



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E AGRÁRIAS
TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

DANIELY ALVES DE SOUSA

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO LEVANTAMENTO DE NECESSIDADES
ENERGÉTICAS E DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO APLICADO À
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO DO MUNICÍPIO DE NAZAREZINHO-PB**

**SOUSA-PB
2025**

DANIELY ALVES DE SOUSA

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO LEVANTAMENTO DE NECESSIDADES
ENERGÉTICAS E DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO APLICADO À
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO DO MUNICÍPIO DE NAZAREZINHO-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à da Universidade Estadual da Paraíba, como parte das exigências do curso de Tecnologia em Sistemas de Energias Renováveis, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnóloga em Energias Renováveis.

Área de concentração: Energia Solar Fotovoltaica.

Orientador: Prof. Me. Thomas Tadeu de Oliveira Pereira.

**SOUSA-PB
2025**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S725e Sousa, Daniely Alves de.

Estudo de caso [manuscrito] : análise do levantamento de necessidades energéticas e do sistema solar fotovoltaico aplicado à secretaria de educação do município de Nazarezinho-PB / Daniely Alves de Sousa. - 2025.
49 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Energias renováveis) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Humanas e Agrárias, 2025.

"Orientação : Prof. Me. Thomas Tadeu de Oliveira Pereira, Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Energias Renováveis - CCHA".

1. Escolas públicas. 2. Sistema fotovoltaico. 3. Eficiência energética. 4. Sustentabilidade. I. Título

21. ed. CDD 333.79

DANIELY ALVES DE SOUSA

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO LEVANTAMENTO DE NECESSIDADES
ENERGÉTICAS E DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO APLICADO À
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO DO MUNICÍPIO DE NAZAREZINHO-PB

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Energias Renováveis da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito parcial
à obtenção do título de Tecnóloga em
Sistemas de Energias Renováveis

Aprovada em: 06/06/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado eletronicamente por:

- **João Paulo Dantas de Carvalho** (***.185.134-**), em **12/06/2025 15:33:05** com chave **ae5a31c647bb11f08ea31a1c3150b54b**.
- **Thomas Tadeu de Oliveira Pereira** (***.001.714-**), em **12/06/2025 13:00:01** com chave **4c18d50e47a611f09a5606adb0a3afce**.
- **Anderson Alberto Pinto Torres** (***.547.004-**), em **12/06/2025 14:54:21** com chave **44f7b7e447b611f08fd61a7cc27eb1f9**.

Documento emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Folha de Aprovação do Projeto Final

Data da Emissão: 13/06/2025

Código de Autenticação: 94db83



Dedico esse trabalho a minha mãe, meu pai, meus irmãos e ao meu noivo, que foram meu alicerce ao longo dessa caminhada. Agradeço por todo o incentivo, apoio e amor que me deram nos momentos que mais precisei. Sem vocês, essa conquista não seria possível.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio, incentivo e colaboração de muitas pessoas especiais, às quais deixo aqui minha sincera gratidão.

Primeiramente, agradeço a Deus, por me dar força, saúde e sabedoria para seguir firme em cada etapa dessa caminhada.

Aos meus pais, Maria de Fatima e Antonio, que sempre foram minha base, oferecendo amor incondicional, apoio nos momentos mais difíceis e incentivo constante para que eu nunca desistisse dos meus sonhos.

Aos meus irmãos, Solange, Elizângela e Anderson, por estarem ao meu lado com palavras de ânimo e companheirismo. Cada conversa encorajadora e cada sorriso oferecido com amor foram fundamentais para que eu seguisse em frente com coragem e determinação. Ter vocês por perto tornou essa jornada mais leve e significativa.

Ao meu noivo, Caio Henrique, minha eterna gratidão por estar ao meu lado em todos os momentos, especialmente nos mais difíceis. Sua paciência, sua compreensão e, acima de tudo, sua fé em mim, mesmo quando eu mesma me sentia insegura, foram fundamentais para que eu não desistisse. Obrigada por cada palavra de incentivo, por cada gesto de cuidado, por me ouvir com atenção e por me lembrar do meu valor quando eu esquecia. Você foi meu porto seguro, minha força silenciosa, meu maior apoiador durante essa caminhada. Sem o seu amor, seu apoio constante e sua dedicação, eu não teria conseguido chegar até aqui. Este trabalho também é seu, porque foi construído com a força de quem caminhou comigo o tempo todo.

Agradeço também aos professores e meu orientador Thomas Tadeu, pelo conhecimento transmitido, pela dedicação e pelas orientações que enriqueceram este trabalho.

Aos colegas e amigos que estiveram presentes ao longo desta jornada, pelas valiosas trocas de experiências e aprendizados compartilhados. Um agradecimento especial às minhas amigas Beatriz e Eduarda, pelo apoio constante, pelas risadas que tornaram o caminho mais leve. A parceria construída, o nosso “grupo de três” permanecerá como uma lembrança marcante desta trajetória.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu mais sincero muito obrigada.

“Não tenho medo de errar só medo de desistir, mas tenho 20 e poucos anos e não vou parar aqui.”

(Lagum)

RESUMO

Este trabalho analisa a demanda energética da Secretaria de Educação do município de Nazarezinho-PB e avalia a implementação de um sistema solar fotovoltaico como solução sustentável. Para isso, será realizado um levantamento detalhado do consumo energético das unidades educacionais, considerando os consumos mensais, além da análise do potencial de geração de energia solar das unidades, com base na irradiação solar e nas condições climáticas locais. Também serão investigadas políticas públicas e incentivos disponíveis para a adoção de sistemas de energias renováveis, além de desenvolver um dimensionamento do sistema fotovoltaico necessário para suprir o potencial identificada. As despesas econômicas serão avaliadas considerando custos de instalação, manutenção e economia gerada na redução das despesas com energia elétrica. Os resultados esperados são a viabilidade técnica-financeira, bem como os benefícios ambientais e sociais da proposta, como a redução do vestígio de carbono e a conscientização da comunidade escolar sobre práticas sustentáveis, além de oferecer um modelo escalável em outras instituições públicas.

Palavras-chave: escolas públicas; sistema fotovoltaico; eficiência energética; sustentabilidade.

ABSTRACT

This paper analyzes the energy demand of the Department of Education of the municipality of Nazarezinho-PB and evaluates the implementation of a photovoltaic solar system as a sustainable solution. To this end, a detailed survey of the energy consumption of the educational units will be carried out, considering monthly consumption, in addition to the analysis of the potential for generating solar energy of the units, based on solar irradiation and local climate conditions. Public policies and incentives available for the adoption of renewable energy systems will also be investigated, in addition to developing a dimensioning of the photovoltaic system necessary to meet the identified potential. The economic expenses will be evaluated considering installation and maintenance costs and savings generated by reducing electricity expenses. The expected results are the technical-financial feasibility, as well as the environmental and social benefits of the proposal, such as the reduction of the carbon footprint and the awareness of the school community about sustainable practices, in addition to offering a scalable model in other public institutions.

Keywords: public schools; photovoltaic system; energy efficiency; sustainability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Contextualização do tema	13
1.2 Justificativa	14
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo geral	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Energia fotovoltaica: conceitos e princípios	17
2.2 Geração distribuída: conceitos, normas, modelos, tipos	17
2.3 Benefícios da energia solar em instituições públicas	20
2.4 Panorama da energia solar no Brasil	22
3 METODOLOGIA	26
3.1 Caracterização do estudo de caso	26
3.2 Localização e caracterização das escolas municipais de Nazarezinho-PB	26
3.3 Coleta de dados: métodos e ferramentas	27
3.4 Análises de sombreamento	29
3.5 Cálculo do potencial fotovoltaico	30
3.6 Análise da viabilidade econômica	32
3.7 Limitações do estudo	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 Potencial fotovoltaico estimado nas escolas	33
4.2 Análise do sombreamento na geração das escolas	35
4.3 Comparação com a demanda energética das instituições	38
4.4 Análise dos custos e benefícios	40
4.5 Implementações para a gestão pública e a educação	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

A energia desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da sociedade, pois é essencial para atender às necessidades básicas de alimentação, habitação, transporte e conforto. Nesse contexto, é evidente a ligação entre o consumo de energia e o progresso econômico, assim como a relação entre o uso de energia e a qualidade de vida. A disponibilidade energética é um requisito indispensável para promover o desenvolvimento socioeconômico de regiões menos favorecidas. Com os avanços tecnológicos e o aumento da preocupação com a gestão ambiental, a sustentabilidade tem ganhado destaque. Nesse sentido, a utilização consciente dos recursos naturais surge como uma estratégia importante para minimizar os impactos ambientais e promover um equilíbrio entre o desenvolvimento.

A tecnologia fotovoltaica tem se destacado entre as diversas formas de geração de energia elétrica a partir da fonte solar, especialmente devido à sua praticidade. Esse processo utiliza células fotovoltaicas que convertem a luz do sol diretamente em eletricidade. Essas células são agrupadas em módulos com diferentes capacidades, que são os produtos comercializados no mercado. Os módulos serão utilizados isoladamente ou combinados para formar sistemas de geração de energia de tamanhos variados, sendo aplicáveis tanto em sistemas autônomos (*off grid*) quanto em sistemas conectados à rede elétrica (*on grid*) (Bezerra *et al.*, 2021).

O Brasil é um país que possui grande potencial para o aproveitamento desse recurso devido a sua posição geográfica com grande incidência de raios solares. O cenário nacional, juntamente com o incentivo de políticas públicas, tem permitido o crescimento da geração própria de energia elétrica e o sistema fotovoltaico tem se mostrado com uma boa aceitação, apesar do elevado custo da instalação devido a maioria dos equipamentos serem importados. Por se tratar de uma fonte de energia limpa e renovável a energia solar fotovoltaica vem se mostrando de melhor qualidade, fácil instalação e manutenção podendo ser instalada em áreas remotas onde a energia elétrica não chega para população, fonte inesgotável de energia pois se alimenta da incidência dos raios solares. Os sistemas fotovoltaicos vêm substituindo com vantagens os outros meios de produção de energia elétrica tradicionais, designadamente nas aplicações de pequena potência, onde a sua difusão é muito significativa (Oliveira, 2023).

A escassez das chuvas, também tem ocasionado um considerável aumento

das tarifas de energia elétrica, pois devido ao baixo volume nos reservatórios das hidrelétricas as termelétricas entram em operação intensamente a fim de suprir a demanda de energia, sendo esta, considerada uma fonte de energia elétrica mais onerosa que por sua vez o custeio é repassado ao consumidor. Por isto, nos últimos anos a conta de energia elétrica para o consumidor tem crescido de forma significativa (Bezerra, 2022). Isso acontece, pois a maior parte da matriz elétrica brasileira é composta por hidrelétricas.

A aplicação da Energia Fotovoltaico, nas instituições públicas seria um benefício tanto a economia com a redução de custos quanto para minimizar o impacto ambiental, mas traz também benefícios para os alunos. Com a economia criada, mas recursos podem ser direcionados para melhorias e qualidade de ensino. Além disso, o contato com energias sustentáveis incentiva o aprendizado sobre energias renováveis, motivando os jovens para ter uma maior conscientização com o meio ambiente, os incentivando a aderir hábitos mais responsáveis no futuro (Heleno; Cornils, 2018).

1.1 Contextualização do tema

A energia solar fotovoltaica tem se tornado uma grande alternativa sustentável e eficaz na produção de eletricidade, em particular em locais com grande consumo energético, como em escolas públicas. Com crescente atenção no cuidado ao meio ambiente e a importância de reduzir custos com energia elétrica, muitas escolas tem usado esse recurso. Além de facilitar a condição financeira dos cofres públicos, ainda incentiva o conhecimento sobre a energia limpa, estimulando os alunos a costumes mais sustentáveis desde de muito jovens.

Sustentabilidade, preocupação com a redução dos poluentes e dos impactos ambientais são assuntos pertinentes a todos. A humanidade atualmente retira suas fontes energéticas da natureza de forma viciosa e a continuidade desta prática poderá causar o esgotamento dos recursos naturais nos próximos 50 anos. Ainda hoje é possível encontrar novas fontes de energias não renováveis, a exemplo os campos de petróleo, a um custo altíssimo e em águas profundas. Mas nota-se que não acompanha o crescimento populacional e econômico. Como principal substituta dos combustíveis fósseis, a perspectiva das pesquisas e mercado apontam a energia

solar como melhor opção, pois o uso da energia solar fotovoltaica não é poluente, é compacta e tem baixo custo de manutenção (Silva; Araujo, 2022).

Isto posto observa-se a importância de compreender de que maneira o uso das placas fotovoltaicas influencia na busca pela sustentabilidade. O Brasil é um país com alto índice de irradiação solar, sendo, portanto, o uso desta energia renovável uma importante alternativa para a busca por uma sociedade sustentável. Apesar dos altos custos ainda atrelados ao uso desta tecnologia, diversos estudos têm sido realizados a fim de ampliar os conhecimentos e também baratear os gastos para que cada vez mais pessoas tenham acesso a esta tecnologia (Silva; Araújo, 2022).

A crise energética atual, ainda que centrada na ideia de possível escassez da matriz energética mais utilizada, o petróleo, por suas limitadas e dispersas reservas no planeta, tornou-se ameaçadora para tudo o que existe no planeta. A percepção de crise, ou de sua ameaça, para os distintos setores sociais, relacionada aos ambientes, tem sido permanente, mas de modo distinto (Miranda, 2022).

Diante desse cenário, a busca por soluções sustentáveis vem se tornando fundamental, e a energia solar fotovoltaica surge como uma alternativa prática e eficiente. Dessa forma, a escolha desse recurso não apenas reduz os gastos com eletricidade, além de ajudar na redução de fontes poluentes, garantindo mais uma energia mais sustentável. E trazendo aos alunos um conhecimento prático do uso inteligente dos recursos naturais.

1.2 Justificativa

As crescentes preocupações com a sustentabilidade ambiental e a procura por fontes de energia renováveis têm impulsionado a implementação de tecnologias que viabilizam a eficiência energética. Nesse contexto, o uso de sistemas de energia solar fotovoltaica se destaca como uma alternativa possível e sustentável, especialmente em instituições públicas, como as secretarias de educação. Este trabalho de conclusão de curso (TCC) propõe um estudo de caso que analisa o levantamento das demandas energéticas da Secretaria de Educação do município de Nazarezinho e a viabilidade da implementação de um sistema solar fotovoltaico.

Nazarezinho-PB, assim como muitas localidades do Brasil, enfrenta desafios relacionados ao consumo energético, que afetam diretamente na administração dos recursos públicos e na qualidade dos serviços prestados à população. A secretaria de

educação, responsável por garantir o funcionamento das escolas e a proposta de uma educação de qualidade, necessita de um gerenciamento eficiente de suas demandas energéticas. A análise das necessidades elétricas desta secretaria é fundamental para identificar limitações e oportunidades de melhoria, podendo gerar em economia de custos e redução de impactos ambientais. A instalação de um sistema solar fotovoltaico se mostra como uma solução inovadora que pode atender a essas demandas energéticas de maneira sustentável. A energia solar é uma fonte limpa, abundante e cada vez mais acessível, além de contribuir para a redução da dependência de fontes fósseis e reduzir o vestígio de carbono da instituição. Considerando o potencial solar da região e as vantagens econômicas relacionadas à energia gerada, este estudo busca avaliar a viabilidade técnica e econômica da implementação de um sistema solar fotovoltaico na Secretaria de Educação de Nazarezinho-PB.

A relevância deste trabalho se estende não apenas ao setor da educação, mas também ao desenvolvimento sustentável do município. Ao propor um modelo que pode ser replicado em outras instituições e localidades, a pesquisa contribui para a debates sobre a transição energética e a importância de iniciativas que promovam a preservação e o uso responsável dos recursos naturais. Além disso, ao abordar a implementação de tecnologias renováveis, o TCC busca sensibilizar a comunidade escolar e a sociedade em geral sobre a importância da implementar práticas sustentáveis no dia a dia.

Em suma, este estudo de caso é justificado pela necessidade de compreender as demandas energéticas da Secretaria de Educação de Nazarezinho e a viabilidade da implementação de um sistema solar fotovoltaico, visando promover eficiência, economia e sustentabilidade. A pesquisa não apenas se alinha às diretrizes atuais de incentivo às energias renováveis, mas também representa uma oportunidade de transformar a gestão energética do setor público, contribuindo para um futuro mais sustentável e consciente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Analisar as necessidades energéticas da Secretaria de Educação do Município de Nazarezinho e avaliar a viabilidade da implementação de um sistema solar fotovoltaico como solução sustentável para atender a essas demandas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar um levantamento detalhado das necessidades energéticas da Secretaria de Educação, considerando os consumos mensais e os horários de pico.
- Identificar as características do consumo energético das unidades educacionais sob a responsabilidade da Secretaria de Educação, como escolas.
- Avaliar o potencial de geração de energia solar na região de Nazarezinho, levando em conta a irradiação solar e as condições climáticas locais.
- Desenvolver um dimensionamento preliminar do sistema solar fotovoltaico necessário para suprir as demandas energéticas identificadas.
- Analisar a viabilidade econômica da implementação do sistema solar fotovoltaico, considerando custos de instalação, manutenção e possíveis economias na conta de energia.
- Propor um plano de implementação do sistema solar fotovoltaico, incluindo cronograma, etapas do projeto e recomendações para a gestão da energia gerada.
- Discutir os benefícios sociais e ambientais da adoção de sistemas solares fotovoltaicos na Secretaria de Educação, promovendo a conscientização sobre a sustentabilidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Energia fotovoltaica: conceitos e princípios

A energia solar fotovoltaica é a energia elétrica captada através radiação solar por meio de células fotovoltaicas, e transformação em energia elétrica, essas células fotovoltaicas basicamente são responsáveis por captar os raios oriundos do sol e transforma-los em energia que pode ser utilizada pelo homem, onde a geração de energia solar acontece dentro da célula ao passo que ocorre uma reação da luz do sol com o material semicondutor, que por sua vez, admite à placa fotovoltaica uma combinação de vários elementos sobrepostos (Santos *et al.*, 2020).

Além

As ondas eletromagnéticas, ao incidirem sobre determinados materiais, além de transmitir calor, podem produzir, alterações nas propriedades elétricas ou originar tensões e correntes elétricas. Existem diversos efeitos da radiação e eletromagnética sobre os corpos, sendo dois deles os efeitos fotovoltaico e fotoelétrico (Silva; Araújo, 2022).

Módulos fotovoltaicos são fabricados com células de silício, com características semicondutoras. O silício é um dos elementos mais abundantes no nosso planeta, corresponde a cerca de 25% da massa da crosta terrestre. Encontrado em rochas e em minérios (quartzo, feldspato e mica), até a areia é em parte composta por silício (SILVA; ARAÚJO, 2022).

2.2 Geração distribuída: conceitos, normas, modelos, tipos

Segundo Ivan (2022) A geração distribuída é definida na Lei nº 5.163/2004, artigo 14, como a produção de energia elétrica provenientes de concessionárias, permissionárias ou autorizadas que estejam diretamente ligadas ao sistema de distribuição elétrica do comprador, com exceção de usinas hidrelétricas com capacidade instalada superior a 30 MW e usinas termelétricas, incluindo cogeração, com eficiência energética inferior a 75%.

A geração distribuída associada à energia renovável foi uma maneira encontrada pelos investidores, empresários e governantes para minimizar a pressão ambientalista e atender o elevado consumo energético mundial sempre crescente. Dessa forma, o principal fator impulsionador da geração distribuída foi a possibilidade de gerar energia elétrica através de fontes renováveis como a eólica e a solar e, adicionalmente, reaproximar a geração do seu consumidor final, principalmente nas áreas industrial e comercial, onde estão localizados os maiores volumes de carga e produção de gases tóxicos ao meio ambiente (Naruto, 2017).

No atual cenário brasileiro da geração de energia solar, existem inúmeros entraves para uma adoção em maior escala dessa tecnologia, porém um dos principais problemas encontrados refere-se a conflitos que surgem entre os prosumidores e as agências reguladoras. O primeiro é motivado por razões não apenas economicamente racionais, mas também influenciados por questões socioculturais e ambientais. Eles desejam otimizar seu uso de eletricidade e combiná-lo com suas necessidades, reduzindo o consumo de recursos, emitindo menor quantidade de gases do efeito estufa e agredindo menos o meio ambiente, enquanto diminuem seus gastos monetários (Ceolin, Eriton Steindorff, 2021).

Segundo Ceolin, Eriton Steindorff (2021), o último deseja manter seu papel soberano como mantenedor do bem-estar social, garantindo uma tomada de decisão justa e equitativa e fornecendo benefícios para todos os membros da sociedade em cada estágio do ciclo de energia (desde a geração da energia até sua distribuição). Por isso, é seu dever balancear a forma como as políticas atingem a parte da população inclusa na geração distribuída de energia solar e a que ainda não faz parte desse grupo.

O princípio da energia distribuída solar no Brasil data desde a década de 90, quando o aumento do PIB trazia consigo o aumento do consumo de energia elétrica. Naquela época o aumento na demanda era suprido por grandes centrais hidrelétricas, que estavam impedidas de ampliar em função de leis ambientais rígidas, e pela ativação de termoeletricas. Um pouco depois, em meados de 2010, a geração distribuída já apresentava crescente interesse no contexto internacional enquanto no Brasil os estados enfrentavam uma crise fiscal aliado ao aumento de tarifas (resultado da diluição dos custos do uso das termoeletricas) (Ceolin, Eriton Steindorff, 2021).

No Brasil, os incentivos para qualquer fonte de energia renovável distribuída são feitos através de regulamentações, incentivos fiscais, tributários e de isenções de

alguns impostos bem como através do financiamento de bancos. Alguns dos incentivos foram consolidados, através de política pública voltadas para o setor, no (ProGD) Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica, lançado pelo governo federal em 2015 (Pereira, 2019).

Segundo Naruto (2017), a inserção da geração distribuída foi disseminada rapidamente pelo mundo devido aos seus inúmeros impactos, vistos inicialmente como benefícios ambientais, econômicos, sociais e técnicos. Entretanto, com o aumento das pesquisas e investimentos para incremento da geração distribuída, atualmente, esses benefícios, principalmente com relação aos aspectos técnicos, se tornaram preocupantes e discutíveis.

É fato que a geração distribuída já se instalou no mundo de forma ainda minoritária, mas consolidada. Por isso, é necessário que os resultados encontrados sejam divulgados de forma clara e com especificações bem definidas, para permitir visualização rápida do desempenho dos sistemas de geração distribuída já instalados e os que ainda o serão a curto, médio e longo prazos (Naruto, 2017).

A geração distribuída é uma solução alternativa que diminui a vulnerabilidade energética do país, aumenta a confiabilidade da rede devido a diminuição das interrupções causadas por eventos imprevisíveis e com isso, aumenta a segurança nacional. Uma das possibilidades é a construção de geradores distribuídos habilitados para operação ilhada apenas direcionados ao fornecimento de cargas prioritárias e estratégicas como a saúde pública, os serviços de emergência, a tecnologia da informação, comida e agricultura (Naruto, 2017).

A geração de energia é o foco da maioria das políticas de energia renovável. Os decisores políticos seguem a tendência recente de modificar as políticas existentes em vez de adotar novos mecanismos. Com isso, as *Feed-in Tariffs (FiT)* e *Renewable Portfolio Standards (RPS)* continuam sendo os mecanismos mais utilizados (Maia, 2018).

A geração centralizada encontrada nos sistemas elétricos tradicionais não é o contraposto da geração distribuída: a geração centralizada não é concentrada em um único ponto, nem a geração distribuída está presente em todas as unidades consumidoras de energia elétrica. Sendo assim, parece simples aceitar-se a ideia de que a distribuição da geração não é uma questão de estado, mas, sim, de grau, já que um sistema elétrico comum nunca terá uma única usina geradora assim como

não terá tantos geradores quantas forem as unidades consumidoras (Severino *et al.*, 2008).

Segundo Severino *et al.*, (2008) Na realidade, a geração de energia elétrica, mesmo a tradicional, sempre foi distribuída geograficamente, pois, em virtude do grande porte das usinas geradoras, apenas algumas localidades geográficas possuem os requisitos técnicos necessários ao suporte de tais usinas.

Então, é correto concluir que a geração tradicional, em geral, é constituída por usinas de grande porte que estão distribuídas geograficamente, sendo que a literatura especializada não definiu consensualmente o que são usinas de grande porte muito menos qual é o grau de distribuição da geração em determinada região que permite qualificar se a geração é centralizada ou distribuída (Severino *et al.*, 2008).

2.3 Benefícios da energia solar em instituições públicas

Com os gastos energéticos provenientes de edifícios públicos, torna-se interessante a busca de maneiras sustentáveis para reduzir custos. Diante desse desafio, as tecnologias de geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos, vêm ganhando popularidade, segundo o sistema de informações energéticas Brasil a produção de energia solar passou de 2360,32 MW em 2018 para 7387,11 MW em 2022. Isso aponta para uma direção a ser explorada nos órgãos públicos, visando a redução de despesas de forma consciente e sustentável (Nunes, 2023).

O incentivo a partir de políticas públicas direcionadas à produção e à distribuição de tecnologia e inovação promovem o aumento do conhecimento capacitando agentes transformadores internos, e colabora na expansão do parque tecnológico, promovendo a redução de custos. Gerando, desta forma, um ambiente favorável, que dará sustentação a efetivação da inovação (Stefanello *et al.*, 2018).

Os investimentos em energias e mostram precípuos, pois colaboram para o aprimoramento e para o atendimento das demandas de serviços de um país. Neste ponto a diversificação da matriz energética deve vir atrelada às premissas básicas de diminuição de impacto ambiental, maior alcance social e eficiência energética. Essencial ao desenvolvimento, a energia elétrica quando decorrente de fontes não renováveis, suscita sérios problemas ambientais colocando em risco a sustentabilidade do planeta inovação (Stefanello *et al.*, 2018).

A entrada de novas tecnologias energéticas também tem impacto social a partir da abertura de novas áreas de desenvolvimento e profissionalização. Os números de empregos gerados por energias renováveis são quantizados anualmente no mundo de forma direta, mas existem ainda os novos empregos gerados indiretamente a partir do novo mercado energético. Ainda de acordo com os dados fornecidos um total de 9,8 milhões de empregos gerados mundialmente por energias renováveis no ano de 2016 3,95 milhões foram através da energia solar fotovoltaica, a maior geradora de emprego dentre as demais (Stefanello *et al.*, 2018).

O principal componente encarecedor dos empreendimentos de geração de eletricidade por fontes renováveis é o investimento inicial. Portanto, políticas de crédito e incentivos fiscais podem ser eficazes para diminuir custos e aumentar a competitividade dessas fontes energéticas. Para isso, não é necessário criar novos encargos, basta apenas redirecionar e fortalecer os mecanismos existentes (Stefanello *et al.*, 2018).

Com os gastos energéticos provenientes de edifícios públicos, torna-se interessante a busca de maneiras sustentáveis para reduzir custos. Diante desse desafio, as tecnologias de geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos, vêm ganhando popularidade, segundo o sistema de informações energéticas Brasil a produção de energia solar passou de 2360,32 MW em 2018 para 7387,11 MW em 2022. Isso aponta para uma direção a ser explorada nos órgãos públicos, visando a redução de despesas de forma consciente e sustentável (Nunes, 2023).

De acordo com Mendonça *et al.* (2021) na Prefeitura de Itajubá-MG, o custo para implantar energia solar em prédios públicos equivale a cerca de 1,5% do orçamento anual, desde que previsto na Lei Orçamentária Anual (LOA). Uma alternativa viável é o uso de registro de preços, que permite compras escalonadas e sem necessidade de dotação orçamentária imediata. Esse modelo também facilita a adesão de outros órgãos públicos, reduzindo custos. Para garantir continuidade, recomenda-se a criação de uma lei municipal que torne obrigatória a instalação dos sistemas. Um exemplo é Ilhabela-SP que aprovou uma lei 101/2019 com metas progressivas para uso de energia solar em edifícios públicos.

2.4 Panorama da energia solar no Brasil

O Brasil é um país que possui grande potencial para o aproveitamento desse recurso devido a sua posição geográfica e com grande incidência de raios solares. O cenário nacional, juntamente com o incentivo de políticas públicas, tem permitido o crescimento da geração própria de energia elétrica e o sistema fotovoltaico tem se mostrado com uma boa aceitação, apesar do elevado custo da instalação devido a maioria dos equipamentos serem importados (Oliveira, 2023).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2025), a matriz elétrica do Brasil contava com 210 GW. De acordo com os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), desse total, 85% são de fontes renováveis e 15% de fontes não renováveis (1% Nuclear). As três maiores fontes renováveis que compõem a matriz de energia elétrica brasileira são hídricas (52,39%), Eólica (15,83%) e Biomassa (8,41%) e das fontes não renováveis, as maiores são Gás Natural (8,43%), Petróleo (3,93%) e Carvão Mineral (1,65%) (MME, 2025).

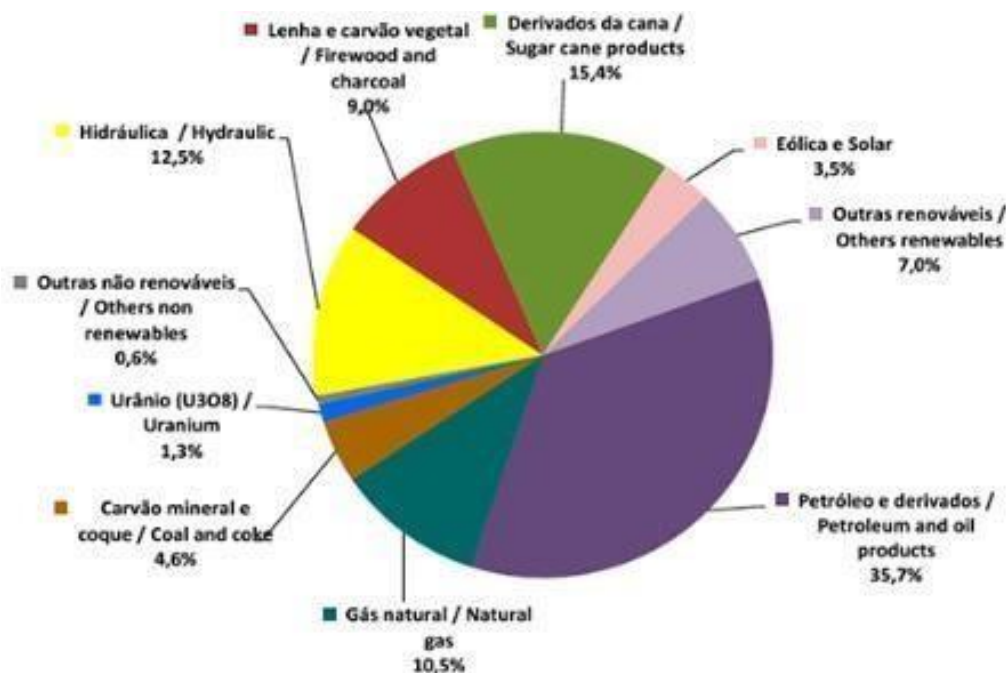
Os derivados de petróleo representam 35% da matriz energética do Brasil, seguidos pela biomassa de cana com 15,4%. Na matriz elétrica, as hidrelétricas são responsáveis por mais de 60% da eletricidade gerada. A produção de energia hidrelétrica exige uma infraestrutura complexa, incluindo barragem, casa de força, canais de abastecimento e vertedouro (MME, 2025).

O mais recente Balanço Energético Nacional (BEN), divulgado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), a origem da maior parte da matriz energética brasileira ainda está nos recursos não renováveis, especialmente o petróleo, gás natural e derivados. Juntos, eles responderam por 50,9% de toda a oferta interna de energia do país em 2023 (Matriz Energética Brasileira e Matriz Elétrica Brasileira, 2025).

Porém, comparado a outros países, o Brasil apresenta uma boa participação de fontes de energia renováveis em suas matrizes, principalmente na elétrica. Nos últimos anos, as fontes renováveis seguem ganhando mais espaço na matriz energética do Brasil, especialmente a energia solar, eólica e a biomassa derivada da cana-de-açúcar (MME, 2025).

De 2012 a 2023, a participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira cresceu de 41,8% para 49,1%, enquanto a fatia das fontes não renováveis caiu de 58,2% para 50,9%, segundo o BEN 2024 (MME, 2025).

Figura 1 - Matriz Energética Brasileira.

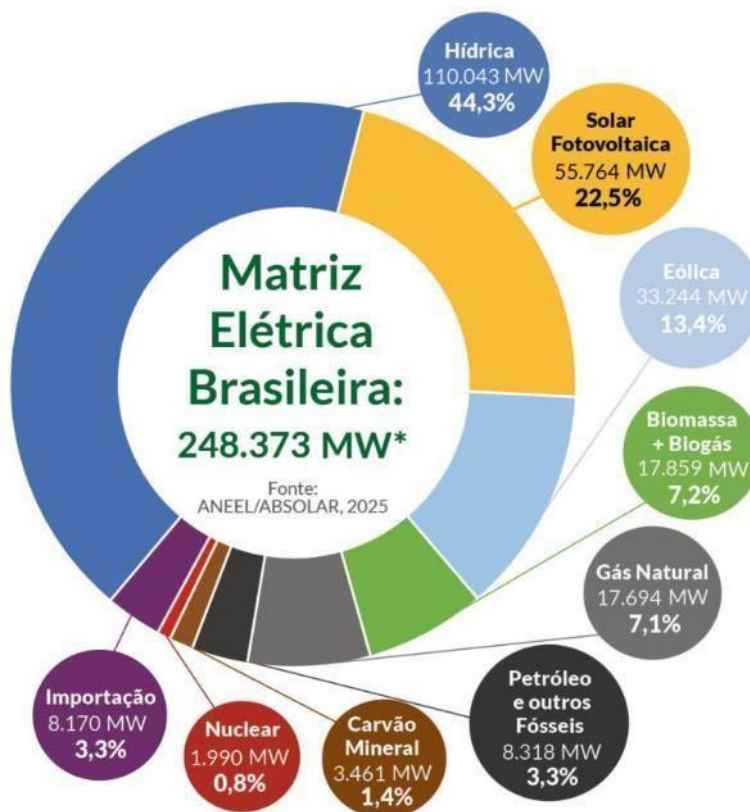


Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN 2024)

Sem dúvida, a matriz elétrica brasileira é uma das mais limpas do mundo, com a maior parte da geração oriunda de fontes de energia alternativas e verdes, como a energia solar. A principal fonte de energia da matriz elétrica do Brasil ainda é a hidráulica, isto é, as usinas hidrelétricas espalhadas pelo país, que responderam por 58,9% de toda a energia elétrica gerada no país em 2023 (MME, 2025).

É importante ressaltar que esses números não levam em conta a micro e minigeração distribuída, modalidades que permitem a produção de eletricidade no próprio local de consumo, por meio de instalações de pequeno porte. Quando esse segmento é incluído na matriz elétrica, a energia solar fotovoltaica torna-se a segunda maior fonte do país. Nesse caso, conforme dados de março de 2025, a energia solar fotovoltaica chega a 55 GW, ficando atrás somente da fonte hídrica, com 110 GW de capacidade instalada (MME, 2025).

Figura 2 - Matriz Elétrica Brasileira.



Fonte: ABSOLAR

Segundo Ivan (2022) O Brasil é superior nesse quesito, sua infraestrutura elétrica atual, amplamente renovável e variada, oferece uma oportunidade de eletrificar outros setores econômicos, produzindo energia e eficiência econômica, além de reduzir as emissões de carbono com uma perspectiva de desenvolvimento de baixo custo.

Chama-se a atenção para o fato de que as taxa das tarifas de eletricidade continuam a subir a um ritmo bastante elevado. O Brasil tem um dos preços de energia mais altos do mundo. Isso dificulta o processo da eficiência econômica e energética brasileira, além de comprometer as rendas das famílias de classes baixas e a competitividade industrial (Ivan 2022).

Brasil encerrou 2024 com um acréscimo de 10.853,35 megawatts (MW) na matriz de geração de energia elétrica. É a maior expansão registrada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) desde o início da medição, em 1997. O crescimento verificado ultrapassou em 747,35 MW a meta definida pela Agência para 2024, que era de 10.106 MW (Brasil, 2025).

O ano de 2024 também quebrou recorde quanto ao número de usinas instaladas: foram 301 novas plantas em 16 estados brasileiros. Desse total, 91,13% da potência instalada é proveniente das fontes solar fotovoltaica (51,87%) e eólica (39,26%), ambas renováveis. As novas usinas implantadas no ano dividem-se em 147 solares fotovoltaicas (5.629,69 MW), 121 eólicas (4.260,57 MW), 22 termelétricas (906,70 MW), nove pequenas centrais hidrelétricas (51,80 MW) e duas centrais geradoras hidrelétricas (4,60 MW) (BRASIL, 2025).

3 METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado para esse estudo de caso, analisa o levantamento das demandas energéticas da Secretaria de Educação do município de Nazarezinho-PB. A abordagem metodológica adotada é quantitativa e descritiva, com foco na avaliação do consumo energético das unidades escolares e na análise do potencial de implementação de sistemas fotovoltaicos.

3.1 Caracterização do estudo de caso

A utilização da energia solar fotovoltaica representa uma oportunidade estratégica de redução de custos, preservação ambiental e incentivo à consciência ecológica nas instituições de ensino.

As escolas analisadas, Amélia Maria e Maria do Carmo, foram escolhidas por apresentarem características estruturais e demandas energéticas representativas da realidade local. Ambas fazem parte da rede pública de ensino e possuem um papel central no cotidiano da comunidade, tanto pelo serviço educacional prestado quanto pelo impacto social que exercem. A proposta de implantação de sistemas fotovoltaicos nessas instituições não apenas visa suprir sua demanda energética, como também criar excedentes que poderão ser redistribuídos para outros prédios públicos do município, otimizando ainda mais os investimentos realizados.

3.2 Localização e caracterização das escolas municipais de Nazarezinho-PB

O estudo foi conduzido em unidades escolares pertencentes à rede municipal de ensino do município de Nazarezinho, localizado no estado da Paraíba. As instituições analisadas encontram-se situadas na zona urbana da cidade e apresentam diferentes perfis em relação ao nível de ensino ofertado e à estrutura física disponível.

A Escola Municipal Maria do Carmo Pedrosa Mendes está situada na Rua Antonio Gino Filho, Bairro Lindolfo Pires, atendendo estudantes do 6º ao 9º ano do Ensino Fundamental. Trata-se de uma escola grande em termos de infraestrutura, com funcionamento em horário regular e infraestrutura compatível com as exigências da etapa final da educação básica. Por atender a turmas mais avançadas, a unidade

possui maior demanda por equipamentos eletrônicos, iluminação e ventilação, o que influencia diretamente no seu consumo energético.

A Escola Municipal Amélia Maria Sarmiento está localizada na Rua Herculano Viêira, Bairro Francisco Mendes Campos, também na zona urbana do município. Esta instituição atende alunos da Educação Infantil até o 5º ano do Ensino Fundamental. Com uma estrutura voltada ao público infantil, a escola possui uma menor infraestrutura e, conseqüentemente, menor demanda energética em comparação à unidade anterior.

A análise das duas escolas possibilita a comparação entre diferentes realidades dentro da mesma rede de ensino, considerando tanto o perfil dos alunos quanto a infraestrutura física e o consumo energético associado a cada contexto.

Figura 3 - Vista Aérea de Nazarezinho-PB, com identificação das escolas estudadas.



Fonte: Imagem: Google Earth. Elaboração: Autor (2025).

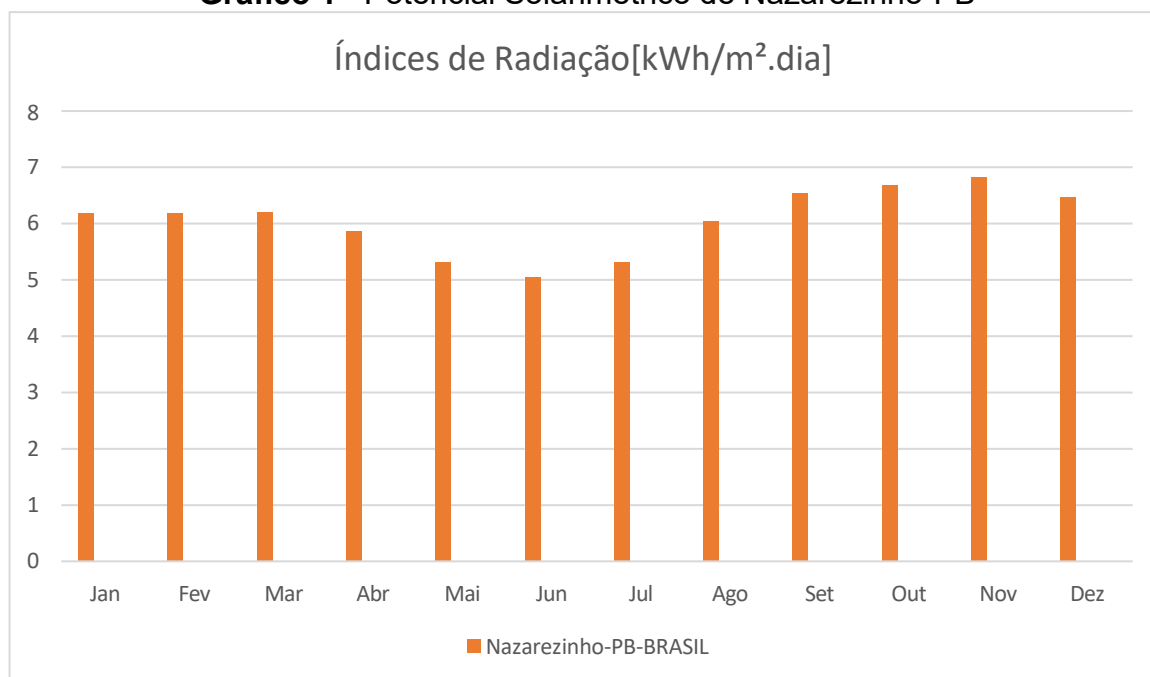
3.3 Coletas de dados: métodos e ferramentas

A coleta de dados foi realizada por meio da análise de documentos oficiais fornecidos pela Secretaria de Educação, com destaque para as faturas de energia elétrica, que permitiram o mapeamento do consumo ao longo de um período determinado.

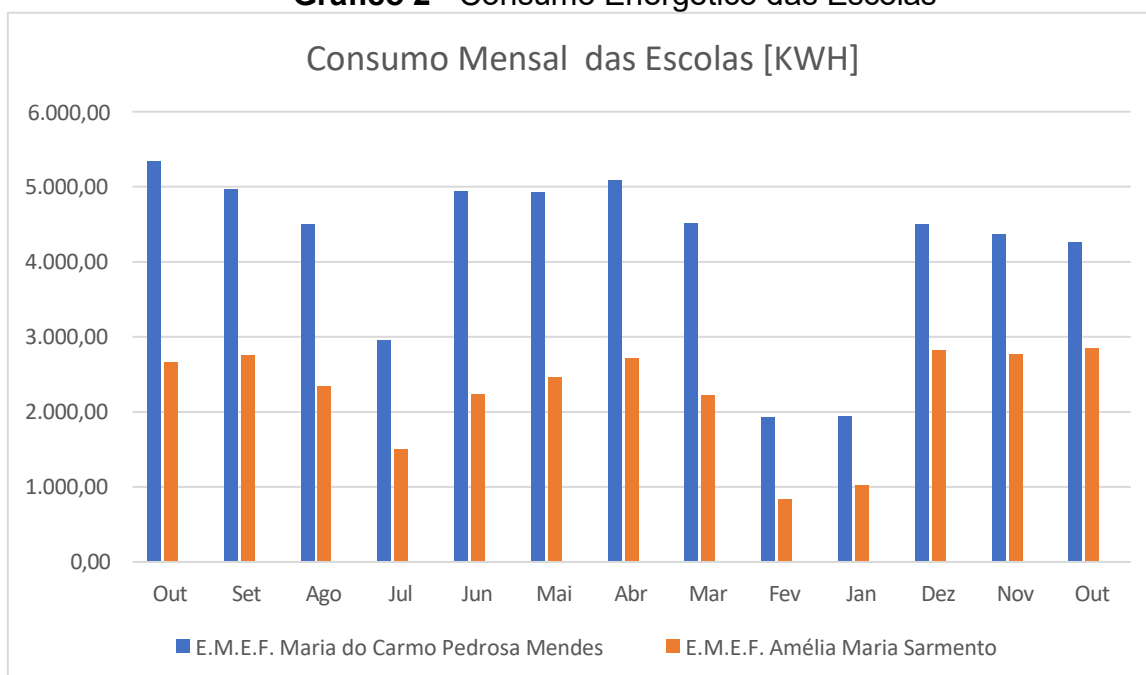
Além disso, foi realizado um levantamento fotográfico das instalações escolares utilizando drone, com o objetivo de obter uma visão aérea das edificações e de suas respectivas coberturas, possibilitando a avaliação das condições estruturais para a possível instalação de painéis fotovoltaicos.

Além das fontes primárias, foram utilizados artigos científicos obtidos por meio de plataformas de pesquisa acadêmica, como Google Acadêmico, Cafe CAPES e SciELO, também foram utilizados o ATLAS SOLAR GLOBAL para dados do potencial solarimétrico e o Google Earth para localização geográfica das escolas. Esses materiais serviram como base teórica e embasamento metodológico para o desenvolvimento do estudo, especialmente nas etapas de análise do consumo energético, cálculo do potencial fotovoltaico e avaliação da viabilidade econômica. A utilização dessas fontes permitiu a construção de um referencial consistente, alinhado às diretrizes atuais da literatura científica na área de energia e sustentabilidade.

Gráfico 1 - Potencial Solarimétrico de Nazarezinho-PB



Fonte: Autor (2025).

Gráfico 2 - Consumo Energético das Escolas

Fonte: Autor (2025).

3.4 Análises de sombreamento

Foram feitas análises de sombreamento para verificar possíveis perdas na geração. Os módulos de c-Si (silício cristalino) são compostos por células FV associadas em série e em paralelo. Caso uma ou mais células receba menos irradiação solar do que outras da mesma associação, haverá uma limitação de corrente para todo o conjunto série e consequentemente perda de potência no gerador FV. Uma das causas para a redução da irradiação incidente é o sombreamento do módulo (Chaves, 2018).

Além da perda de potência no gerador fotovoltaico, há o risco de danos ao módulo parcialmente sombreado, uma vez que a potência elétrica gerada que não está sendo entregue ao consumo é dissipada no módulo afetado, às vezes sobre apenas uma de suas células. Neste caso pode ocorrer o fenômeno conhecido como "ponto quente" (por vezes referenciado no Brasil pelo termo inglês *"hotspot"*), que produz intenso calor sobre a célula afetada, com ruptura do vidro e fusão de polímeros e metais (Pinho; Galdino, 2014).

3.5 Cálculos do potencial fotovoltaico

Com base nas imagens aéreas obtidas e nas informações sobre o consumo de energia, foi realizado o cálculo do potencial de geração de energia solar fotovoltaica para cada unidade escolar. Esse cálculo considerou a área disponível para instalação, a radiação solar média da região e a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Para isso, foram utilizados parâmetros técnicos padronizados e dados obtidos de fontes confiáveis como o Atlas Brasileiro de Energia Solar.

As escolas públicas, sobretudo em municípios de Nazarezinho-PB, apresentam viabilidade para a instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica, tanto por sua localização em região de alta radiação solar quanto pela infraestrutura disponível, como telhados amplos e áreas livres.

De acordo com os dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, a radiação solar média da região de Nazarezinho-PB possui níveis elevados de irradiação solar, com médias entre 5,0 e 5,5 kWh/m²/dia, o que favorece uma geração eficiente.

Segundo Gradella Villalva (2015) no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos é muito importante saber determinar quanta energia é produzida diariamente por um módulo fotovoltaico. A seguir são apresentados dois métodos muito simples que podem ser empregados no projeto de sistemas fotovoltaicos. Para realizar o cálculo é necessário conhecer as condições de insolação do local e as características do módulo utilizado. Radiação solar

Esse método pode ser empregado no cálculo da energia produzida pelo módulo fotovoltaico quando se tem informação sobre a energia do Sol disponível diariamente no local da instalação. A informação sobre a energia solar diária é encontrada na forma da insolação, expressa em watt-hora por metro quadrado por dia (Wh/m²/dia). O valor da insolação diária para uma região geográfica pode ser encontrado em mapas solarimétricos ou obtido através de uma ferramenta computacional como a calculadora solar (Gradella Villalva, 2015).

O método da insolação para o cálculo da energia produzida pelo módulo fotovoltaico é válido quando se considera o uso de controladores de carga com o recurso do MPPT. Ao considerar o valor da energia do Sol disponível diariamente como base para o cálculo, espera-se extrair o máximo possível dessa energia. Neste caso a energia produzida é limitada apenas pela eficiência do módulo (Gradella Villalva, 2015).

Os dados de insolação disponíveis nos mapas solarimétricos referem-se a uma média de insolação anual. Em outras palavras, o valor fornecido pelos mapas é a soma das insolações de cada dia do ano dividida pelo número de dias, ou seja, 365. Se, por exemplo, obtém-se no mapa o valor de 5000 Wh/m²/dia para uma certa localidade, isso significa que em média o Sol fornece diariamente a energia de 5000 Wh para cada metro quadrado de área daquele lugar. Entretanto, nos meses de verão esse número será maior e nos meses de inverno a energia será bem menor (Gradella Villalva, 2015).

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico com base na insolação média anual pode levar à falha do sistema por falta de energia nos meses de inverno e excesso de energia nos meses de verão. O excesso de energia torna o sistema excessivamente caro, mas tecnicamente não há nenhum problema nisso. A questão principal é como dimensionar o sistema correto para atender a demanda de energia elétrica em todos os dias do ano. Neste caso deve-se utilizar para o cálculo o valor da insolação referente ao pior mês do ano para garantir o abastecimento de energia elétrica nos meses de menor insolação (Gradella Villalva, 2015).

Segundo Gradella Villalva (2015) a taxa de insolação média diária por metro quadrado da maior parte das localidades brasileiras é de 5000 Wh/m²/dia. No Sul do País este número cai para 4500 Wh/m²/dia e no Nordeste pode chegar a mais de 6000 Wh/m²/dia.

A energia produzida pelo módulo fotovoltaico é calculada pela Equação 1:

$$E_P = E_S * A_M * \eta_M \quad (1)$$

sendo:

E_P = Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh]

E_S = Insolação diária [Wh/m²/dia]

A_M = Área da superfície do módulo [m²] η_M

= Eficiência do módulo

3.6 Análise da viabilidade econômica

A análise de viabilidade econômica considerou os custos de aquisição, instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos, comparando-os com os valores médios de consumo mensal de energia. O payback simples, a fim de avaliar o retorno financeiro do investimento para cada escola.

3.7 Limitações do estudo

Entre as principais limitações do estudo, destacam-se a disponibilidade restrita de dados históricos de consumo para algumas unidades escolares e a ausência de informações detalhadas sobre a estrutura elétrica interna das edificações. Além disso, a análise fotovoltaica considerou apenas as condições climáticas médias da região, e variáveis como sombreamento local.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Potencial fotovoltaico estimado nas escolas

O estudo contemplou o dimensionamento e análise do potencial de geração de energia solar fotovoltaica em duas escolas públicas do município de Nazarezinho/PB: Escola Municipal Maria Amélia e Escola Municipal Maria do Carmo. Ambas as unidades foram equipadas com módulos fotovoltaicos da marca JA SOLAR HOLDINGS, modelo JAM78S30-610_GR, com potência unitária de 610 Wp.

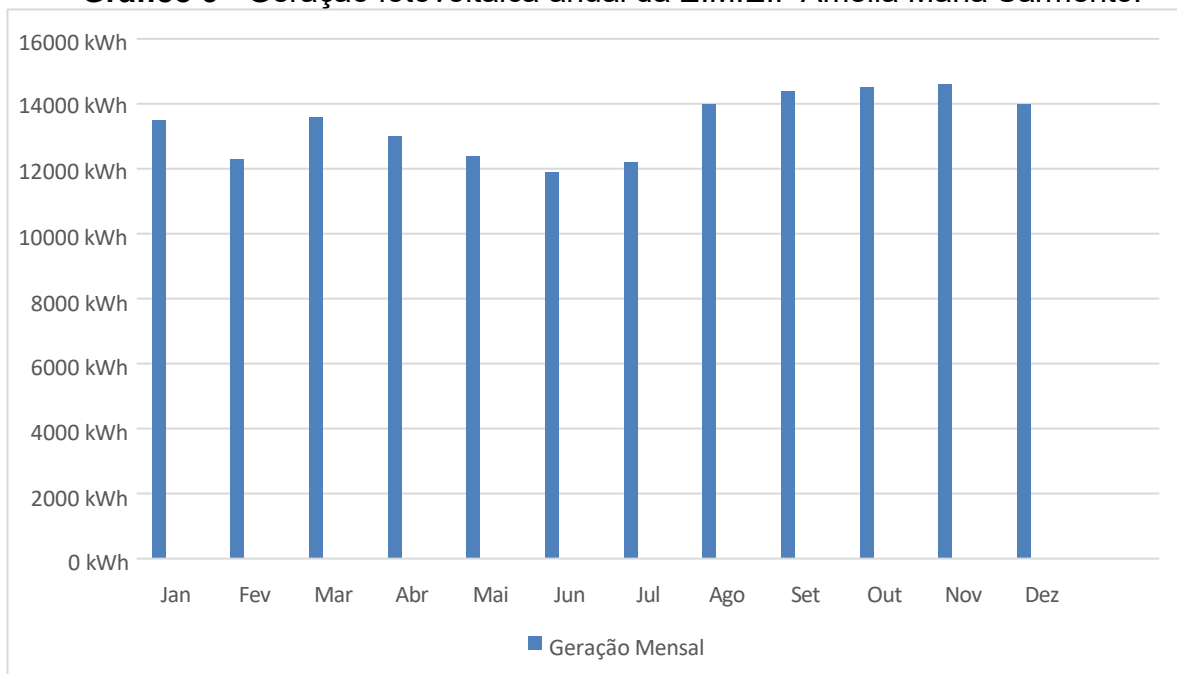
Figura 4 - E.M.E.F. Amélia Maria Sarmiento.



Fonte: Autor (2025).

Na Escola Maria Amélia, foram instaladas 156 placas solares, totalizando uma potência instalada de 95,16 kWp. O sistema foi conectado a um inversor da marca SOLPLANET modelo ASW75K-LT, resultando em uma geração anual estimada de 164.862 kWh.

Gráfico 3 - Geração fotovoltaica anual da E.M.E.F Amélia Maria Sarmiento.



Fonte: Autor (2025).

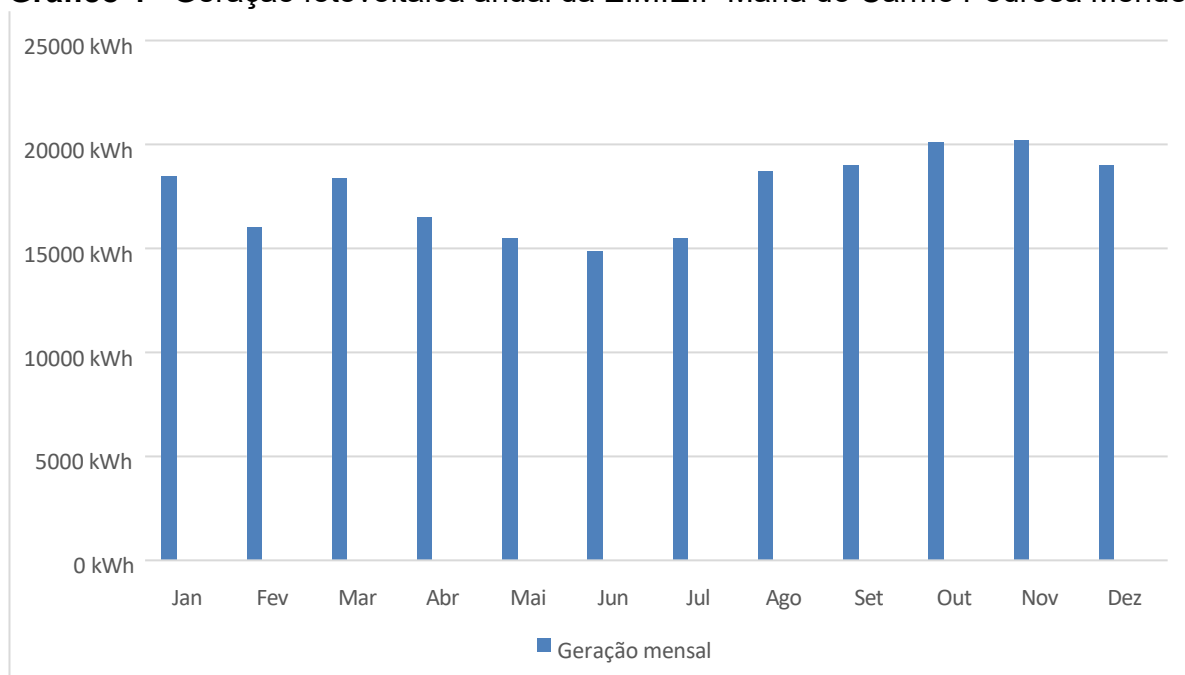
Figura 5 - E.M.E.F Maria do Carmo Pedrosa Mendes.



Fonte: Autor (2025).

Já na Escola Maria do Carmo, foram instaladas 182 placas solares, o que representa uma potência total de 111,02 kWp. O sistema utiliza o inversor da marca SOLPLANET modelo ASW100K-LT, com uma geração anual estimada de 214.503 kWh.

Gráfico 4 - Geração fotovoltaica anual da E.M.E.F Maria do Carmo Pedrosa Mendes.

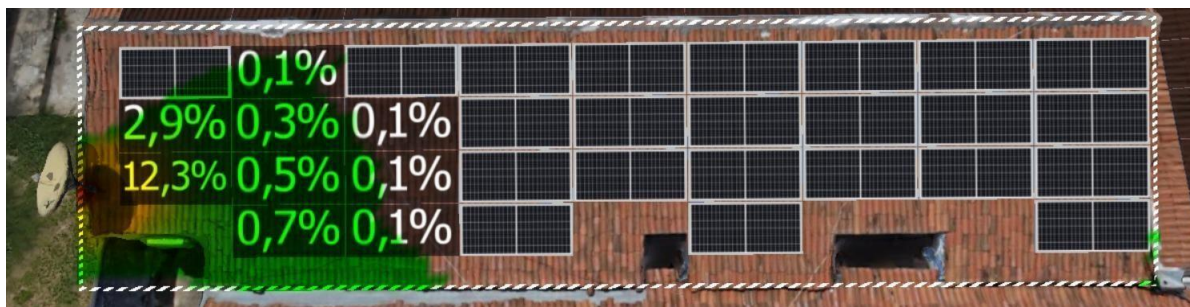


Fonte: Autor (2025).

4.2 Análise do sombreamento na geração das escolas

De acordo com as análises de sombreamento realizadas nas escolas, foram identificadas perdas significativas na geração de energia fotovoltaica, causadas principalmente pela obstrução de antenas parabólicas e pela presença de árvores próximas aos sistemas. Tais interferências podem ser evitadas com medidas simples, como a realocação das antenas para áreas que não comprometam a incidência solar e a poda controlada das árvores. Essas ações contribuiriam diretamente para o aumento da eficiência do sistema, otimizando o aproveitamento da radiação solar e, consequentemente, a geração de energia.

Figura 6 - Sombreamento da antena parabólica no sistema fotovoltaico da escola E.M.E.F Amélia Maria Sarmiento



Fonte: Autor (2025).

Figura 7 - Sombreamento das árvores no sistema fotovoltaico da escola E.M.E.F Maria do Carmo Pedrosa Mendes



Fonte: Autor (2025).

Como foi observado nas Figuras 6 e 7, percebe-se altos índices de sombreamento sobre as placas, o que pode ocasionar perdas em toda a string, pois, quando uma ou mais células estão sombreadas, mesmo que parcialmente, toda a produção da string é comprometida. Esse fenômeno ocorre porque os módulos fotovoltaicos são conectados em série, e a corrente elétrica da string é limitada pela célula com menor irradiação.

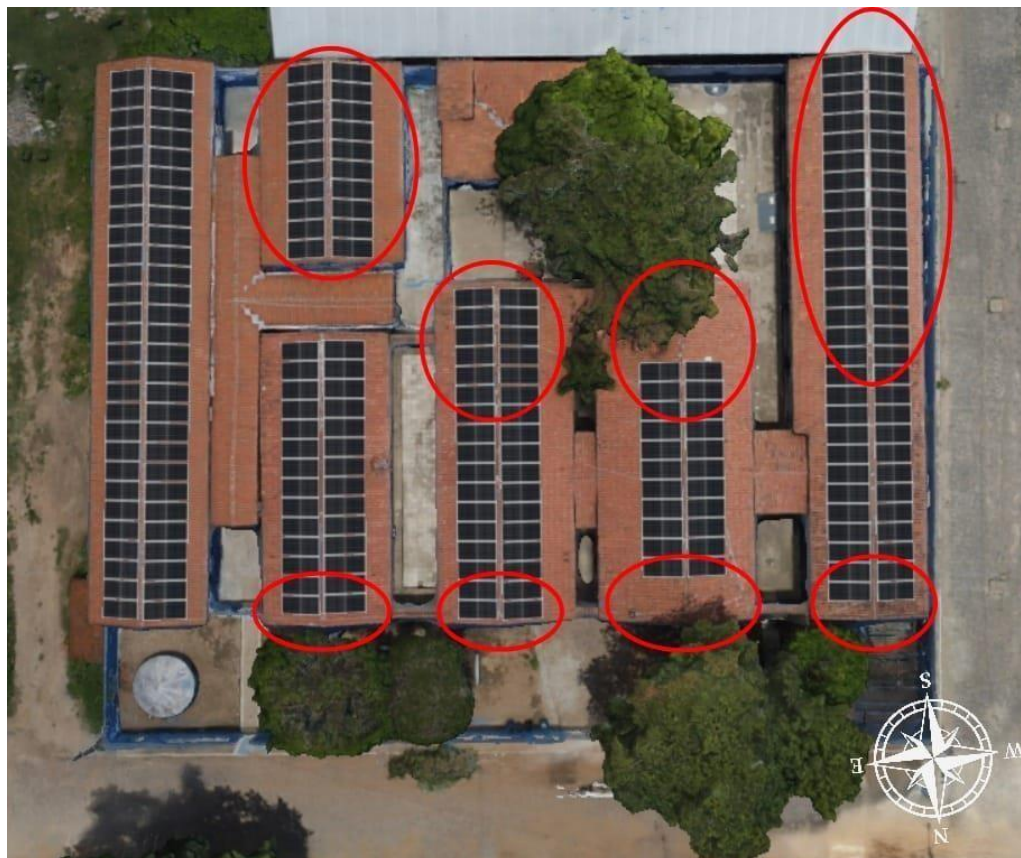
Essas perdas por sombreamento ocorrem também em outros telhados das escolas citadas como podemos observar nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 - Locais onde ocorrem perdas por sombreamento no sistema fotovoltaico da escola E.M.E.F Amélia Maria Sarmiento.



Fonte: Autor (2025).

Figura 9 - Locais onde ocorrem perdas por sombreamento no sistema fotovoltaico da escola E.M.E.F Maria do Carmo Pedrosa Mendes.



Fonte: Autor (2025).

4.3 Comparação com a demanda energética das instituições

O consumo energético médio anual da Escola Maria Amélia é de 30.141 kWh, enquanto a Escola Maria do Carmo consome cerca de 59.199 kWh por ano.

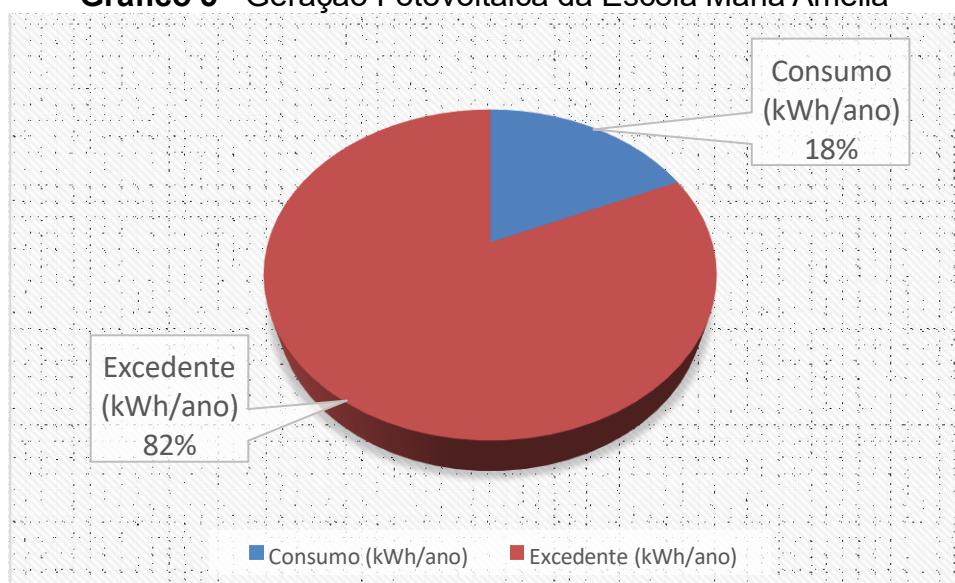
Ao comparar esses valores com a geração estimada de cada sistema, verifica-se um excedente significativo:

Tabela 1 – Dados da Escola Maria Amélia

Geração	Consumo	Excedente
164.862 kWh/ano	30.141 kWh/ano	134.721 kWh/ano
100%	18%	82%

Fonte: Autor (2025).

Gráfico 5 - Geração Fotovoltaica da Escola Maria Amélia



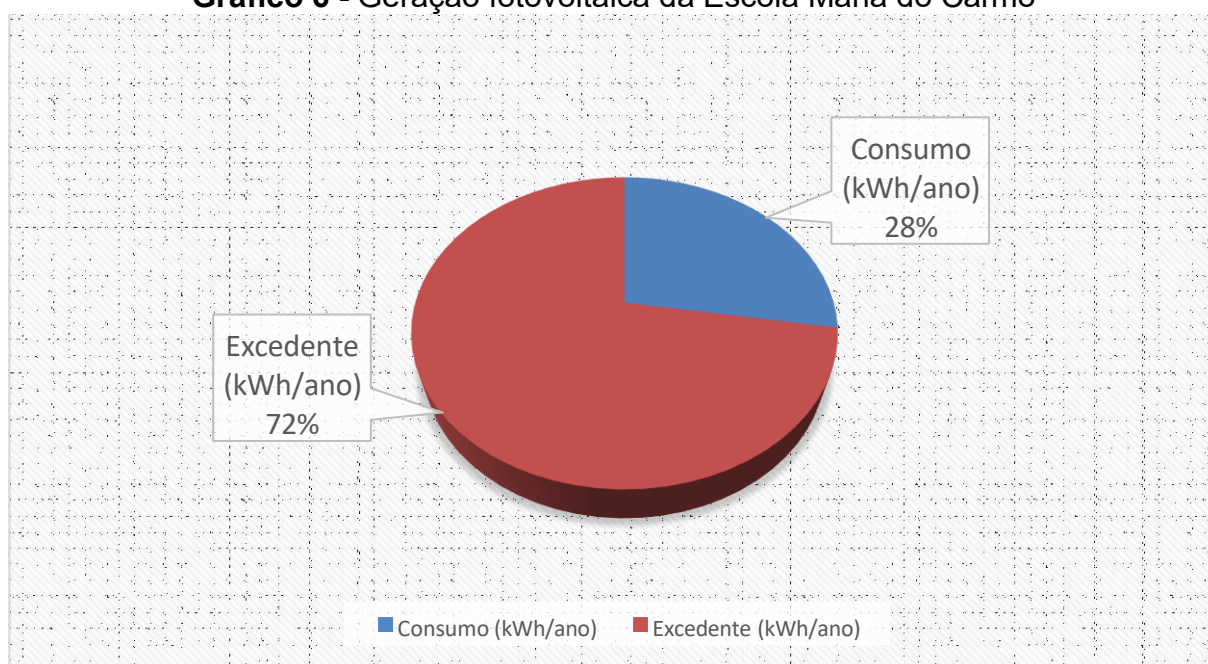
Fonte: Autor (2025).

O gráfico 5 acima mostra a geração fotovoltaica da Escola Amélia Maria Sarmiento, o quanto será consumido na escola representada no gráfico na cor azul e o excedente representado na cor vermelha que poderá ser utilizado em outros prédios públicos do município. O dimensionamento do sistema foi realizado com margem significativa, pensando em atender as necessidades energéticas da instituição, mas também para permitir a compensação de consumo em outros prédios públicos.

Tabela 2 – Dados da Escola Maria do Carmo

Geração	Consumo	Excedente
214.503 kWh/ano	59.199 kWh/ano	155.304 kWh/ano

Fonte: Autor (2025).

Gráfico 6 - Geração fotovoltaica da Escola Maria do Carmo

Fonte: Autor (2025).

O gráfico 6 acima mostra a geração fotovoltaica da Escola Maria do Carmo Pedrosa Mendes, o quanto será consumido na escola representada no gráfico na cor azul com 28% e o excedente representado na cor vermelha com 72% que poderá ser utilizado em outros prédios públicos do município. O dimensionamento do sistema foi realizado com margem significativa, pensando em atender as necessidades energéticas da instituição, mas também para permitir a compensação de consumo em outros prédios públicos.

O total excedente gerado pelas duas escolas é de aproximadamente 290.025 kWh/ano, energia que poderá ser injetada na rede elétrica e convertida em créditos, os quais serão utilizados para compensar o consumo energético de outros prédios públicos do município.

4.4 Análise dos custos e benefícios

A adoção de sistemas fotovoltaicos representa um investimento inicial considerável, porém justificado pelos benefícios financeiros e ambientais. A economia anual gerada apenas pela não necessidade de pagamento da fatura de energia elétrica das duas escolas é substancial. Além disso, o excedente transferido para outros prédios públicos reduz ainda mais os gastos da Prefeitura com eletricidade, como pode ser avaliado na Tabela 1.

A Tabela 1 apresenta os principais dados técnicos e financeiros de dois sistemas fotovoltaicos projetados: o Sistema Maria Amélia e o Sistema Maria do Carmo. Ambos foram dimensionados com o objetivo de atender a diferentes perfis de consumo energético, refletindo variações em termos de potência instalada, consumo médio mensal, energia injetada na rede e custo total de implantação.

O Sistema Maria Amélia possui uma potência instalada de 95,16 kWp, sendo capaz de gerar, em média, 8.715,00 kWh/mês injetados na rede elétrica. Seu consumo médio mensal é de 2.511,75 kWh, indicando que grande parte da energia gerada é excedente e, portanto, disponibilizada para compensação via sistema de créditos energéticos. O custo total de implantação desse sistema é de R\$ 371.124,00.

Já o Sistema Maria do Carmo apresenta uma potência maior, de 111,02 kWp, e é projetado para um consumo mensal de 4.933,25 kWh, quase o dobro do sistema anterior. A energia média injetada na rede é de 8.008,75 kWh/mês, um valor inferior ao do Sistema Maria Amélia, apesar de sua maior capacidade instalada. Isso sugere que o dimensionamento do Sistema Maria do Carmo foi mais voltado à compensação direta do consumo local, resultando em menor excedente de energia. O custo total desse sistema é de R\$ 432.978,00.

Tabela 1 – Dados técnicos financeiros dos sistemas fotovoltaicos propostos.

SISTEMA	Potência Pico dos Sistemas (kWp)	Geração Média Consumida (kWh/mês)	Geração Média Injetada(kWh/mês)	Valor total dos sistemas
SISTEMA MARIA AMÉLIA	95,16	2.511,75	8.715,00	R\$ 371.124,00
SISTEMA MARIA DO CARMO	111,02	4.933,25	8.008,75	R\$ 432.978,00

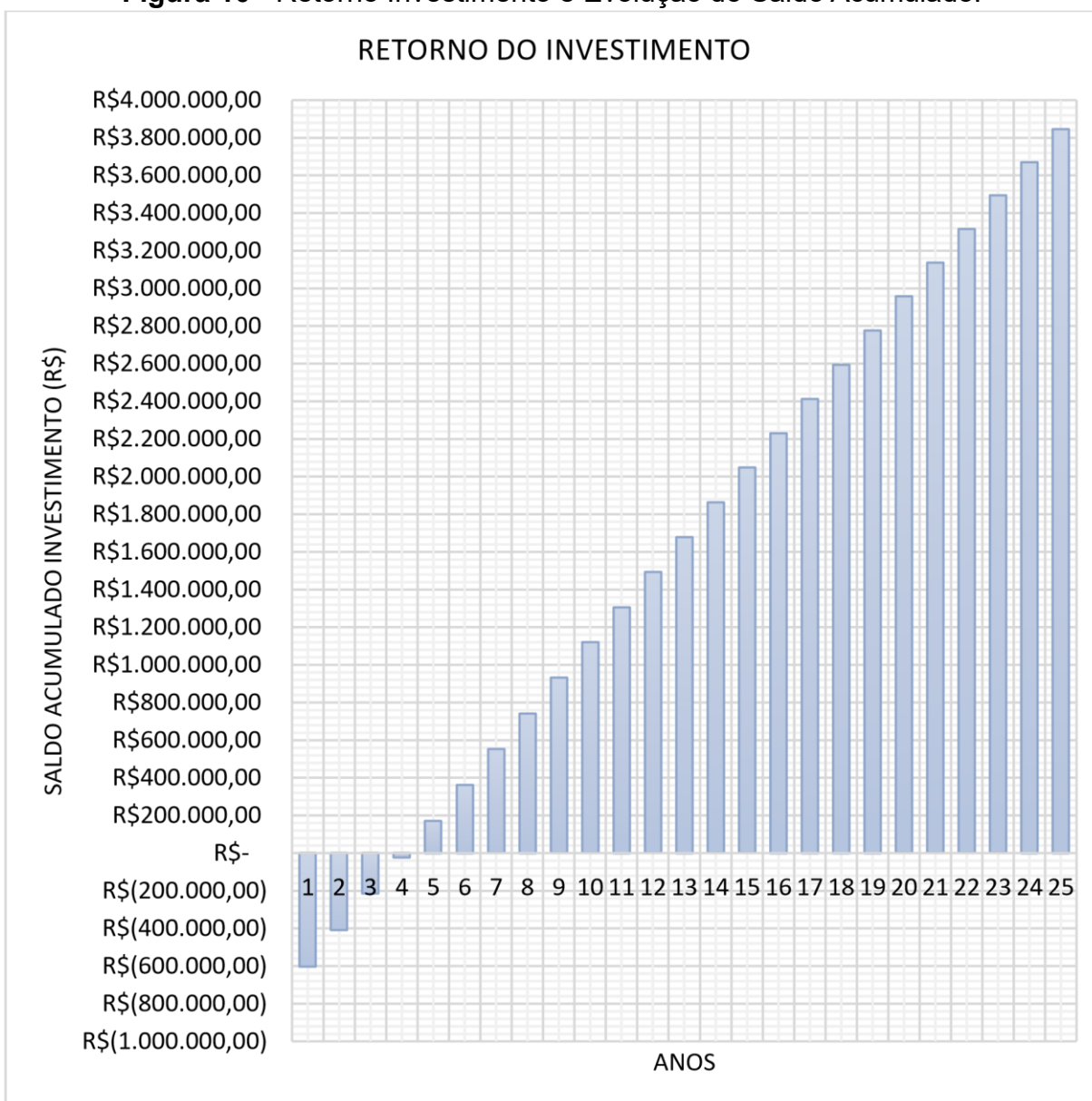
Fonte: Autor (2025).

A Figura 10 apresenta a evolução do saldo acumulado do investimento ao longo de 25 anos, considerando a implantação dos sistemas fotovoltaicos analisados neste estudo. Para a elaboração deste gráfico, foi adotado um valor de R\$ 3.900,00 por kWp instalado, valor estimado com base em aquisição por licitação pública, processo comum em compras governamentais, o que tende a reduzir os custos médios dos equipamentos. Além disso, considerou-se que a compra dos sistemas foi realizada à vista, com recursos próprios do município, ou seja, sem financiamento — fator que contribuiu diretamente para um payback reduzido, estimado em aproximadamente 5 anos.

A projeção leva em conta a tarifa de energia elétrica vigente no ano de 2025, pesquisada na base de dados da ANEEL, sendo de R\$ 0,7639/kWh, já incluindo os tributos incidentes (ICMS, PIS e COFINS), os quais somam 23,74% do valor total. Em relação à energia excedente injetada na rede e compensada posteriormente, foi aplicada a tarifa Fio B, cujo valor é de R\$ 0,21783/kWh, sendo que apenas 45% dela é compensada, correspondendo a R\$ 0,098/kWh. Com isso, há uma redução no valor compensado de aproximadamente 12,83% para a energia excedente, em relação à energia consumida instantaneamente.

O gráfico também considera a degradação natural dos módulos fotovoltaicos, que ocorre anualmente, reduzindo progressivamente a geração de energia ao longo da vida útil dos sistemas. Além disso, foi incluído um custo anual de manutenção estimado em R\$ 20,00 por placa, refletindo os gastos com limpeza, inspeções e eventuais reparos.

Ao observar o comportamento do saldo acumulado ao longo dos anos, nota-se que os primeiros anos apresentam um retorno mais lento, devido ao investimento inicial elevado. Contudo, a partir do quinto ano, o saldo se torna positivo, indicando o ponto de equilíbrio do investimento. A partir desse marco, os sistemas passam a gerar economia líquida, acumulando ganhos crescentes até atingir aproximadamente R\$ 3,9 milhões ao final dos 25 anos.

Figura 10 - Retorno Investimento e Evolução do Saldo Acumulado.

Fonte: Autor (2025).

Tabela 2 - Retorno do Investimento ao longo da vida útil do módulo.

ANO	ECONOMIA ANUAL	INVESTIMENTO + MANUTENÇÕES	RETORNO DO INVESTIMENTO
1	R\$ 201.882,82	-R\$ 804.102,00	-R\$ 602.219,18
2	R\$ 201.075,29	-R\$ 6.760,00	-R\$ 407.903,89
3	R\$ 200.270,99	-R\$ 6.760,00	-R\$ 214.392,90
4	R\$ 199.469,90	-R\$ 6.760,00	-R\$ 21.683,00
5	R\$ 198.672,02	-R\$ 6.760,00	R\$ 170.229,03
6	R\$ 197.877,34	-R\$ 6.760,00	R\$ 361.346,36
ANO	ECONOMIA ANUAL	INVESTIMENTO + MANUTENÇÕES	RETORNO DO INVESTIMENTO
7	R\$ 197.085,83	-R\$ 6.760,00	R\$ 551.672,19
8	R\$ 196.297,48	-R\$ 6.760,00	R\$ 741.209,68
9	R\$ 195.512,29	-R\$ 6.760,00	R\$ 929.961,97
10	R\$ 194.730,24	-R\$ 6.760,00	R\$ 1.117.932,21
11	R\$ 193.951,32	-R\$ 6.760,00	R\$ 1.305.123,54
12	R\$ 193.175,52	-R\$ 6.760,00	R\$ 1.491.539,06
13	R\$ 192.402,82	-R\$ 6.760,00	R\$ 1.677.181,87
14	R\$ 191.633,21	-R\$ 6.760,00	R\$ 1.862.055,08
15	R\$ 190.866,67	-R\$ 6.760,00	R\$ 2.046.161,75
16	R\$ 190.103,21	-R\$ 6.760,00	R\$ 2.229.504,96
17	R\$ 189.342,79	-R\$ 6.760,00	R\$ 2.412.087,75
18	R\$ 188.585,42	-R\$ 6.760,00	R\$ 2.593.913,17
19	R\$ 187.831,08	-R\$ 6.760,00	R\$ 2.774.984,25
20	R\$ 187.079,76	-R\$ 6.760,00	R\$ 2.955.304,01
21	R\$ 186.331,44	-R\$ 6.760,00	R\$ 3.134.875,45
22	R\$ 185.586,11	-R\$ 6.760,00	R\$ 3.313.701,56
23	R\$ 184.843,77	-R\$ 6.760,00	R\$ 3.491.785,32
24	R\$ 184.104,39	-R\$ 6.760,00	R\$ 3.669.129,71
25	R\$ 183.367,97	-R\$ 6.760,00	R\$ 3.845.737,69

Fonte: Autor (2025).

Do ponto de vista ambiental, a geração fotovoltaica evita a emissão de gases de efeito estufa. Considerando o fator de emissão médio de 0,05 kg de CO₂ por kWh gerado por fontes convencionais no Brasil, tem-se:

- Escola Maria Amélia:

Redução estimada: $164.862 \text{ kWh} \times 0,05 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 8,24$ toneladas de CO_2 /ano.

- Escola Maria do Carmo:

Redução estimada: $214.503 \text{ kWh} \times 0,05 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 10,72$ toneladas de CO_2 /ano.

Total evitado por ano: 18,96 toneladas de CO_2 .

Esses dados evidenciam o retorno ambiental do projeto, além da economia a médio e longo prazo, considerando a durabilidade dos equipamentos fotovoltaicos (acima de 25 anos) e a baixa necessidade de manutenção.

4.5 Implicações para a gestão pública e a educação

A implementação de sistemas solares fotovoltaicos nas escolas municipais de Nazarezinho representa um avanço significativo na gestão dos recursos públicos. A economia gerada pode ser redirecionada para outras áreas prioritárias, como aquisição de materiais pedagógicos, melhorias na infraestrutura escolar ou capacitação de professores.

Além disso, o projeto tem um importante papel educativo ao sensibilizar alunos, professores e a comunidade local sobre práticas sustentáveis e uso consciente da energia. As escolas tornam-se vitrines de tecnologia limpa e exemplos concretos de compromisso com a preservação ambiental, incentivando a formação de uma consciência ecológica desde os primeiros anos escolares.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo principal analisar a viabilidade técnica e econômica da implementação de sistemas solares fotovoltaicos em duas escolas públicas do município de Nazarezinho-PB: a Escola Maria Amélia e a Escola Maria do Carmo. Os resultados demonstraram que ambas as instituições possuem elevado potencial para geração de energia solar, superando significativamente suas demandas energéticas anuais. A Escola Maria Amélia, com um consumo anual de 30.141 kWh, apresentou uma geração estimada de 164.862 kWh/ano, enquanto a Escola Maria do Carmo, com um consumo de 59.199 kWh/ano, gerou aproximadamente 214.503 kWh/ano. Estes dados comprovam a eficiência dos sistemas dimensionados e o excedente energético gerado possibilita a compensação em outras unidades públicas do município.

A adoção da energia solar fotovoltaica representa um avanço significativo no caminho da sustentabilidade institucional. A substituição da energia convencional por uma fonte limpa e renovável contribui diretamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, em especial o dióxido de carbono (CO₂), promovendo a preservação ambiental. Além disso, a economia gerada com os custos de energia elétrica pode ser redirecionada para melhorias na infraestrutura educacional e na qualidade do ensino. O projeto também tem um caráter pedagógico, ao inserir a temática das energias renováveis no cotidiano escolar, estimulando a conscientização ambiental entre alunos, professores e a comunidade.

Recomendações para implementação de sistemas fotovoltaicos

Com base nos dados levantados, recomenda-se que o município de Nazarezinho dê continuidade à expansão dos sistemas solares fotovoltaicos em outras unidades públicas, priorizando demais escolas dos distritos e centros de saúde, que possuem consumo constante de energia elétrica. Para a efetiva implementação dos sistemas, sugere-se:

- Realização de estudos individualizados de consumo para cada edificação;
- Busca por programas de incentivo ou financiamento público/privado;

- Capacitação de equipes técnicas locais para instalação e manutenção dos equipamentos;
- Adoção de políticas públicas de incentivo ao uso de energias renováveis no âmbito municipal. Tais medidas contribuirão para uma gestão energética mais eficiente, econômica e ambientalmente responsável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEZERRA, F. et al. **ENERGIA SOLAR**. 2021 Disponível em: <https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/834/1/2021_CDS_174.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2023: Ano base 2022. Brasília: MME/EPE, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/janeiro/matriz-eletrica-brasileira-registra-maior-expansao-da-historia-em-2024>>. Acesso em 16 abr. 2025.

CEOLIN, ERITON STEINDORFF. **Modelo para resolução de conflitos sobre a geração distribuída de energia solar**. Ufpe.br, 2021. Acesso em: 10 abr. 2025.

CHAVES, Matheus de Paula. Estudo sobre sombreamento em planta fotovoltaica localizada em zona urbana de Fortaleza-CE. 2018. 79 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Acesso em: 22 Maio. 2025.

CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Disponível em: <<https://cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 6 maio. 2025.

DOS SANTOS, R. B.; MARTINS, V. R.; MARTINS, V. R.; BORGES, R. R. de S. **Sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas: Estacionamento solar do Centro Universitário Unievangélica / Solar energy system from photovoltaic cells: Solar parking at the Unievangélica University Center. Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 20097–20106, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n4-255. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/8957>. Acesso em: 10 apr. 2025.

EUGÊNIA, M. et al. **Dimensionamento economico para implantação da energia solar fotovoltaica conectada à rede elétrica em uma residência na cidade Ituiutaba-MG / Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 46358–46378, 2021. Acesso em: 18 nov. 2024.

GOOGLE EARTH. **Google Earth**. Disponível em: <<https://earth.google.com/web>>. Acesso em: 6 maio. 2025.

GRADELLA VILLALVA, M. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações - 2ª ed.** Acesso em: 22 Maio. 2025.

HELENO GOMES SOARES DA SILVA, N.; CORNILS MONTEIRO ARAÚJO, E. DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE PARA APROVEITO DE ENERGIA SOLAR NUMA ESCOLA PÚBLICA DE BRASÍLIA. **Programa de Iniciação Científica - PIC/UniCEUB - Relatórios de Pesquisa**, n. 2, 3 ago. 2018. Acesso em 5 maio 2025.

Infográfico. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 6 maio. 2025.

ILHABELA. Câmara Municipal de Ilhabela-SP. Projeto de Lei n. 101/2019. Dispõe sobre a utilização de energia fotovoltaica em todos os prédios públicos do município de Ilhabela e dá outras providências. Ilhabela, 2020.

IVAN, P. **Estimativa do potencial fotovoltaico nas escolas municipais de Mossoró-RN**. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/items/2729d577-dfea-4be1-9462-32722501bfe6>>. Acesso em: 1 abr. 2025.

MAIA, Rian Sardinha. **Energia solar: o desenvolvimento de um novo mercado**. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, v. 18, p. 71, 2018. Acesso em abril de 2025.

Matriz Energética Brasileira e Matriz Elétrica Brasileira. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/matriz-energetica-brasileira-matriz-eletrica-brasileira>>. Acesso em 5 maio 2025.

MENDONÇA, P. M. DE M.; TIAGO FILHO, G. L. **Avaliação técnica e econômica da geração distribuída com sistemas fotovoltaicos em edifícios públicos**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 3, p. 525–539, 13 jan. 2021. Acesso em: 16 abr. 2025.

MIRANDA, LM **Sobre história, sustentabilidade e crise energética**. Revista brasileira de história, v. 92, pág. 15-28 de 2023. Acesso em: 2 abr. 2025.

NARUTO, D. **VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10020290.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2025.

NUNES, W. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/252844/TCC-%20Willian%20Leopoldino%20Nunes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 16 abr. 2025.

OLIVEIRA, Jéssica Rayane Hernandez de. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 1945–1954, 2023. DOI: 10.51891/rease.v9i3.9030. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/9030>. Acesso em: 1 abr. 2025.

OLIVEIRA, J. R. H. DE. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 9, n. 3, p. 1945–1954, 5 abr. 2023. Acesso em 16 abr. 2025.

PEREIRA, N. X. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/181288>>. Acesso em: 10 abr. 2025.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, v. 1, p. 47-499, 2014. Acesso em: 22 Maio 2025.

SEVERINO, Mauro Moura; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de. **Geração distribuída: discussão conceitual e nova definição**. Revista Brasileira de Energia, v.14, n.1, p.47-69, 2008. Disponível em: . Acesso em: 16 abr. 2025.

SILVA, Heitor Marques Francelino da; ARAÚJO, Francisco José Costa. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: **UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 859–869, 2022. DOI: 10.51891/rease.v8i3.4654. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/4654>. Acesso em: 2 abr. 2025.

SOLARGIS. **Global Solar Atlas**. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/detail?c=-7.020483>>. Acesso em: 6 maio. 2025.

STEFANELLO, C.; MARANGONI, F.; ZEFERINO, C. L. **A IMPORTÂNCIA DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O FOMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL**. Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS, [S. l.], 2018. DOI: 10.59627/cbens.2018.487. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/487>. Acesso em: 15 abr. 2025.