

ENERGIA SOLAR NA AMAZÔNIA CARIBENHA: ANÁLISE DE DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE DA USINA FOTOVOLTAICA DA UFRR

MARIA HELENA SOUSA FARIAS

Universidade Federal de Roraima - UFRR
admhelenafarias@gmail.com

THIAGO BESSA RAMOS

Universidade Federal de Roraima - UFRR
bessathiago00@gmail.com

LUCIANO ALBERTO FERREIRA

Universidade Federal de Roraima - UFRR
luciano.ferreira@ufrr.br

ZEDEQUIAS DE OLIVEIRA JUNIOR

Universidade Federal de Roraima - UFRR
zedequiasjunior@hotmail.com

FRANCISCO CARLOS DA COSTA FILHO

Universidade Federal de Roraima - UFRR
carlos.costa@ufrr.br

RESUMO

O estudo avalia o desempenho técnico e impactos ambientais da Usina Fotovoltaica da Universidade Federal de Roraima (UFV-UFRR) durante seu primeiro ano de operação (julho/2024 a julho/2025), contribuindo para o debate sobre gestão de impacto socioambiental em instituições públicas federais. Localizada no campus Paricarana, Boa Vista-RR, a usina possui potência instalada de 505,44 kWp, composta por 1.116 módulos. A pesquisa, de natureza quantitativa descritiva, utiliza dados de geração obtidos via sistema de monitoramento da UFRV-UFRR e dados de irradiação do INPE/LABREN, além de informações institucionais do Plano de Logística Sustentável (PLS 2024–2026) da UFRR. O desempenho foi analisado por meio dos indicadores Performance Ratio (PR), Fator de Capacidade (FC) e Produtividade Final (Yf), bem como pelo cálculo das emissões de CO₂ evitadas. No período analisado, a geração total foi de 666.694 kWh, com PR médio de 74,7%, FC de 15,3% e Yf de 1.319 kWh/kWp/ano. A operação evitou a emissão estimada de 376,7 tCO₂, considerando o fator de emissão do sistema termelétrico local (0,565 tCO₂/MWh), resultando em benefício ambiental 14,7 vezes superior ao equivalente em regiões interligadas ao SIN. A análise evidenciou variações sazonais na produção e anomalias pontuais ligadas a fatores climáticos e operacionais. Os resultados demonstram alinhamento do projeto às diretrizes do PLS-UFRR e às metas do ODS 7 da Agenda 2030, reforçando o papel da geração solar na diversificação da matriz elétrica e na mitigação de emissões em sistemas isolados da Amazônia.

Palavras-chaves: Energia renovável. Desenvolvimento sustentável. Matriz elétrica.

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia Caribenha constitui um território singular no extremo norte da América do Sul, abrangendo partes do Brasil (Roraima), Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa. Integrante do Escudo das Guianas, essa região destaca-se por suas particularidades geográficas, históricas e climáticas, que a diferenciam do restante da Amazônia brasileira (Oliveira, 2011). Esse cenário é reforçado pela geologia estável do Escudo das Guianas, a baixa nebulosidade sazonal e a estabilidade climática, fatores que favorecem a operação eficiente de sistemas fotovoltaicos (Absolar, 2016).

A Amazônia Caribenha possui posição estratégica para a transição energética solar, porém a matriz de Roraima permanece quase 100% dependente de termelétricas a diesel e gás. Esse modelo resulta em altos custos, fragilidade logística e graves impactos ambientais, divergindo de compromissos globais e nacionais. Essa realidade contrasta com as diretrizes de sustentabilidade da Agenda 2030 (ODS 7), da Política Nacional sobre Mudança do Clima e do marco legal da micro e minigeração distribuída (Lei nº 14.300/2022), que visam promover fontes limpas e renováveis.

No contexto da transição energética brasileira, o setor público vem assumindo papel de protagonismo na adoção da energia solar fotovoltaica. Conforme Oliveira, Silva e Altoé (2021), as Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) desempenham funções estratégicas ao conjugarem, em ações concretas, eficiência econômica, responsabilidade ambiental e segurança energética, atuando na difusão tecnológica.

A Universidade Federal de Roraima em 2024 instalou uma usina fotovoltaica de 505,44 kWp no campus Paricarana, composta por 1.116 módulos que ocupam 2.300 m², conectados a quatro inversores e duas subestações. O projeto, alinhado ao Plano Diretor de Logística Sustentável, gera em média 1.500 kWh por dia, atendendo cerca de 8,3% da demanda do campus, com monitoramento remoto e manutenção preventiva conforme normas técnicas.

Frente ao exposto, o estudo tem como problema de pesquisa: Qual o desempenho energético e ambiental da Usina Fotovoltaica da UFRR em seu primeiro ano de operação, considerando os indicadores técnicos de performance e a contribuição para as diretrizes de logística sustentável? Desse modo, o objetivo geral consiste em mensurar o desempenho da Usina Fotovoltaica da UFRR em seu primeiro ano de operação, a partir de indicadores

padronizados de performance fotovoltaica e da estimativa de emissões evitadas, verificando o alinhamento com o Plano de Logística Sustentável e o ODS 7.

Objetivos Específicos: a) Quantificar a geração total de energia da Usina Fotovoltaica da UFRR desde sua implantação; b) Avaliar o desempenho energético a partir dos Indicadores de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos, Performance Ratio (PR), Fator de Capacidade (FC) e Produtividade Final (Yf); c) Estimar a redução de emissões de CO₂ a partir da energia gerada, utilizando fatores de emissão das termelétricas a diesel/gás natural locais; d) Analisar o alinhamento do projeto da UFV com as metas do Plano de Logística Sustentável (PLS) da UFRR e o ODS 7 (Energia Limpa).

O trabalho justifica-se, no campo teórico-conceitual, pela lacuna na literatura sobre sistemas fotovoltaicos em regiões tropicais singulares como a Amazônia Caribenha, na qual condições climáticas específicas (alta irradiação solar e baixa nebulosidade) demandam análises customizadas de desempenho. No aspecto pragmático-organizacional, a UFRR, pioneira na implementação de uma usina de grande porte na região Norte, constitui estudo de caso relevante para avaliar a viabilidade da energia solar em contextos amazônicos, alinhando-se às políticas institucionais de logística sustentável.

Quanto às contribuições, no âmbito acadêmico, o estudo oferece dados inéditos sobre eficiência fotovoltaica em condições tropicais extremas. Para a sociedade, espera-se que os resultados subsidiem políticas públicas de transição energética em Roraima. Já no campo da prática profissional, pretende-se apresentar metodologias replicáveis para projetos em instituições públicas de regiões com alta insolação e desafios logísticos similares.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações

A tecnologia fotovoltaica consolidou-se nas últimas décadas como uma das principais fontes de energia renovável globalmente. Baseada no efeito fotovoltaico descoberto por Becquerel em 1839, sua aplicação comercial massiva ocorreu a partir da década de 1970, impulsionada pela indústria espacial e por políticas de incentivo às energias renováveis (Campos *et al.*, 2010). No Brasil, a fonte solar desponta como a principal alternativa aos combustíveis fósseis, por não ser poluente, apresentar *design* compacto e baixo custo de manutenção (Silva; Araújo, 2022).

No Brasil, a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, e sua atualização pela REN 687/2015, estabeleceu as condições para acesso de micro e minigeração distribuída e criou o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2014), permitindo que consumidores se tornassem produtores descentralizados e democratizando o acesso à geração fotovoltaica.

2.2 Sustentabilidade na Administração Pública: PLS, ODS 7 e ESG

As Instituições de Ensino Superior (IES) têm assumido papel protagonista na implementação de práticas sustentáveis, não apenas por sua responsabilidade social e ambiental, mas também como laboratórios para pesquisa e desenvolvimento de tecnologias limpas. A literatura evidencia crescente tendência de universidades implementarem sistemas de energia renovável como parte de suas estratégias de sustentabilidade (Diniz, 2024).

2.2.1 Planos de Logística Sustentável (PLS) em Universidades

O Decreto nº 7.746/2012 instituiu os Planos de Logística Sustentável como instrumentos obrigatórios para órgãos da administração pública federal, incluindo as universidades. Os PLS constituem ferramentas de planejamento que permitem estabelecer práticas de sustentabilidade e racionalização de gastos e processos administrativos, abrangendo ações relacionadas ao consumo consciente de recursos, racionalização de espaços físicos e redução de impactos ambientais (UFRR, 2024).

As universidades federais têm desenvolvido PLS com eixos temáticos específicos para energia elétrica, incluindo metas de eficiência energética, diversificação da matriz energética institucional e adoção de tecnologias renováveis. O PLS da UFRR 2024-2026, por exemplo, estabelece diretrizes claras para promoção da racionalização do consumo energético e implementação de fontes renováveis de energia.

2.2.2 Agenda 2030 e o ODS 7: Energia Limpa e Acessível

O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7) estabelece a meta de "garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos" até 2030. Especificamente, a meta 7.2 visa "aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global". No contexto brasileiro, esta meta foi adaptada para "manter elevada a participação de energias renováveis na matriz energética nacional",

considerando que o Brasil já possui uma matriz energética com significativa participação renovável (41,2% em 2015) (IPEA, 2025).

Além disso, o ODS em questão assume particular relevância considerando que, apesar da matriz energética relativamente limpa baseada em hidroeletricidade, existe necessidade de diversificação por meio de fontes solar e eólica para reduzir dependência de termelétricas durante períodos de escassez hídrica (Galbiatti-Silveira, 2018).

A implementação do ODS 7 em instituições públicas de ensino superior representa uma estratégia fundamental para demonstrar a viabilidade técnica e econômica das energias renováveis, além de promover a educação e conscientização no tocante à sustentabilidade energética.

2.2.3 Critérios ESG na Gestão Pública

No contexto da gestão pública, a adoção de critérios ESG (*Environmental, Social and Governance*) tem se consolidado como instrumento de mitigação climática, com ênfase em investimentos em fontes renováveis e redução de emissões de gases de efeito estufa em edifícios públicos. A Nova Lei de Licitações (Lei nº 14.133/2021) e o Decreto nº 11.430/2023 reforçam esse movimento ao estabelecer a sustentabilidade como critério nas contratações públicas, alinhando a administração federal a práticas de governança socioambiental (Fernandes, 2024).

2.3 Indicadores de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos

2.3.1 Performance Ratio (PR)

O Performance Ratio (PR) constitui o indicador mais utilizado para avaliação da qualidade de usinas fotovoltaicas, representando a razão entre a entrega real e a entrega teórica de energia do sistema. Independente da orientação, localização e irradiação solar incidente, o PR permite comparar usinas em diferentes localidades ao redor do mundo, sendo frequentemente descrito como fator de qualidade da planta (IEC 61724-1, 2017).

O cálculo do PR segue a padronização da norma da *International Electrotechnical Commission* (IEC) 61724-1:2021. A formulação básica considera:

$$PR = \frac{\text{Energia Real Gerada}}{P_{\text{instalada}} \cdot G_{\text{incidente}}} \times 100$$

Em que:

PR – Performance ratio (%)

Energia Real Gerada: Energia real gerada (kWh).

$P_{\text{instalada}}$: Potência instalada (kWp).

$G_{incidente}$: Irradiação solar incidente no período (kWh/m²).

Usinas de alta performance podem alcançar valores de até 80%, sendo que valores próximos a 75% são considerados aceitáveis para sistemas fotovoltaicos. Valores inferiores a 60% indicam necessidade de inspeção detalhada para identificação de perdas térmicas, elétricas, ópticas ou problemas de manutenção.

2.3.2 Interpretação da Irradiação Incidente ($G_{incidente}$)

O cálculo do PR utiliza a irradiação no plano inclinado (POA), que incorpora o ajuste da inclinação e orientação dos módulos, conforme recomendado pela IEC 61724 para assegurar comparabilidade entre sistemas. O cálculo da variável é dado pela fórmula:

$$G_{incidente} \left(\frac{kWh}{m^2} \right) = \text{Irradiância diária} \left(\frac{\frac{kWh}{m^2}}{\text{dia}} \right) \times \text{Número de dias (dia)}$$

A irradiância mensal é obtida no repositório do LABREN/INPE, a partir da latitude e longitude do local.

2.3.3 Fator de Capacidade (FC)

O Fator de Capacidade (FC) indica quanto uma usina gera em relação ao máximo que poderia gerar, representando a proporção entre a energia efetivamente produzida e a capacidade instalada durante um ano. Para energia solar, o FC típico varia entre 15-25%, refletindo a intermitência natural da fonte solar (EPE, 2023).

$$FC = \frac{E_{gerada}}{P_{instalada} \cdot h} \cdot 100$$

Em que:

FC – Fator de capacidade (%)

E_{gerada} - Energia gerada no período (kWh).

$P_{instalada}$ – Potência instalada (kWp).

h – Total de horas no intervalo analisado

2.3.4 Produtividade Final (Y_f)

A produtividade final (Y_f) expressa a energia útil produzida por unidade de potência instalada, medida em kWh/kWp. Este indicador permite comparação direta entre sistemas de diferentes capacidades e localidades. De acordo com a Absolar (2023), a média nacional varia entre 1.200 - 1.250 kWh/kWp/ano, enquanto o INPE/LABREN (2023) informa que os maiores

valores presentes no semiárido nordestino alcançam a faixa 1.350–1.400 kWh/kWp/ano, conforme fórmula:

$$Y_f = \frac{E_{gerada}}{P_{instalada}}$$

Em que:

Y_f – Produtividade final (kWh/kWp/ano)

E_{gerada} - Energia gerada no período (kWh)

$P_{instalada}$ - Potência instalada (kWp)

2.4 Literatura sobre Sustentabilidade e Redução de Emissões de CO₂

2.4.1 Impacto Ambiental da Energia Solar

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes que mais contribuem para a descarbonização, por não emitir gases poluentes durante a geração. No Brasil, dados da Absolar indicam que a fonte já evitou mais de 50 milhões de toneladas de CO₂ desde 2012, sendo 5,5 milhões somente no primeiro semestre de 2024.

Em 2023, o fator de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN) foi de 0,0385 tCO₂/MWh, o menor dos últimos 12 anos, refletindo a entrada de fontes limpas e condições hídricas favoráveis, com as hidrelétricas respondendo por 70% da geração verificada (Brasil, 2024).

2.4.2 Comparação com Termelétricas a Diesel e Gás Natural

De acordo com o Informativo Técnico nº 11/2022 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), as usinas termelétricas a diesel apresentam fatores de emissão de 0,762 tCO_{2e}/MWh, ou seja, para cada MWh gerado, há emissão de 0,762 toneladas equivalentes de CO₂. Para gás natural, o fator é aproximadamente 0,367 tCO_{2e}/MWh para termelétricas de ciclo combinado, que é o caso da usina à gás natural de Boa Vista, Jaguatirica II (Eneva, 2022). O fator equivalente médio entre as duas variáveis é, então 0,565 tCO_{2e}/MWh.

3 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa quantitativa descritiva, fundamentada em dados secundários e análise documental. A natureza quantitativa decorre do uso de dados numéricos de geração energética e aplicação de indicadores padronizados de desempenho, enquanto o caráter descritivo se justifica pelo objetivo de caracterizar o comportamento operacional da usina.

Foram utilizados os dados de geração diária e mensal da Usina Fotovoltaica da UFRR, cobrindo o período de 16 de julho de 2024 a 10 de julho de 2025. Esse recorte temporal corresponde ao primeiro ciclo anual completo de operação da usina, contado a partir da data de início de sua atividade. A opção por analisar o primeiro ano se justifica tanto pela relevância técnica de avaliar o desempenho inicial do sistema, quanto pela possibilidade de capturar a variabilidade sazonal completa da irradiação solar na região. Os dados de geração foram extraídos do sistema de monitoramento da usina e fornecidos pelo setor de engenharia da UFRR, mediante solicitação formal à Ouvidoria da instituição por meio da plataforma FalaBR.

3.1 Localização e Contexto Regional

A usina está instalada no Campus Paricarana, localizado em Boa Vista, no estado de Roraima, Brasil. A estrutura ocupa uma área de aproximadamente 2.300 m² em um terreno plano e de fácil acesso, caracterizado pelo baixo sombreamento e pela proximidade estratégica à infraestrutura elétrica institucional.

3.2 Dados Técnicos e Especificações Físicas

A Usina Fotovoltaica da UFRR possui potência instalada de 505,44 kWp, composta por 1.116 módulos Monocristalino Half-Cell PERC de 448 Wp, em estrutura fixa ao solo com inclinação de 10° voltada para o Norte, visando maximizar a captação solar na latitude local e servir como instrumento de ensino, pesquisa e extensão.

O sistema elétrico conta com quatro inversores trifásicos de 100 kW (homologados pela ANEEL e INMETRO), duas subestações elevadoras de 380V/13,8kV com transformadores de 300 kVA e medição bidirecional conforme requisitos da Roraima Energia. O investimento total na construção foi de R\$ 2.417.793,88.

3.3 Dados de irradiação solar

As informações sobre irradiação solar foram obtidas por meio do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, especificamente do LABREN - Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia.

3.4 Dados de emissões de CO₂ a partir da fonte em termelétricas

Disponíveis no Informativo Técnico nº 011/2022 da Empresa de Pesquisa Energética.

3.5 Documentos institucionais e referencial regulatório

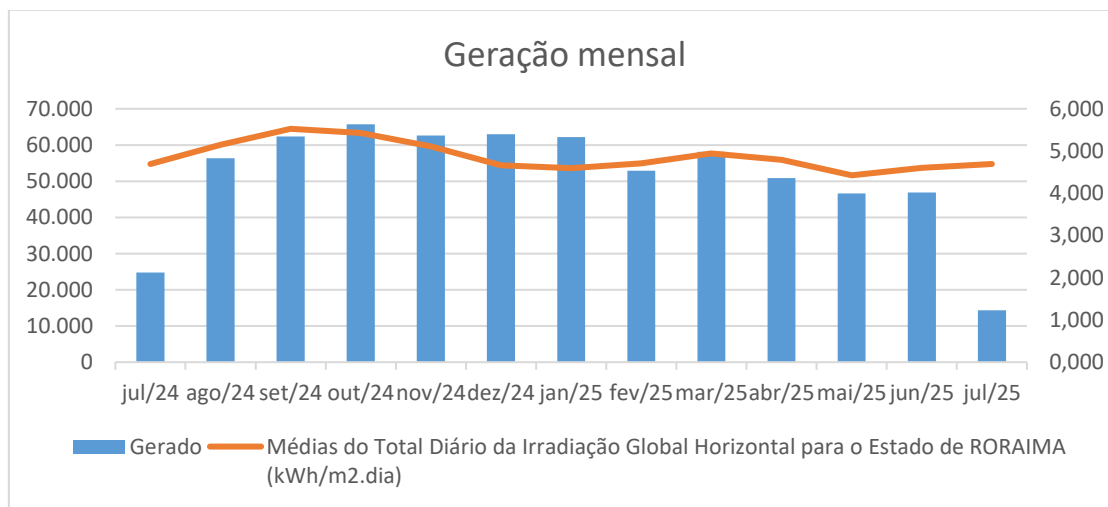
O estudo baseia-se no Plano Diretor e Relatório de Monitoramento de Logística Sustentável da UFRR (2024-2026), complementado por documentos técnicos da UFV (Estudos Preliminares e Memoriais) obtidos via Sistema Integrado de Patrimônio, Administração e Contratos - SIPAC (Processo nº 23129.008733/2021-49). Além disso, a pesquisa está alinhada ao ODS 7 da Agenda 2030, focado em energia limpa e acessível.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Desempenho Energético da UFV

Com base nos dados de geração disponíveis, a Usina Fotovoltaica da UFRR apresentou, conforme Figura 1, os seguintes resultados principais no período analisado:

Figura 1 - Geração mensal e irradiação



Fonte: Elaborada pelos autores com base em dados do sistema de monitoramento da UFV-UFRR e do INPE/LABREN (2025).

No período de julho de 2024 a julho de 2025, a UFV gerou um total de 666.694 kWh, demonstrando o potencial significativo da energia solar na Amazônia.

Os dados mensais revelam variabilidade sazonal, com destaque para o período de setembro de 2024 a janeiro de 2025, que apresentou as maiores gerações mensais (superando 60.000 kWh/mês) e médias diárias acima de 2.000 kWh. Setembro de 2024 registrou a maior

geração (65.693,8 kWh) e fevereiro de 2025, a menor (52.884,3 kWh), desconsiderando os meses de julho de 2024 e de 2025, por serem incompletos.

Os maiores níveis de irradiação e geração concentraram-se entre agosto e novembro de 2024, com algumas anomalias: agosto ficou abaixo do potencial de 5,093 kWh/m².dia, enquanto janeiro e fevereiro de 2025 superaram as projeções de ~4,7 kWh/m².dia. Essas divergências decorrem da ausência de estações de medição local e de fatores operacionais ou climáticos, evidenciando que a irradiação, apesar de determinante, atua combinada à eficiência do sistema e às condições ambientais.

4.2 Indicadores de Desempenho

O desempenho da Usina Fotovoltaica da UFRR foi avaliado a partir dos três principais indicadores técnicos recomendados pela norma IEC 61724: Performance Ratio (PR), Fator de Capacidade (FC) e Produtividade Final (Yf). Os resultados revelam particularidades importantes sobre a eficiência do sistema nas condições climáticas da Amazônia Caribenha.

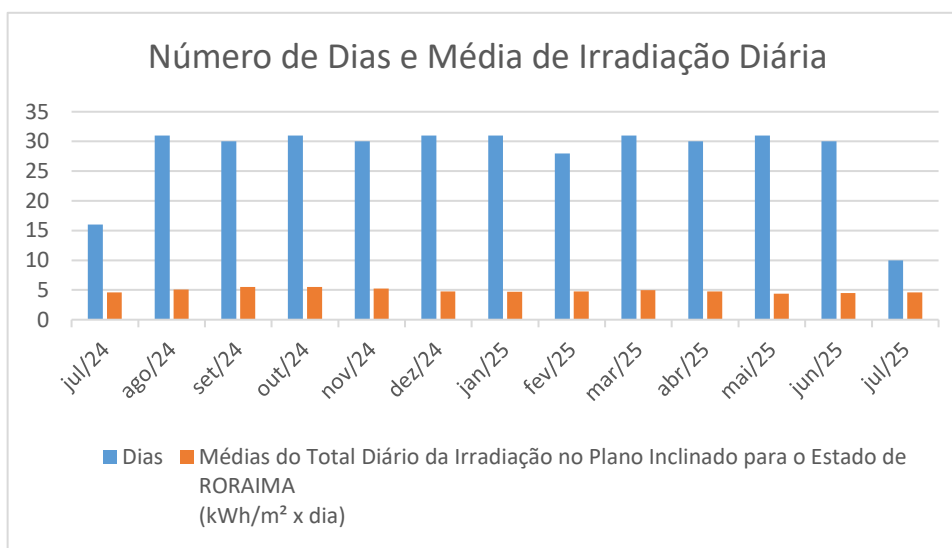
Para o cálculo do **Performance Ratio**, temos:

$$PR = \frac{\text{Energia Real Gerada}}{P_{\text{instalada}} \cdot G_{\text{incidente}}} \times 100$$

Em que: $G_{\text{incidente}} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right) = \text{Irradiância diária} \left(\frac{\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{\text{dia}} \right) \times \text{Número de dias (dia)}$

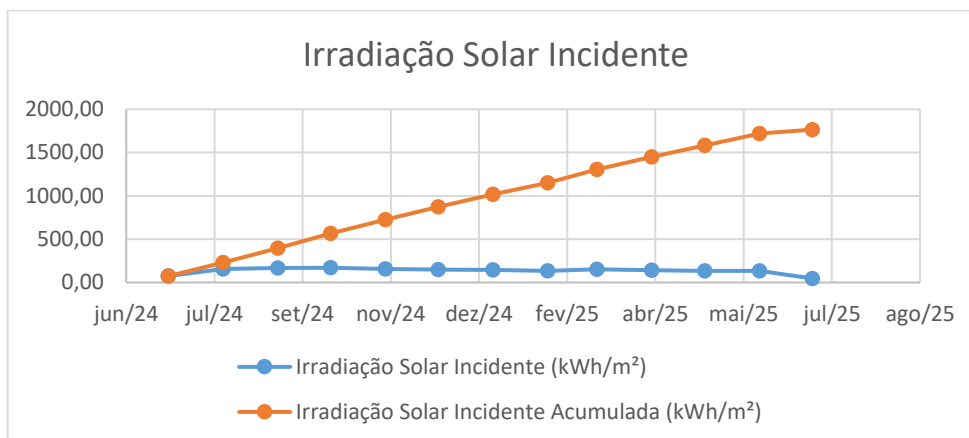
Os dados para o cálculo da irradiação incidente estão na Figura 2. Os meses de julho de 2024 e julho de 2025 apresentam menor número de dias por corresponderem ao início e ao encerramento da operação no período analisado, com 16 e 10 dias respectivamente. A Figura 3 apresenta os valores mensais e acumulados da irradiação incidente ($G_{\text{incidente}}$), totalizando 1.764,66 kWh/m² no período.

Figura 2 – Dados para o cálculo da irradiação incidente ($G_{incidente}$)



Fonte: Elaborada pelos autores com base em dados do sistema de monitoramento da UFV-UFRR e do INPE/LABREN (2025)

Figura 3 – Irradiação incidente calculada por mês e acumulada total ($G_{incidente}$)



Fonte: Autores (2025)

Logo, $G_{incidente} = 1764,66 \text{ kWh/m}^2$

$$PR = \frac{666.694 \text{ kWh}}{505,44 \text{ kWp} \cdot 1.764,66 \text{ kWh/m}^2} \times 100 = 74,7\%$$

O Performance Ratio médio anual de 74,7% situa-se no limite superior do esperado para sistemas fotovoltaicos (60-80%), demonstrando que a usina opera com boa eficiência global. Este valor é particularmente relevante quando comparado com estudos similares em outras regiões tropicais (Campos *et al.*, 2010), que normalmente apresentam PR entre 70-73%. A

excelente performance pode ser atribuída à combinação de fatores locais privilegiados: baixa nebulosidade sazonal, temperatura ambiente moderada (que reduz perdas térmicas) e a inclinação ótima dos painéis (10°) para a latitude equatorial.

Quanto ao **Fator de Capacidade anual**, temos:

$$FC = \frac{E_{gerada}}{P_{instalada} \cdot h} \cdot 100 = \frac{666.694 \text{ kWh}}{505,44 \text{ kWp} \cdot 360 \text{ dias} \cdot \frac{24h}{dia}} \cdot 100 = 15,3\%$$

O Fator de Capacidade anual de 15,3% encontra-se dentro da faixa típica para usinas solares (15-25%).

Na **Produtividade Final**, tem-se:

$$Y_f = \frac{E_{gerada}}{P_{instalada}} = \frac{666.694 \text{ kWh}}{505,44 \text{ kWp}} = 1.319,0 \text{ kWh/kWp}$$

O valor de 1.319,0 kWh/kWp/ano supera a média nacional (1.200-1.250 kWh/kWp) e aproxima-se de valores reportados em regiões semiáridas (1.350-1.400 kWh/kWp), confirmando o excepcional potencial solar de Roraima. Este indicador é particularmente relevante para avaliações econômico-financeiras, pois demonstra que, mesmo com investimentos iniciais similares, a usina gera cerca de 5-8% mais energia que instalações equivalentes em outras regiões brasileiras.

4.3 Impacto Ambiental e Contribuição à Sustentabilidade

A análise de emissões evitadas revela que a UFV-UFRR proporcionou redução significativa na pegada de carbono institucional. Considerando o fator de emissão médio do sistema termelétrico local ($0,565 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$), os 666.694 kWh gerados no período equivalem a evitar a emissão de aproximadamente 376,7 toneladas de CO_2 - volume comparável às emissões anuais de 90 veículos médios (EPE, 2022).

A comparação com o cenário nacional é igualmente reveladora: enquanto o fator de emissão médio do SIN é de $0,0385 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$, o sistema isolado de Roraima emite 14,7 vezes mais CO_2 por MWh gerado, por estar isolado energeticamente. Nesse contexto, o benefício ambiental evitado por MWh gerado é aproximadamente 15 vezes superior ao de uma usina equivalente em região interligada ao SIN, reforçando a importância estratégica de projetos fotovoltaicos em sistemas isolados da Amazônia.

4.4 Alinhamento com o Plano de Logística Sustentável

O Relatório de Monitoramento PLS 2024 evidencia que a UFV contribui diretamente para o cumprimento de um objetivo do plano e está alinhado a uma das diretrizes: a) Objetivo OB6 - Consumo Eficiente de Energia: A geração fotovoltaica contribui diretamente para a "redução do consumo de energia elétrica" dos campi da UFRR; b) Diretriz Estratégica do Eixo 4 - Fomento à inovação no mercado.

Estimular o desenvolvimento de processos e tecnologias que contribuam para a redução de emissões e a remoção de gases de efeito estufa, bem como para a adaptação às mudanças climáticas. Isso inclui o estabelecimento de critérios de preferência em licitações e concorrências públicas — abrangendo parcerias público-privadas, autorizações, permissões, outorgas e concessões para exploração de serviços públicos e recursos naturais —, priorizando propostas que promovam maior economia de energia, água e outros recursos naturais, além da redução de emissões de gases de efeito estufa e da geração de resíduos.

4.5 Contribuição para o ODS 7

A UFV da UFRR demonstra alinhamento direto com as metas do ODS 7:

Meta 7.2 - Energias Renováveis: O projeto contribui para "manter elevada a participação de energias renováveis na matriz energética" local, incrementando a geração renovável no sistema isolado de Roraima.

Indicador de Participação Renovável: A energia gerada pela UFV representa incremento na oferta de energia renovável no sistema elétrico local, contribuindo para a diversificação da matriz energética roraimense.

5 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a Usina Fotovoltaica da Universidade Federal de Roraima (UFV-UFRR) constitui um marco relevante para a transição energética na Amazônia Caribenha, evidenciando a viabilidade técnica, o potencial de desempenho e os benefícios ambientais da energia solar em regiões de alta insolação e sistema elétrico isolado.

No período analisado, a UFV registrou geração acumulada de 666.694 kWh, com Performance Ratio (PR) médio de 74,7%, Fator de Capacidade (FC) de 15,3% e Produtividade Final (Yf) de 1.319 kWh/kWp/ano. Esses resultados se enquadram nos patamares esperados

para sistemas fotovoltaicos de porte similar e indicam adequada operação dentro das condições climáticas da Amazônia Caribenha.

Em termos ambientais, a geração evitou a emissão estimada de 376,7 toneladas de CO₂, considerando os fatores médios de emissões do sistema termelétrico local, cuja geração é baseada majoritariamente em óleo diesel e gás natural. Isso evidencia contribuição direta para a redução de gases de efeito estufa em um sistema elétrico isolado.

Do ponto de vista institucional, o projeto encontra-se alinhado a objetivos previstos no Plano de Logística Sustentável (PLS) 2024–2026 e às metas do ODS 7 da Agenda 2030, ampliando a participação de fontes renováveis na matriz elétrica do campus.

Entre as limitações observadas, destacam-se a ausência de dados meteorológicos coletados no próprio local e a análise restrita a um único ano, o que limita a avaliação de tendências de desempenho de longo prazo. Diante disso, recomenda-se a incorporação de monitoramento meteorológico próprio e extensão da série histórica analisada, de modo a permitir estudos comparativos anuais e identificação de eventuais degradações de performance.

Conclui-se que a UFV-UFRR atende às finalidades para as quais foi projetada, apresentando desempenho compatível com seu porte e condições locais, além de gerar benefícios ambientais mensuráveis. A continuidade do monitoramento permitirá verificar a estabilidade desses indicadores e contribuir para o planejamento de futuras iniciativas de geração solar em sistemas isolados da Amazônia.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Boletim Anual de Geração Distribuída 2023**. Brasília: Absolar, 2023. p. 32.

Disponível em: <https://www.absolar.org.br/boletins>. Acesso em: 8 jul. 2025.

ABSOLAR. **Geração Distribuída Solar Fotovoltaica**. Rio

de Janeiro: Encontro Nacional dos Agentes do Setor Elétrico – ENASE, 2016.

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuídas**. Brasília: ANEEL, 2014. Disponível em:

<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Fator de emissão de CO₂ na geração de energia elétrica no Brasil em 2023 é o menor em 12 anos**. Brasília: MCTI,

2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o->

[mcti/noticias/2024/02/fator-de-emissao-de-co2-na-geracao-de-energia-eletrica-no-brasil-em-2023-e-o-menor-em-12-anos](https://mcti.gov.br/noticias/2024/02/fator-de-emissao-de-co2-na-geracao-de-energia-eletrica-no-brasil-em-2023-e-o-menor-em-12-anos). Acesso em: 9 ago. 2025.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 10 de 12 de novembro de 2012**. Disponível em: <https://www.gov.br/compras/pt-br/acesso-a-informacao/legislacao/instrucoes-normativas/instrucao-normativa-no-10-de-12-de-novembro-de-2012>. Acesso em: 28 jul. 2025.

BRASIL. IPEA. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods7.html>. Acesso em 03 ago. 2025.

CAMPOS, A. L. P. S. *et al.* **Investigação experimental da geração de energia elétrica solar fotovoltaica** - HOLOS, Ano 2010, Vol. 3.

DINIZ, Antônia Sônia Alves Cardoso *et al.* Evaluation of solar photovoltaics on university buildings: a case study toward campus sustainability. **Solar Compass**, v. 12, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772940024000341>. Acesso em: 02 ago. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023**. Brasília: EPE, 2023. Cap. 4. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 10 ago. 2025.

ENEVA. **Release Operacional**. ENEVA, 2022. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/6c663f3b-ae5a-4692-81d3-ab23ee84c1de/726d16fd-80a9-98c5-26c5-fe1ec5e1d899?origin=2>. Acesso em: 6 ago. 2025.

EPE. **INFORMATIVO TÉCNICO nº 011/2022**. Apresentação da metodologia e dos fatores de emissão utilizados para as estimativas de emissão de GEE nos planos de energia, no BEN e demais produtos da EPE. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/estudos-socioambientais/SiteAssets/Paginas/Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa/Informativo%20Tecnico_11-2022_fatores%20de%20emissaoSMA.pdf. Acesso em: 3 ago. 2025.

FERNANDES, Gláucia. **Avanços e lacunas do ESG no Brasil: um balanço de 2024**. Rio de Janeiro: GESEL/UFRJ, 2024. Disponível em: <https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2025/01/Artigo-Glaucia-Fernandes-24.12.2024.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2025.

GALBIATTI-SILVEIRA, Paula. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. **Opinião Jurídica**, v. 17, n. 33, p. 123-147, 2018.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61724-1: **Photovoltaic system performance** – Part 1: Monitoring. Geneva: IEC, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 3. ed. São José dos Campos: INPE, 2023. p. 45. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_solar.html. Acesso em: 8 jul. 2025.

OLIVEIRA, Gabriel Lourena Néia; SILVA, Vitória Ribeiro da; ALTOÉ, Leandra. Análise do uso da energia fotovoltaica em universidades. **Exatas & Engenharias**, v. 11, n. 31, p. 44–54, 2021. Disponível em: https://www.perspectivasonline.com.br/exatas_e_engenharia/article/view/2261. Acesso em: 5 ago. 2025.

OLIVEIRA, Reginaldo Gomes de. O Holandeses na Amazônia Caribenha Colonial: dos Caminhos Históricos aos Processos das Relações Internacionais. **In: Anais do XXVI Simpósio Nacional de História – ANPUH**. São Paulo, julho 2011.

SILVA, Heitor Marques Francelino; ARAÚJO, Francisco José Costa. Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 3, p. 859-869, 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA. **Plano Diretor de Logística Sustentável (PLS) 2024-2026**. Boa Vista: UFRR, 2024. Disponível em: <https://ufrr.br/proplan/plano-diretor-de-logistica-sustentavel-pls>. Acesso em: 2 jul. 2025.