



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS MARCO ZERO – MACAPÁ**

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO ENSINO MÉDIO: ANÁLISE DE CUSTO-
BENEFÍCIO E APLICAÇÃO DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

JOSE CELSON DE ALMEIDA SOUZA

Macapá-AP

2025

JOSE CELSON DE ALMEIDA SOUZA

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO ENSINO MÉDIO: ANÁLISE DE CUSTO-
BENEFÍCIO E APLICAÇÃO DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

Projeto de pesquisa apresentada ao Programa de Pós-Graduação/Especialização em Ensino de Física (ESPEFIS), como requisito para obtenção do título de Especialista pela Universidade Federal do Amapá – UNIFAP.

Orientador: Prof. Dr. Victor Montero Del Aguila

Macapá-AP

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Biblioteca
Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

S729e Souza, Jose Celson de Almeida.

Energia solar fotovoltaica no ensino médio: análise de custo-benefício e aplicação de sequência didática / Jose Celson de Almeida Souza. - Macapá, 2025.

1 recurso eletrônico.

55 f.

Monografia (Especialização) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Programa de Pós-graduação em Especialização em Ensino de Física, Macapá, 2025.

Orientador: Victor Montero Del Aguila. Coorientador: .

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Energia solar fotovoltaica. 2. Sequência didática. 3. Tempo de custo retorno. I. Aguila, Victor Montero Del, orientador. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 621.312

SOUZA, Jose Celson de Almeida. **Energia solar fotovoltaica no ensino médio**: análise de custo-benefício e aplicação de sequência didática. Orientador: Victor Montero Del Aguila. 2025. 55 f. Monografia (Especialização) - Ensino de Física. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2025.

JOSE CELSON DE ALMEIDA SOUZA

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO ENSINO MÉDIO: ANÁLISE DE CUSTO-
BENEFÍCIO E APLICAÇÃO DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

Projeto de pesquisa apresentada ao Programa de Pós-Graduação/Especialização em Ensino de Física (ESPEFIS), como requisito para obtenção do título de Especialista pela Universidade Federal do Amapá – UNIFAP.

Orientador: Prof. Dr. Victor Montero Del Aguila

Data da defesa:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Victor Montero Del Aguila

Prof. Dr. Yony Walter Milla González

Prof. Dr. Fábio Furtado Leite

Macapá-AP

2025

A Deus, minha família, amigos e
especialmente, a meu querido pai.

AGRADECIMENTOS

A Deus e minha família, sobretudo minha esposa e meu filho que sempre me apoiaram nos estudos.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Victor Montero Del Aguila, pelos ensinamentos e dedicação a mim concedidos para a realização desta pesquisa e para meu desenvolvimento intelectual.

A todos os professores do (ESPEFIS)/UNIFAP, pelos conhecimentos compartilhados no desenvolvimento das disciplinas do curso.

Aos colegas do (ESPEFIS)/UNIFAP, pelos momentos vivenciados, em especial, ao colega e amigo Bruce Willian.

A coordenadora Prof.^a Dr.^a. Jackeline Del Rosario Collave Garcia (ESPEFIS)/UNIFAP, por ter disponibilizado seu tempo para contribuí com seus conhecimentos.

À Universidade Federal do Amapá, por ter acreditado em mim e ter proporcionado uma experiência singular em minha trajetória acadêmica.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para que eu pudesse trilhar o caminho da pesquisa científica.

RESUMO

Este trabalho analisa a aplicação de uma proposta didática investigativa que integra teoria e prática no ensino do efeito fotoelétrico e da energia solar fotovoltaica, voltada para alunos do 3º ano do Ensino Médio.

A pesquisa parte do pressuposto de que a articulação entre conhecimento teórico, contexto real e experimentação promove uma aprendizagem mais significativa e crítica. A metodologia incluiu a aplicação de um questionário diagnóstico, a execução de uma sequência de aulas com uso de simuladores, vídeos e debates, e uma investigação empírica com moradores de Macapá que utilizam energia fotovoltaica. Os dados indicaram desconhecimento prévio sobre o efeito fotoelétrico, mas alta receptividade dos alunos às atividades práticas. A análise econômica dos sistemas fotovoltaicos residenciais revelou um tempo médio de retorno do investimento de 3,6 anos. A abordagem contribuiu para o desenvolvimento do pensamento crítico, da autonomia intelectual e da compreensão da relevância social da Física, reforçando a importância de metodologias ativas no ensino de Ciências da Natureza.

Palavras-chave: Ensino de Física. Efeito Fotoelétrico. Energia Solar Fotovoltaica. Aprendizagem Investigativa. Sequência Didática. Tempo de Custo Retorno.

SUMMARY

This work analyzes the application of an investigative didactic proposal that integrates theory and practice in teaching the photoelectric effect and photovoltaic solar energy, aimed at students in the 3rd year of high school.

The research is based on the assumption that the articulation between theoretical knowledge, real context and experimentation promotes more meaningful and critical learning. The methodology included the application of a diagnostic questionnaire, the execution of a sequence of classes using simulators, videos and debates, and an empirical investigation with residents of Macapá who use photovoltaic energy. The data indicated lack of prior knowledge about the photoelectric effect, but high receptivity of students to practical activities. The economic analysis of residential photovoltaic systems revealed an average return on investment time of 3.6 years. The approach contributed to the development of critical thinking, intellectual autonomy and understanding of the social relevance of Physics, reinforcing the importance of active methodologies in teaching Natural Sciences.

Keywords: Physics Teaching. Photoelectric Effect. Photovoltaic Solar Energy. Investigative Learning. Didactic Sequence. Cost Return Time.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lei do deslocamento de Wien.....	21
Figura 2 - Representação do Efeito Fotoelétrico em uma chapa metálica.....	23
Figura 3 - Célula, módulo fotovoltaicos e estrutura atômica de silício monocristalino.	26
Figura 4 - Célula módulo fotovoltaicos e estrutura atômica de silício policristalino.	26
Figura 5 - Sistema on grid.....	27
Figura 6 - sistema off grid.	28

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz elétrica Brasileira referente ao ano de 2024 com suas respectivas porcentagens.....	19
Gráfico 2 - Evolução da Energia solar no Brasil.....	25
Gráfico 3 - Distribuição percentual das respostas obtidas em questionário aplicado para avaliar o nível de conhecimento dos participantes sobre o efeito fotoelétrico.	34
Gráfico 4 - Relação percentual das respostas a perguntas sobre energia solar, com o objetivo de avaliar o nível de conhecimento e percepção dos participantes em relação ao tema.....	35
Gráfico 5 - Representação percentual das respostas a perguntas sobre os aspectos econômicos da energia solar, destacando a percepção dos participantes quanto à viabilidade e retorno do investimento	36
Gráfico 6 - Representação percentual das respostas a perguntas sobre os aspectos econômicos da energia solar, destacando a percepção dos participantes quanto à viabilidade e retorno do investimento	37
Gráfico 7 - Análise percentual das respostas dos participantes sobre a integração da energia solar no ensino de Física, com foco em sua utilidade para compreensão de conceitos e sua contribuição para tornar as aulas mais atrativas e significativas.	38
Gráfico 8 - Gráfico ilustrando a relação entre o ano de investimento em sistemas fotovoltaicos e a estimativa do tempo necessário para o retorno financeiro (payback), considerando as taxas tarifárias constante ao longo dos anos no Amapá de 2021 a 2023.	44
Gráfico 9 - Distribuição percentual das respostas obtidas em questionário aplicado para avaliar o nível de conhecimento dos participantes sobre o efeito fotoelétrico.	45
Gráfico 10 - Relação percentual das respostas a perguntas sobre energia solar, com o objetivo de avaliar o nível de conhecimento e percepção dos participantes em relação ao tema.	46
Gráfico 11 - Representação percentual das respostas a perguntas sobre os aspectos econômicos da energia solar, destacando a percepção dos participantes quanto à viabilidade e retorno do investimento.	46
Gráfico 12 - Representação percentual das respostas a perguntas sobre os aspectos econômicos da energia solar, destacando a percepção dos participantes quanto à viabilidade e retorno do investimento.	47
Gráfico 13 - Análise percentual das respostas dos participantes sobre a integração da energia solar no ensino de Física, com foco em sua utilidade para compreensão de conceitos e sua contribuição para tornar as aulas mais atrativas e significativas.	48
Gráfico 14 - Gráfico ilustrando a relação entre o ano de investimento em sistemas fotovoltaicos e a estimativa do tempo necessário para o retorno financeiro (payback), considerando as taxas tarifárias constante ao longo dos anos no Amapá.de 2021 à 2023.	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conjunto de questões estruturadas para diagnóstico do conhecimento prévio dos alunos sobre conceitos relacionados à energia solar e à Física, aplicado na Escola Osvaldina Ferreira da Silva.....	32
Quadro 2 - Resumo dos resultados obtidos por meio da análise da primeira seção 1.	33
Quadro 3 - Resumo dos resultados obtidos por meio da análise da segunda seção 2.	34
Quadro 4 - Resumo dos resultados obtidos por meio da análise da terceira seção 3.....	35
Quadro 5 - Resumo dos resultados obtidos por meio da análise da quarta seção 4.	37
Quadro 6 - Sequência didática composta por sete aulas que combinam recursos digitais, atividades investigativas e discussões teóricas, com o objetivo de promover a compreensão do efeito fotoelétrico e da energia solar de forma contextualizada e interdisciplinar.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Levantamento de dados empíricos junto a usuários residenciais de energia fotovoltaica em Macapá, evidenciando aspectos técnicos, econômicos e temporais relacionados ao custo-benefício do sistema.	42
--	----

LISTA DE SIGLAS

PCN+ – Parâmetros Curriculares Nacionais

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

BEN – Balanço Energético Nacional

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ABRACEEL – Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia

ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica

IEA – International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)

PNE – Plano Nacional de Energia

ONU – Organização das Nações Unidas

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

PhET – Physics Education Technology Project (Projeto de Tecnologia Educacional em Física, Universidade do Colorado)

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

AP – Amapá

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	17
2.1 Geral	17
2.2 Específicos	18
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), Matriz Energética e Matriz Elétrica: Fundamentos para a Educação em Energia Fotovoltaica	18
3.2 Efeito fotoelétrico	20
3.3 Teoria de Planck sobre a Radiação de Corpo Negro	20
3.4 O Efeito Fotoelétrico: Observações e Desafios à Física Clássica	22
3.5 Teoria de Einstein do Efeito Fotoelétrico	22
3.6 Fatores que impulsionam a produção de energia por sistemas fotovoltaicos	24
3.7 Desvantagens da energia hidrelétrica que favorecem a adoção de energia solar	24
3.8 Energia solar fotovoltaica	24
3.9 Energia solar fotovoltaica no Brasil	25
3.10 Tipos de células fotovoltaicas	25
3.11 Sistemas on-grid e off-grid	27
3.12 Taxação do Sol (Lei 14.300)	28
3.13 Vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaica	28
3.14 Energia solar no Amapá	29
3.15 Perspectivas do crescimento no Brasil	29
3.15.1 <i>Geração Distribuída</i>	30
4. METODOLOGIA	31
4.1 Pesquisa bibliográfica	32
4.2 Validação e Aplicação do Formulário	32
4.2.1 <i>Validação do Instrumento</i>	32
4.2.2 <i>Procedimentos de Análise de Dados</i>	38
4.3 Conceitos Teóricos Trabalhados em sala de aula	39
4.3.1 <i>Parte prática através da pesquisa</i>	41
5. RESULTADOS	45
5.1 Resultados do Diagnóstico Inicial	45
5.2 Resultados da Pesquisa Empírica em Macapá	48

5.3 Análise da Sequência Didática Aplicada	49
5.4 Análise na integração entre Teoria e Prática	50
6. DISCUSSÃO	51
6.1 Confronto com a Literatura	51
7. CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

O documento Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) de Física (BRASIL, 2006), que orienta as práticas docentes, propõe que o ensino de Física proporcione aos estudantes um conjunto de competências específicas de forma contextualizada, permitindo-lhes compreender e lidar com fenômenos naturais e tecnológicos presentes no cotidiano. Um exemplo importante é a identificação de diferentes fontes e processos de produção de energia elétrica. Ainda conforme os PCN+ (BRASIL, 2006, p. 4), a formação do jovem deve capacitá-lo a enfrentar questões reais, como crises de energia e problemas ambientais.

No âmbito da Educação Básica, as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (PCN+ de Física) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) indicam a necessidade de promover um ensino contextualizado, investigativo e interdisciplinar. Nesse cenário, o efeito fotoelétrico, frequentemente restrito à abstração teórica nos livros didáticos, pode ganhar um novo significado ao ser relacionado à produção de energia limpa e ao cotidiano dos alunos. Tal abordagem não apenas aprofunda a compreensão dos conceitos da Física Moderna, mas também incentiva a reflexão crítica sobre o papel da ciência na construção de soluções sustentáveis para os desafios contemporâneos.

No entanto, o ensino de Física frequentemente desconsidera os avanços científicos do século XIX em diante, o que torna cada vez mais urgente a incorporação de questões ambientais, em especial as relacionadas às energias renováveis e à transição energética. Nessa perspectiva, integrar os conteúdos de Física com iniciativas de conscientização e promoção de práticas sustentáveis pode gerar avanços significativos na formação de estudantes do ensino fundamental e médio (BRASIL, 2007). As células fotovoltaicas despontam como uma solução viável e inspiradora para gerar e utilizar energia limpa, contribuindo para a sustentabilidade (FRIGO; CANEPPELLE; GODINHO, 2023).

O trabalho com o tema “energia” na educação básica permite discutir alternativas para geração sustentável de eletricidade. Assis e Teixeira (2003) apontam que esse conteúdo pode ser abordado a partir da perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), conferindo uma abordagem plural e facilitando o processo de ensino-aprendizagem dos alunos. Fernandes (2013, p. 3) reforça a importância desse enfoque, pois a análise crítica dos processos de produção de energia possibilita relacionar o tema a desmatamento, aquecimento global, poluição de rios e do ar. Assim, discuti-lo no ambiente escolar contribui para formar cidadãos mais conscientes e críticos, preparados para promover um mundo economicamente sustentável e socialmente justo.

Para tanto, este trabalho se fundamenta em uma revisão bibliográfica abrangente, que contempla desde os princípios físicos do efeito fotoelétrico (NUSSENZVEIG, 2014) até as políticas e regulamentações do setor elétrico brasileiro (BRASIL, 2018a, 2018b, 2022). A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) também é considerada como um referencial importante, uma vez que orienta o desenvolvimento de competências e habilidades relacionadas à energia e sustentabilidade no Ensino Médio.

O presente trabalho investiga a importância e a aplicabilidade da energia solar como fonte renovável e propõe métodos para difundir a educação ambiental na escola e na sociedade, de modo a incentivar o pensamento crítico dos jovens e expandir o conhecimento científico e tecnológico. Para isso, será aplicado um questionário as turmas do 3º ano do ensino médio da Escola Osvaldina Ferreira da Silva, em Ilha de Santana (AP), esse instrumento vai abordar conceitos de efeito fotoelétrico, energias renováveis e energia fotovoltaica, buscando avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes, e suas percepções sobre essa temática e de como ela pode enriquecer o ensino de Física no ensino médio. Assim, com os dados coletados, será possível mensurar o grau de familiaridade dos alunos com o tema e posteriormente, em sala de aula, pretende-se articular teoria e prática, a partir de entrevistas e dados quantitativos coletados na cidade de Macapá, relativos aos custos e benefícios da energia fotovoltaica entre os anos de 2021 e 2023 em residências que já implementaram o sistema. Essa integração busca estimular o pensamento crítico e a conexão entre conceitos teóricos e suas aplicações reais.

A prática investigativa no ensino de Física transforma a sala de aula em um espaço de descoberta e construção coletiva do saber. Ao relacionar a teoria com experiências concretas, o professor amplia o engajamento e promove uma aprendizagem ativa. Esse processo incentiva o desenvolvimento de competências cognitivas e socioambientais, fundamentais para a formação de cidadãos críticos e reflexivos. Ensinar Física de forma investigativa é, portanto, um caminho para integrar ciência, realidade e transformação social (ALBUQUERQUE, 2024).

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar e aplicar uma proposta didática investigativa que integre teoria e prática no ensino do efeito fotoelétrico e da energia solar fotovoltaica para alunos do 3º ano do Ensino Médio, promovendo uma aprendizagem significativa e crítica por meio de atividades interativas e análise de dados empíricos coletados na cidade de Macapá (AP).

2.2 Específicos

- Levantar os conhecimentos prévios e concepções alternativas dos alunos sobre o efeito fotoelétrico e a energia solar, por meio da aplicação de um questionário diagnóstico estruturado.
- Desenvolver e aplicar uma sequência didática interdisciplinar, envolvendo simuladores, vídeo aulas, debates e análises socioambientais, que articule os fundamentos da Física Moderna com questões práticas e sustentáveis da geração de energia.
- Investigar a viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica, utilizando dados reais coletados com moradores da cidade de Macapá para analisar o tempo de retorno do investimento em sistemas residenciais.
- Fomentar o pensamento crítico e o protagonismo estudantil, incentivando os alunos a relacionarem os conceitos físicos com sua aplicação prática e com os impactos sociais, econômicos e ambientais da energia solar.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), Matriz Energética e Matriz Elétrica: Fundamentos para a Educação em Energia Fotovoltaica

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabelece o conjunto de aprendizagens essenciais para a Educação Básica, definindo competências específicas e habilidades por área do conhecimento. Na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Biologia, Física e Química), a BNCC orienta o desenvolvimento de investigações, reflexões e análises sobre situações-problema, visando formar cidadãos críticos, criativos e responsáveis, capazes de intervir em questões sociais, econômicas e ambientais (BRASIL, 2018b). Nesse contexto, o professor deve estimular a investigação e o debate sobre temas relevantes como energia, meio ambiente e tecnologia (BRASIL, 2018a).

Três competências específicas da área de Ciências da Natureza, conforme a BNCC (BRASIL, 2018a, p. 553), são particularmente relevantes para a temática da energia fotovoltaica:

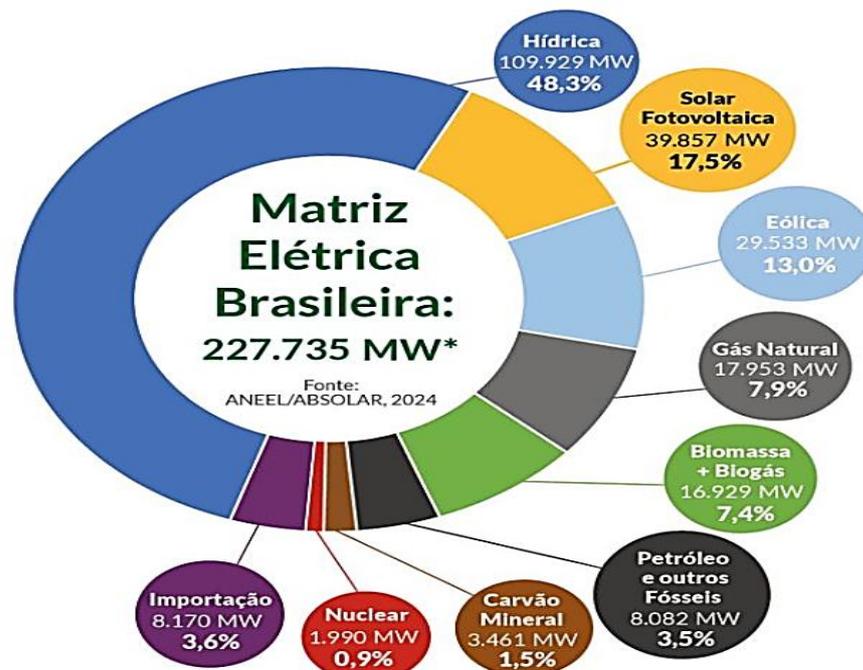
- Competência 1: Verificar fenômenos naturais e processos tecnológicos, considerando as interações entre matéria e energia, para propor ações que minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida local, regional e global.
- Competência 2: Analisar a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos, elaborando argumentos e previsões sobre o funcionamento e evolução dos seres vivos e do universo, fundamentando decisões éticas e responsáveis.

- Competência 3: Investigar situações-problema e avaliar o uso do conhecimento científico e tecnológico, propondo soluções que considerem demandas locais e globais, comunicando descobertas e conclusões em diferentes contextos e mídias.

A compreensão da energia fotovoltaica requer o entendimento dos conceitos de matriz energética e matriz elétrica. A matriz energética representa a combinação de todas as fontes de energia utilizadas para suprir as necessidades de um país ou região, abrangendo eletricidade, aquecimento e transporte. No Brasil, a matriz energética ainda é predominantemente composta por fontes não renováveis, como petróleo e seus derivados, embora se observe um crescimento significativo da participação de fontes renováveis, incluindo a solar, eólica e biomassa (BEN, 2024).

Por outro lado, a matriz elétrica se refere especificamente às fontes de energia utilizadas para a geração de eletricidade. O Brasil possui uma matriz elétrica com uma alta participação de fontes renováveis, com destaque para as hidrelétricas. Contudo, a energia solar e a eólica têm ganhado crescente importância na matriz elétrica brasileira nos últimos anos (ANEEL/ABSOLAR, 2024). Observe o gráfico abaixo que fornece os dados da matriz elétrica brasileira referente ao ano de 2024.

Gráfico 1 - Matriz elétrica Brasileira referente ao ano de 2024 com suas respectivas porcentagens.



*A potência total da matriz não inclui a importação e segue critério aplicado pelo MME, que adiciona, nos valores de capacidade instalada, as quantidades de mini e microgeração distribuída associadas a cada tipo de fonte.

Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2024.

3.2 Efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico continua extremamente relevante atualmente, sendo a base tecnológica para o funcionamento de dispositivos como células solares e sensores de imagem. Ele é fundamental para o avanço de pesquisas em energia renovável, especialmente na melhoria da eficiência de sistemas fotovoltaicos. Além disso, impulsiona investigações na física quântica e em materiais semicondutores. Novos estudos buscam otimizar a conversão de luz em eletricidade, contribuindo para soluções energéticas sustentáveis. Assim, o efeito fotoelétrico mantém-se como um pilar da ciência moderna e da inovação tecnológica.

3.3 Teoria de Planck sobre a Radiação de Corpo Negro

A radiação de corpo negro constitui um dos marcos mais importantes para o surgimento da Física Quântica. Um corpo negro é definido como um objeto ideal que absorve toda a radiação incidente e, quando aquecido, emite radiação térmica com um espectro contínuo que depende apenas de sua temperatura. Experimentalmente, observou-se que a intensidade da radiação emitida varia com a frequência e com a temperatura, revelando um comportamento que a Física Clássica não conseguia descrever com precisão.

Segundo a Lei de Stefan-Boltzmann, a radiância total R_T , ou seja, a energia irradiada por unidade de área de um corpo negro, é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta T , como expresso pela equação:

$$R_T = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

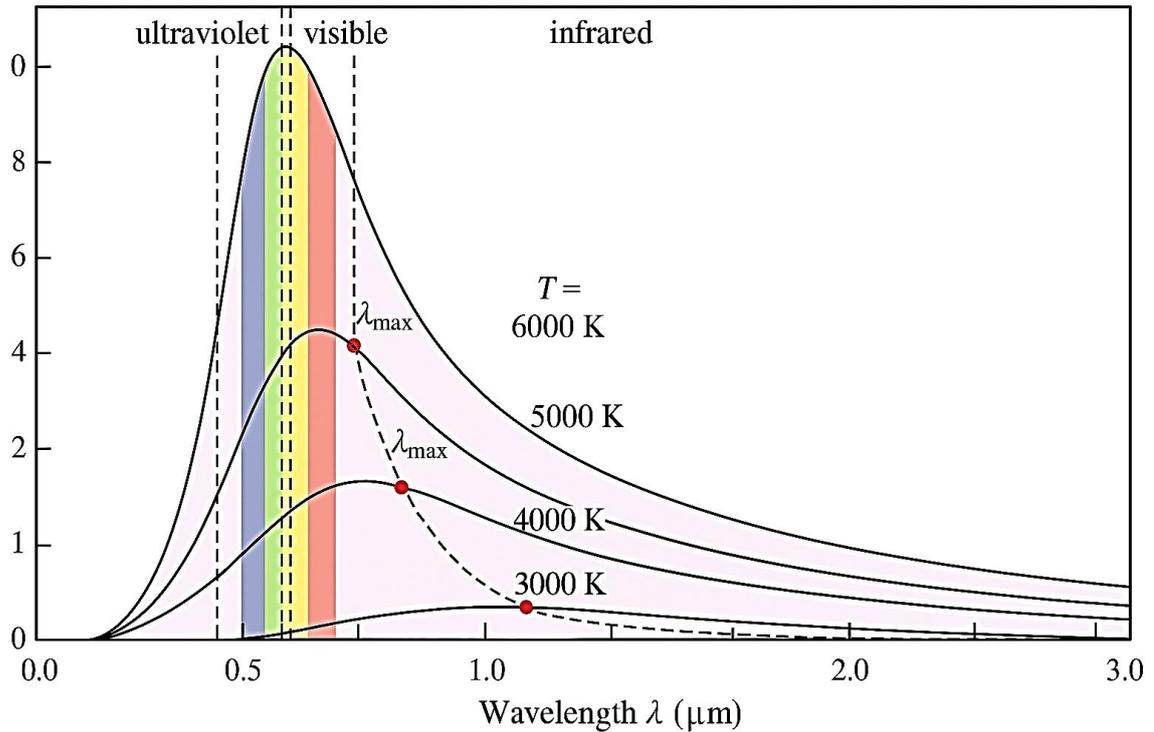
Onde:

R_T = Radiância integral da radiação do corpo negro (W/m^2); T = Temperatura do corpo negro (K); $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$, constante de Stefan-Boltzmann. Isso implica que, ao aumentar a temperatura de um corpo, a quantidade de energia emitida por ele cresce de forma significativa.

Complementarmente, a Lei do Deslocamento de Wien descreve como o pico do espectro de emissão da radiação desloca-se para comprimentos de onda menores (ou seja, maiores frequências) à medida que a temperatura aumenta. Tal relação é dada pela equação 2 e pela figura 1

$$\lambda_{M\acute{a}x} \times T = 2,898 \cdot 10^{-3} m \cdot K \quad (2)$$

Figura 1 - Lei do deslocamento de Wien.



Fonte: <http://zeus.qui.ufmg.br/~qgeral/?author=1&paged=2>.

Essas duas leis foram obtidas empiricamente, mas a descrição teórica do espectro completo era falha nas previsões da Física Clássica. A maior discrepância se dava em altas frequências, onde a teoria clássica previa que a radiação tenderia ao infinito um comportamento irreal, conhecido como catástrofe do ultravioleta.

E foi nesse cenário que Max Planck propôs uma solução inovadora: a quantização da energia. Em 1900, ao estudar o espectro da radiação térmica, Planck sugeriu que a energia não é emitida de forma contínua, mas em pacotes discretos os chamados quanta representados pela equação 3. Essa hipótese permitiu descrever com precisão o espectro observado experimentalmente e inaugurou a Física Quântica, estabelecendo as bases para avanços como o modelo atômico de Bohr e o efeito fotoelétrico (NUSSENZVEIG, 2014).

$$E = hf \quad (3)$$

Em que:

f é a frequência da radiação

h constante de Planck, cujo valor no SI é $6,6261 \times 10^{-34}$ J.s

3.4 O Efeito Fotoelétrico: Observações e Desafios à Física Clássica

O efeito fotoelétrico é um fenômeno no qual elétrons são ejetados de uma superfície metálica quando esta é iluminada por luz de determinada frequência. Ele foi observado pela primeira vez por Heinrich Hertz, em 1887, ao perceber que a presença de luz ultravioleta facilitava a formação de faíscas entre eletrodos metálicos.

Embora inicialmente considerado apenas uma curiosidade experimental, os estudos aprofundados conduzidos por Philipp Lenard revelaram aspectos fundamentais que a teoria ondulatória clássica da luz não conseguia explicar. Lenard verificou que:

- A emissão de elétrons só ocorria quando a luz tinha uma frequência mínima, chamada frequência de corte (f_c).
- A energia cinética dos elétrons ejetados não aumentava com a intensidade da luz, mas com sua frequência
- O número de elétrons emitidos era proporcional à intensidade da luz, desde que a frequência fosse superior à de corte.

Essas descobertas colocaram em xeque a concepção clássica da luz como uma onda contínua. Segundo essa teoria, uma onda de maior intensidade deveria fornecer mais energia ao material, independentemente da frequência, possibilitando a ejeção de elétrons. No entanto, os dados experimentais mostravam exatamente o contrário: mesmo luz de alta intensidade, mas com frequência abaixo da de corte, não causava emissão fotoelétrica, esse fenômeno desafiava os fundamentos da Física Clássica e exigia uma nova interpretação. A explicação definitiva viria poucos anos depois, com a contribuição de Albert Einstein (NUSSENZVEIG, 2014)

3.5 Teoria de Einstein do Efeito Fotoelétrico

Em 1905, Albert Einstein publicou um artigo intitulado “Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz”, no qual estendia a hipótese de quantização da energia de Planck à própria luz. Ele propôs que a luz, ao invés de ser exclusivamente uma onda, deveria também apresentar caráter corpuscular, sendo composta por fótons, partículas que transportam energia.

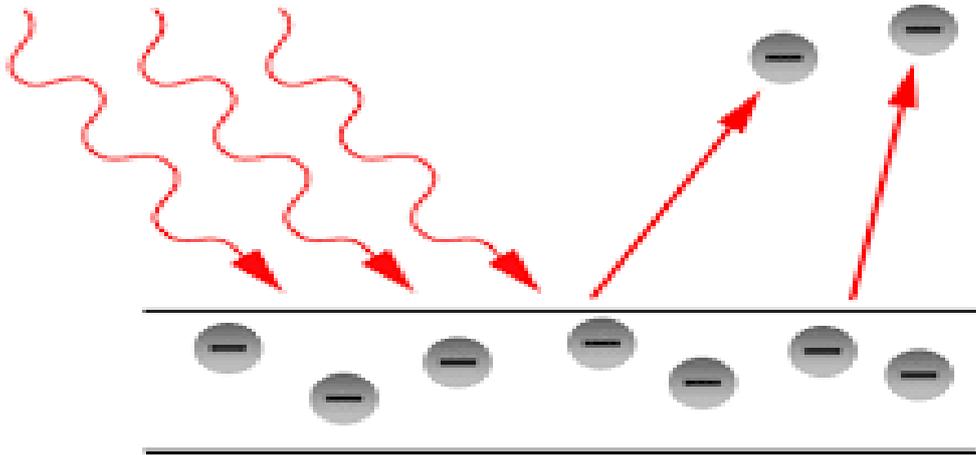
Cada fóton carrega uma quantidade de energia proporcional à sua frequência:

$$E = hf \quad (4)$$

Einstein sugeriu que, no efeito fotoelétrico, um fóton individual transfere sua energia a um elétron. Se essa energia for suficiente para superar a função trabalho (Φ), ou seja, a energia

mínima necessária para liberar o elétron do material, então o elétron é ejetado conforme mostra a figura 2.

Figura 2 - Representação do Efeito Fotoelétrico em uma chapa metálica.



Fonte: Wikipédia.

A energia excedente se manifesta como energia cinética do elétron:

$$K_{\text{máx}} = hf - \Phi \quad (5)$$

Essa equação, conhecida como equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, explicou com sucesso todos os resultados experimentais observados por Lenard. Ela demonstrava claramente que a emissão de elétrons dependia da frequência da luz, e não de sua intensidade, contrariando os postulados clássicos.

Portanto a teoria de Einstein não apenas validava o modelo quântico, como também consolidava a ideia de dualidade onda-partícula da luz um dos pilares da Física Moderna. Em reconhecimento à importância de sua contribuição, Einstein recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1921, especificamente por sua explicação do efeito fotoelétrico (NUSSENZVEIG, 2014).

Atualmente, o efeito fotoelétrico é a base de diversas tecnologias modernas, como sensores ópticos, fotocélulas e, especialmente, painéis solares fotovoltaicos, que convertem luz solar diretamente em eletricidade. Esse fenômeno conecta teoria e prática de maneira exemplar, servindo como ponto central na integração da ciência à vida cotidiana e à sustentabilidade, aspectos fortemente incentivados pela BNCC no ensino das Ciências da Natureza.

3.6 Fatores que impulsionam a produção de energia por sistemas fotovoltaicos

Alguns elementos contribuíram para o crescimento da produção de energia fotovoltaica no Brasil:

Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012: permite que consumidores gerem sua própria energia (fontes renováveis) e forneçam excedentes à rede (RUIZ et al., 2021; ZILLES, 2012).

Crescimento das tarifas de energia: o custo elevado e a adoção de bandeiras tarifárias incentivam soluções fotovoltaicas (ABRACEEL, 2022).

Linhas de crédito: financiamentos específicos de instituições como BNDES, Banco do Brasil, Caixa Econômica, Santander etc. tornam a implantação mais acessível.

Alto custo e impactos ambientais de fontes hidráulicas: motivam a busca por fontes mais limpas (TOMASQUIN, 2016).

3.7 Desvantagens da energia hidrelétrica que favorecem a adoção de energia solar

Impactos ambientais na fauna e flora das áreas alagadas;

Mudanças climáticas locais;

Alteração do curso e volume dos rios;

Redução da geração em períodos de seca;

Realocação de populações ribeirinhas.

3.8 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é obtida pela conversão direta da radiação solar em eletricidade por materiais semicondutores (silício, por exemplo). O efeito fotovoltaico foi observado por Edmund Becquerel em 1839, porém ganhou aplicações mais amplas a partir do século XX (BRAGA, 2008). Trata-se de uma fonte de energia limpa, renovável e estratégica para países como o Brasil, com vasta insolação em praticamente todo o território.

Embora regiões como Nordeste e Centro-Oeste sejam privilegiadas pelo clima, mesmo áreas menos ensolaradas têm potencial superior ao de países líderes na adoção de energia fotovoltaica, como a Alemanha (Portal Solar). É, portanto, uma alternativa competitiva para diversificar a matriz elétrica nacional, reduzir emissões de CO₂ e promover desenvolvimento sustentável.

3.9 Energia fotovoltaica no Brasil

O desenvolvimento da energia solar no Brasil apresenta marcos como:

2012: Publicação da REN 482/2012 da ANEEL, criando o sistema de compensação de energia (PORTAL SOLAR,2025).

2013: Primeiro leilão de energia solar fotovoltaica no estado de Pernambuco; criação da Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR,2025).

2015: Leis que isentam ICMS, PIS e COFINS para microgeradores e minigeradores distribuídos (PORTAL SOLAR,2025).

2017 a 2023: Vários leilões nacionais, expansão da geração centralizada e distribuída, criação do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída (ProGD) e aprovação da Lei 14.300 em 2021, instituindo o Marco Legal da Geração Distribuída (PORTAL SOLAR,2025)

O gráfico abaixo apresenta o crescimento da energia solar desde o ano 2012 até abril de 2023.

Gráfico 2 - Evolução da Energia solar no Brasil.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2023.

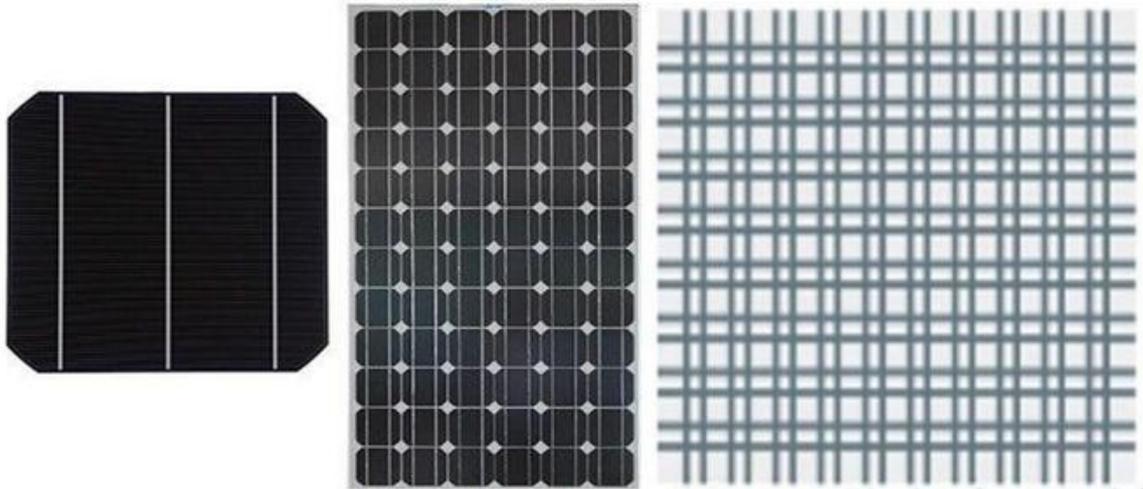
3.10 Tipos de células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são classificadas em primeira, segunda e terceira gerações, variando conforme os materiais e processos de fabricação:

Primeira geração: baseadas em silício cristalino (mono e policristalino). São as mais consolidadas, com eficiências entre 15% e 22%. E são as mais utilizadas na adesão de um sistema de energia fotovoltaica (SILVA; PEREIRA, 2023).

Na Figura 3 é possível visualizar uma célula fotovoltaica de silício monocristalino, bem como um conjunto de células dispostas em um módulo e a representação da estrutura atômica do material monocristalino.

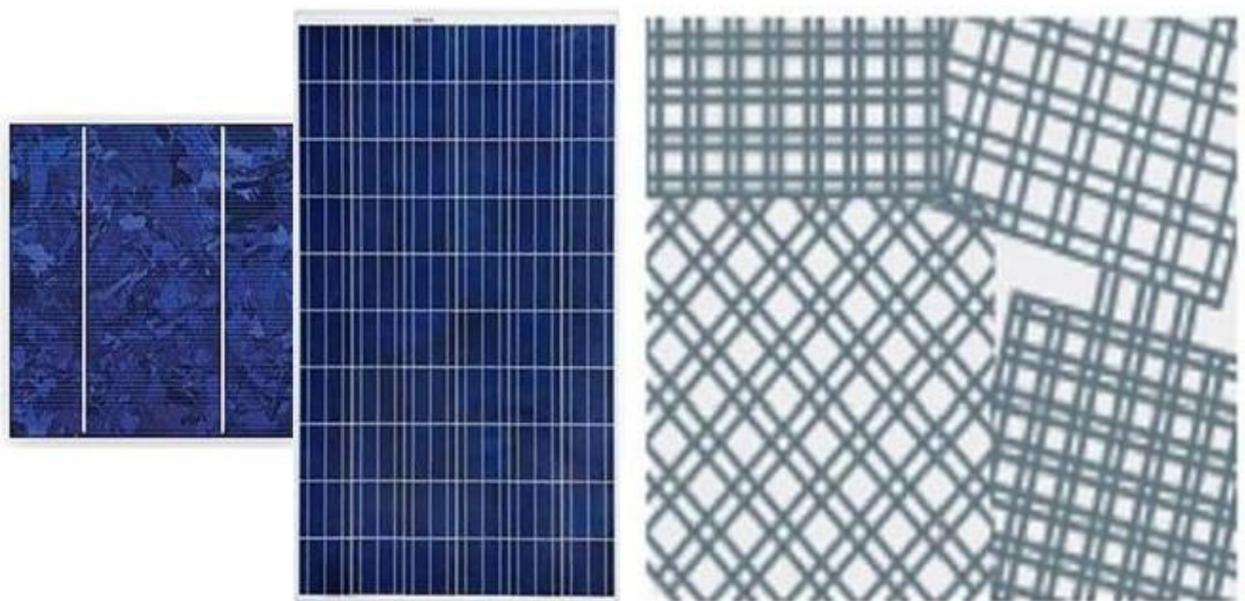
Figura 3 - Célula, módulo fotovoltaicos e estrutura atômica de silício monocristalino.



Fonte: E4 Energias Renováveis, (2018).

Na Figura 4 é possível visualizar uma célula fotovoltaica de silício policristalino, bem como um conjunto de células dispostas em um módulo, além da representação da estrutura atômica do material policristalino.

Figura 4 - Célula módulo fotovoltaicos e estrutura atômica de silício policristalino.



Fonte: E4 Energias Renováveis, (2018).

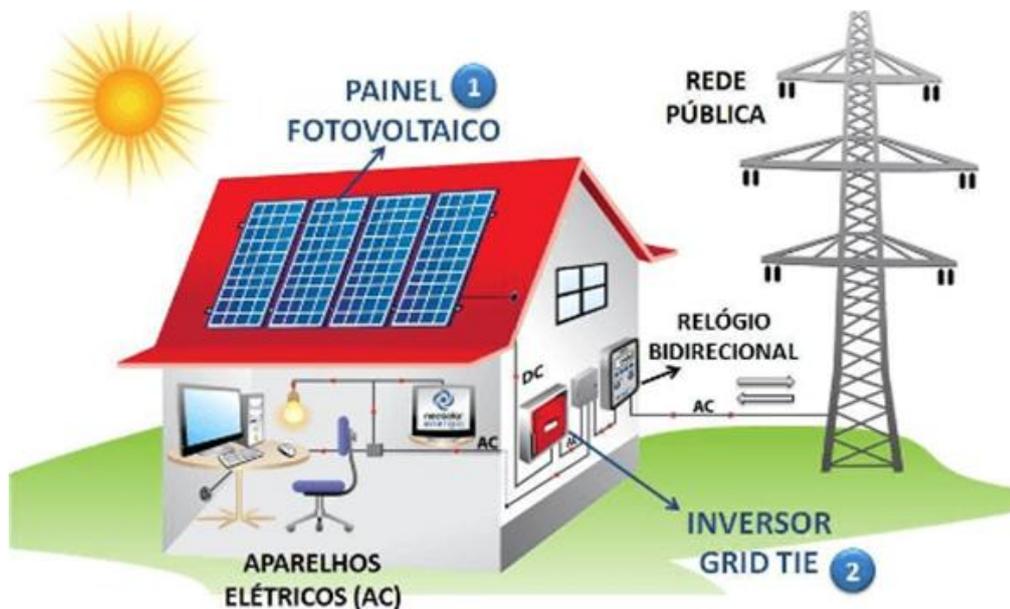
Segunda geração: utilizam filmes finos, como silício amorfo, CIGS (Cobre, Índio, Gálio, Selênio) e CdTe (Telureto de Cádmiio).

Terceira geração: incluem células orgânicas, sensibilizadas por corante (dye-sensitized), perovskitas etc., ainda em desenvolvimento.

3.11 Sistemas on-grid e off-grid

Nos sistemas on-grid (ligados à rede), a energia excedente é injetada na rede da distribuidora, gerando créditos para o consumidor, que pode ser representado pela figura 5.

Figura 5 - Sistema on grid.



Fonte: Legado Energias Renováveis (2019). Disponível em: https://legadoenergias.com/img/publicacao/59320bcfb832a84d3db4755fa966a72b_m.jpg.

Já nos sistemas off-grid (isolados), a energia é armazenada em baterias, tornando a residência ou instalação autônoma em locais sem acesso à rede pública. Ambas as modalidades têm vantagens e desvantagens, sendo o on-grid preferível em áreas urbanas, e o off-grid indicado para regiões remotas. Conforme a figura 6.

Figura 6 - sistema off grid.



Fonte: Legado Energias Renováveis (2019). Disponível em: https://legadoenergias.com/img/publicacao/59320bcbf832a84d3db4755fa966a72b_m.jpg.

3.12 Taxação do Sol (Lei 14.300)

A Resolução ANEEL 482/2012 estabeleceu o sistema de compensação de energia, mas a Lei 14.300/2022 criou o marco legal do micro e minigeração distribuída, que inclui o pagamento escalonado de custos de distribuição (fio B) para novos projetos instalados após 06 de fevereiro de 2023. Essa progressão de cobrança de 15% a 100%, até 2029, ficou conhecida como “taxação do Sol” (BRASIL, 2022). Apesar disso, quem se conecta à rede antes desses prazos permanece com isenção tarifária, tornando a adoção imediata de sistemas fotovoltaicos mais atrativa.

3.13 Vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaica

Vantagens

- Fonte renovável, inesgotável e pouco poluente.
- Exige pouca manutenção.
- Compatível com diferentes escalas de geração (residências ou grandes usinas).
- Tecnologia cada vez mais acessível e eficiente.
- Viável em locais remotos.
- Pode reduzir a conta de luz em até 95%, além de valorizar o imóvel.

Desvantagens

- Fabricação de painéis ainda consome grande quantidade de energia.

Custos iniciais podem ser elevados comparados a fontes não renováveis.

Produção variável (depende de insolação e condições climáticas).

Exige sistemas de armazenamento para uso noturno.

Eficiência de armazenamento ainda limitada.

3.14 Energia solar no Amapá

O Amapá, situado próximo à Linha do Equador, tem menor incidência de radiação solar em comparação a outras regiões brasileiras, mas ainda dispõe de grande potencial para energia fotovoltaica (cerca de 4,52 kWh/m²/dia). Desde 2017, o estado observa crescimento notável em instalações de energia solar, apoiadas por iniciativas do governo estadual e financiamentos. O uso dessa tecnologia contribui para levar energia a localidades remotas e reduzir custos em residências, prédios públicos e empresas, o que aquece o mercado de trabalho para engenheiros elétricos e profissionais ligados à geração distribuída. (PORTAL SOLAR, 2024)

Nos últimos anos, o uso da energia solar no Amapá cresceu exponencialmente. Desde 2018, houve um aumento de 430% nas instalações de sistemas fotovoltaicos, impulsionado por fatores como a busca por fontes de energia mais confiáveis e sustentáveis (PORTAL SOLAR, 2024). Em 2024, foi lançado o primeiro Atlas Solar do Amapá, resultado de dois anos de estudos detalhados. O atlas revelou que o estado possui uma capacidade instalável de aproximadamente 56 Gigawatts (GW) em energia solar, superando a capacidade existente de fontes eólica e solar centralizada juntas no Brasil. Com menos de 1% do território, seria possível gerar 87 GWh por ano, mais que o dobro do consumo energético total da região Norte (AGÊNCIA SEBRAE DE NOTÍCIAS, 2025).

3.15 Perspectivas do crescimento no Brasil

O Brasil vive um crescimento notável nos setores de energia eólica e solar, superando significativamente até mesmo as projeções mais otimistas do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2032). Este plano previa inicialmente uma capacidade instalada combinada de 39,2 GW para energia eólica e solar centralizadas até 2032, um aumento em relação aos mais de 30 GW. No entanto, dados de agosto de 2024 revelam uma expansão muito mais robusta. A energia eólica sozinha atingiu 31,7 GW de capacidade instalada, enquanto a energia solar ultrapassou 15 GW (ABSOLAR, 2024; ABEEÓLICA, 2024). Isso significa que a geração centralizada combinada dessas duas fontes já totalizava aproximadamente 47 GW, superando confortavelmente as previsões para 2032 (ABEEOLICA, 2024).

A Agência Internacional de Energia (AIE) também reconheceu esse crescimento acelerado, colocando o Brasil ao lado dos Estados Unidos, Índia e União Europeia como países com expectativa de mais que dobrar sua capacidade instalada de energia solar fotovoltaica até 2028, em comparação com os cinco anos anteriores. Conseqüentemente, considerando as diretrizes do cenário tendencial para energia solar fotovoltaica centralizada, a estimativa mais conservadora do Plano Nacional de Energia (PNE) de 27 GW de capacidade instalada até 2050 parece ser facilmente superada, visto que as usinas solares já ultrapassaram 15 GW até agosto de 2024 (AIE, 2024).

Em relação à energia solar fotovoltaica distribuída, o cenário de referência do PDE 2034 projeta 58,8 GW de capacidade instalada até 2034. Uma extrapolação linear dessa tendência sugere uma capacidade instalada de 112,8 GW até 2050.

3.15.1 Geração Distribuída

A geração distribuída, particularmente a fotovoltaica, está prestes a se tornar um pilar fundamental da transição energética do Brasil, estendendo-se para além das usinas solares de grande porte. As Nações Unidas destacam que mais da metade da demanda global de eletricidade provém de edifícios residenciais, comerciais ou públicos, alimentando iluminação, refrigeração, aquecimento, eletrodomésticos e dispositivos tecnológicos, incluindo os veículos elétricos, cada vez mais comuns, que exigem carregamento de bateria. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) indica que o Brasil reflete essa tendência global, com edifícios representando cerca de metade da demanda de eletricidade do país. Dentro desse segmento, imóveis residenciais consomem metade dessa quantidade, enquanto estabelecimentos comerciais e edifícios públicos respondem pelo restante (EPE, 2020).

Segundo a AIE (2024), esse modo de geração está alinhado à necessidade global de quadruplicar as fontes de energia renováveis variáveis, principalmente a eólica e a solar fotovoltaica. No Brasil, a energia solar fotovoltaica representa 98% de toda a geração distribuída. Dados da EPE de 2024 mostram que, do total da capacidade distribuída instalada, 47% atendem residências, 29% abastecem estabelecimentos comerciais, 15% estão instaladas em propriedades rurais, 8% atendem ao setor industrial e 1% fornece energia para repartições públicas (EPE, 2024).

Dados dos últimos seis anos ilustram claramente o salto significativo da geração distribuída no Brasil. Segundo a Absolar, a energia solar fotovoltaica descentralizada saltou de 610 MW de capacidade instalada em 2018 para 31,9 GW em agosto de 2024 (ABSOLAR,

2024). Essa rápida expansão superou em muito as projeções anteriores da EPE, que, em relatório de 2016, sugeria que a geração distribuída só ganharia força significativa no Brasil após 2030, com uma previsão otimista de 10 GW a 20 GW de capacidade instalada até aquele ano, antes de um aumento mais substancial (EPE, 2016).

4. METODOLOGIA

A presente metodologia tem como objetivo geral desenvolver e analisar uma proposta didática mista (qualitativa e quantitativa) que integre teoria e prática no ensino dos conteúdos relacionados ao efeito fotoelétrico e à energia solar fotovoltaica, a partir de uma abordagem investigativa e significativa voltada ao Ensino Médio. A proposta fundamenta-se em uma perspectiva investigativa e significativa da aprendizagem, promovendo a compreensão científica em diálogo com a realidade.

A presente pesquisa está estruturada em três etapas principais: pesquisa bibliográfica, aplicação de formulário diagnóstico e integração entre teoria e prática, incluindo a validação do instrumento de coleta e os procedimentos de análise dos dados coletados.

Dessa maneira, será realizado um levantamento diagnóstico com os alunos, por meio de questionário com o intuito de mapear os conhecimentos prévios, concepções alternativas e possíveis lacunas de compreensão sobre os fenômenos físicos envolvidos na conversão da luz solar em energia elétrica. A partir desses dados iniciais, será elaborada uma sequência didática estruturada, que buscará articular os fundamentos da Física Moderna, especialmente a teoria quântica do efeito fotoelétrico, conforme proposta por Albert Einstein com suas aplicações tecnológicas em fontes de energia renovável, com foco na sustentabilidade e no contexto socioambiental.

Logo após será realizada uma sequência didática em sala de aula e incluirá momentos de exposição teórica dialogada, uso de simuladores digitais (como o PhET), realização de vídeo aulas e debates reflexivos sobre os impactos da energia solar na sociedade atual a curto e a longo prazo. Paralelamente, os alunos participarão de uma análise sobre uma atividade prática investigativa realizada pelo professor, voltada à análise do tempo de retorno e do custo-benefício da energia solar, com base em dados reais de consumo energético de sistemas fotovoltaicos em residências na cidade de Macapá.

4.1 Pesquisa bibliográfica

Foi realizado um levantamento em livros e artigos científicos disponíveis em bases acadêmicas, como Google Acadêmico e periódicos da CAPES, com o objetivo de embasar conceitualmente os temas de efeito fotoelétrico, energia solar e análise de custo-benefício da energia fotovoltaica no Brasil. Essa revisão teórica foi essencial para fundamentar a construção da sequência didática e a elaboração do questionário diagnóstico.

4.2 Validação e Aplicação do Formulário

Com o intuito de atender aos objetivos específicos da pesquisa, especialmente o item 2.2, foi desenvolvido e aplicado um questionário diagnóstico com alunos do 3º ano do Ensino Médio da Escola Osvaldina Ferreira da Silva, localizada na Ilha de Santana (AP). O formulário foi elaborado com base nos conteúdos da Física Moderna e energia solar, estruturado em quatro seções temáticas, totalizando 11 questões.

4.2.1 Validação do Instrumento

Antes da aplicação em campo, o questionário foi submetido a um processo de validação de conteúdo por dois professores da área de Física com experiência no ensino médio. Os critérios de avaliação incluíram clareza, relevância, adequação à faixa etária e alinhamento com os objetivos da pesquisa. As sugestões recebidas foram incorporadas para garantir a fidedignidade e validade do instrumento.

A aplicação contou com a participação de 26 alunos e ocorreu de forma presencial, com acompanhamento do pesquisador. Os dados foram organizados em quadros e gráficos, divididos por seções temáticas (efeito fotoelétrico, energia solar, custo-benefício e ensino de Física), permitindo uma análise objetiva e comparativa. As questões se encontram no quadro 1, com seus respectivos objetivos.

Quadro 1 - Conjunto de questões estruturadas para diagnóstico do conhecimento prévio dos alunos sobre conceitos relacionados à energia solar e à Física, aplicado na Escola Osvaldina Ferreira da Silva.

Perguntas do questionário Versus Objetivo	
Perguntas	Objetivos
Seção 1 – Conhecimentos sobre Efeito Fotoelétrico	
1. Você já estudou Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio?	Verificar se os alunos já tiveram contato prévio com o conteúdo de efeito fotoelétrico durante a formação escolar.

2. Explique o que é o Efeito Fotoelétrico?	Avaliar o nível de compreensão conceitual dos alunos sobre o fenômeno do efeito fotoelétrico.
3. Qual a importância do Efeito Fotoelétrico na Física e suas aplicações no dia a dia?	Identificar a capacidade dos alunos de relacionar o conteúdo teórico com aplicações práticas e tecnológicas.
Seção 2 – Conhecimentos sobre Energia Solar	
4. O que você entende por Energia Solar?	Analisar o conhecimento prévio e a familiaridade dos estudantes com o conceito geral de energia solar.
5. Você conhece os principais componentes de um sistema de Energia Solar? Se sim, cite-os.	Avaliar o grau de conhecimento técnico dos alunos sobre os elementos que compõem um sistema fotovoltaico.
Seção 3 – Custo-Benefício da Energia Solar	
6. Você acredita que o investimento inicial em Energia Solar compensa com o tempo? Explique o porquê.	Investigar a percepção dos alunos sobre a viabilidade econômica da energia solar a médio e longo prazo.
7. Qual a sua percepção sobre a relação entre o investimento inicial e os benefícios a longo prazo na instalação de Energia Solar?	Analisar a visão dos alunos sobre o equilíbrio entre custo inicial e retorno futuro do investimento em energia solar.
8. Considerando a economia de energia e a sustentabilidade, você acredita que a energia solar é uma boa alternativa para o futuro?	Compreender a percepção dos alunos sobre o papel da energia solar como solução sustentável e econômica.
9. Quais as vantagens e desvantagem da Energia Solar?	Identificar a capacidade dos alunos de refletir criticamente sobre os aspectos positivos e negativos da energia solar.
Seção 4 – Implicações no Ensino de Física	
10. Como o estudo da Energia Solar pode ajudar você a compreender melhor conceitos de Física, como energia, conversão e eficiência?	Avaliar como os alunos percebem a contribuição da energia solar para a aprendizagem de conceitos fundamentais da Física.
11. Você acredita que atividades práticas relacionadas à Energia Solar tornam o aprendizado de Física mais relevante?	Investigar o impacto potencial de metodologias ativas com foco em energia solar na motivação e compreensão dos alunos.

Fonte: Autor (2025).

O terceiro ano do Ensino Médio é o foco desse trabalho, desta maneira, participaram 26 alunos ao todo que responderam o formulário. As respostas abaixo de cada seção estão acompanhadas de seus respectivos gráficos que os representam. O quadro 2 refere-se à seção 1.

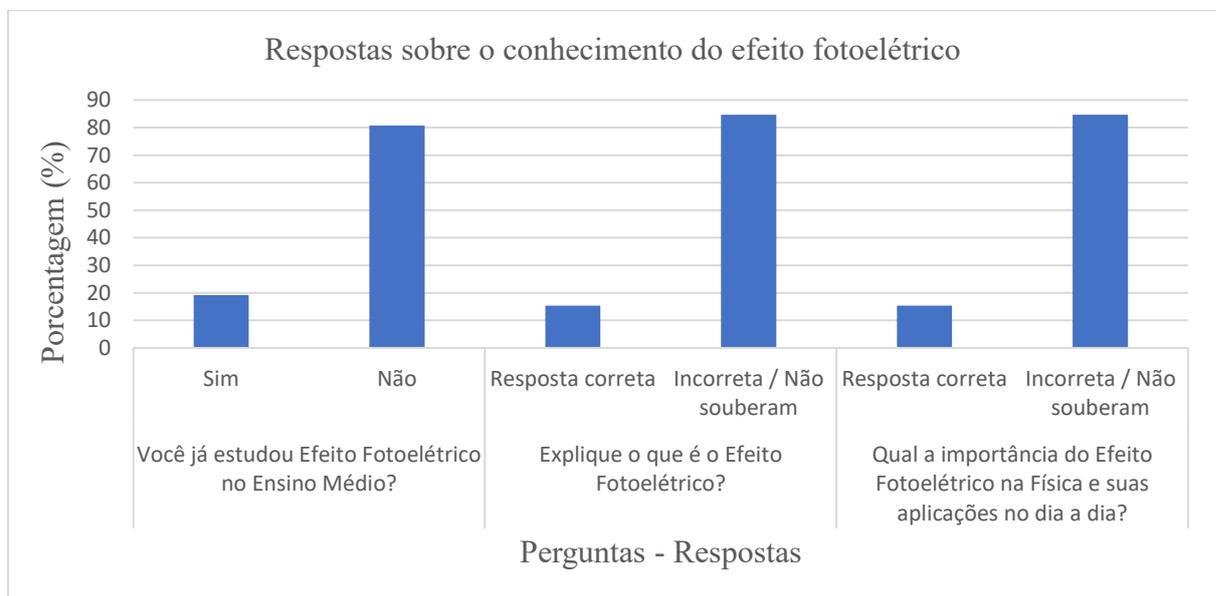
Quadro 2 - Resumo dos resultados obtidos por meio da análise da primeira seção 1.

perguntas	respostas	Número total de alunos (N = 26)	porcentagem
Você já estudou Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio?	sim	5	19,2%
	não	21	80,8%
Explique o que é o Efeito Fotoelétrico?	correta	4	15,3%
	Incorreta (Não souberam responder)	22	84,7%
Qual a importância do Efeito Fotoelétrico na Física e suas aplicações no dia a dia?	correta	4	15,3%
	incorreta (Não souberam responder)	22	84,7%

Fonte: Autor (2025).

O efeito fotoelétrico desempenha um papel crucial na física e possui diversas aplicações tecnológicas. O gráfico 3 abaixo ilustra o conhecimento dos alunos sobre este importante tema, destacando o percentual de respostas corretas e incorretas em questões conceituais, bem como o conhecimento prévio dos alunos sobre o assunto.

Gráfico 3 - Distribuição percentual das respostas obtidas em questionário aplicado para avaliar o nível de conhecimento dos participantes sobre o efeito fotoelétrico.



Fonte: Autor (2025).

Quadro 3 - Resumo dos resultados obtidos por meio da análise da segunda seção 2.

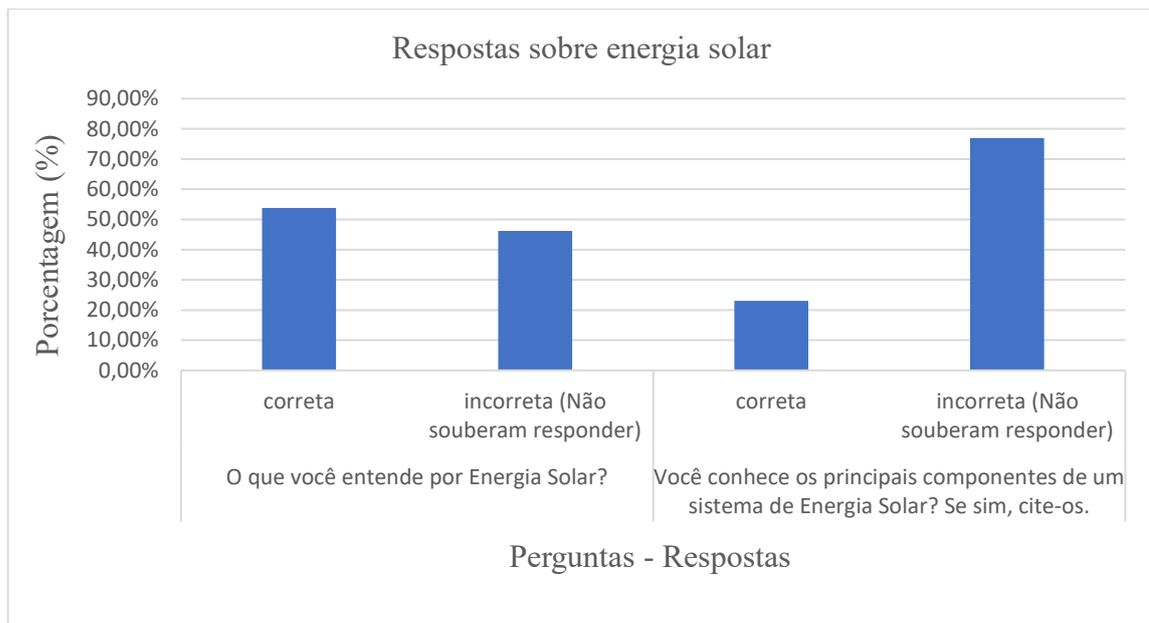
perguntas	respostas	Número total de alunos (N = 26)	porcentagem
-----------	-----------	---------------------------------	-------------

O que você entende por Energia Solar?	correta	14	53,8%
	incorreta (Não souberam responder)	12	46,2%
Você conhece os principais componentes de um sistema de Energia Solar? Se sim, cite-os.	correta	6	23%
	incorreta (Não souberam responder)	20	77%

Fonte: Autor (2025).

O gráfico 4 a seguir apresenta os resultados, sobre conhecimentos acerca da Energia Solar. A pesquisa buscou avaliar o entendimento dos alunos sobre os princípios básicos.

Gráfico 4 - Relação percentual das respostas a perguntas sobre energia solar, com o objetivo de avaliar o nível de conhecimento e percepção dos participantes em relação ao tema.



Fonte: Autor (2025).

Quadro 4 - Resumo dos resultados obtidos por meio da análise da terceira seção.

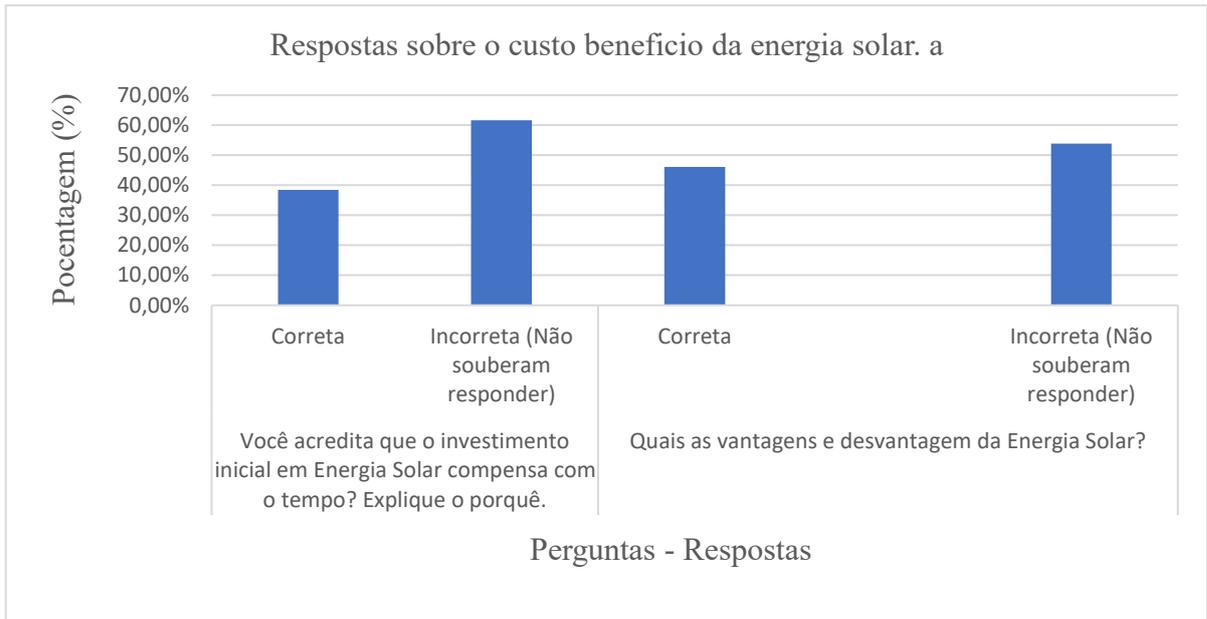
perguntas	respostas	Número total de alunos (N = 26)	porcentagem
Você acredita que o investimento inicial em Energia Solar compensa com o tempo? Explique o porquê.	Correta	10	38,4%
	Incorreta (Não souberam responder)	16	61,6 %

Qual a sua percepção sobre a relação entre o investimento inicial e os benefícios a longo prazo na instalação de Energia Solar?	Muito Desvantajoso	0	0%
	Pouco Desvantajoso	2	7,7%
	Neutro	12	46,2%
	Pouco Vantajoso	3	11,5%
	Muito Vantajoso	9	34,6%
Considerando a economia de energia e a sustentabilidade, você acredita que a energia solar é uma boa alternativa para o futuro?	Discordo Totalmente	0	0%
	Discordo Parcialmente	0	0%
	Neutro	6	23,1%
	Concordo Parcialmente	8	30,8%
	Concordo Totalmente	12	46,2%
Quais as vantagens e desvantagem da Energia Solar?	Correta	12	46,1%
	Incorreta (Não souberam responder)	14	53,9%

Fonte: Autor (2025).

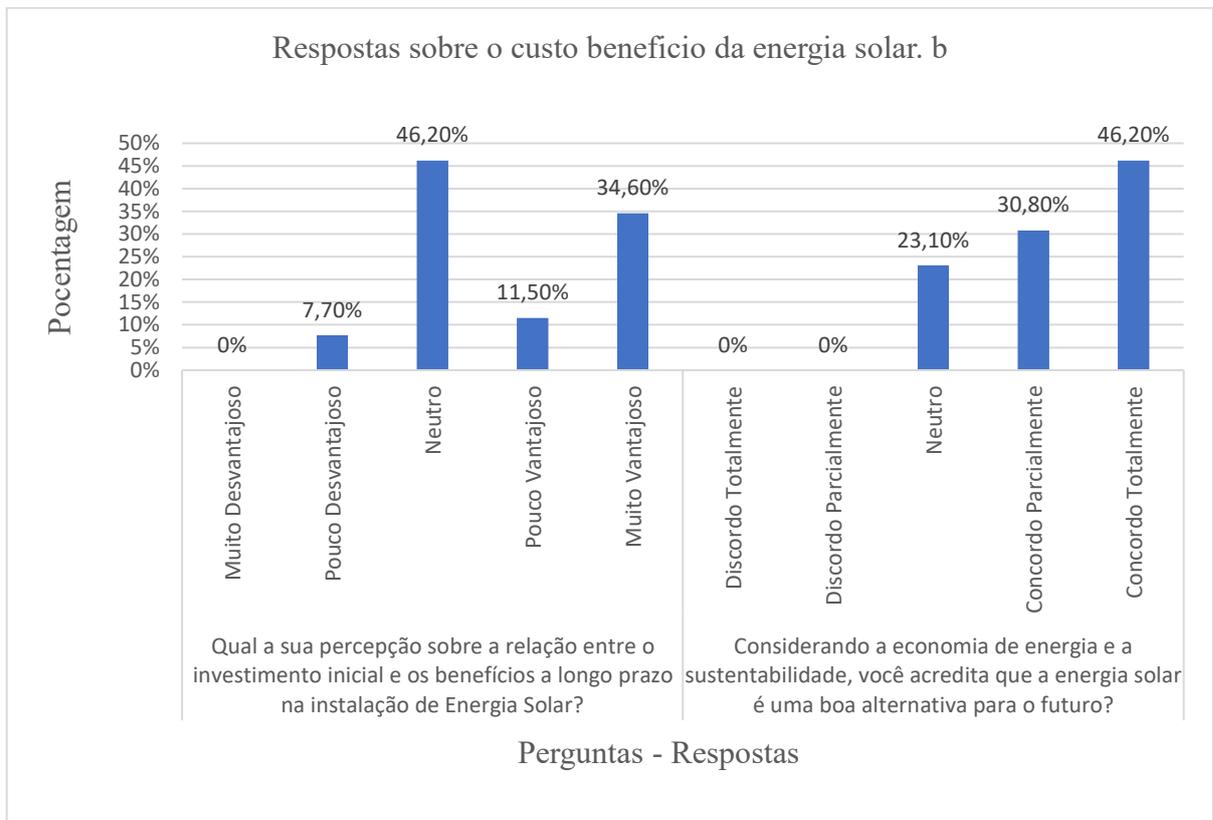
Considerando a crescente relevância da energia solar como fonte de energia renovável, os gráficos 5 e 6, ilustram o nível de conhecimento dos alunos sobre os aspectos econômicos e as vantagens dessa tecnologia.

Gráfico 5 - Representação percentual das respostas a perguntas sobre os aspectos econômicos da energia solar, destacando a percepção dos participantes quanto à viabilidade e retorno do investimento



Fonte: Autor (2025).

Gráfico 6 - Representação percentual das respostas a perguntas sobre os aspectos econômicos da energia solar, destacando a percepção dos participantes quanto à viabilidade e retorno do investimento



Fonte: Autor (2025).

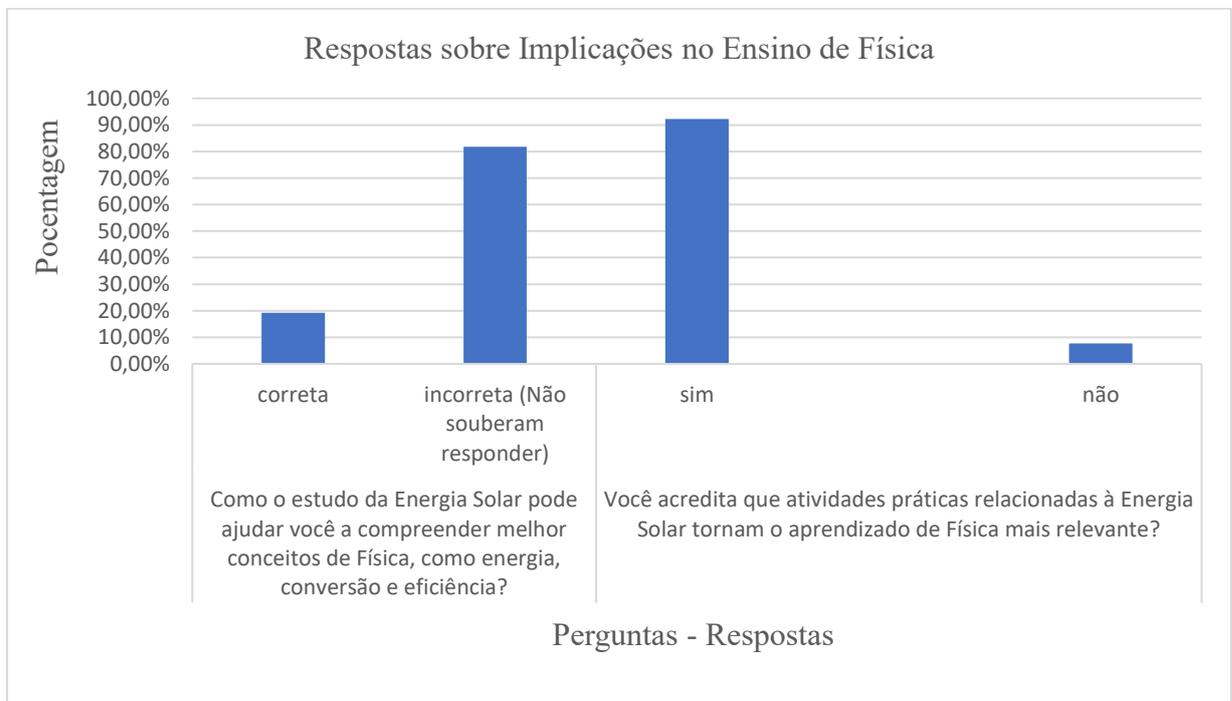
Quadro 5 - Resumo dos resultados obtidos por meio da análise da quarta seção 4.

perguntas	respostas	Número total de alunos (N = 26)	porcentagem
Como o estudo da Energia Solar pode ajudar você a compreender melhor conceitos de Física, como energia, conversão e eficiência?	correta	5	19,2%
	incorreta (Não souberam responder)	21	81,8%
Você acredita que atividades práticas relacionadas à Energia Solar tornam o aprendizado de Física mais relevante?	sim	2	92,3%
	não	24	7,7%

Fonte: Autor (2025).

O gráfico 7 a seguir avalia a eficácia da metodologia de ensino de física que integra teoria e prática sobre energia solar.

Gráfico 7 - Análise percentual das respostas dos participantes sobre a integração da energia solar no ensino de Física, com foco em sua utilidade para compreensão de conceitos e sua contribuição para tornar as aulas mais atrativas e significativas.



Fonte: Autor (2025).

4.2.2 Procedimentos de Análise de Dados

A análise dos dados quantitativos do questionário foi realizada por meio de estatística descritiva simples (frequência absoluta e percentual). As respostas abertas foram analisadas qualitativamente, por meio de categorização temática, buscando padrões de compreensão e lacunas conceituais.

Os gráficos foram produzidos utilizando ferramentas digitais (Excel e Google Forms) e representaram visualmente os níveis de conhecimento, percepção crítica e compreensão conceitual dos alunos sobre os temas investigados. Essa análise permitiu observar o impacto do ensino tradicional e estabelecer uma linha de base para aplicação da proposta didática.

4.3 Conceitos Teóricos Trabalhados em sala de aula

Com os resultados obtidos, a etapa seguinte compreendeu o aprofundamento teórico dos conteúdos em sala de aula, integrando os conceitos físicos a dados reais. Os alunos participaram de sete aulas planejadas com metodologias ativas, uso de simuladores (PhET), vídeos, debates e análise de dados reais obtidos em entrevistas realizadas em Macapá entre 2021 e 2023, sobre a adoção de energia fotovoltaica.

Para ajudar na compreensão dos conteúdos de Física, especialmente os que envolvem ideias mais difíceis de visualizar, como a quantização da energia, usamos o simulador PhET. Esse simulador permite que você interaja com os fenômenos físicos como se estivesse fazendo um experimento virtual. Assim, ao invés de apenas ler ou ouvir sobre o assunto, você pode ver o que acontece e até modificar as variáveis para entender melhor como tudo funciona.

Além disso, utilizamos vídeos educativos porque eles ajudam a explicar os conteúdos de forma clara, com imagens, animações e exemplos do dia a dia. Assistir a esses vídeos facilita a visualização do que está sendo estudado e torna o aprendizado mais interessante. Juntos, o simulador e os vídeos ajudam a aprender Física de um jeito mais prático, visual e divertido.

O cruzamento entre a teoria científica e os dados empíricos reforçou a aprendizagem contextualizada e crítica, promovendo uma visão ampliada do papel social da ciência e suas aplicações tecnológicas. A seguir, apresenta-se o quadro com a descrição das aulas, seus temas, ações propostas, objetivos e tempo estimado de aplicação.

Quadro 6 - Sequência didática composta por sete aulas que combinam recursos digitais, atividades investigativas e discussões teóricas, com o objetivo de promover a compreensão do efeito fotoelétrico e da energia solar de forma contextualizada e interdisciplinar.

Aula	Tema	Ação	Objetivo	tempo
------	------	------	----------	-------

1º	Observação do efeito fotoelétrico	Usar o simulador PhET, onde os alunos podem variar o tipo de metal, a frequência da luz e a intensidade, observando a emissão de elétrons.	Compreender a dependência da emissão de elétrons com a frequência da luz (e não com a intensidade). Relacionar a teoria com os conceitos de fótons e energia mínima (função trabalho).	1 horas/aulas
2º	Descoberta do elétron	mostrar um vídeo do experimento com o tubo de raios catódicos, mostrando como Thomson descobriu o elétron ao desviar feixes com campos elétricos e magnéticos.	Entender o raciocínio experimental por trás da descoberta do elétron.	1 horas/aulas
3º	Contradições experimentais com base na Física Clássica	Exibir trechos de vídeos ou animações explicando experimentos contraditórios da física clássica (como o experimento de Michelson-Morley, que refutou o éter).	Desenvolver habilidades interpretativas e científicas	1 horas/aulas
4º	Lei da radiação de Planck e quantização de energia	Utilizar o simulador PhET para comparar a previsão da física clássica com a radiação real emitida por um corpo negro em diferentes temperaturas.	Visualizar como Planck corrigiu o modelo clássico	2 horas/aulas
5º	Equação de Einstein do efeito fotoelétrico, teoria fotônica	Aula expositiva e dialogada sobre o efeito fotovoltaico, sua importância e aplicações como	Visualizar a conversão de luz em energia elétrica	2 horas/aulas

		energia solar em nossos dias a dia	Entender a aplicação prática do efeito fotoelétrico Relacionar a teoria com tecnologias sustentáveis	
6º	Energia fotovoltaica	Analisar dados reais sobre o uso da energia solar no Brasil (crescimento, projeções, custo, impacto ambiental, regiões mais beneficiadas) e apresentação dos dados empíricos do custo retorno da energia solar.	Compreender o funcionamento de células fotovoltaicas. Relacionar o efeito fotoelétrico à geração de energia elétrica. Discutir os impactos sociais, econômicos e ambientais da energia solar no Brasil. Estimular a investigação científica e o pensamento crítico através da teoria e a prática.	2 horas/aulas
7º	Energias Renováveis	Apresentar dados sobre o uso de energias renováveis no Brasil (aumento da energia solar e matriz energética atual). Discutir os impactos sociais e ambientais.	Relacionar conteúdo com a realidade brasileira Promover pensamento crítico e proposta de soluções sustentáveis	2 horas/aulas

Fonte: Autor (2025).

4.3.1 Parte prática através da pesquisa

Complementarmente, foi conduzida uma pesquisa empírica com 34 moradores de Macapá que instalaram sistemas fotovoltaicos entre 2021 e 2023. Foram coletados dados sobre o valor investido, quantidade de placas, potência dos sistemas, Valor médio anual pago a concessionária antes das placas solares, economia mensal, e estimativa do tempo de retorno do investimento.

A análise utilizou a equação:

$$C = \frac{Ti}{12(Ta - Td)} \quad (6)$$

C = Tempo de retorno do investimento (anos)

Ti = Valor total do investimento na adesão das placas solares (Reais)

Ta = Valor médio anual pago a concessionaria antes das placas solares (Reais).

Td = Valor mensal pago a Concessionaria de energia depois das instalações das placas (reais).

O cálculo do *payback* foi ilustrado graficamente pela ferramenta digital Excel, permitindo relacionar o ano de investimento ao tempo estimado de retorno. A análise quantitativa buscou reforçar o vínculo entre teoria científica, sustentabilidade e realidade socioeconômica regional.

Com base nos dados obtidos por meio do trabalho empírico, que compreendem 10 coletas referentes ao ano de 2021, 10 coletas de 2022 e 14 coletas de 2023, será aplicada a equação 6 para calcular o tempo de retorno do investimento realizado no sistema fotovoltaico. Os resultados desse cálculo estão apresentados na última coluna da Tabela 1. É importante destacar que, para estimar o custo de retorno, considerou-se que o valor da taxa mensal (em reais) paga à concessionária de energia, após a instalação do sistema, permanece constante ao longo do tempo. Todos os dados utilizados encontram-se detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 - Levantamento de dados empíricos junto a usuários residenciais de energia fotovoltaica em Macapá, evidenciando aspectos técnicos, econômicos e temporais relacionados ao custo-benefício do sistema.

Entrevistados	Valor total aplicado na compra das placas (Reais)	O ano em que foi comprada as placas	Potência pico das placas (Wp)	Quantidade de placas	Valor médio anual pago a concessionaria antes das placas solares (Reais)	Valor pago a Concessionaria de energia depois das instalações das placas (Reais)	Tempo do custo retorno (Ano)
1	21500,00	2021	460	14	400	58	5,3
2	30000,00	2021	460	22	620	58	4,5
3	60000,00	2021	550	40	1200	81	4,5

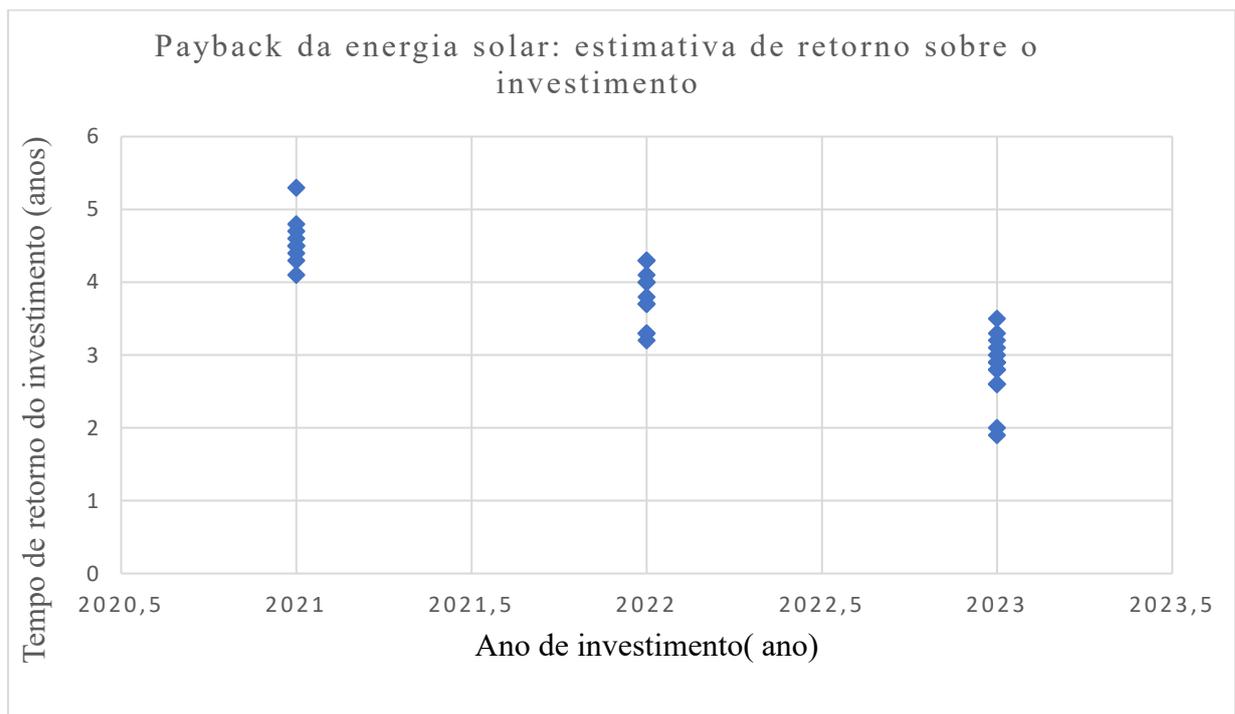
4	30000,00	2021	445	25	580	62	4,8
5	34000,00	2021	550	20	710	64	4,4
6	55000,00	2021	550	40	1100	94	4,6
7	25000,00	2021	575	14	550	64	4,3
8	40000,00	2021	550	26	850	80	4,1
9	20000,00	2021	550	12	410	60	4,7
10	20000,00	2022	550	14	430	62	3,2
11	28000,00	2022	550	18	650	68	4
12	19000,00	2022	550	14	480	60	3,8
13	20000,00	2022	550	16	520	67	3,7
14	21000,00	2022	475	16	470	58	4,3
15	26000,00	2022	550	18	720	67	3,3
16	19000,00	2022	550	14	460	60	4
17	30000,00	2022	550	20	840	75	3,3
18	42000,00	2022	550	38	940	92	4,1
19	21000,00	2022	575	16	465	60	4,3
20	26500,00	2022	550	24	670	90	3,7
21	16500,00	2023	550	12	730	62	2
22	32000,00	2023	575	30	900	85,00	3,3
23	35000,00	2023	550	30	960	88	3,5
24	18000,00	2023	550	14	540	67	3,1
25	22000,00	2023	550	16	730	64	2,8
26	25000,00	2023	550	18	780	72	2,9
27	18000,00	2023	550	14	570	66	3

28	28000,00	2023	550	22	870	75	2,8
29	18000,00	2023	550	14	590	68	2,9
30	30000,00	2023	575	24	1050	92	2,6
31	27000,00	2023	550	20	850	64	2,9
32	27000,00	2023	460	24	950	76	2,6
33	19000,00	2023	550	24	900	78	1,9
34	26000,00	2023	575	28	750	78	3,2

Fonte: Autor (2025).

No presente trabalho empírico, foi realizada a coleta de dados referentes ao desempenho de sistemas de energia solar fotovoltaica instalados em ambientes residenciais. Foram analisados parâmetros como o custo de instalação, o consumo energético mensal e a economia gerada ao longo de um período determinado. A partir desses dados, foi possível construir a representação gráfica que ilustra a relação entre o tempo estimado de retorno do investimento (payback). O gráfico do custo retorno de energia solar fotovoltaica em Macapá, amapá entre os anos de 2021 e 2023 pode ser dado pelo gráfico 8.

Gráfico 8 - Gráfico ilustrando a relação entre o ano de investimento em sistemas fotovoltaicos e a estimativa do tempo necessário para o retorno financeiro (payback), considerando as taxas tarifárias constante ao longo dos anos no Amapá de 2021 a 2023.



Fonte: Autor (2025).

5. RESULTADOS

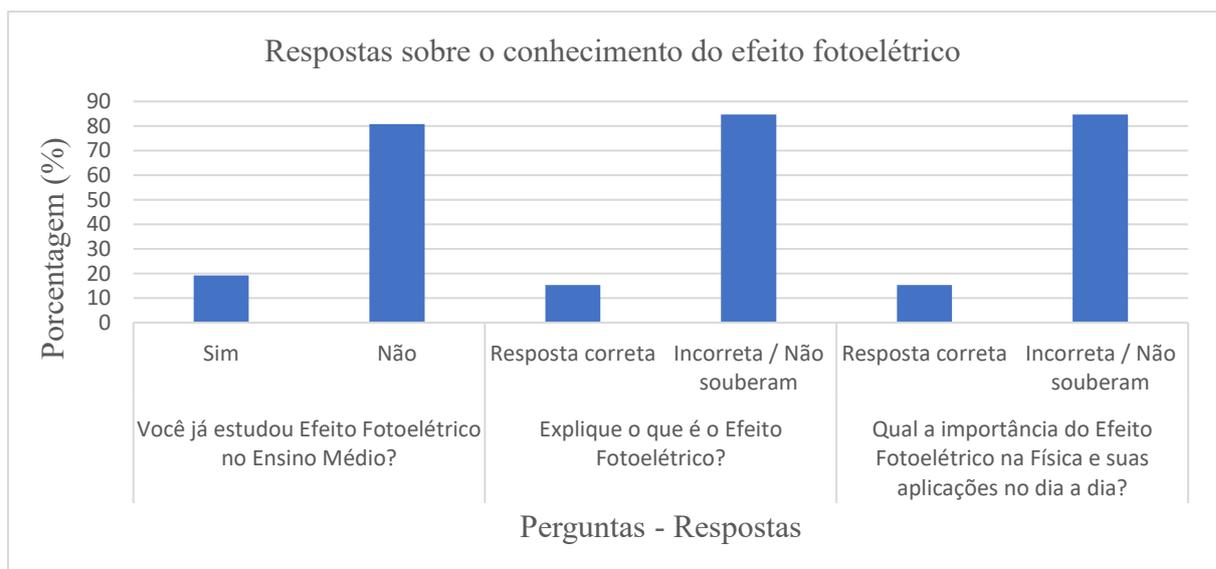
O presente capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita anteriormente, que integrou abordagem qualitativa e quantitativa no estudo do efeito fotoelétrico e da energia solar fotovoltaica. O objetivo central foi compreender os conhecimentos prévios, percepções e compreensão conceitual dos alunos do 3º ano do Ensino Médio, bem como relacionar teoria e prática através de uma sequência didática e de uma investigação empírica na cidade de Macapá.

5.1 Resultados do Diagnóstico Inicial

Para atingir o objetivo 2.2 propostos, a primeira etapa consistiu na aplicação de um questionário estruturado com 26 alunos, dividido em quatro seções temáticas.

A análise da Seção 1, referente ao efeito fotoelétrico, revelou que 80,8% dos estudantes nunca haviam estudado o tema no Ensino Médio. Apenas 19,2% afirmaram já têm tido contato com o assunto. Além disso, apenas 15,3% conseguiram responder corretamente às questões conceituais sobre o efeito fotoelétrico e sua importância, demonstrando uma lacuna significativa na compreensão do conteúdo.

Gráfico 9 - Distribuição percentual das respostas obtidas em questionário aplicado para avaliar o nível de conhecimento dos participantes sobre o efeito fotoelétrico.

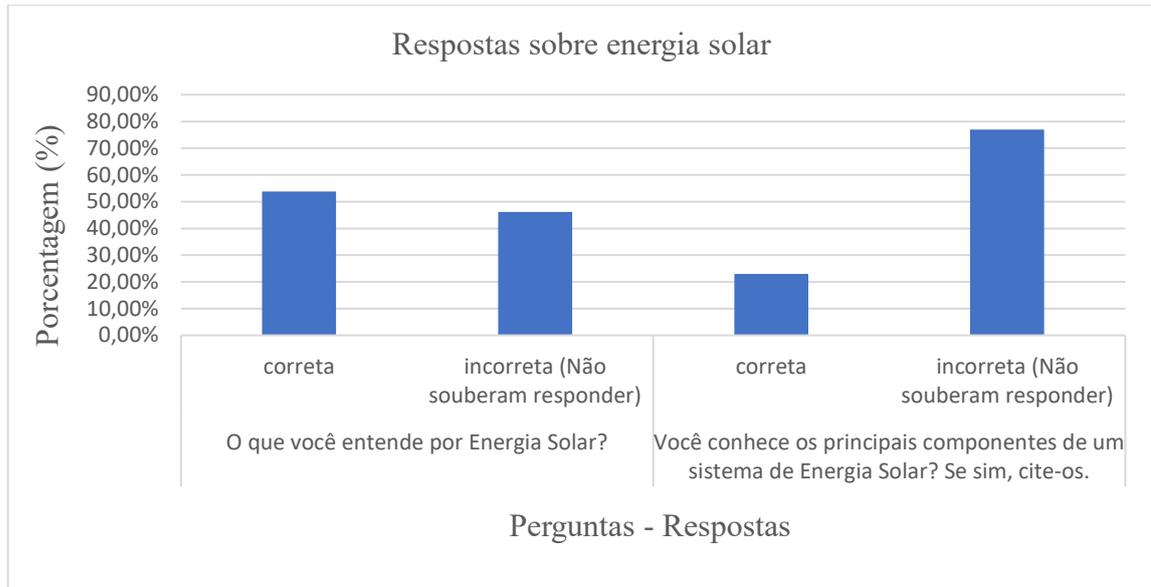


Fonte: Autor (2025).

Na Seção 2, que abordou conhecimentos sobre energia solar, observou-se uma compreensão mais equilibrada: 53,8% dos alunos responderam corretamente o que é energia solar, enquanto 23% demonstraram conhecer os componentes básicos de um sistema

fotovoltaico. Apesar disso, 77% dos alunos não souberam listar corretamente os principais componentes, o que evidencia uma compreensão superficial do funcionamento dos sistemas solares.

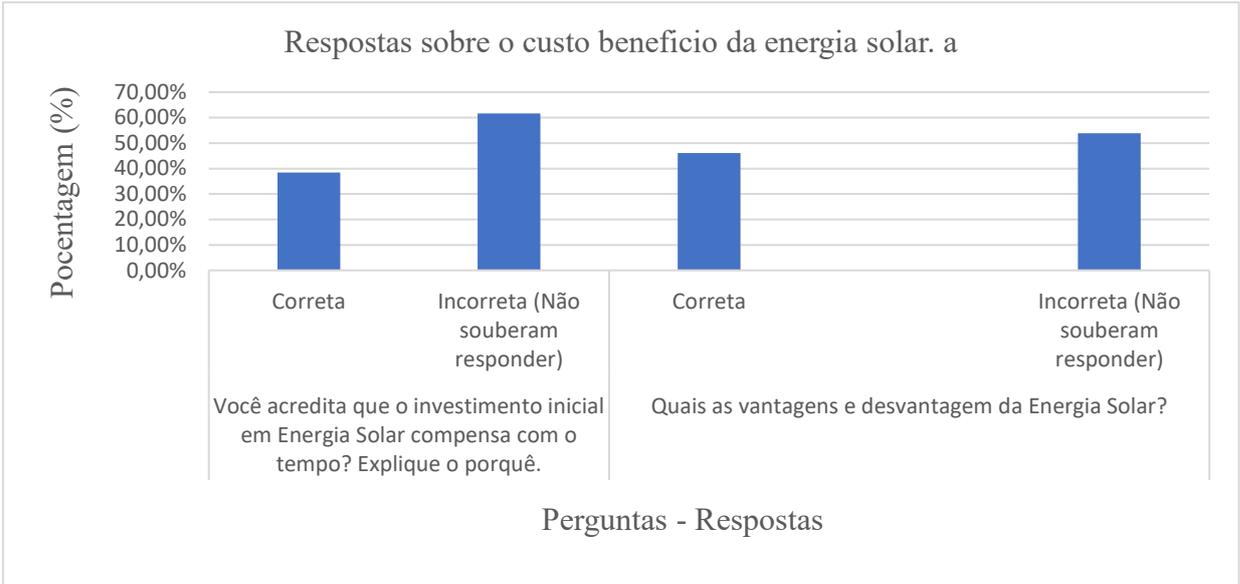
Gráfico 10 - Relação percentual das respostas a perguntas sobre energia solar, com o objetivo de avaliar o nível de conhecimento e percepção dos participantes em relação ao tema.



Fonte: Autor (2025).

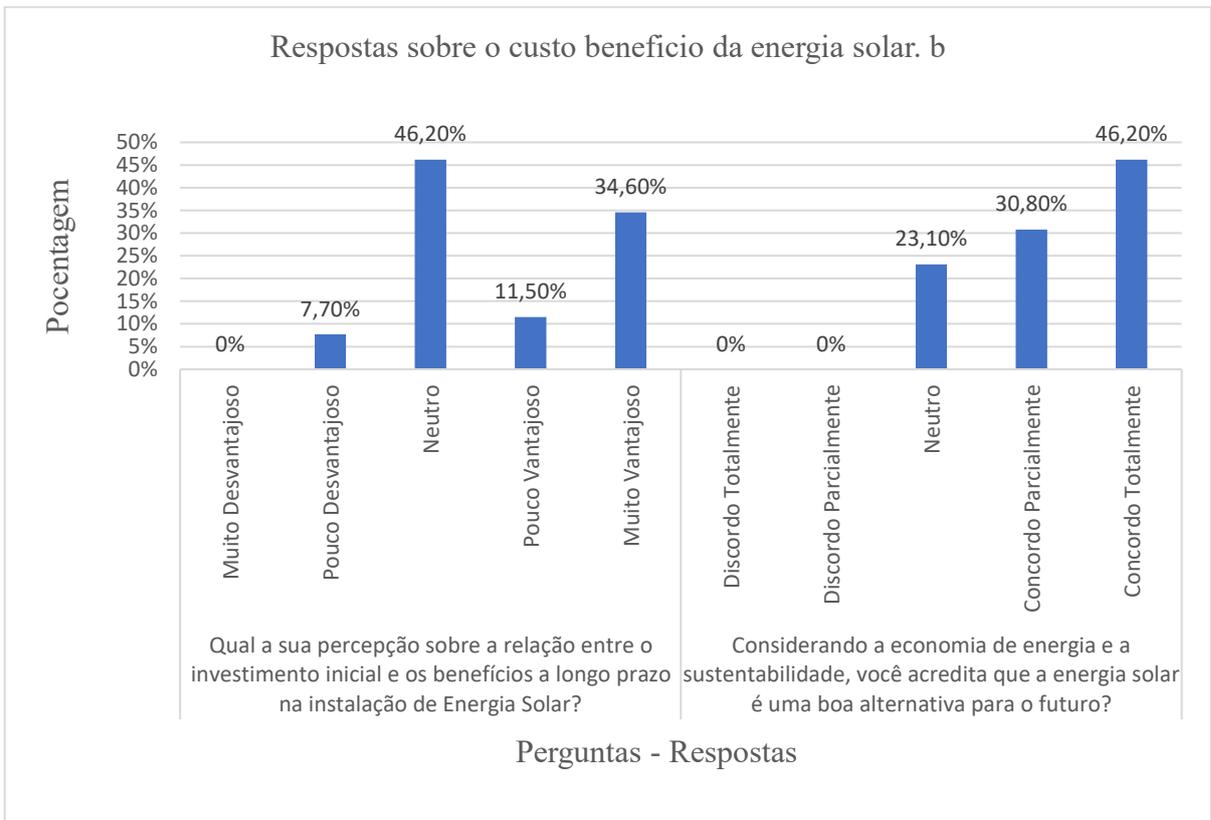
A Seção 3 abordou o custo-benefício da energia solar. Aqui, 38,4% dos alunos responderam corretamente sobre a compensação do investimento com o tempo, e 34,6% consideraram o sistema "muito vantajoso", mas a maioria se manteve neutra (46,2%) ou pouco engajada. A percepção sobre sustentabilidade foi positiva, com 77% dos alunos concordando parcial ou totalmente com a ideia de que a energia solar é uma alternativa viável para o futuro. Entretanto, quando questionados sobre vantagens e desvantagens, apenas 46,1% conseguiram elaborar respostas corretas.

Gráfico 11 - Representação percentual das respostas a perguntas sobre os aspectos econômicos da energia solar, destacando a percepção dos participantes quanto à viabilidade e retorno do investimento.



Fonte: Autor (2025).

Gráfico 12 - Representação percentual das respostas a perguntas sobre os aspectos econômicos da energia solar, destacando a percepção dos participantes quanto à viabilidade e retorno do investimento.

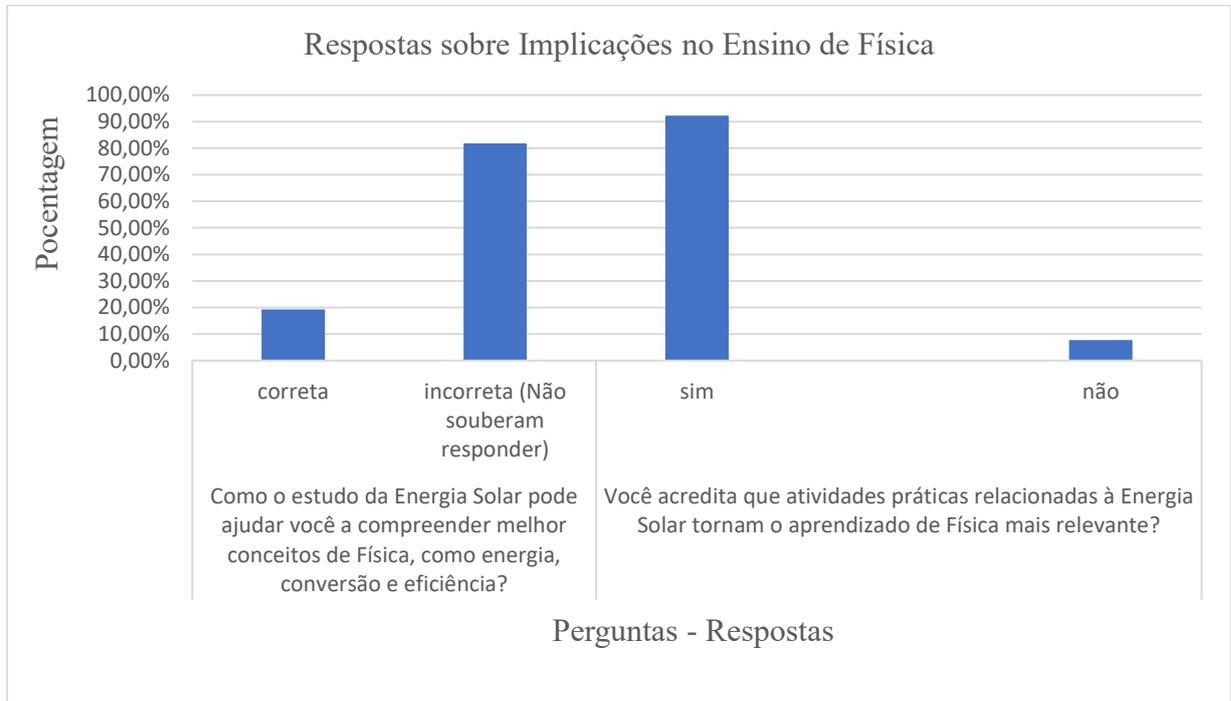


Fonte: Autor (2025).

Na Seção 4, sobre implicações no ensino de Física, apenas 19,2% dos alunos relacionaram corretamente o estudo da energia solar com conceitos como energia, eficiência e

conversão. Contudo, 92,3% afirmaram que atividades práticas tornam o aprendizado mais relevante, reforçando a importância de abordagens metodológicas interativas.

Gráfico 13 - Análise percentual das respostas dos participantes sobre a integração da energia solar no ensino de Física, com foco em sua utilidade para compreensão de conceitos e sua contribuição para tornar as aulas mais atrativas e significativas.



Fonte: Autor (2025).

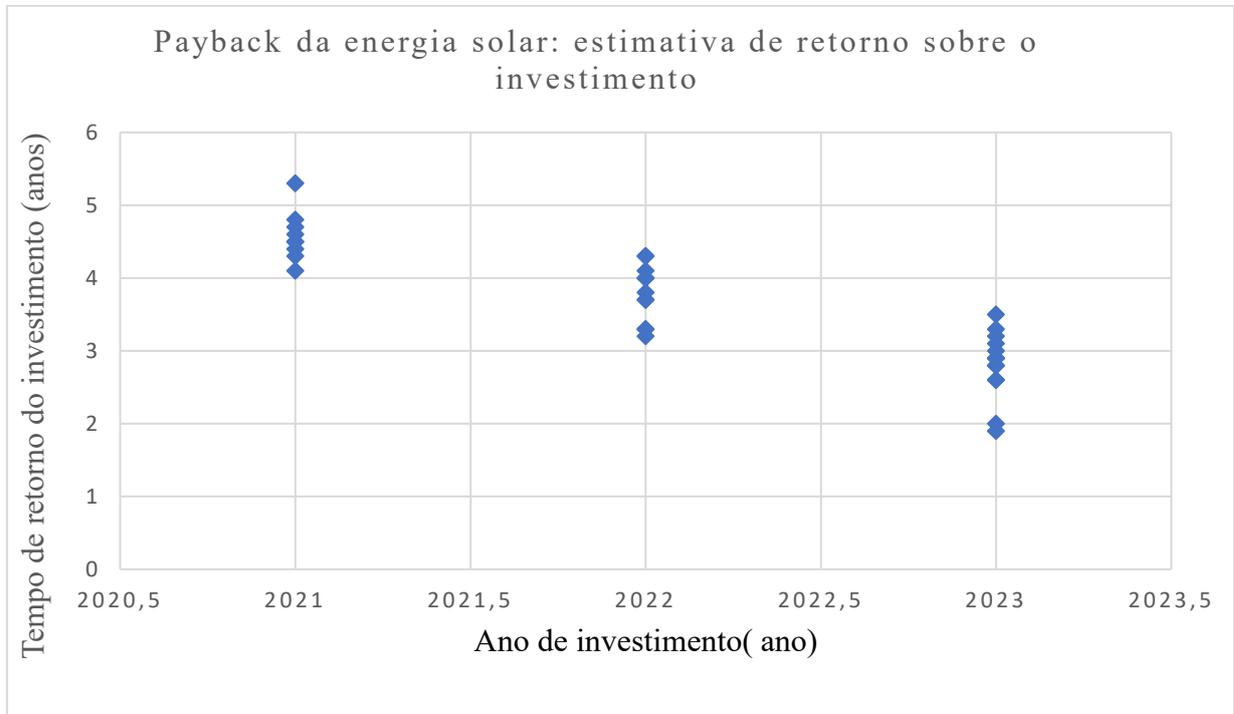
5.2 Resultados da Pesquisa Empírica em Macapá

Paralelamente à aplicação em sala, realizou-se uma investigação quantitativa com 34 moradores da cidade de Macapá que adotaram sistemas fotovoltaicos em suas residências entre 2021 e 2023. Foram coletados dados sobre o investimento inicial, quantidade de placas, valores pagos à concessionária antes e depois da instalação, e o tempo de retorno (payback).

Os resultados mostraram que o tempo de retorno do investimento variou entre 1,9 e 5,3 anos, com média geral aproximada de 3,6 anos. Houve redução significativa nas contas de energia dos entrevistados, reforçando a viabilidade econômica do sistema. Essa análise empírica foi fundamental para que os alunos percebessem a aplicação concreta dos conceitos estudados.

O Gráfico 14 apresentado no trabalho ilustra a distribuição do tempo de retorno por ano de instalação, revelando uma tendência de redução gradual ao longo dos anos, possivelmente relacionada à queda nos preços dos equipamentos e maior eficiência das placas.

Gráfico 14 - Gráfico ilustrando a relação entre o ano de investimento em sistemas fotovoltaicos e a estimativa do tempo necessário para o retorno financeiro (payback), considerando as taxas tarifárias constante ao longo dos anos no Amapá.de 2021 à 2023.



Fonte: Autor (2025).

5.3 Análise da Sequência Didática Aplicada

A aplicação da sequência didática permitiu observar avanços significativos na compreensão dos conceitos relacionados ao efeito fotoelétrico e à energia solar fotovoltaica por parte dos alunos. Os recursos didáticos empregados, especialmente o simulador PhET e os vídeos educativos, foram fundamentais para facilitar o entendimento de ideias abstratas, como a quantização da energia e a emissão de elétrons em função da frequência da luz.

O uso do simulador PhET mostrou-se particularmente eficaz ao permitir que os estudantes interagissem com os fenômenos físicos em um ambiente virtual semelhante a um experimento real. Essa interatividade favoreceu a construção de significados ao permitir a manipulação de variáveis, como o tipo de material e a intensidade da luz, possibilitando a visualização direta dos efeitos resultantes e fortalecendo o vínculo entre teoria e prática.

Os vídeos, por sua vez, contribuíram para reforçar o conteúdo apresentado, utilizando imagens, animações e exemplos cotidianos que tornaram os conceitos mais acessíveis e compreensíveis. Essa abordagem favoreceu não apenas o engajamento, mas também o interesse dos alunos pela Física, tornando o aprendizado mais dinâmico e significativo.

De modo geral, a sequência de sete aulas integrou com sucesso recursos digitais e metodologias investigativas, aproximando os conteúdos da Física Moderna da realidade dos estudantes do ensino médio. O resultado foi um aprendizado mais ativo, visual e conectado ao cotidiano, promovendo o desenvolvimento do pensamento científico e uma maior valorização das tecnologias sustentáveis no contexto educacional.

5.4 Análise na integração entre Teoria e Prática

A aula dedicada à integração entre teoria e prática, com foco no efeito fotoelétrico e sua aplicação na energia solar, apresentou resultados pedagógicos notáveis. A estratégia utilizada pelo professor consistiu em iniciar a exposição teórica abordando os fundamentos do efeito fotoelétrico conforme proposto por Albert Einstein, explicando a relação entre a frequência da luz, a energia dos fótons e a emissão de elétrons, no contexto da Física Moderna. Esse conteúdo foi abordado de forma acessível, com apoio de imagens, simulações e debates guiados.

Na segunda parte da aula, o professor apresentou os resultados de uma atividade prática já previamente desenvolvida: um estudo empírico sobre o custo-benefício da energia solar, utilizando dados reais de consumo elétrico e de instalação de sistemas fotovoltaicos. Ao demonstrar como o efeito fotoelétrico é o princípio base do funcionamento das células solares, e em seguida relacionar isso com os dados coletados sobre economia financeira, retorno do investimento e impacto ambiental, a aula proporcionou aos alunos uma experiência de aprendizagem interdisciplinar e contextualizada.

Durante a apresentação, foi perceptível o aumento do interesse dos estudantes, especialmente ao perceberem como um conceito aparentemente abstrato da Física Moderna se materializa em uma tecnologia cotidiana, sustentável e economicamente vantajosa. Houve participação ativa por parte da turma, com questionamentos sobre o funcionamento dos painéis, a viabilidade da energia solar em diferentes regiões e a importância da ciência para o desenvolvimento de soluções energéticas alternativas.

Dessa forma, os resultados indicam que a articulação entre a fundamentação teórica e a apresentação prática de dados reais contribuiu significativamente para tornar o ensino de Física mais concreto, motivador e conectado com a realidade dos alunos. A abordagem permitiu não apenas a compreensão conceitual do efeito fotoelétrico, mas também o reconhecimento de sua relevância social, econômica e ambiental, o que amplia a percepção dos estudantes sobre o papel transformador da ciência.

6. DISCUSSÃO

Embora os resultados desta pesquisa apontem para o êxito da proposta didática investigativa na promoção de uma aprendizagem mais significativa sobre o efeito fotoelétrico e a energia solar, é necessário considerar algumas limitações que podem influenciar na generalização dos achados.

Uma das principais limitações refere-se ao tamanho da amostra, tanto no diagnóstico aplicado aos alunos (26 participantes) quanto na investigação empírica com moradores de Macapá (34 entrevistados). Embora esses dados tenham sido ricos e relevantes dentro do contexto local, eles ainda representam um universo restrito, dificultando a extrapolação dos resultados para outras realidades escolares e socioeconômicas do país.

Além disso, há que se considerar os possíveis vieses de resposta. No caso dos alunos, a familiaridade com o pesquisador e o ambiente escolar pode ter influenciado as respostas, principalmente nas perguntas abertas do questionário diagnóstico. Já nos dados empíricos com os moradores, o fator subjetivo nas estimativas de economia mensal ou percepção de benefício também pode ter interferido, visto que nem todos os entrevistados possuem registros exatos de consumo anterior ou parâmetros técnicos claros sobre os sistemas instalados.

Outro fator importante é a variação sazonal da insolação na cidade de Macapá. Por estar localizada próxima à Linha do Equador, a cidade possui uma boa média de radiação solar anual; no entanto, variações climáticas entre estações chuvosas e secas podem afetar a produção de energia dos sistemas fotovoltaicos em determinados períodos do ano. Essa flutuação não foi considerada nas análises de custo-retorno, que adotaram valores constantes de produção e economia. Assim, os cálculos de payback podem estar superestimados em alguns casos, especialmente em meses com menor incidência solar.

Diante dessas limitações, recomenda-se que futuras pesquisas ampliem o número de participantes, considerem registros técnicos mais precisos sobre os sistemas analisados e incorporem dados meteorológicos locais de forma mais detalhada, a fim de gerar análises mais robustas e comparáveis. Apesar dessas restrições, o estudo se mostra válido e promissor para fomentar práticas pedagógicas mais contextualizadas e integradoras entre ciência e sociedade.

6.1 Confronto com a Literatura

Os resultados empíricos obtidos nesta pesquisa indicaram um tempo médio de retorno do investimento (payback) de aproximadamente 3,6 anos para sistemas fotovoltaicos residenciais instalados em Macapá entre 2021 e 2023. Esse valor se mostra expressivamente

favorável quando comparado com estimativas presentes na literatura e em relatórios de mercado do setor energético nacional.

Segundo dados da ABSOLAR (2024), o tempo médio de payback para sistemas de pequeno porte no Brasil varia entre 4 e 7 anos, dependendo da região, do nível de radiação solar, da tarifa de energia local e da variação cambial que afeta o custo dos equipamentos. Em regiões de alta insolação, como o Centro-Oeste e partes do Nordeste, esse tempo tende a ser reduzido. No entanto, Macapá, embora próximo à Linha do Equador, enfrenta maior umidade relativa e presença de nuvens, o que poderia impactar negativamente o desempenho, o que torna o resultado desta pesquisa ainda mais relevante.

De acordo com a Greener, no caso das instalações residenciais, o retorno do investimento variava entre 3,8 e 5,7 anos nos estados do país em janeiro. Em junho, essa faixa caiu para 3,1 e 4,8 anos. Para instalações comerciais, o retorno variava de 3,3 a 4,8 anos em janeiro e passou para 2,4 a 3,7 anos em junho. O payback para conexões industriais saiu de uma faixa de 4,5 a 7,2 anos para uma de 4,0 a 6,3 anos. (PORTAL SOLAR, 2023).

Portanto, o valor médio de 3,6 anos encontrado em Macapá está dentro do intervalo mais competitivo do mercado nacional, reforçando a viabilidade econômica da adoção da energia solar no Amapá, mesmo considerando suas particularidades climáticas e infraestrutura energética. Esse resultado sustenta a importância de apresentar tais dados aos alunos em sala de aula como forma de ilustrar não apenas a aplicação do efeito fotoelétrico, mas também sua relevância prática, econômica e ambiental.

7. CONCLUSÃO

Nesse sentido, destaca-se como contribuição original desta pesquisa a capacidade de estimular o protagonismo estudantil, pois os alunos deixaram de ser meros receptores de informações e passaram a agir como agentes reflexivos, capazes de estabelecer conexões entre ciência, sociedade, economia e sustentabilidade.

Além disso, ao inserir temas como o efeito fotoelétrico dentro de um contexto atual e concreto, e o uso da energia solar como alternativa sustentável, o trabalho contribuiu para romper com a tradicional abordagem fragmentada e abstrata do ensino de Física, tornando o conteúdo mais acessível, aplicável e motivador. Essa transformação da prática pedagógica também abre espaço para novos olhares na formação de professores, ao demonstrar que o ensino de conceitos complexos pode e deve dialogar com a realidade dos estudantes, utilizando metodologias ativas, investigativas e interdisciplinares.

Como implicação prática, esta proposta se apresenta como modelo viável para ser replicado em outras instituições de ensino, promovendo a interdisciplinaridade entre Física, Matemática, Geografia e Ciências Ambientais. A abordagem contribui não apenas para o domínio conceitual, mas também para a formação de sujeitos críticos e conscientes do seu papel na sociedade, alinhando-se aos princípios da BNCC e às demandas por uma educação voltada à cidadania e à sustentabilidade.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a ampliação da amostra estudada, bem como o aprofundamento da análise sobre os impactos da sazonalidade na eficiência dos sistemas fotovoltaicos, incluindo a coleta contínua de dados ao longo do ano. Também seria relevante investigar como propostas semelhantes impactam o desempenho acadêmico de diferentes perfis de alunos (por gênero, faixa socioeconômica ou localização geográfica), além de explorar o uso de tecnologias emergentes como realidade aumentada para a visualização de fenômenos da Física Moderna.

Em síntese, este estudo demonstrou que é possível tornar o ensino de Física mais dinâmico, crítico e conectado ao cotidiano dos alunos, por meio da integração entre teoria e prática, ciência e sociedade. Ao valorizar o contexto local, o pensamento científico e a formação cidadã, a proposta reafirma o potencial transformador da educação na construção de um futuro mais justo e sustentável.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA. **Infovento**, edição #34 de 21 de março de 2024. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wpcontent/uploads/2024/03/424_ABEEOLICA_INFOVENTO_ED34_PT_V3.pdf. Acesso em: 30 set. 2024.

ABSOLAR. **Energia fotovoltaica no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 17 set. 2024.

ABSOLAR. **Panorama do solar fotovoltaico no Brasil e no mundo**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 5 maio 2025.

ABRACEEL. **Os anseios dos consumidores de energia no radar do MME**. 2024. Disponível em: <https://abraceel.com.br/biblioteca/artigos/2024/02/os-anseios-dos-consumidores-de-energia-no-radar-do-mme/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Matriz Energética e Elétrica**. Brasília: ANEEL, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 20 dez. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e

minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica e dá outras providências. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2025.

AGÊNCIA SEBRAE DE NOTÍCIAS. **Primeiro atlas solar do Amapá apresenta impacto positivo no empreendedorismo e desenvolvimento sustentável**. 2025. Disponível em: <https://ap.agenciasebrae.com.br/inovacao-e-tecnologia/primeiro-atlas-solar-do-amapa-apresenta-impacto-positivo-no-empendedorismo-e-desenvolvimento-sustentavel/>. Acesso em: 20 abr. 2025.

ALBUQUERQUE, M. A. de S.; BICALHO, F. da S. Ensino de Física por investigação: uma revisão de literatura. **Revista Comunicação Universitária**, v. 4, p. 1-18, 2024.

ASSIS, A.; TEIXEIRA, O. P. B. Algumas considerações sobre o ensino e a aprendizagem do conceito de energia. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 9, n. 1, p. 41–52, jan./jun. 2003.

BRAGA, João. **Fundamentos de Energia Solar**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base**. Brasília: Ministério da Educação, 2018a. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular – Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 2018b. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 23 dez. 1996.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2022/lei-14300-6-janeiro-2022-792217-publicacaooriginal-164335-pl.html>. Acesso em: 10 jan. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação; Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21 na Escola**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília: MEC, Coordenação Geral de Educação Ambiental, 2007.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2006.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Partículas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979. (Considerando a edição mais provável para 29ª reimpressão ser Elsevier, não Editora Campus na outra citação duplicada).

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Ações para promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras: no caminho da transição energética**. 2020. Disponível

em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/documents/nt%20dea-see-077-2020.pdf>. Acesso em: 1 out. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2024: Relatório Síntese – Ano base 2023**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-publica-o-relatorio-sintese-do-balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: 10 jan. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Demanda de Energia 2050**. 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>. Acesso em: 1 out. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída**. 2024. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/pdgd/>. Acesso em: 1 out. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **PDE 2034 - Micro e Minigeração Distribuída & Baterias Atrás do Medidor**. 2024. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-709/Caderno_MMGD_Baterias_PDE2034_\(20240702\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-709/Caderno_MMGD_Baterias_PDE2034_(20240702).pdf). Acesso em: 1 out. 2024.

FERNANDES, A. C. S. **Educação ambiental e energia: uma proposta de abordagem crítica no ensino de Física**. 2013. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2013.

FRIGO, A. C.; CANEPPELE, D. M.; GODINHO, M. M. O papel das tecnologias fotovoltaicas no contexto da transição energética. João Pessoa: Instituto Federal da Paraíba (IFPB), 2023.

IMHOFF, Johninson. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica, vol. 4: ótica, relatividade, física quântica**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

PARÂMETROS Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM). (Essa entrada precisa de mais informações para ser uma referência completa. Idealmente, deveria ser algo como: BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC, SEMTEC, 1999. OU PCN+ ENSINO MÉDIO já foi citado).

PORTAL SOLAR. **Dados da energia no Amapá**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-no-amapa>. Acesso em: 5 dez. 2024.

PORTAL SOLAR. **Dados do mercado de energia solar no Brasil**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em: 2 fev. 2025.

SILVA, J. da; PEREIRA, A. L. Tecnologias de Células Fotovoltaicas: Uma Análise das Gerações e Eficiências. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 10, n. 2, p. 45-60, 2023.

TOMASQUIN, Daniel. **Energia e Sustentabilidade: Desafios e Perspectivas**. Curitiba: Appris, 2016.