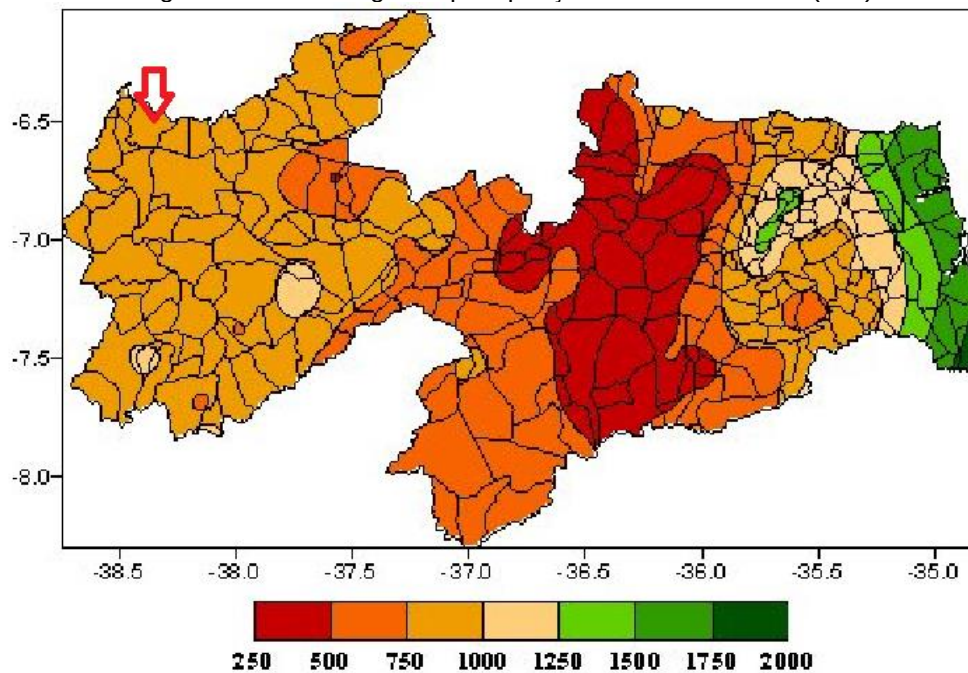
Durante o dia, as temperaturas podem chegar a valores entre 30°C e 37°C, especialmente entre os meses de setembro a dezembro, que são os mais quentes. Já durante a noite, as temperaturas costumam cair para valores entre 20°C e 25°C, o que proporciona um alívio em relação ao calor intenso do dia.

Em geral, o clima de Uiraúna é marcado por uma temporada de chuvas no inverno (junho a agosto) e uma estação seca no restante do ano. No entanto, devido à localidade semiárida, as temperaturas podem ser bem elevadas, especialmente nas horas mais quentes, entre 12h e 16h.

3.2 PRECIPITAÇÃO

Na climatologia, há vários modelos que oferecem diferentes maneiras de classificar o clima, utilizando critérios específicos para descrever e padronizar as condições climáticas em diferentes áreas. Na Figura 4 observa-se a localização da cidade de Uiraúna-PB e sua precipitação anual em mm, que tem sua precipitação média de 750 a 1000 mm.

Figura 4 - Climatologia da precipitação anual acumulada (mm)

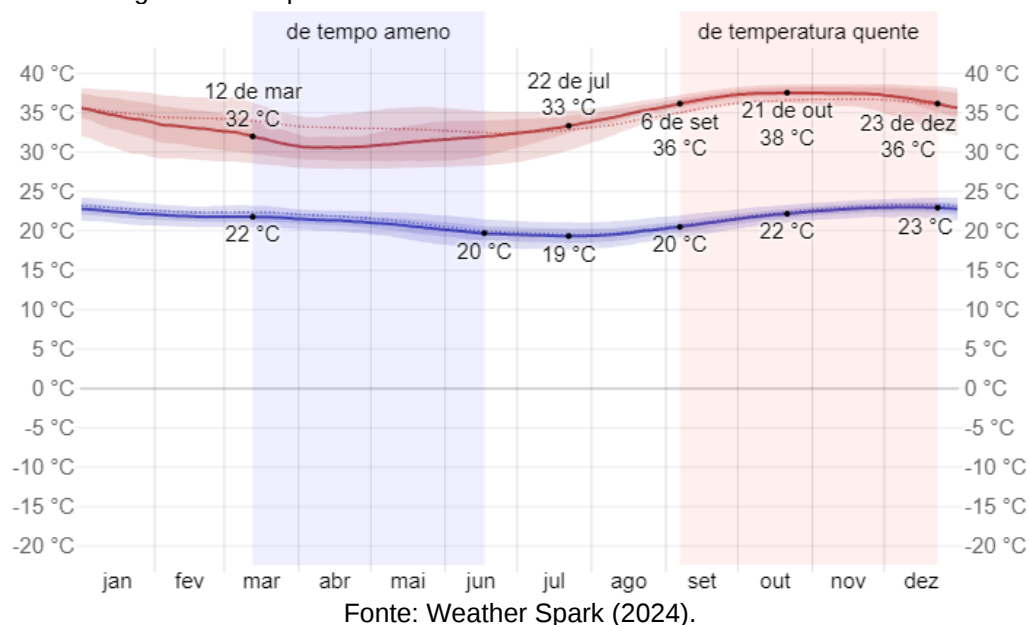


Fonte: Webbsen (2024).

A precipitação afeta a temperatura local de várias maneiras: a evaporação da água resfria o ambiente, a umidade retém calor, as nuvens bloqueiam a radiação solar e alteram a variação de temperatura, e mudanças no albedo com neve ou granizo podem refletir mais calor. Essas interações complexas ajustam as temperaturas locais (Weather Spark, 2021).

Ainda de acordo com a Weather Spark (2021), em Uiraúna, a estação das chuvas é marcada por temperaturas quentes e abafadas, com o céu frequentemente encoberto. Na estação seca, o calor é intenso, acompanhado de ventos fortes e céu parcialmente nublado. Durante o ano, as temperaturas geralmente ficam entre 19 °C e 38 °C, raramente descendo abaixo de 18 °C ou ultrapassando 39 °C. A Figura 5 ilustra as temperaturas máximas e mínimas do município.

Figura 5 - Temperaturas máximas e mínimas médias em Uiraúna-PB



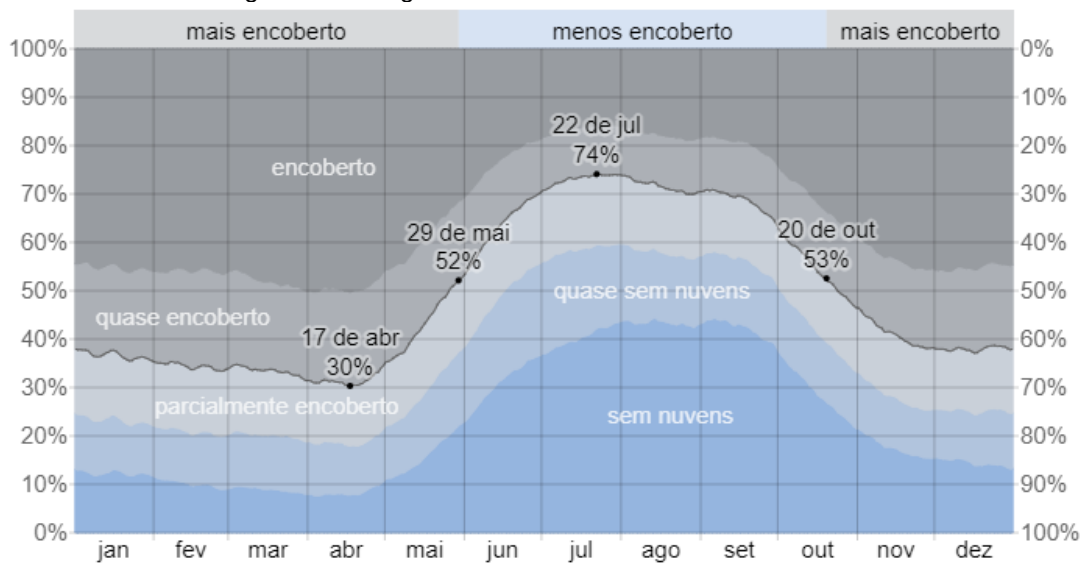
3.3 TEMPERATURA E NEBULOSIDADE

As nuvens são fundamentais na regulação da radiação solar que chega à superfície da Terra. Elas funcionam como uma barreira que pode reduzir a quantidade de luz solar direta, especialmente em dias nublados, o que resulta em temperaturas mais baixas na superfície. Além disso, durante a noite, as nuvens ajudam a reter o calor que a superfície emite, funcionando como um cobertor que diminui a perda de calor para o espaço. Esse efeito pode suavizar as variações de temperatura entre o dia e a noite, influenciando, assim, o clima local (Weather Spark, 2024).

Em Uiraúna, o período com menor cobertura de nuvens começa por volta de 29 de maio e se estende por aproximadamente 4,7 meses, terminando cerca de 20 de outubro. Julho é o mês com a menor cobertura de nuvens, apresentando, em média, um céu que está livre de nuvens, quase sem nuvens ou parcialmente nublado 73% do tempo (Weather Spark, 2024).

Ainda consoante a Spark (2024), por outro lado, a época mais nublada do ano inicia-se por volta de 20 de outubro e dura cerca de 7,3 meses, terminando em torno de 29 de maio. O mês mais nublado é abril, quando o céu permanece coberto ou quase coberto 69% do tempo em média. A Figura 6 categoriza os níveis de nebulosidade em Uiraúna-PB.

Figura 6 - Categorias de nebulosidade em Uiraúna-PB



Fonte: Weather Spark (2024).

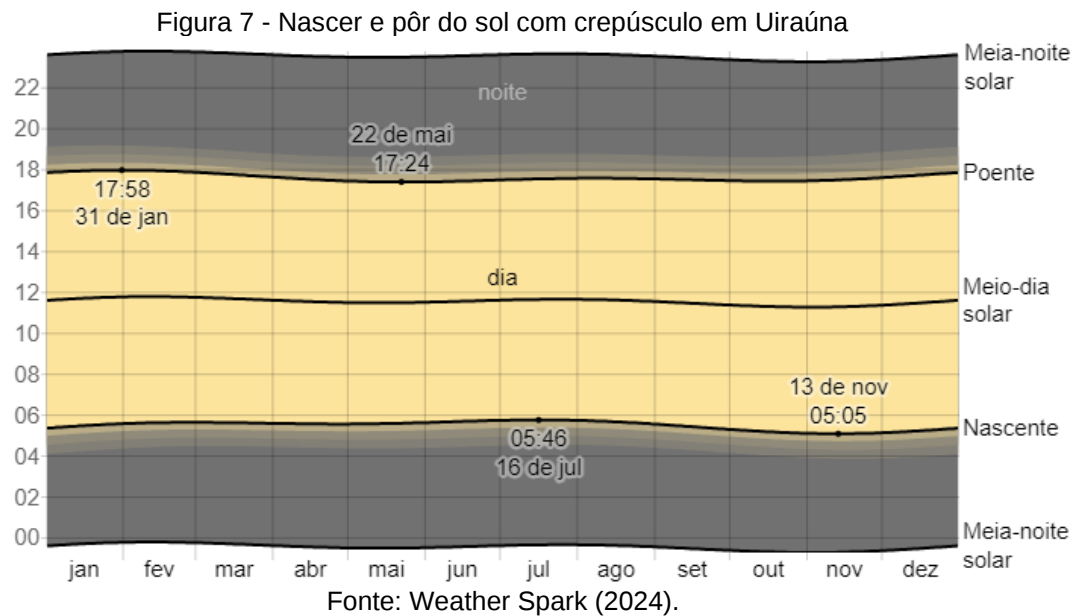
3.4 O SOL, ELEVAÇÃO SOLAR E AZIMUTE

Elevação Solar e Azimute Solar são conceitos fundamentais para a análise da posição do sol. A elevação solar é o ângulo entre o sol e o horizonte, que varia ao longo do dia e das estações, afetando a quantidade de radiação solar recebida. O azimute solar é o ângulo medido ao longo do horizonte a partir do norte verdadeiro, indicando a direção do sol. Esses parâmetros são essenciais para otimizar o posicionamento de painéis solares, o projeto de sistemas de sombreamento e o planejamento arquitetônico para eficiência energética e conforto térmico (Weather Spark, 2024).

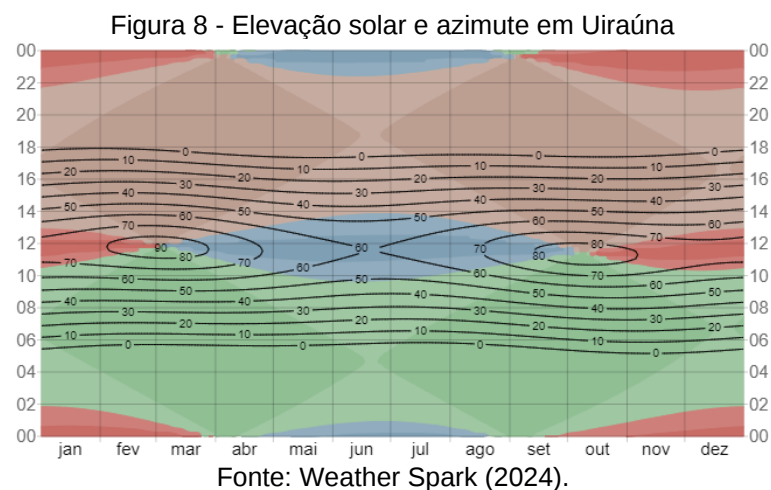
O Sol é uma gigantesca esfera de gás quente e luminosa, com uma temperatura superficial de cerca de 6000 °C e uma temperatura no núcleo de aproximadamente 15 milhões °C. Ele é imenso, com um diâmetro que é 109 vezes maior que o da Terra e contém 99,9% da massa do Sistema Solar. Sua composição é predominantemente de hidrogênio e hélio, enquanto os elementos restantes incluem nitrogênio, carbono, neônio e elementos mais pesados, como ferro, silício, magnésio e enxofre. A massa do Sol representa cerca de 99,867% da massa total do Sistema Solar, sendo composta por aproximadamente 92% de hidrogênio, 7,8% de hélio e 0,2% de elementos mais pesados (Clemente; Silva; Salles, 2009).

O nascer do Sol na cidade de Uiraúna-PB acontece mais cedo no dia 13 de novembro, às 05:05h, e o horário mais tardio para o nascer do Sol é às 05:46h no dia

16 de julho. Já o pôr do Sol ocorre mais cedo às 17:24h no dia 22 de maio e mais tarde às 17:58h no dia 31 de janeiro (Weather Spark, 2024). A Figura 7 ilustra o dia solar em Uiraúna, durante o ano de 2024, onde o dia solar é representado por linhas pretas que indicam, de baixo para cima, à meia-noite solar anterior, o nascer do Sol, o meio-dia solar, o pôr do Sol e a meia-noite solar seguinte.



A Figura 8 apresenta uma visão geral da elevação do Sol (o ângulo do Sol acima do horizonte) e do azimute (a direção do Sol) para cada hora de cada dia durante o período do relatório. No gráfico, o eixo horizontal representa o dia do ano, enquanto o eixo vertical indica a hora do dia. As cores de fundo mostram o azimute do Sol em cada momento, e as linhas de contorno (isolinhas) representam níveis constantes de elevação solar (Weather Spark, 2024).



3.5 ENERGIA SOLAR

Ao contrário das fontes de energia tradicionais, a energia solar é intermitente e apresenta grande variabilidade espacial devido à sua dependência das condições meteorológicas locais, como cobertura de nuvens, concentração de gases atmosféricos e sistemas sinóticos, além de fatores astronômicos relacionados aos movimentos orbitais e rotacionais da Terra (Pereira *et al.*, 2017).

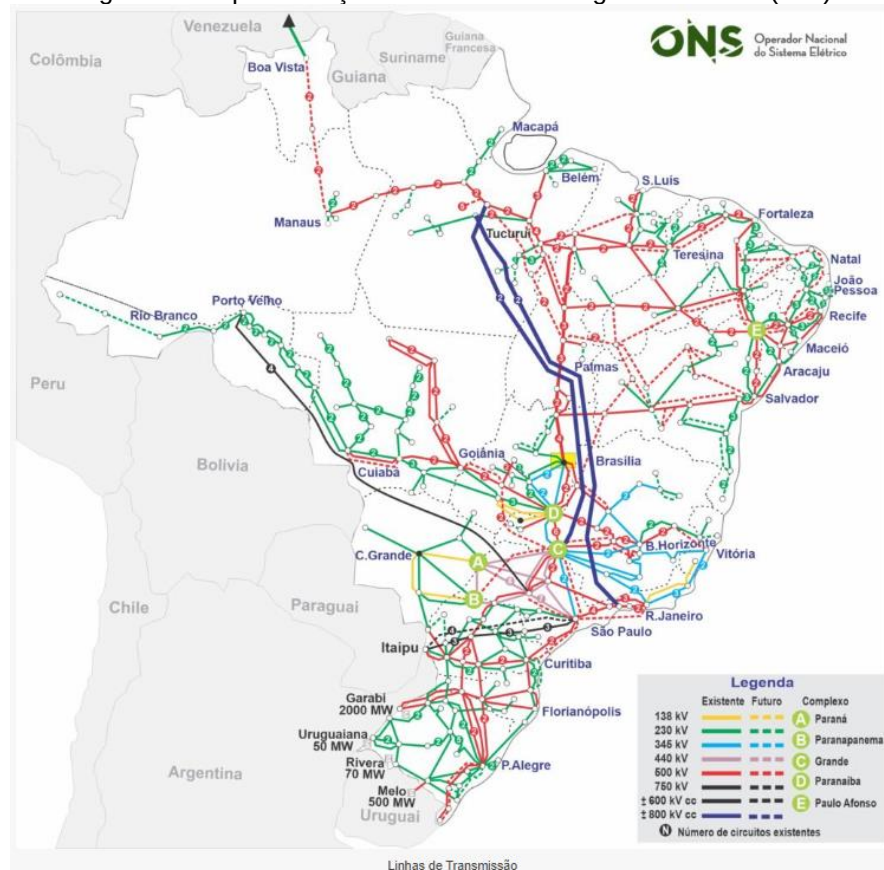
Ainda consoante a Pereira *et al.* (2017), além da tecnologia fotovoltaica, a geração de eletricidade através da conversão térmica da energia solar está em expansão, com a Espanha e os Estados Unidos liderando o setor e juntos representando 80% da capacidade instalada global. No Nordeste Brasileiro, onde os níveis de irradiação solar direta são elevados, essas condições são ideais para a viabilidade dessa tecnologia de geração de energia.

No Brasil, a utilização da energia solar surge como uma excelente alternativa para complementar as fontes de energia convencionais, como as hidroelétricas. O aproveitamento da energia solar ajuda a gerir melhor os níveis dos reservatórios, especialmente durante períodos de baixa pluviosidade, e facilita o planejamento e a otimização de novos investimentos em geração, transmissão e distribuição de energia (Pereira *et al.*, 2017).

Hoje em dia, o sistema elétrico brasileiro está quase inteiramente integrado pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), que é de tamanho e características únicos em todo o mundo. Apenas 1,7% da demanda total de energia elétrica no Brasil é suprida por sistemas isolados, que não estão conectados ao SIN e estão predominantemente situados na região amazônica (Pereira *et al.*, 2017).

A Figura 9, mostra o mapa do Sistema Interligado Nacional (Brasil, 2024).

Figura 9 - Representação do Sistema Interligado Nacional (SIN)



Fonte: ONS (2024).

A irradiância solar que chega a uma superfície é composta por duas partes: a irradiância direta, que é a radiação solar que viaja diretamente do Sol sem sofrer alterações na atmosfera, e a irradiância difusa, que inclui a radiação que foi espalhada por gases e partículas atmosféricas e chega de várias direções (Pereira *et al.*, 2017, p. 19).

Irradiância extraterrestre (G₀): é a taxa de energia incidente por unidade de área em um plano horizontal imaginário situado no topo da atmosfera. É também conhecido como irradiância no topo da atmosfera ou GTOA.

Irradiância direta normal (G_n): também conhecida como DNI, é a taxa de energia por unidade de área proveniente diretamente do Sol que incide perpendicularmente à superfície.

Irradiância difusa horizontal (G_{dif}): é a taxa de energia incidente sobre uma superfície horizontal por unidade de área, decorrente do espalhamento do feixe solar direto pelos constituintes atmosféricos (moléculas, material particulado, nuvens, etc.).

Irradiância direta horizontal (G_{dir}): é a taxa de energia por unidade de área do feixe solar direto numa superfície horizontal. Pode ser determinada como o produto entre a irradiância direta normal (DNI) e o cosseno do ângulo zenital solar.

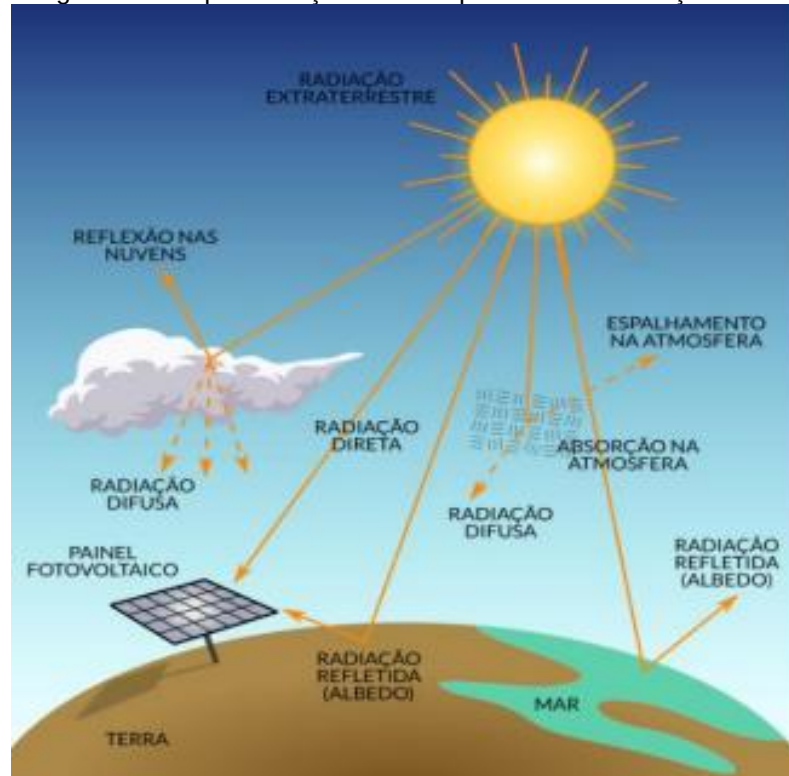
Irradiância global horizontal (G): é a taxa de energia total por unidade de área incidente numa superfície horizontal. A irradiância global é dada pela soma $G = G_{dif} + G_{dir}$ ou $G = G_{dif} + G_n \cdot \cos(\theta_z)$ onde θ_z é o ângulo zenital.

Irradiância no plano inclinado (G_i): é a taxa de energia total por unidade de

área incidente sobre um plano inclinado na latitude do local em relação à superfície da Terra.

A Figura 10 exemplifica todas as irradiações de maneira ilustrativa.

Figura 10 - Representação das componentes de radiação solar



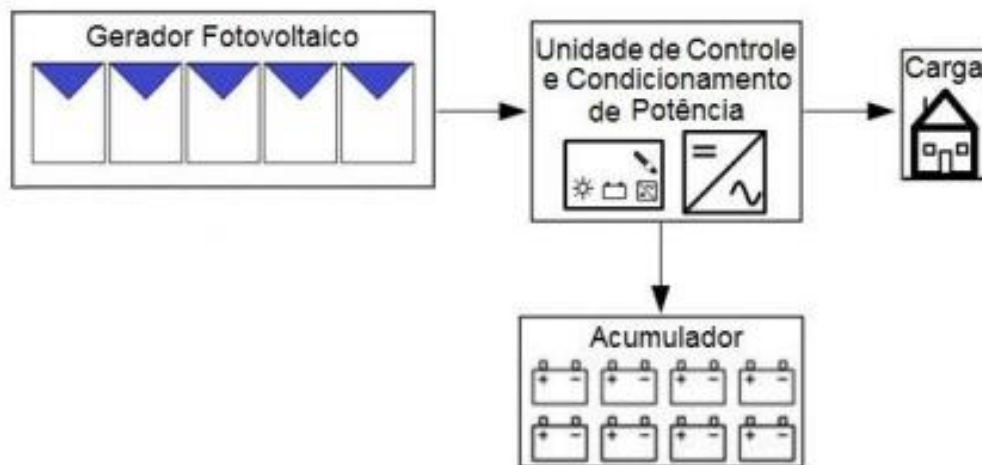
Fonte: Pereira et al. (2017).

3.6 USOS E TECNOLOGIAS PARA CAPTURA DA ENERGIA SOLAR DIRETA

A história do uso da energia solar direta remonta às antigas civilizações, que perceberam que construções com aberturas voltadas para o Sol (na face equatorial) recebiam mais iluminação e aquecimento, mesmo em épocas de baixa radiação ou frio intenso. Essa abordagem, hoje conhecida como arquitetura bioclimática, é uma forma de construção passiva que utiliza a energia solar para melhorar o conforto interno (Baljit; Chan; Sopian, 2016).

Os sistemas fotovoltaicos (SFV) se dividem em duas principais categorias: sistemas isolados e sistemas conectados à rede. Eles podem funcionar exclusivamente com a energia solar ou ser integrados a outras fontes de energia, configurando-se como sistemas híbridos (Pinho; Galdino, 2014). A Figura 11 mostra o esquema de Sistema Fotovoltaico.

Figura 11 - Configuração básica de um SFV



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Um sistema fotovoltaico é composto por painéis solares que convertem a luz solar em energia elétrica em corrente contínua (CC). Essa energia é gerida por uma unidade de controle, que inclui um inversor para converter a CC em corrente alternada (CA) e um sistema de condicionamento de potência para ajustar a tensão e corrente. A energia gerada em excesso pode ser armazenada em baterias, permitindo seu uso em horários de menor produção, enquanto a carga representa os dispositivos que consomem essa energia, como eletrodomésticos ou equipamentos industriais.

3.6.1 Potencial fotovoltaico

A geração de energia fotovoltaica no Brasil tem grande potencial, como mostrado no mapa da Figura 13. Em locais menos ensolarados do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que nas áreas mais ensolaradas da Alemanha. O mapa ilustra o rendimento energético anual máximo em kWh por ano para cada kWp de potência instalada, tanto para grandes usinas solares quanto para sistemas fotovoltaicos em telhados e coberturas. A análise usa uma taxa de desempenho médio anual de 80%, refletindo a eficiência de sistemas bem projetados e com equipamentos certificados pelo INMETRO (Pereira *et al.*, 2017).

No Brasil, a regulamentação para micro e minigeração foi formalizada pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) a partir de 2012 com a Resolução Normativa 482/2012. Essa normativa introduziu o sistema de compensação de energia, permitindo que sistemas solares instalados em telhados se conectem à rede

elétrica pública. O excedente de energia gerado pode ser injetado na rede, funcionando como uma espécie de bateria de capacidade ilimitada, acumulando créditos que podem ser utilizados para compensar o consumo futuro de eletricidade (Pereira *et al.*, 2017).

Ainda consoante a Pereira *et al.* (2017), inicialmente, a Resolução Normativa 482/2012 estabelecia um limite de potência de 1000 kWp para esses sistemas. No entanto, em 2016, a Resolução Normativa 687/2015 ampliou esse limite para até 5000 kWp por Unidade Consumidora (UC), o que corresponde ao consumo médio de mais de mil residências de classe média no Brasil. Além disso, os créditos de energia injetados na rede elétrica têm um prazo de validade de 60 meses, durante o qual podem ser utilizados para compensar o consumo de energia da unidade consumidora.

3.7 EDIFÍCIOS E CONSUMO ENERGÉTICO

Maragno (2000) descreve grandes mudanças que ocorreram na construção no início do século XX. Os princípios tradicionais, como o uso de materiais locais e a consideração do clima local, foram deixados de lado em favor das novas tecnologias emergentes que se tornaram viáveis e foram adotadas.

Na sua tese, Mahfuz (1995), argumenta que a estrutura física do edifício, combinada com o calor interno gerado pela presença humana, pelo uso de equipamentos e pela iluminação artificial, resulta em um aumento significativo no consumo de energia para o condicionamento do ar, visando o conforto dos ocupantes.

É importante considerar cuidadosamente como aproveitar a luz natural por meio de aberturas, equilibrando a entrada adequada e bem distribuída dessa luz, ao mesmo tempo em que se controlam os ganhos térmicos causados pela radiação solar direta. Nesse contexto, o uso de dispositivos de proteção solar torna-se essencial não apenas para distribuir eficientemente a luz natural no interior dos ambientes, mas também para reduzir a entrada excessiva de radiação solar direta (Mahfuz, 1995).

As fachadas orientadas para leste e oeste recebem radiação solar no início e no final do dia, respectivamente, com um ângulo mais horizontal. Por isso, é fundamental projetar proteções solares que levem em conta essas características específicas das fachadas. A instalação adequada dessas proteções nas aberturas pode reduzir, significativamente, os ganhos de calor nas construções, desempenhando um papel importante na economia de energia em edifícios que

utilizam climatização artificial (Albert, 1942).

A partir da década de 50, após o término da segunda guerra mundial, houve um aumento significativo no uso de fachadas envidraçadas na arquitetura, popularizando o conceito de "pele de vidro". Esse avanço foi viabilizado pelo desenvolvimento da indústria do vidro e de outras tecnologias relacionadas. Como resultado, muitas cidades passaram a ser caracterizadas por grandes áreas de vidro nas fachadas, frequentemente instaladas sem considerar adequadamente o contexto específico de cada localização (Comas, 1989).

3.7.1 Sistemas fotovoltaicos integrados à edificação (bipv/t)

A Agência Internacional de Energia relata que os edifícios são responsáveis por 32% do consumo global de energia, o que destaca a importância de desenvolver construções com energia quase nula. Nesse contexto, o sistema BIPV/T se destaca por utilizar a estrutura do edifício para capturar a energia solar, produzindo eletricidade e calor de forma eficiente. Isso contribui significativamente para reduzir o consumo energético dos edifícios. A utilização de sistemas BIPV/T como um padrão arquitetônico, substituindo revestimentos e materiais de cobertura tradicionais, poderia facilitar a sua implementação generalizada (Yang; Athienitis, 2016).

Os sistemas BIPV/T são projetados para fornecer tanto eletricidade quanto calor diretamente no local, podendo ser integrados a outras tecnologias de energia, como bombas de calor ou ventiladores de recuperação de calor. Ao contrário dos sistemas fotovoltaicos integrados ao edifício (BIPV), que não incorporam componentes térmicos, os sistemas BIPV/T têm a vantagem de melhorar o desempenho energético do edifício de maneira térmica.

Embora sistemas BIPV e BIPV/T compartilhem algumas semelhanças e possam ambos contribuir para a criação de edifícios com energia líquida zero, o foco deste trabalho abrange ambos os tipos. Em suma, um sistema BIPV/T é caracterizado por estar fisicamente integrado ao edifício, gerar eletricidade e produzir energia térmica que pode ser coletada e utilizada pelo próprio edifício, além de melhorar o seu desempenho energético geral (Yang; Athienitis, 2016).

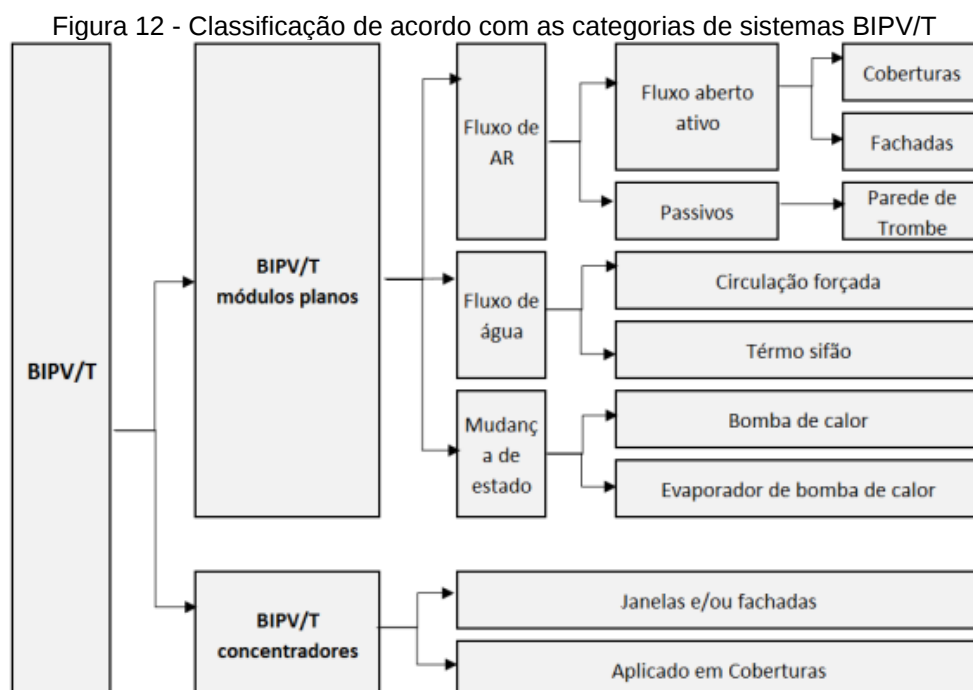
Integrar um sistema SFV a um edifício vai além de simplesmente adicioná-lo à estrutura existente. No que diz respeito à economia de energia, o sistema SFV não atua apenas como uma fonte de energia, mas também afeta o desempenho

energético do edifício por várias razões, que dentre elas estão (Yang; Athienitis, 2016, p. 6):

- Parte da energia solar incidente é convertida diretamente em eletricidade pelo módulo fotovoltaico antes de ser transmitida através do envelope.
- Parte da energia solar absorvida é removida na forma de calor quando um meio de resfriamento é usado.
- Um componente SFV altera o valor U (tensão elétrica) do envelope do edifício, ajustando assim o fluxo de calor entre o ambiente externo e o ambiente interno.
- Um módulo fotovoltaico obstrui a radiação solar na parede original em instalações BIPV/T.
- A absorção solar do envoltório de um edifício é alterada ao substituir/cobrir estruturas de edifícios convencionais, como o telhado refletivo, por exemplo, com módulos fotovoltaicos.
- O uso de módulos fotovoltaicos semitransparentes altera a transmitância visível da luz e, conseqüentemente, o perfil de consumo de energia da iluminação artificial.

A estrutura do edifício pode influenciar o desempenho do BIPV/T. Enquanto um sistema PV/T autônomo pode ser instalado com orientações e inclinações otimizadas para o ambiente e latitude local, a instalação do BIPV/T é geralmente determinada pelo *design* e requisitos do edifício (Yang; Athienitis, 2016, p. 6).

A Figura 12 ilustra as categorias e os tipos de aplicação quanto aos sistemas BIPV/T.



Fonte: Yang e Athienitis (2016, p. 7).

Este estudo se dedicará especificamente à categoria de sistemas termo fotovoltaicos com coletores planos, focando em sistemas de ar ativos de ciclo aberto que estão integrados às fachadas dos edifícios. A Figura 13 mostra um exemplo de um sistema similar de módulos planos.

Figura 13 - Edifício com placas solares em Goiás, Brasil.



Fonte: Sousa (2020).

Os sistemas SFV que utilizam o ar como fluido predominante oferecem uma solução simples e econômica para resfriar as células fotovoltaicas. O ar pode ser aquecido a diferentes temperaturas através da circulação natural ou forçada. Embora a circulação forçada proporcione melhor eficiência devido às melhores taxas de transferência de calor por condução e convecção, ela pode reduzir a eficiência elétrica, pois demanda energia para movimentar as hélices (Tripanagnostopoulos *et al.*, 2002). A Figura 14 ilustra módulos concentrados.

Figura 14 - Módulos Fotovoltaicos Concentrados



Fonte: Lima (2024).

O Sistema Fotovoltaico (SFV) instalado em coberturas também é uma alternativa sustentável e eficiente para gerar energia solar, utilizando o espaço disponível nos telhados dos edifícios. Os painéis solares captam a luz solar e a transformam em eletricidade, que pode ser usada no próprio local ou enviada para a rede elétrica, gerando créditos de energia.

4 METODOLOGIA

Esta metodologia tem como foco avaliar a previsão da substituição de fachadas convencionais por fachadas com filmes fotovoltaicos, focando nos benefícios ambientais e econômicos da geração de energia renovável e da eficiência energética de edifícios. O primeiro passo consiste na escolha de um edifício representativo, levando em consideração aspectos como localização, orientação solar, características arquitetônicas e as previsões estruturais para a instalação dos filmes fotovoltaicos. Após a seleção, foi realizada uma medição da fachada utilizando ferramentas como a câmera termográfica (FLIR) para documentar a área disponível para os filmes e identificar possíveis obstáculos, como janelas e estruturas que possam impactar a instalação.

Com os dados encontrados, foi realizada uma análise detalhada das previsões técnicas e econômicas da substituição da fachada convencional. A análise técnica envolverá a avaliação da eficiência dos filmes fotovoltaicos na conversão de energia solar e sua integração ao sistema elétrico do edifício. A análise econômica considerou o custo inicial de instalação, as economias geradas com a redução no consumo de energia elétrica e o tempo estimado para o retorno do investimento. As conclusões da pesquisa abordam, além da previsão técnica e econômica, os impactos ambientais das consequências, como a redução de emissões de CO₂ e a contribuição para a sustentabilidade do edifício.

Figura 15 - Etapas e métodos



Fonte: Autoria própria.

4.1 DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA, PROPIEDADES DA ENVOLTÓRIA E LOCALIZAÇÃO

A Farmácia Melhor Forma e o Laboratório Microanálise estão situadas na Rua José Vieira Bujary, com a fachada principal voltada para o Leste-Sul, em uma edificação de um pavimento. Não há edifícios ao redor que bloqueiem a entrada de luz solar, o que favorece a eficiência energética do local. A presença abundante de luz solar, aliada ao uso de filmes solares, contribui para o controle de temperatura e redução do consumo de energia elétrica, promovendo um ambiente mais sustentável e confortável. A Figura 16 ilustra a localidade geográfica da edificação.

Figura 16 - : Localização geográfica da edificação



Fonte: Google Earth (2024).

A localização da edificação foi essencial para este estudo, pois suas condições permitiram uma análise aprofundada sobre o uso de estratégias no controle energético. A ausência de obstáculos à luz solar e a exposição favorável à incidência de luz natural possibilitaram uma avaliação mais eficaz da aplicação de filmes solares. Esses fatores contribuíram significativamente para entender como maximizar a eficiência energética, promovendo o conforto térmico e a redução do consumo de energia no ambiente.

Os dados para este estudo foram coletados por meio de medições e análises utilizando ferramentas tecnológicas de ponta. Para a determinação das dimensões e

características da edificação, utilizou-se o Google Earth Pro que possibilitou uma visão precisa da localização e da exposição solar do edifício. Complementarmente, foram empregados *softwares* de dimensionamento especializados, que permitiram calcular com exatidão as superfícies e volumes relevantes para a análise energética. Equipamentos como a câmera térmica Flir foram fundamentais para monitorar as variações de temperatura, fornecendo informações detalhadas sobre o comportamento térmico da construção.

A partir desses dados, estimou-se a quantidade de filmes solares necessários, bem como o potencial de geração de energia, considerando também o tipo de vidro utilizado e suas propriedades térmicas e ópticas. Essas informações permitiram uma avaliação precisa da eficiência energética e do impacto de soluções sustentáveis na edificação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 AMBIENTE E FACHADA

A fachada da farmácia e laboratório é parcialmente preenchida por vidro, o que confere um *design* moderno e permite o aproveitamento da luz natural, mas também traz desafios em relação ao conforto térmico interno. A região ao redor do edifício é caracterizada por construções de pequeno porte, com a maioria dos edifícios não ultrapassando dois pavimentos. Esse cenário fornece uma condição favorável para o estudo, pois não há grandes estruturas que possam obstruir a incidência direta da luz solar na fachada do edifício, permitindo uma avaliação mais precisa dos benefícios da instalação dos filmes fotovoltaicos. A localização central facilita o acesso ao edifício e está em uma zona com grande circulação de pessoas e atividades comerciais.

O vidro, por ser um material com alta condutividade térmica, facilita a troca de calor entre o ambiente interno e o externo. Isso significa que, durante o dia, especialmente em horários de maior incidência solar, o vidro pode permitir o ingresso de calor excessivo para o interior, o que aumenta a carga térmica interna e eleva a necessidade de sistemas de climatização para manter uma temperatura confortável. Esse fenômeno pode gerar desconforto térmico para os ocupantes e também resultar em maior consumo de energia elétrica.

Além disso, à noite, a falta de um isolamento térmico adequado nas superfícies de vidro pode levar à perda de calor, causando uma queda na temperatura interna. Isso não apenas reduz o conforto térmico, mas também aumenta a demanda por aquecimento. Esses problemas de controle térmico são um dos principais desafios das fachadas envidraçadas, já que o vidro, por suas características, não oferece resistência significativa à transferência de calor. Para mitigar esses impactos, é essencial considerar soluções adicionais, como o uso de filmes solares ou vidros com propriedades de isolamento térmico, que podem ajudar a regular a temperatura interna, promovendo um ambiente mais confortável e eficiente do ponto de vista energético.

A fachada foi escolhida por apresentar propriedades que contribuíram de maneira significativa para este trabalho. Sua estrutura atende aos requisitos necessários para a análise pretendida, oferecendo características que facilitam a execução das etapas do estudo. Além disso, sua localização é estratégica,

proporciona fácil acesso e visualização, o que reforça sua funcionalidade no contexto proposto. Esses fatores tornam a fachada uma opção ideal para a pesquisa. A fachada em questão está ilustrada na Figura 17, permitindo uma melhor compreensão das suas características.

Figura 17 - Fachada da edificação e características da fachada



Fonte: Autoria própria.

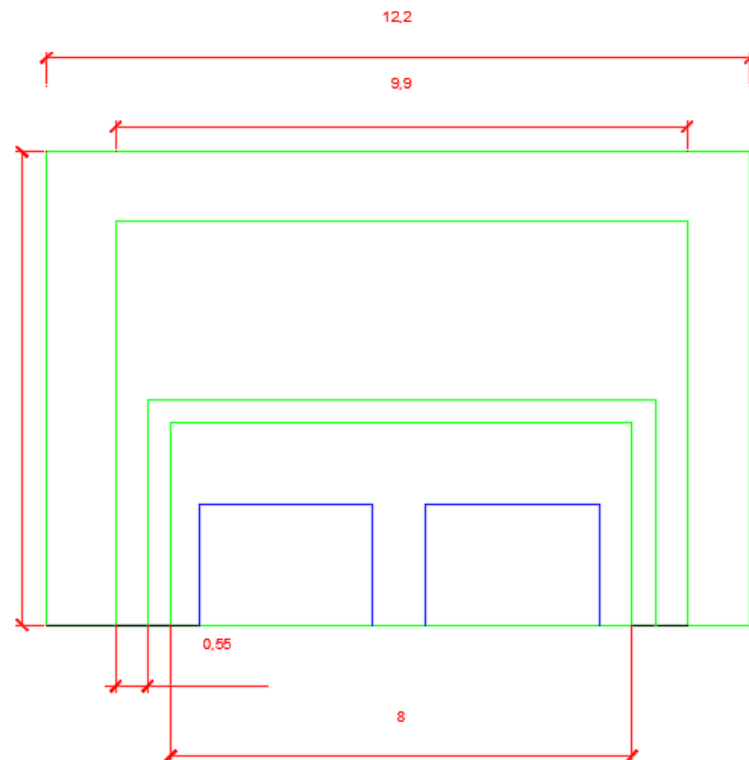
A fachada da edificação possui duas portas de acesso, que são protegidas por coberturas em alumínio composto, com o objetivo de reduzir a exposição direta à radiação solar. Essas coberturas desempenham o papel de bloquear o excesso de calor e luz, contribuindo para um ambiente mais confortável e ajudando a controlar a temperatura interna. No entanto, nas extremidades e na parte superior da fachada, o

uso do alumínio composto é puramente estético, sem a intenção de bloquear a luz solar. Como resultado, a área superior da fachada, composta principalmente por vidro, fica exposta ao sol, permitindo a entrada de luz natural, mas também facilitando a incidência direta de radiação.

5.2 ASPECTOS GEOMÉTRICOS E DIMENSÕES

As dimensões da edificação, bem como a área da fachada em vidro, estão ilustradas na Figura 18. Essa representação detalha o tamanho total da edificação e destaca a extensão da fachada envidraçada, fornecendo uma visão clara da configuração espacial e das áreas expostas à radiação solar.

Figura 18 - Aspectos geométricos e dimensões da fachada



Fonte: Autoria própria.

Com auxílio de uma trena digital, foi possível verificar as medidas da fachada, como a parte preenchida por vidro, ACM e portas. A área em vidro da fachada da edificação é de 41,15 metros quadrados. Esse valor representa uma área significativa em relação a toda a fachada, destacando a importância dessa superfície no desempenho térmico e na iluminação natural do ambiente.

As portas e o *hall* de entrada também são compostos por vidro, porém, devido à cobertura que protege essas áreas da incidência direta da radiação solar, essas partes foram desconsideradas na análise. A cobertura impede que o calor impacte diretamente essas superfícies, o que justifica a exclusão dessas áreas na avaliação térmica da fachada.

5.3 AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA DO AMBIENTE

Para avaliação térmica do ambiente foi utilizado a Câmera Termográfica Flir E5 Pro, com resolução de 19.200 pixels e integração à Nuvem Ignite, foi essencial para a coleta de dados térmicos precisos neste estudo. Devido a sua alta resolução, foi possível permitir capturar variações de temperatura de forma detalhada, identificando falhas no isolamento térmico e pontos de perda ou ganho de calor. A plataforma Nuvem Ignite facilita o armazenamento e o acesso remoto às imagens térmicas, otimizando a análise dos dados. A Figura 19 ilustra o equipamento Flir Pro.

Figura 19 - Câmera Termográfica Flir E5 Pro



Fonte: MRE Ferramentas (2024)

5.4 TEMPERATURA EXTERNA

Para justificar o impacto dos vidros na absorção de calor e o consequente aumento da temperatura, realizei a captura do ambiente em dois pontos distintos: a uma distância de 10 metros da fachada e próximo à própria fachada. Essa abordagem permitiu comparar as variações térmicas em diferentes distâncias, evidenciando que, próximo à fachada, os vidros absorveram uma quantidade maior de calor, elevando a temperatura no entorno. Essas medições permitiram avaliar o comportamento térmico em diferentes áreas ao redor da construção. Os resultados mostraram que os pontos mais próximos à fachada apresentaram temperaturas significativamente mais altas, indicando um ganho de calor muito elevado nessas regiões. Esse aumento de temperatura sugere que a fachada, em particular, está permitindo a entrada excessiva de calor, provavelmente devido à exposição direta ao sol e à falta de proteção adequada em algumas áreas.

Para um melhor resultado, os dados coletados foram feitos em um horário relativamente mais quente do dia. Consequentemente, os horários de coleta foram feitos às 13:00 as 13:30 horas, duração média de coleta. Na Figuras 20 é possível ilustra as medições térmicas que foram realizadas a 10 metros da fachada, permitindo observar as variações de temperatura ao redor da edificação. Na imagem, a temperatura mais alta é registrada no canto superior e na parte inferior a esquerda, indicando uma área de maior aquecimento.

Figura 20 - Captura termográfica a 10 metros da fachada



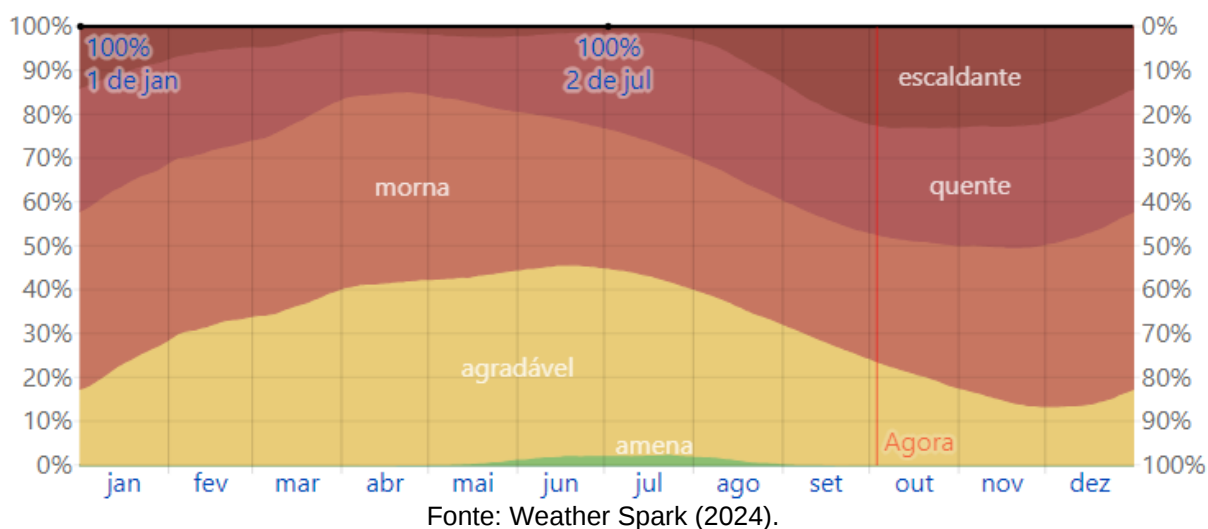
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 20 ainda é possível observar que as faixas de maior temperatura estão equipadas principalmente nas placas de ACM, com maior intensidade localizada no canto esquerdo. Essa distribuição térmica é explicada pela posição do sol no momento da captura, que incide diretamente sobre essa área específica. A orientação solar contribuiu para o aquecimento mais acentuado das placas de ACM.

Em outubro, a temperatura ambiente de Uiraúna (PB) costuma ser elevada, com médias variando entre 27°C e 35°C. Esse mês, que antecede o período de chuvas, ainda apresenta temperaturas elevadas e uma alta incidência de radiação solar. Durante o dia, as máximas podem ultrapassar os 35°C, enquanto à noite as temperaturas tendem a cair um pouco, ficando em torno de 22°C a 25°C. Além disso, a umidade relativa do ar em outubro continua sendo relativamente baixa, o que intensifica a sensação de calor. A Figura 21 ilustra as faixas de temperatura em Uiraúna-PB.

O tempo passado nas várias faixas de temperatura e estação de cultivo em Uiraúna-PB, ilustra também uma linha vertical identificando o mês/dia da coleta. Com o tempo passado nas várias faixas de temperatura e estação de cultivo em Uiraúna-PB, ilustra também uma linha vertical identificando o mês/dia da coleta.

Figura 21 - Faixas de temperatura em Uiraúna-PB



Para a coleta de dados térmicos, realizada em pontos próximos à fachada da edificação como continuidade da análise anterior, obtém-se que as observações obtidas em temperaturas significativamente mais elevadas em comparação com os dados registrados anteriormente. Essa diferença de temperatura reflete o impacto direto da exposição solar nessa região. O aumento térmico fornecido indica um ganho

substancial de calor, indicando que a fachada está absorvendo uma quantidade específica de radiação solar. A Figura 22 ilustra a captura feita próximo a fachada da edificação.

Figura 22 - Captura termográfica próximo a fachada central



Fonte: Autoria própria.

Os números localizados nas bordas da imagem representam as temperaturas máximas e mínimas registradas naquele ambiente específico, fornecidas uma referência dos extremos térmicos oferecidos. O foco centralizado na imagem tem como finalidade apenas orientar a visualização e o posicionamento do quadro de análise, não diminuindo a temperatura exclusivamente naquele ponto.

A captura térmica registrou uma temperatura de aproximadamente 39,4°C, sendo realizada entre as duas portas da fachada da edificação. Esse ponto, localizado em uma área exposta diretamente à radiação solar, evidenciou um aumento considerável de temperatura, indicando um ganho de calor significativo nesse trecho da fachada.

Nas Figuras 23 e 24, as capturas térmicas foram realizadas nas extremidades das fachadas, e observou uma queda na temperatura em comparação com a anterior. Essa redução térmica provavelmente está relacionada ao fato de as fachadas vizinhas serem de alvenaria, que possuem uma capacidade maior de absorção e retenção de calor, funcionando como uma barreira térmica e contribuindo para a diminuição da temperatura nas extremidades.

Figura 23 - Captura extremidade direita da fachada



Fonte: Autoria própria.

Verificou-se que em relação a Figura 22, existe uma queda de temperatura de 2,3 °C.

Figura 24 - Captura extremidade esquerda da fachada



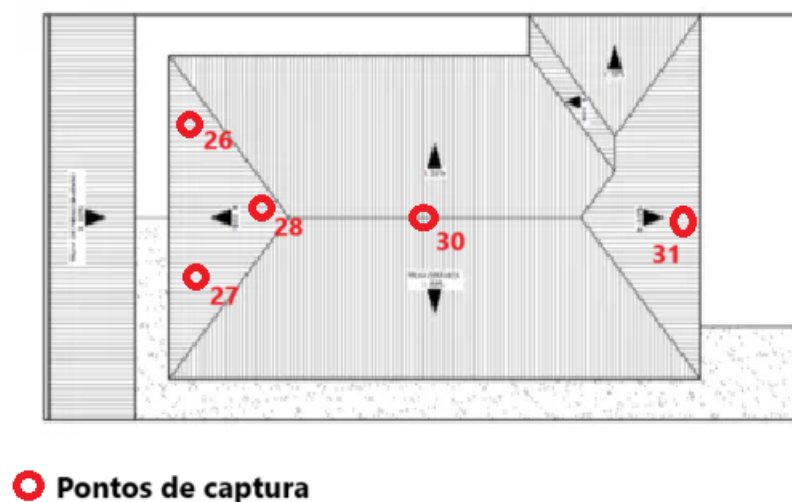
Fonte: Autoria própria.

Em relação à Figura 22, a Figura 23 mostra uma diferença de 3,6°C. Essa variação pode ser atribuída às diferentes condições de exposição solar, como a presença de sombra em determinadas áreas, que impacta diretamente na distribuição térmica da superfície.

5.5 TEMPERATURA INTERNA

As medições de temperatura interna foram realizadas em pontos estratégicos ao longo da edificação para avaliar a distribuição térmica no ambiente. As coletas foram feitas próximo à fachada, na extremidade da sala que fica voltada para a fachada, no centro da edificação e na parte mais afastada, no fundo do ambiente. Esses pontos foram selecionados para proporcionar uma análise abrangente das variações térmicas dentro do espaço, permitindo entender como a exposição solar e a configuração do ambiente influenciam o conforto térmico interno. A Figura 25 ilustra os pontos estratégicos de captura realizada *in loco*

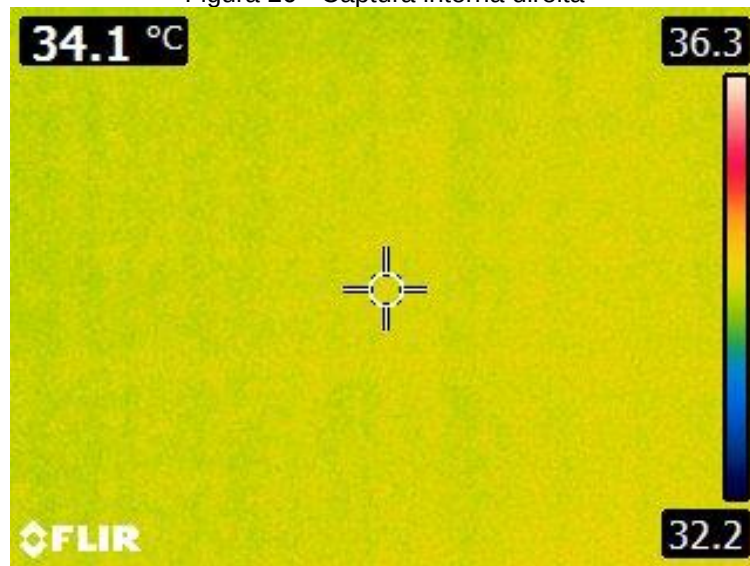
Figura 25 - Pontos de captura no interior da edificação



Fonte: Autoria própria.

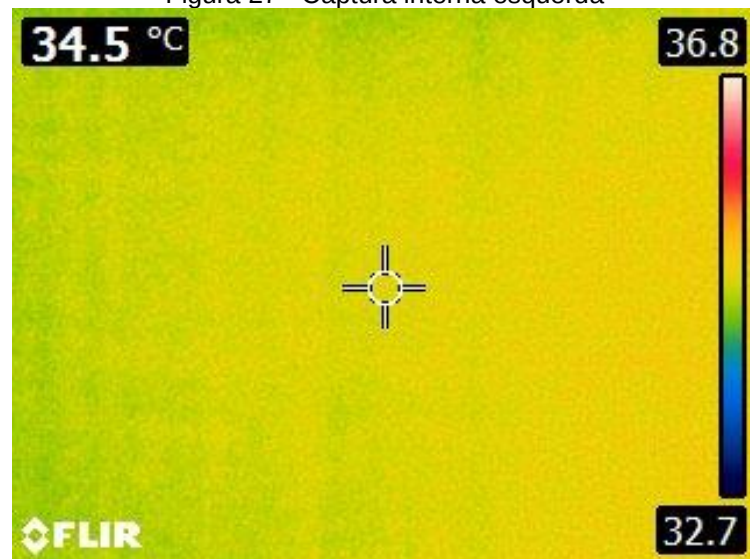
As Figuras 25 e 26 apresentam as medições de temperatura interna da edificação. Nas imagens, as cores mais quentes indicam as áreas com maior incidência de calor proveniente da fachada, evidenciando as regiões que absorvem mais calor do ambiente externo. Essa variação térmica demonstra claramente o impacto da exposição solar direta nas superfícies internas próximas à fachada, influenciando o conforto térmico dentro da edificação. A Figura 26 refere-se ao ponto 26 apresentado na Figura 25.

Figura 26 - Captura interna direita



Fonte: Autoria própria.

Figura 27 - Captura interna esquerda



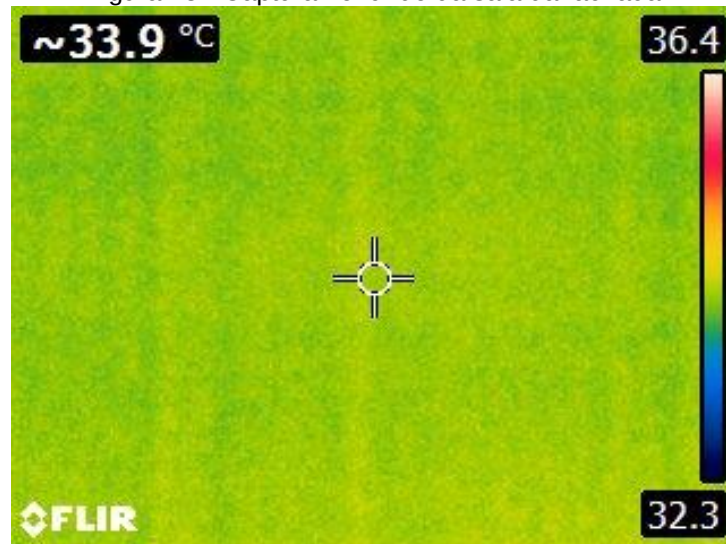
Fonte: Autoria própria.

A média das temperaturas registradas nas Figuras 26 e 27, em comparação com os valores obtidos na Figura 21, apresentou uma diferença de 5,1°C. Esse aumento significativo nas temperaturas internas indica o impacto da exposição solar direta na fachada, que contribui para um ganho de calor substancial nas áreas mais próximas à superfície externa.

A Figura 27, capturada no fundo da sala, mostrou uma diferença térmica menos expressiva em comparação com as figuras anteriores. Essa variação mais sutil pode ser atribuída ao fato de se tratar de uma área mais isolada e distante da fachada, onde a influência direta da radiação solar é menor. Além disso, fatores como o ambiente mais fechado e a circulação de ar podem ter contribuído para uma maior uniformidade

térmica nesse local, resultando em temperaturas mais equilibradas em relação às áreas próximas à fachada.

Figura 28 - Captura no fundo da sala da fachada



Fonte: Autoria própria.

A diferença entre a captura de maior temperatura e a registrada na Figura 28 é de apenas 0,6°C, o que indica uma variação térmica relativamente pequena. Esse resultado pode ser atribuído à localização da captura na Figura 27. A Figura 29 apresenta uma visão geral da sala, mostrando a localização exata da captura térmica, o que proporciona um melhor entendimento sobre a distribuição das temperaturas e as condições térmicas no interior do ambiente.

Figura 29 - Visão geral da sala



Fonte: Autoria própria.

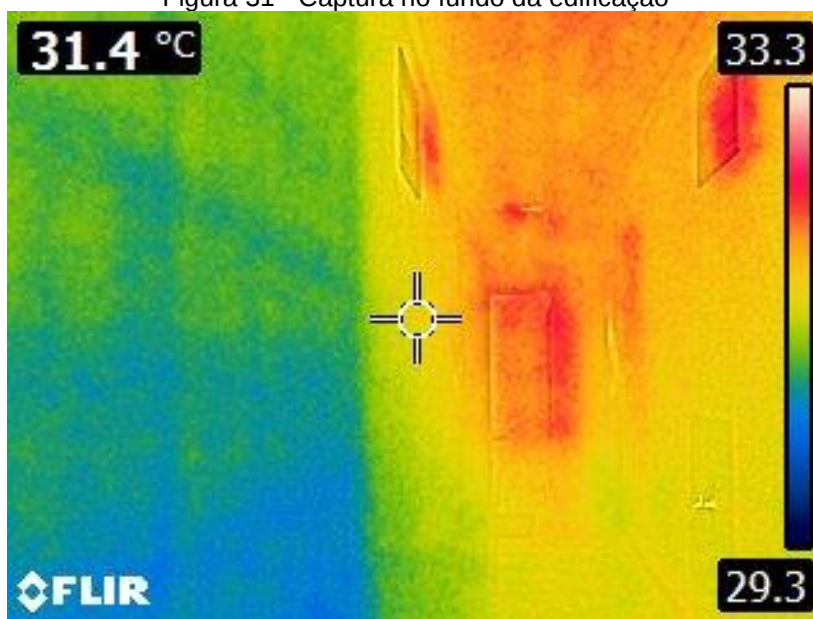
A captura foi realizada no centro da edificação, e foi possível observar uma queda de temperatura em relação às medições feitas na sala voltada para a fachada. Essa diminuição térmica é esperada, pois o centro da edificação está mais afastado da influência direta da radiação solar, resultando em menor ganho de calor. Isso reforça a ideia de que áreas mais expostas à fachada, especialmente aquelas com maior incidência solar, tendem a apresentar temperaturas mais altas, enquanto regiões internas e distantes da fachada mantêm uma temperatura mais amena.



Na Figura acima, é possível observar a infiltração de calor mesmo em áreas distantes da fachada, onde a influência direta da radiação solar é reduzida. Embora essa região esteja mais afastada da superfície externa, ainda assim há um aumento significativo na temperatura, indicando que o calor está se propagando para o interior da edificação. A diferença média de temperatura entre essa área e as regiões mais expostas à fachada foi de 7,3°C, evidenciando como o calor pode se espalhar dentro do ambiente, afetando o conforto térmico mesmo em locais aparentemente isolados da fonte de radiação solar.

No fundo da edificação, a temperatura diminui ainda mais em comparação com as áreas próximas à fachada. A captura foi realizada na extremidade do fundo, onde a influência da radiação solar é quase inexistente. Essa redução térmica é esperada, pois o calor não chega com a mesma intensidade que nas regiões mais expostas à fachada, resultando em temperaturas mais baixas. A Figura 30 ilustra essa captura, confirmando a tendência de menor ganho de calor à medida que nos afastamos da fachada, o que contribui para um ambiente com maior conforto térmico nessa área.

Figura 31 - Captura no fundo da edificação



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 31, as ondas de calor são claramente visíveis, evidenciando a propagação térmica no ambiente. As áreas mais quentes são destacadas, demonstrando o impacto da radiação solar e a distribuição do calor ao longo da edificação.

5.6 ONYX SOLAR E FILMES SOLARES

Os filmes/vidros fotovoltaicos escolhidos para este projeto foram da Onyx Solar, líder mundial na fabricação de vidro fotovoltaico transparente para uso em edifícios. Esse vidro fotovoltaico é utilizado não apenas como material de construção, mas também como gerador de eletricidade, capturando a luz solar e convertendo-a em energia. Os painéis são compostos por camadas de vidro de segurança tratado termicamente, oferecendo o mesmo nível de isolamento térmico e acústico que o vidro arquitetônico convencional, além de permitir a passagem da luz natural, assim como o vidro comum. Esses painéis de vidro fotovoltaico podem substituir o vidro tradicional em fachadas, paredes de cortina, átrios, marquises e pisos de terraços, entre outras aplicações arquitetônicas. Além disso, podem ser instalados em diversos edifícios e instalações existentes, promovendo melhorias tanto estéticas quanto energéticas (Onyx Solar, 2024).

Ao fornecer o mesmo isolamento térmico que o vidro convencional, juntamente com a capacidade de gerar eletricidade limpa e gratuita a partir da energia solar, o

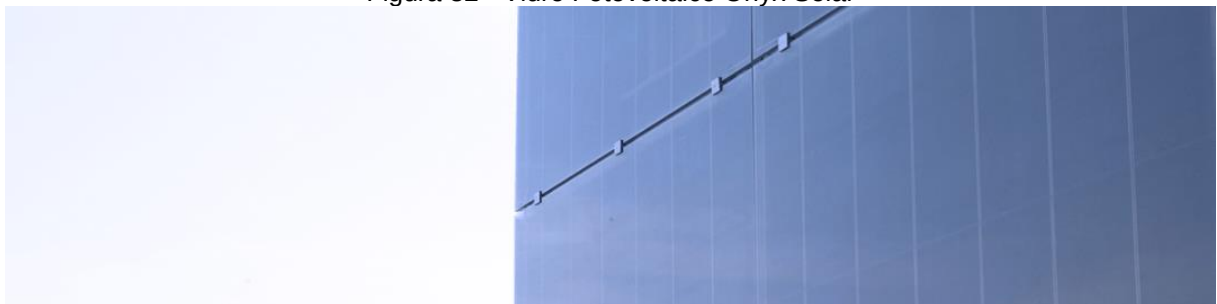
vidro fotovoltaico contribui para aumentar a eficiência energética dos edifícios, reduzir os custos operacionais e de manutenção, além de diminuir a pegada de carbono (Onyx Solar, 2024).

O filme/vidro escolhido para este projeto foi o vidro de silício amorfo (vidro PV), uma tecnologia avançada de vidro fotovoltaico que utiliza células de silício amorfo para converter a luz solar em eletricidade. Esse tipo de vidro é especialmente adequado para aplicações arquitetônicas, pois oferece uma combinação de alta eficiência energética e estética, permitindo a integração de painéis solares diretamente nas fachadas e outras superfícies de vidro de um edifício (Onyx Solar, 2024).

O vidro de silício amorfo é caracterizado por ser flexível e leve, o que facilita sua instalação em diferentes tipos de construções. Ele também é eficiente em capturar luz solar, mesmo em condições de baixa luminosidade, como dias nublados ou ao longo da manhã e tarde, quando a intensidade solar não é tão forte. Além disso, o silício amorfo apresenta uma excelente durabilidade e resistência a condições climáticas adversas, como variações de temperatura e exposição a intempéries, garantindo a longevidade dos painéis fotovoltaicos (Onyx Solar, 2024).

Essa tecnologia permite que o vidro PV seja utilizado não apenas como uma fonte de geração de energia limpa e renovável, mas também como um elemento de *design*, sem comprometer a estética do edifício. Com a capacidade de produzir eletricidade enquanto permite a entrada de luz natural, o vidro de silício amorfo contribui para melhorar a eficiência energética do edifício, reduzir os custos operacionais e minimizar a pegada de carbono, sendo uma solução ideal para construções sustentáveis (Onyx Solar, 2024). A Figura 32 ilustra uma foto real dos vidros fotovoltaico fabricado pela Onyx Solar.

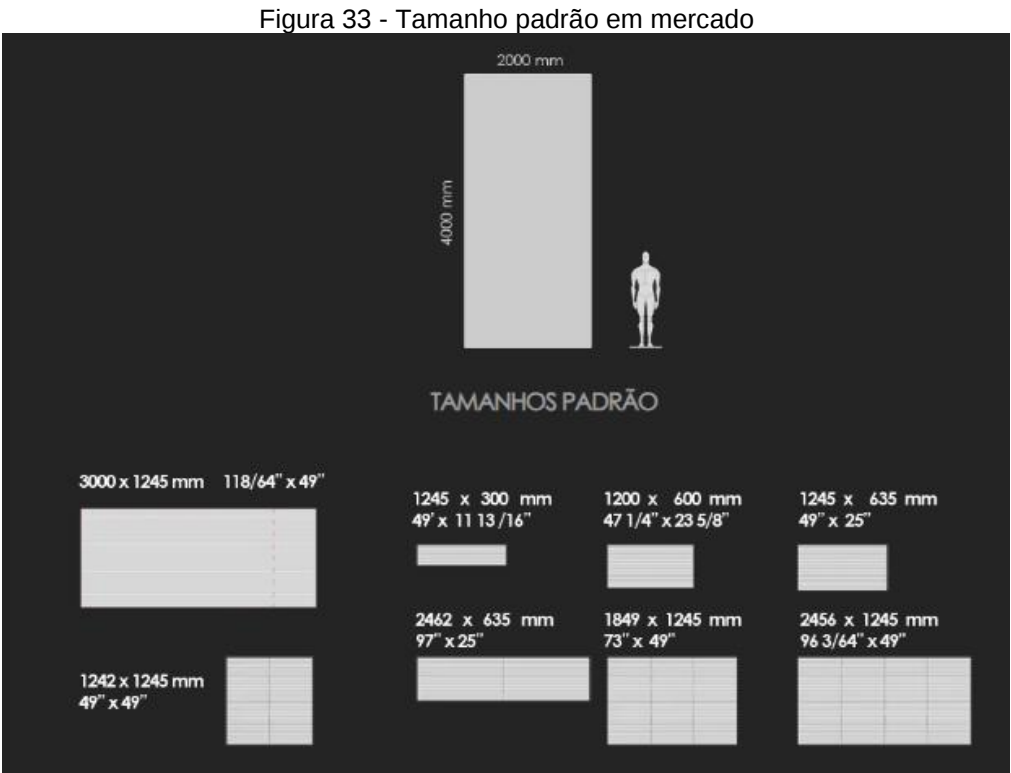
Figura 32 - Vidro Fotovoltaico Onyx Solar



Fonte: Onyx Solar (2024).

5.7 ESPECIFICAÇÕES PADRÕES DA ONYX SOLAR

Os vidros fotovoltaicos da Onyx Solar estão disponíveis em tamanhos padrão que oferecem flexibilidade para diferentes aplicações. Os formatos mais comuns são de 1,0 x 1,5 metros e 1,0 x 2,0 metros, mas a empresa também oferece opções personalizadas para atender às especificidades de cada projeto. Esses painéis são projetados para se integrar de maneira harmoniosa às fachadas, paredes de cortina e outras superfícies, combinando eficiência na geração de energia solar com um *design* estético e inovador. A Figura 33 ilustra os tamanhos disponíveis em mercado, contudo, a depender do tipo de projeto, esses tamanhos podem ser adaptados conforme a arquitetura da edificação.



Fonte: Onyx Solar (2024).

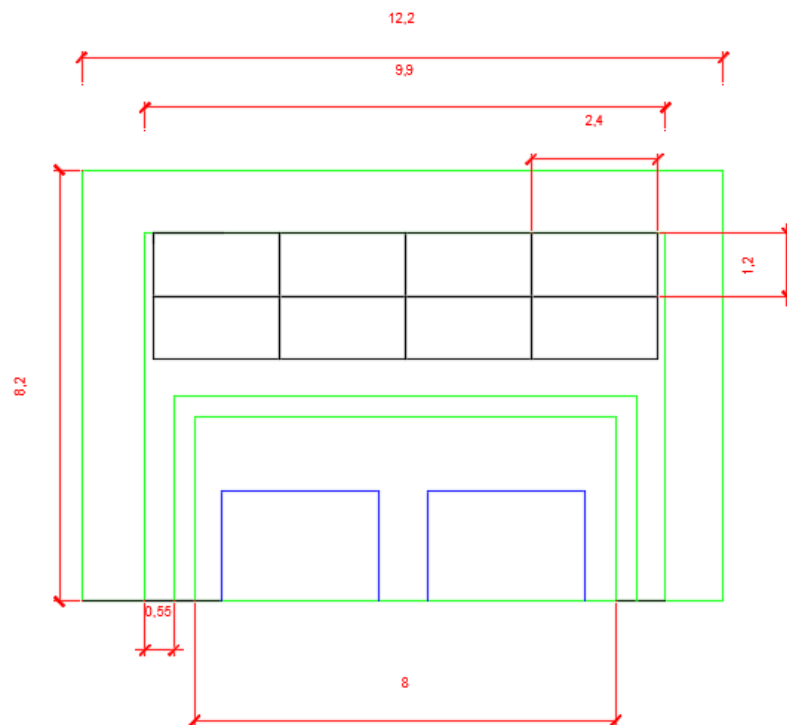
Percebe-se, portanto, que a Onyx Solar oferece uma ampla gama de tamanhos de vidro fotovoltaicos, o que irá proporcionar flexibilidade ao cliente.

5.8 PROJETO DA FACHADA

Em relação aos vidros pré-fabricados oferecidos pela Onyx Solar, a estimativa

para a aplicação na fachada da farmácia/laboratório está ilustrada na Figura 34. Nessa imagem, são apresentados os painéis de vidro fotovoltaico selecionados para a fachada, com base nas opções de tamanhos e formatos fornecidos pela Onyx. Esses vidros foram escolhidos de acordo com as necessidades do projeto, buscando otimizar tanto a eficiência energética quanto a estética da edificação.

Figura 34 - Estimativa quanto a quantidade e tamanho dos vidros



Fonte: Autoria própria.

Conforme ilustrado na Figura 34, foram estimados 8 filmes/vidros de 2,4m x 1,2m para a parte superior da fachada.

5.9 CARACTERÍSTICAS DOS VIDROS/FILMES

O tipo de vidro escolhido para a fachada foi o de transparência média, pois a localização da edificação favorece uma incidência solar média durante o período de maior intensidade solar. Esse tipo de vidro proporciona um equilíbrio entre a entrada de luz natural e o controle do ganho térmico, evitando o aquecimento excessivo do ambiente interno enquanto ainda permite a geração de energia solar.

Figura 35 - Características do tipo de vidro escolhido

TRANSPARÊNCIA MÉDIA						
CONFIGURAÇÃO DE ESPESSURA (mm)**	SHGC	Valor U m ²	Valor U ft ²	Reflexão de luz externa	Transparência	Potência de pico
	%	**W / °K	Btu/h pés ² F	%	%	(Wp/ °K)
3,2+4	34%	5,7	1,00	7,6%	20,0%	34
6T+3,2+6T*	32%	5,2	0,92	7,3%	20,0%	34
6T+3,2+6T/12Ar/6T	14%	2,7	0,48	7,3%	20,0%	34
6T+3,2+6T/12Ar/6T baixa emissividade	12%	1,6	0,28	7,3%	20,0%	34
6T+3,2+6T/12Argon/6T baixa emissividade	12%	1,2	0,21	7,3%	20,0%	34
6T+3,2+6T/12Argon/4/12Argon/6T baixa emissividade	12%	1,0	0,18	7,3%	20,0%	34

Fonte: Onyx Solar (2024).

5.10 DIMENSIONAMENTO QUANTO A ÁREA E FILMES DISPONÍVEIS EM MERCADO

O dimensionamento dos vidros fotovoltaicos levou em consideração diversos fatores específicos da edificação, incluindo a localização em Uiraúna-PB e a área disponível de 28 metros quadrados para a instalação dos painéis. Além disso, foram avaliados a potência de instalação necessária, o ângulo de 90º para otimizar a captação solar e a orientação da fachada, conforme visualizado no Google Earth.

Quadro 1 - Resultados

ENERGIA GERADA EM 35 ANOS	149,311 KWH
TOTAL DE PONTOS DE ILUMINAÇÃO FUNCIONANDO 4 HORAS POR DIA	293 Luzes
EMISSIONES DE CO2 EVITADAS EM 35 ANOS	100 t CO2
BARRIS DE PETRÓLEO ECONOMIZADOS EM 35 ANOS	88 Barris
LITROS DE PETRÓLEO ECONOMIZADOS EM 35 ANOS	13,970 Litros
QUILOMETRIA DO CARRO ELÉTRICO EM 35 ANOS GRAÇAS À ENERGIA GERADA	858,539 km
ÁRVORES PLANTADAS NA AMAZÔNIA GRAÇAS À INSTALAÇÃO	28 Árvores

Fonte: Autoria própria.

A Figura 36 ilustra os cálculos realizados utilizando lâmpadas energeticamente eficientes de 12 W. Esses cálculos foram feitos com o objetivo de analisar o consumo de energia e o desempenho das lâmpadas, considerando sua eficiência em termos de iluminação e economia de energia. A escolha das lâmpadas de 12 W reflete uma abordagem distinta para a sustentabilidade e a redução do consumo elétrico, destacando os benefícios de optar por soluções mais eficientes.

Figura 36 - Resultados

Month	E _d	E _m	H _d	H _m
January	13.34	413.48	3.09	95.68
February	13.70	383.69	3.19	89.25
March	15.66	485.56	3.68	114.02
April	13.98	419.34	3.30	99.09
May	13.24	410.55	3.21	99.48
June	13.41	402.26	3.32	99.71
July	14.59	452.42	3.65	113.18
August	16.41	508.66	4.03	124.96
September	16.03	480.85	3.86	115.90
October	15.31	474.50	3.63	112.39
November	12.10	362.98	2.83	84.90
December	11.15	345.51	2.58	80.13
Yearly average	14.08	428.32	3.36	102.39
Total for year		5,139.80		1,228.70

Fonte: Onyx Solar (2024).

Legenda:
Ed: Produção média diária de eletricidade de um determinado sistema (kWh).
Em: Produção média mensal de eletricidade de um determinado sistema (kWh).
Hd: Soma média diária da irradiação global por metro quadrado recebida pelos módulos do determinado sistema (kWh/m2).
Hm: Soma média da irradiação global por metro quadrado recebida pelos módulos do determinado sistema (kWh/m2).

5.11 DIMENSIONAMENTO QUANTO AS ADAPTAÇÕES JUNTO TODA ÁREA DA FACHADA EM VIDRO

O dimensionamento dos vidros fotovoltaicos considerou vários fatores relevantes para a edificação, incluindo sua localização em Uiraúna-PB e a área disponível de 41,15 metros quadrados para a instalação dos filmes. Também foram analisados a potência necessária para a instalação, o ângulo de 90º para otimizar a captação solar e a orientação da fachada, conforme indicado no Google Earth.

Quadro 2: Resultados adaptados a área da fachada escolhida

ENERGIA GERADA EM 35 ANOS	218,738 KWH
TOTAL DE PONTOS DE ILUMINAÇÃO FUNCIONANDO 4 HORAS POR DIA	429 Luzes
EMISSIONES DE CO2 EVITADAS EM 35 ANOS	147 t CO2
BARRIS DE PETRÓLEO ECONOMIZADOS EM 35 ANOS	129 Barris
LITROS DE PETRÓLEO ECONOMIZADOS EM 35 ANOS	20,466 Litros
QUILOMETRIA DO CARRO ELÉTRICO EM 35 ANOS GRAÇAS À ENERGIA GERADA	1,257,744 km

ÁRVORES PLANTADAS NA AMAZÔNIA GRAÇAS À INSTALAÇÃO	41 Árvores
--	------------

Fonte: Autoria própria.

A Figura 37 apresenta cálculos que seguem as mesmas especificações exigidas na Figura 36, utilizando lâmpadas energeticamente eficientes de 12 W. Os parâmetros de análise e os critérios de avaliação permanecem consistentes, garantindo a comparabilidade dos resultados e a uniformidade dos dados obtidos. Dessa forma, a continuidade entre as Figuras 36 e 37 permite uma análise mais aprofundada das condições energéticas e da eficiência.

Figura 37 - Resultados

Month	E_d	E_m	H_d	H_m
January	19.19	594.94	3.03	93.79
February	19.82	555.04	3.14	87.78
March	22.87	708.89	3.65	113.26
April	20.60	617.99	3.31	99.18
May	19.68	610.12	3.23	100.28
June	20.06	601.75	3.37	100.98
July	21.79	675.57	3.69	114.53
August	24.32	753.95	4.06	125.82
September	23.48	704.30	3.84	115.29
October	22.21	688.52	3.58	111.03
November	17.41	522.41	2.77	83.19
December	16.01	496.23	2.53	78.40
Yearly average	20.62	627.48	3.35	101.96
Total for year		7,529.71		1,223.53

Fonte: Onyx Solar (2024).

Legenda:

- Ed: Produção média diária de eletricidade de um determinado sistema (kWh).
- Em: Produção média mensal de eletricidade de um determinado sistema (kWh).
- Hd: Soma média diária da irradiação global por metro quadrado recebida pelos módulos do determinado sistema (kWh/m2).
- Hm: Soma média da irradiação global por metro quadrado recebida pelos módulos do determinado sistema (kWh/m2).

Vale a pena adaptar a precisão do sistema fotovoltaico para considerar tanto a produção diária quanto a mensal, assim como a irradiação solar recebida pelos módulos. Essa adaptação permite uma análise mais precisa da eficiência do sistema, possibilitando ajustes específicos de acordo com as variações nas condições de irradiação ao longo do tempo.

Ao comparar os resultados dos filmes fotovoltaicos disponíveis no mercado com aqueles adaptados especificamente para a edificação, é evidente uma diferença significativa em termos de desempenho. Essa personalização oferece uma vantagem

considerável, pois os painéis projetados levando em conta a orientação, o ângulo e as condições climáticas locais podem otimizar a captação de energia solar. Entre os principais benefícios dessa adaptação estão a melhoria na eficiência energética, a redução de custos operacionais, o aumento do conforto térmico interno e a integração estética dos painéis na fachada, o que contribui para a sustentabilidade e valorização do imóvel. Assim, a personalização se mostra uma estratégia eficaz para maximizar os resultados energéticos e financeiros da edificação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar é uma fonte abundante e sustentável, que pode ser transformada em diferentes formas de energia utilizáveis. Dentre essas formas, a energia fotovoltaica se destaca como uma das soluções mais acessíveis para quem deseja gerar eletricidade no próprio local de consumo. A combinação entre arquitetura e tecnologia fotovoltaica é uma área promissora, sendo cada vez mais utilizada para a instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica (SFV).

Inicialmente, é importante destacar que a edificação não possui aberturas, como janelas, que permitam a entrada de radiação solar direta no seu interior, nem fontes internas de calor. Nesse contexto, o sistema BIPV/T é a principal fonte de energia térmica ativa responsável pela transferência de calor para o ambiente interno. O sistema construtivo, por não ser completamente adiabático, permite a troca de calor através da envoltória da edificação. Contudo, os materiais isolantes utilizados garantiram uma transmissão térmica significativamente inferior aos valores recomendados pelas normas brasileiras.

A tecnologia fotovoltaica aplicada aos edifícios oferece vantagens em áreas densamente povoadas, pois pode gerar eletricidade durante os horários de pico, reduzindo as perdas associadas à transmissão, deslocamento e distribuição de energia. Os módulos fotovoltaicos, além de produzirem eletricidade, podem substituir materiais convencionais na construção, atuando simultaneamente nas funções de geração de energia e uso. Essa tecnologia também pode agregar valor estético ao edifício, funcionando como um elemento multifuncional, além de reduzir os custos de planejamento.

Adaptar fachadas a filmes fotovoltaicos mostra uma estratégia altamente vantajosa tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. A integração de tecnologia solar nas construções não apenas contribui para a redução de custos com energia elétrica, mas também diminui a pegada de carbono, auxiliando na construção de um futuro mais sustentável. O uso de filmes fotovoltaicos oferece uma solução inovadora, transformando superfícies normalmente inativas em geradores de energia limpa, o que agrega valor e modernidade aos estabelecimentos que adotam essa tecnologia.

Os dimensionamentos fornecidos pela Onyx Solar confirmam que essa adaptação é, de fato, rentável a longo prazo. A empresa, especializada em soluções

de energia solar integrada à arquitetura, aponta que a instalação de filmes fotovoltaicos em fachadas pode gerar uma economia significativa, tornando o investimento inicial compensado rapidamente. Além disso, a durabilidade dos materiais e a eficiência energética garantem que os benefícios se estendem por muitos anos, proporcionando uma excelente relação custo-benefício

Além dos ganhos financeiros e ambientais, a adoção de filmes fotovoltaicos em fachadas representa um diferencial competitivo importante para os estabelecimentos. Esse tipo de solução inovadora melhora a imagem corporativa, demonstra responsabilidade ambiental e atrai um público consciente das questões climáticas e energéticas. Assim, a implementação dessa tecnologia não só melhora o desempenho energético do edifício, como também fortalece sua posição no mercado, promovendo uma imagem de vanguarda e compromisso com a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ASHRAE. **Handbook of Fundamentals**. Nova Iorque: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2005.

BALJIT, S. S. S.; CHAN, H. Y.; SOPIAN, K. Review of building integrated applications of photovoltaic and solar thermal systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 677-689, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616310460>. Acesso em: 09 out. 2024.

CÂMERA Termográfica 19.200 pixels com Nuvem Ignite Flir e5 Pro. **MRE Ferramentas**, 2024. Disponível em: https://www.mreferramentas.com.br/termografia/camera-portatil-ex/camera-termografica-19-200-pixels-com-nuvem-ignite-flir-e5-pro?gad_source=1. Acesso em: 3 out. 2024.

CHIVELET, N. M.; SOLLA, I. F. **Técnicas de vedação fotovoltaicas na arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

CLEMENTE, P. B.; SILVA, G. R.; SALLES, L. C. **Sol: suas origens e seus elementos químicos**. 2009. Monografia (Graduação em Química) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <https://pet.iqsc.usp.br/files/Monografia-sol.pdf>. Acesso em: 10 out. 2024.

FACHADA fotovoltaica en el Museo Público de Milwaukee. **Construible**, 2014. Disponível em: <https://www.construible.es/2014/12/10/fachada-fotovoltaica-en-el-museo-publico-de-milwaukee>. Acesso em: 10 out. 2024.

GOOGLE EARTH. Uiraúna-PB. **Google**, 2024. Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/>. Acesso em: 20 set. 2024.

HOYT, T *et al.* **CBE Thermal Comfort Tool**. Berkeley: University of California, 2019. Disponível em: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>. Acesso em: 01 out. 2024.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: ELETROBRAS/PROCEL, 2017. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em: 02 out. 2024.

LIMA, K. Módulos Fotovoltaicos: Entenda Tudo Sobre. **Revlo**, 2024. Disponível em: <https://revlo.com.br/modulos-fotovoltaicos-entenda-tudo-sobre/>. Acesso em: 10 out. 2024.

MAHFUZ, E. da C. Nada provém do nada: a produção da arquitetura vista como transformação de conhecimento. **Projeto**, n. 69, *online*, 1995. Disponível em: https://203f4a27-f7ac-4fe3-abdc-a9cc39fece80.filesusr.com/ugd/85c201_d44f45f27edc484a84439fa49947eeb1.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.

MARAGNO, G. V. **Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande - MS**. 2000. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1699/000355447.pdf>. Acesso em: 10 out. 2024.

MOTA, B. C.; NUNES, L. A. **Filme fotovoltaico orgânico**: viabilidade técnica e econômica para utilização em fachadas. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2020. Disponível em: <https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/24c7957a-0ed8-47ff-a3f6-3ef1c12347f5/content>. Acesso em: 10 out. 2024.

ONS. Dados de geração distribuída. **Aneel**, 2024. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp. Acesso em: 02 out. 2024.

ONYX SOLAR. Vidro Fotovoltaico. **Onyx Solar**, 2024. Disponível em: <https://onyxsolar.com/>. Acesso em: 4 out. 2024.

PEREIRA, E *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.15.18.20/doc/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_rev-01-compactado.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Grupo de Trabalho de Energia Solar, 2014. Disponível em: https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.

SOUSA, M. Prédio em Goiás tem maior fachada com filmes solares do mundo. **Ciclo Vivo**, 2020. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/predio-goias-fachada-energia-solar/>. Acesso em: 24 ago. 2024.

TRIPANAGNOSTOPOULOS, Y *et al.* Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar Systems. **Solar Energy**. v. 72, n. 3, p. 217-234, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X01000962>. Acesso em: 14 ago. 2024.

WEATHER SPARK. Clima e condições meteorológicas médias em Uiraúna no ano todo. **Weather Spark**, 2024. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/31094/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Uira%C3%BAna-Para%C3%ADba-Brasil-durante-o-ano#:~:text=Ao%20longo%20do%20ano%2C%20em,superior%20a%2039%20%C2%B0C>. Acesso em: 20 ago. 2024.

WEBBSEN, L. Clima da Paraíba. **Infoescola**, 2024. Disponível em: <https://www.infoescola.com/geografia/clima-da-paraiba/>. Acesso em: 20 ago. 2024.

YANG, T; ATHIENITIS, A. K. A review of research and developments of

buildingintegrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 886-912, 2016. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v66y2016icp886-912.html>. Acesso em: 24 ago. 2024.