Estudo da Viabilidade de Implantação de Estacionamento Solar no Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) Campus Recife

Feasibility Study of Implementing a Solar-Powered Parking Facility at the Federal Institute of Pernambuco (IFPE) Recife Campus

Flávia Simone Jerônimo Pereira
flaviapereira@recife.ifpe.edu.br
Wagner Vinicius José de Barros Noblat
wagner.noblat@reitoria.ifpe.edu.br
Herick Talles Queiroz Lemos
herick.lemos@pesqueira.ifpe.edu.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da implantação de uma Usina Fotovoltaica (UFV) no IFPE Campus Recife. Para isso, a pesquisa envolveu a modelagem e simulação do sistema fotovoltaico por meio do software PVSyst, considerando fatores como a capacidade dos módulos solares, a escolha dos inversores e o layout do sistema. A análise econômica foi conduzida com base em indicadores financeiros, como Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e *payback* descontado, a fim de determinar a rentabilidade do investimento ao longo do tempo. Como solução principal, optou-se pela instalação de um estacionamento solar (*carport*), que, além de gerar energia, proporciona cobertura para os veículos, agregando valor à infraestrutura do campus. Os resultados indicaram que o projeto é viável, embora o período de retorno do investimento tenha sido mais longo devido ao custo adicional da estrutura de *carport*. No entanto, essa escolha se justifica pelos benefícios duplos oferecidos: geração de energia limpa e proteção para os veículos estacionados. Por fim, o estudo ressalta a importância da energia renovável para a sustentabilidade e a redução dos custos operacionais da instituição, reforçando a relevância de iniciativas voltadas para a eficiência energética.

Palavras-chave: Usina Fotovoltaica; Estacionamento Solar; Análise Econômica; Energia Renovável.

ABSTRACT

This study aims to assess the technical and economic feasibility of implementing a Photovoltaic Power Plant (PVPP) at the Federal Institute of Pernambuco (IFPE), Recife Campus. The research involved modeling and simulating the photovoltaic system using PVSyst software, accounting for factors such as solar module capacity, inverter selection, and system layout. The economic analysis was conducted using financial indicators, including the Internal Rate of Return (IRR), Net Present Value (NPV), and discounted *payback* period, to determine the long-term profitability of the investment. The primary solution proposed was the installation of a solar *carport*

Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Especialização em Energia Solar Fotovoltaica. 17 de março de 2025.

structure, which not only generates energy but also provides covered parking, thereby enhancing campus infrastructure. Results indicated that the project is feasible, though the *payback* period was extended due to the additional costs of the *carport* infrastructure. However, this choice is justified by its dual benefits: clean energy generation and vehicle protection. Finally, the study underscores the role of renewable energy in promoting sustainability and reducing the institution's operational costs, highlighting the relevance of energy efficiency initiatives for academic institutions.

Keywords: Photovoltaic Power Plant; Economic Analysis; *Carport*; Renewable Energy.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de fontes de energia renováveis, como a solar, tem sido amplamente discutida como alternativa para reduzir o impacto ambiental da produção de energia elétrica. Segundo a ANEEL (2023), a energia solar apresenta um insumo de zero custo sobre áreas construídas, e o Brasil, devido à sua localização geográfica privilegiada e à alta incidência de radiação solar em todo o território, possui grande potencial para a geração solar. A incidência média de radiação no país é de cerca de 1.800 kWh/m²/ano, um dos maiores potenciais solares do mundo.

Apesar desse potencial, a matriz elétrica nacional ainda depende significativamente da energia hidráulica, que atualmente responde por 62% de toda a potência instalada. Nesse contexto, a ABSOLAR (2020) destaca que tanto os governos estaduais quanto os federais têm promovido a instalação de fontes renováveis de energia elétrica por meio de políticas públicas, como incentivos fiscais e projetos de lei. O objetivo é reduzir essa dependência e mitigar os riscos de crises hídricas no setor elétrico nacional.

O Balanço Energético Nacional de 2024 apontou que a matriz energética brasileira aumentou a participação das fontes renováveis para 49,1%, com crescimento expressivo da biomassa e das fontes eólica e solar (BEN, 2024). No entanto, o percentual de renováveis globalmente ainda é inferior, representando cerca de 15% da matriz energética mundial. Embora o percentual de energia solar na matriz brasileira ainda seja pequeno, a fonte tem se destacado como uma das que mais crescem, tanto no Brasil quanto no mundo, devido aos seus benefícios ambientais, econômicos e sociais (CEMIG, 2024).

Nos últimos anos, a geração distribuída, por meio da micro e minigeração solar fotovoltaica, também tem se expandido significativamente no Brasil. Esse crescimento está diretamente relacionado ao aumento dos custos da energia elétrica e à busca por alternativas que aliviem o impacto das tarifas para consumidores residenciais, comerciais e industriais. Com incentivos regulatórios, como a compensação de energia elétrica pela ANEEL, a energia solar distribuída tornou-se uma solução viável, permitindo reduzir a dependência da rede elétrica convencional e proporcionar economia para os consumidores.

Porém, a CEMIG (2024) reforça que a demanda por energia continuará crescendo, especialmente em países em desenvolvimento, o que pode agravar as crises climáticas. Mesmo com o aumento das fontes renováveis, o Brasil ainda

enfrentará desafios devido ao crescimento populacional e econômico. Nesse sentido, a transição energética precisa ser equilibrada, envolvendo a expansão das energias limpas e a redução das emissões de gases de efeito estufa, visando a sustentabilidade e a sobrevivência do planeta.

Entre 2004 e 2023, o consumo de energia elétrica na classe residencial no Brasil cresceu cerca de 4% ao ano, refletindo a melhoria das condições socioeconômicas da população e o aumento do uso de eletrodomésticos. O consumo das residências evoluiu de 30% para cerca de 50% nos últimos 20 anos, com uma progressão do consumo residencial médio (CRM) em todas as regiões do país, especialmente no Nordeste e Norte, onde o CRM aumentou cerca de 40% (EPE, 2024). No mesmo período, o consumo de energia elétrica na classe comercial cresceu aproximadamente 3,7% ao ano, com o maior aumento entre 2004 e 2014 (6,1% ao ano). A EPE (2024) também reporta que o consumo de eletricidade na indústria aumentou 21% entre 2004 e 2024, embora esse crescimento tenha sido inferior ao das outras classes.

Segundo a FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO (2023), esse cenário tem atraído a atenção do governo federal, especialmente no que se refere ao consumo de energia elétrica pela Administração Pública, com destaque para a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica (Rede Federal EPCT). De acordo com ECONOMIA (2023), em 2018, a Rede Federal EPCT gastou R$ 167.910.224,00 em energia elétrica, visando manter as suas 661 unidades em funcionamento. Essas unidades atendem mais de 940 mil alunos em mais de 11 mil cursos.

Dentro desse contexto, uma análise das faturas de energia dos campi do IFPE revelou que o Campus Recife apresenta o maior consumo de energia em relação a todos os Campi do IFPE, com uma fatura mensal maior que 100 mil reais. O sistema solar fotovoltaico já instalado no campus não é suficiente para suprir significativamente o consumo de energia, o que gera uma dependência da rede elétrica convencional e um alto custo financeiro para a instituição, além de impactos ambientais negativos. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade de ampliação do sistema de energia solar fotovoltaica no Campus Recife do IFPE.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas Fotovoltaicos *on-grid*

No Brasil, os sistemas fotovoltaicos *on-grid*, de acordo com a Resolução Normativa nº 1.000/2021 da ANEEL (2021), são conectados à rede elétrica e geram energia solar para consumo imediato. Quando a geração supera o consumo, excedentes são injetados na rede, acumulando créditos que podem ser usados posteriormente. Constituído por módulos fotovoltaicos, inversores e medidores bidirecionais, esses sistemas são econômicos e sustentáveis, mas dependem da rede para funcionar e não armazenam energia.

Na geração de energia, Borchardt et al. (2022) afirma que os módulos fotovoltaicos captam a luz solar e geram energia elétrica em CC. O inversor converte a energia para CA e a sincroniza com a rede elétrica. A energia gerada é usada imediatamente para atender às demandas da instalação. O excedente de energia gerado é enviado para a rede elétrica, acumulando créditos de energia. Durante

períodos sem geração solar (à noite ou em dias nublados), a energia é consumida diretamente da rede. Os componentes principais do sistema de geração fotovoltaica são:

- **Módulos fotovoltaicos:** Convertem a luz solar em energia elétrica na forma de corrente contínua (CC).
- **Inversor:** Converte a energia em corrente contínua (CC) gerada pelos módulos em corrente alternada (CA), compatível com a rede elétrica.
- **Medidor bidirecional:** Mede a energia elétrica consumida da rede e a energia injetada pelo sistema na rede.
- **Quadro de proteção**: Protege o sistema contra surtos de corrente, curtos-circuitos e outros problemas elétricos.
- **Estrutura de fixação:** Suporta os módulos fotovoltaicos no telhado ou solo.

2.2 Modalidades de Sistemas Fotovoltaicos

No que diz respeito as modalidades de Sistemas *On-Grid*, Correia et al. (2019) e Felippim & Souza (2023) ressaltam que podem ser:

- ***On-Grid* Sem Armazenamento (Convencional):** Não utiliza baterias. A energia solar gerada é consumida imediatamente, e o excedente é injetado na rede elétrica, gerando créditos de energia. Apresenta menor custo inicial, depende da rede elétrica da concessionária e é indicado para locais com acesso confiável à rede elétrica.
- ***On-Grid* com Armazenamento:** Inclui baterias para armazenar parte da energia gerada. Durante o dia, a energia solar abastece o consumo e armazena o excedente nas baterias e, se necessário, injeta o restante na rede elétrica. Funciona parcialmente em caso de quedas de energia (dependendo do sistema). Apresenta maior custo inicial devido às baterias. É indicado o uso em locais onde a rede é instável ou quando se pretende maior autonomia.
- ***Grid-Zero*:** Aplicado para maximizar o autoconsumo sem injetar energia na rede elétrica. A energia gerada é utilizada diretamente ou armazenada em baterias. A rede elétrica funciona como suporte, mas não recebe energia excedente. Proporciona a redução de custos com créditos de energia e tarifas adicionais e proporciona maior controle sobre a utilização da energia gerada, sendo Ideal para locais onde injetar energia na rede é menos vantajoso ou regulado.
- ***Off-Grid*:** Não está conectado à rede elétrica e requer baterias para garantir o fornecimento contínuo de energia. Indicado para áreas remotas sem acesso à rede elétrica.

2.3 Formas de Instalação

Em conformidade com Borges et al. (2023) e Carvalho (2018), em relação as diferentes formas de instalação, o Quadro 1 revela as vantagens e desvantagens para cada tipo.

Quadro 1 - Formas de Instalação de Sistemas Fotovoltaicos.

TIPOS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Instalação em Solo: os módulos são montados em estruturas fixadas diretamente no solo.	- Flexibilidade na orientação e inclinação para maximizar a eficiência. - Ideal para projetos de grande escala. - Fácil acesso para manutenção.	- Requer mais espaço disponível. - Pode demandar maior custo de instalação devido à infraestrutura. - Pode ter sombreamento por vegetação ou edificações próximas.
Instalação em telhado Inclinado: os módulos são instalados sobre telhados inclinados, geralmente residenciais ou comerciais.	- Aproveita o espaço inutilizado do telhado. - Menor impacto visual. - Custos mais baixos comparados à instalação no solo.	- Limitado pela orientação e inclinação do telhado. - Acessibilidade reduzida para manutenção. - Pode exigir reforço estrutural em telhados antigos ou frágeis.
Instalação em telhado Plano: os módulos são instalados em suportes ajustáveis sobre telhados planos, comuns em edifícios comerciais.	- Permite ajustar a inclinação para otimizar a captação solar. - Ideal para grandes áreas planas, maximizando a geração de energia. - Fácil de instalar e manter.	- Estruturas ajustáveis aumentam o custo inicial. - Pode acumular sujeira e exigir - limpezas frequentes.
Carport : os módulos são instalados como cobertura de vagas de estacionamento.	- Gera energia enquanto protege veículos de sol e chuva. - Uso eficiente de espaços já existentes. - Alta visibilidade para promover sustentabilidade.	- Custo de infraestrutura elevado. - Requer espaço amplo para ser viável. - Complexidade na instalação elétrica.
Fachadas e estruturas integradas: os módulos são instalados verticalmente em fachadas ou incorporados em edificações (BIPV - Building Integrated Photovoltaics).	- Design moderno e integrado ao projeto arquitetônico. - Utiliza áreas pouco usuais para geração de energia. - Pode fornecer sombreamento e isolamento térmico.	- Baixa eficiência devido ao ângulo desfavorável para captação solar. - Custo mais alto por ser personalizado.

Fonte: Adaptado de Borges et al. (2023) e Carvalho (2018).

É importante ressaltar que de acordo com Burmester et al. (2021), a estrutura do *carport* permite ainda a instalação dos módulos fotovoltaicas no seu topo, de forma customizada, permitindo fácil acesso e manutenção pela sua relativa baixa altura de instalação, o que é um ponto positivo desse tipo de estrutura. Sendo a sua aplicação ideal para residências, comércios e instituições, oferece economia e benefícios ambientais. A instalação exige planejamento, investimento inicial e manutenção, com retorno a longo prazo.

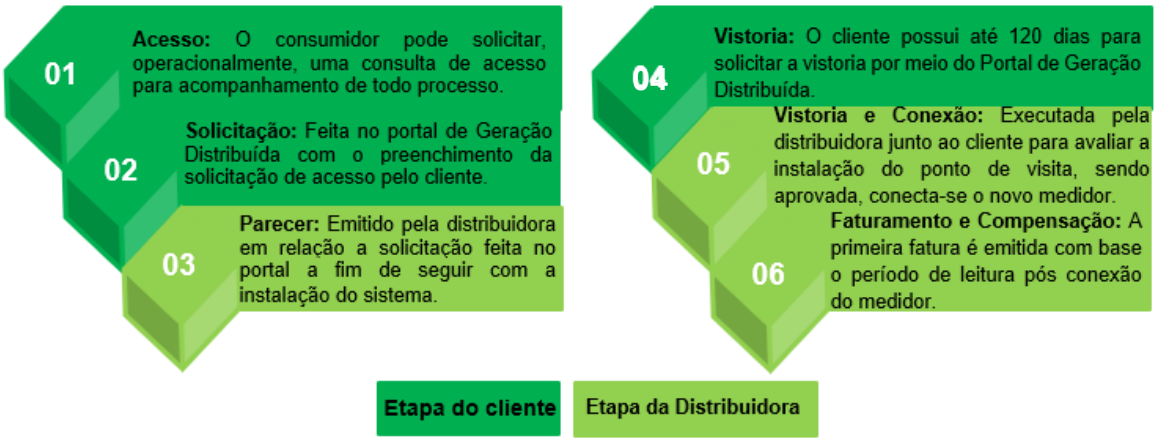
2.4 Homologação de projetos fotovoltaicos

A homologação de projetos de geração distribuída junto à Neoenergia Pernambuco segue normas específicas da ANEEL conforme as Resoluções Normativas nº 1.000/2021 e nº 1.059/2023 da ANEEL e da Neoenergia Pernambuco, garantindo segurança e conformidade das instalações. O processo abrange desde a consulta desde a verificação da disponibilidade de acesso, operacionalmente, no portal de Micro e Mini Geração como também a elaboração do projeto até a conexão do sistema à rede elétrica.

A NEOENERGIA (2025), ressalta que o processo, conforme a Figura 1, deve ser conduzido por profissionais qualificados, assegurando o funcionamento eficiente do sistema, onde a aprovação do projeto é válida por 36 meses, onde possui como etapas do processo:

- **Parecer de acesso:** consultar junto á Neoenergia, a disponibilidade de acesso ao sistema de distribuição de energia.
- **Projeto:** desenvolvido conforme normas técnicas, com ART de responsável habilitado.
- **Submissão:** o projeto é enviado à Neoenergia para análise, com prazo de até 30 dias para resposta.
- **Execução e Vistoria:** após aprovação, as obras são realizadas e vistoriadas para verificar a conformidade.
- **Conexão:** o sistema é integrado à rede após aprovação final.

Figura 1 - Fluxograma do processo de geração distribuída da Neoenergia - PE.



Fonte: Adaptado de NEOENERGIA (2025).

Na etapa de conexão, a concessionária instala um medidor bidirecional, isto é, que registra simultaneamente o consumo e a energia injetada na rede elétrica. Os excedentes injetados na rede são computados como créditos válidos por até 60 meses. Ao final de cada mês, a distribuidora calcula a diferença entre energia consumida e injetada. Os beneficiários e os percentuais de rateio devem ser informados na solicitação de acesso e podem ser alterados facilmente pelo site ou central de atendimento.

3 METODOLOGIA

Este trabalho adotou uma abordagem metodológica mista, combinando aspectos qualitativos e quantitativos, com objetivos exploratórios e descritivos. O estudo foi conduzido por meio de um caso único, focando na análise da viabilidade técnica e econômica para a instalação de um sistema fotovoltaico em um campus do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE). A coleta de dados foi realizada por meio de pesquisa documental e pesquisa de campo, conforme proposto por Oliveira (2020), e a análise dos dados empregou técnicas de estatística descritiva e modelagem financeira.

O primeiro passo consistiu em selecionar um campus do IFPE com ou sem usina solar existe. Para isso, foi realizado um levantamento com base nas faturas de energia elétrica, com o objetivo de obter informações sobre o consumo mensal, a demanda contratada e o faturamento, a fim de identificar o campus com o maior consumo de energia elétrica. O campus com o maior consumo foi selecionado para o estudo de viabilidade.

A análise da viabilidade técnica e econômica para a instalação do sistema fotovoltaico foi então iniciada, considerando as possibilidades de instalação do sistema. Foram avaliadas três opções principais: instalação no solo, instalação em telhados das edificações existentes e instalação em estruturas tipo *carport*. A escolha da opção mais adequada levou em conta fatores como a área disponível, a acessibilidade para manutenção, a orientação solar e possíveis sombreamentos que poderiam impactar o desempenho do sistema.

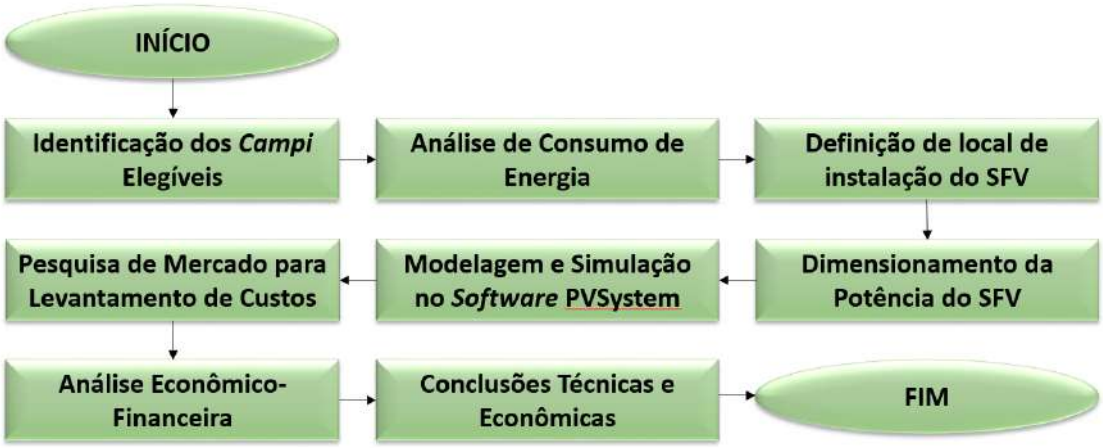
Com a modalidade de instalação definida, foi calculada a potência necessária para o sistema, com base nas informações obtidas das faturas de energia elétrica e analisada a área útil disponível para a instalação da usina solar fotovoltaica. O dimensionamento do sistema foi realizado utilizando o software PVSyst, considerando as especificações técnicas dos módulos fotovoltaicos e inversores selecionados, a partir do qual pôde-se avaliar as perdas potenciais (térmicas e elétricas) e a eficiência esperada para as condições de irradiação solar média do local.

Após o dimensionamento, foi realizada uma pesquisa de mercado para levantar os custos relacionados à instalação do sistema, incluindo materiais, equipamentos, mão de obra especializada e adequações necessárias na infraestrutura elétrica do campus.

Por fim, foi realizada uma análise econômico-financeira do projeto, utilizando modelagem financeira para calcular indicadores de desempenho, como o *payback* descontado, a taxa interna de retorno (TIR) e o valor presente líquido (VPL). Esses indicadores foram fundamentais para avaliar a viabilidade do projeto em termos de custos, benefícios e retorno do investimento ao longo do ciclo de vida do sistema.

A metodologia adotada segue uma abordagem sistêmica e objetiva, estruturada em diferentes etapas de coleta e análise de dados, conforme detalhado na Figura 2 a seguir.

Figura 2 - Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: Autores, 2025.

As etapas apresentadas na Figura 02 serão explanadas nas subseções a seguir.

3.1 Geração de Energia nos Campi

O Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) possui dezesseis campi, distribuídos do litoral ao sertão pernambucano: Abreu e Lima, Afogados da Ingazeira, Barreiros, Belo Jardim, Cabo de Santo Agostinho, Caruaru, Garanhuns, Igarassu, Ipojuca, Jaboatão do Guararapes, Olinda, Palmares, Paulista, Pesqueira, Recife e Vitória de Santo Antão. A Tabela 1 apresenta a situação dos geradores fotovoltaicos dos campi e as suas respectivas potências entre março de 2023 a fevereiro de 2024.

Tabela 1 - Especificação dos geradores fotovoltaicos dos Campi do IFPE.

Campus	Capacidade do gerador	Capacidade do inversor
Abreu e Lima	75,33 kWp	60 kW
Afogados da Ingazeira	60,24 kWp	51 kW
Barreiros	Inexistente	
Belo Jardim	Inexistente	
Cabo de Santos Agostinho	Inexistente	
Caruaru	29,33 KWp	24 kW
Garanhuns	97,92 KWp	72 kW
Igarassu	73,03 kWp	60 kW
Ipojuca	Inexistente	
Jaboatão dos Guararapes	73,60 kWp	60 kW
Olinda (Sede provisória)	Inexistente	
Palmares	Inexistente	
Paulista	65,55 kWp	50 kW
Pesqueira	73,08 KWp	50 kW
Recife	37,74 KWp	38 kW
Vitória de Santo Antão	Inexistente	

Fonte: Autores, 2025.

Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Especialização em Energia Solar Fotovoltaica. 17 de março de 2025.

3.2 Análise de Consumo de Energia

Para seleção do campus destinado ao estudo de viabilidade, foi realizado um levantamento e listado na Tabela 2 o consumo, demanda e faturamento de energia dos Campi sem SFV no período de março de 2023 a fevereiro de 2024. Nos campi com múltiplos medidores de energia, foi considerada a fatura correspondente ao maior valor registrado durante o período, garantindo assim a avaliação do consumo energético mais representativo. O Campus Recife foi incluído na lista em razão de sua geração ser inexpressiva em relação ao consumo de energia. Além disso, o Campus Olinda foi desprezado devido sua operação atual ocorrer em uma sede provisória.

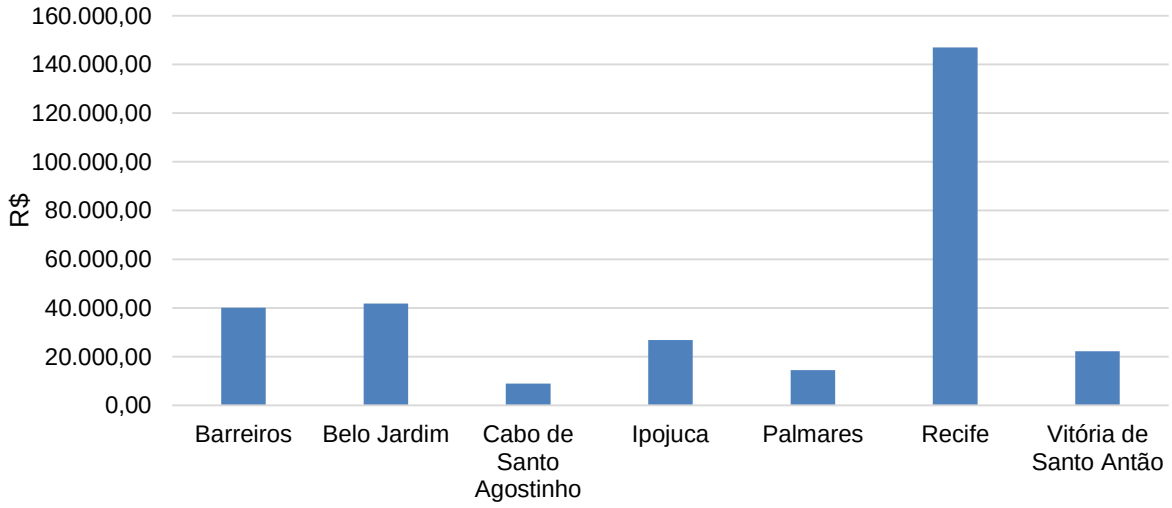
Tabela 2 - Levantamento de Consumo, Demanda e Faturamento de Energia dos Campi sem SFV e do Campus Recife.

Campus	Mês	Maior Consumo Mensal Fora Ponta (kWh)	Maior Consumo Mensal Ponta (kWh)	Demanda Contratada (kW)	Maior Fatura (R$)
Barreiros	Fevereiro/2024	40.080,60	3.991,81	220	35.705,18
Belo Jardim	Fevereiro/2024	41.804,00	4912,04	230	40.111,68
Cabo de Santo Agostinho	Março/2023	9.009,00	995,82	150	10.554,38
Ipojuca	Março/2024	26.777,10	5.035,43	160	31.344,94
Palmares	Fevereiro/2024	14.448,00	1.703,24	550	28.817,80
Recife	**Novembro/2023**	**146.952,00**	**21.212,64**	**650**	**146.327,47**
Vitória de Santo Antão	Março/2023	22.229,18	1.870,46	130	17.203,04

Fonte: Autores, 2025.

Por meio da Tabela 2, observa-se que o Campus Recife apresenta o maior consumo do IFPE, estando 341% acima da média do consumo fora ponta dos demais campi, conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Maior Fatura Mensal dos Campi sem SFV.



Fonte: Autores, 2025.

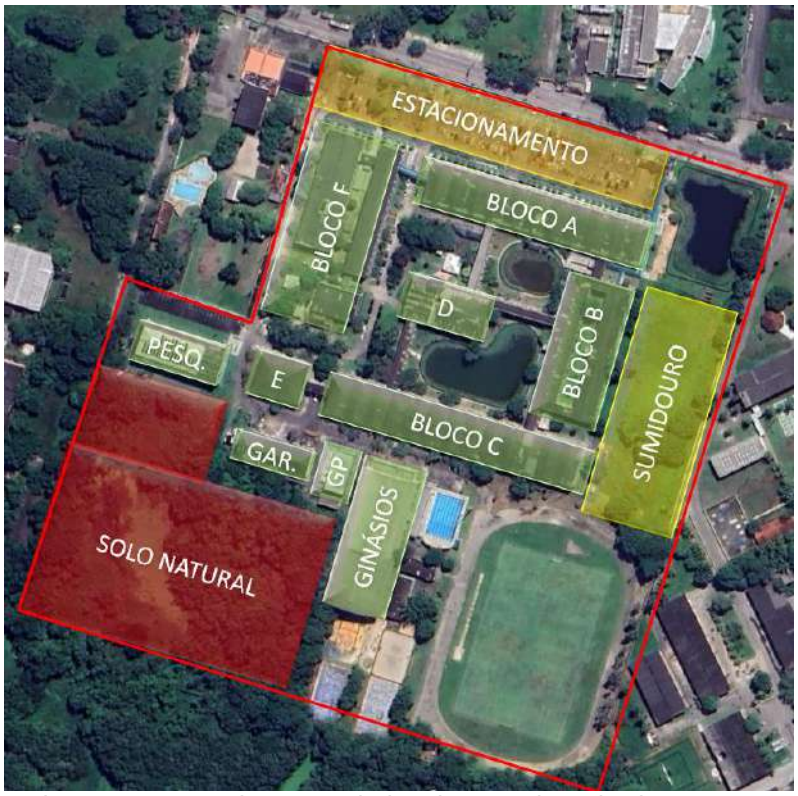
Por apresentar a maior fatura dentre os Campi, o Campus Recife foi selecionado para o estudo de caso. A seguir será explanado o processo de definição do ponto de instalação do gerador fotovoltaico.

3.3 Definição de local de instalação do Sistema Fotovoltaico

O Campus Recife possui 119.320,43 m² de área, sendo 34.635,40 m² de área de construção e 35.608,66 m² de ruas e estacionamento (IFPE, 2023). Para implantação da usina, foram avaliadas as possibilidades de instalação: gerador solo, nos telhados das diversas edificações existentes e em estruturas do tipo *carport*. A

Figura **3** mostra a vista aérea do Campus Recife com marcação das divisões das áreas, conforme projeto arquitetônico do campus.

Figura 3 - Vista aérea do Campus Recife com marcação das áreas.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do IFPE (2025) e imagens Google Earth (2025).

3.3.1 Instalação no Solo

De acordo com informações fornecidas pela instituição, o Campus Recife possui 78.688 m² de área em solo natural (IFPE, 2023). No entanto, devido às restrições ambientais e à necessidade de preservação da vegetação existente, a instalação de um sistema solar fotovoltaico no solo não é viável, uma vez que exigiria a remoção de

árvores para a implantação das estruturas. Dessa forma, essa alternativa foi descartada, priorizando soluções que respeitem as condições ambientais do campus.

3.3.2 Instalação nos Telhados

A unidade Recife do IFPE foi construída em meados dos anos 1980, com ocupação iniciada em 1985, conforme laudo técnico de avaliação do imóvel fornecido pelo IFPE Campus Recife. O campus é composto por seis blocos interligados (Blocos A ao F), um centro de pesquisas, dois ginásios cobertos, um galpão coberto e uma garagem também coberta. A Figura 4 apresenta uma imagem aérea do campus.

Figura 4 - Imagem aérea do campus Recife.

Fonte: Google Earth.

Dentre as edificações listadas, apenas o centro de pesquisas, construído há cerca de seis anos, possui um sistema solar fotovoltaico instalado em sua cobertura. O galpão, também construído há seis anos, pertence à Rede Nacional de Pesquisas, possui entrada de energia própria e, por esse motivo, foi excluído deste estudo como alternativa para a instalação de um SFV. Os dois ginásios possuem altura superior a 10 metros e são de difícil acesso para instalação e manutenção, exigindo o uso de andaimes ou plataformas elevatórias, além de terem um percentual de inclinação elevado, o que tornaria a implantação de um sistema nesses locais inviável.

As coberturas dos blocos A ao F, com cerca de 30 anos de uso e submetidas apenas a manutenções pontuais, apresentam deterioração considerável, conforme relatórios de inspeção técnica elaborados pela Diretoria de Obras e Projetos (DOP). Essas coberturas possuem diversos pontos de infiltração, sendo necessária uma reforma completa antes de qualquer instalação. Além disso, o difícil acesso às

coberturas dificultaria futuras manutenções. Por esses motivos, a instalação nos telhados também foi descartada.

3.3.3 Instalação em estrutura do tipo *Carport*

O estacionamento do Campus Recife possui uma área de 2990,0 m², com capacidade para 210 vagas de veículos, tornando-se uma alternativa viável e estratégica para a instalação de um sistema fotovoltaico em estruturas do tipo *carport*. Essa opção aproveita uma área já existente e ociosa, eliminando a necessidade de ocupar terrenos destinados à preservação ambiental ou à expansão do campus. Além disso, as condições do estacionamento, com ausência de sombreamentos significativos e ampla exposição solar ao longo do dia, favorecem a captação eficiente de energia.

A instalação do sistema fotovoltaico nos *carports* também oferece benefícios adicionais ao campus. A estrutura permitirá a proteção dos veículos contra as intempéries, como sol intenso e chuva, promovendo maior conforto aos usuários e preservação dos automóveis. Essa característica é particularmente relevante no Campus Recife, que registra altas temperaturas ao longo do ano, além de chuvas intensas em determinadas épocas. Do ponto de vista técnico, a altura intermediária dos *carports* facilita o acesso para manutenção dos módulos fotovoltaicos, reduzindo custos operacionais e garantindo maior durabilidade e eficiência do sistema.

Outro ponto importante é que a implantação de *carports* no estacionamento contribui para a modernização da infraestrutura do campus, agregando valor estético e funcional ao ambiente. Essa modernização está alinhada ao compromisso institucional do IFPE com a sustentabilidade e a eficiência energética, reforçando a imagem do campus como referência em práticas inovadoras e ambientalmente responsáveis. Assim, considerando as condições específicas do Campus Recife, a instalação em estruturas do tipo *carport* foi escolhida como a alternativa para a implantação do sistema solar fotovoltaico a ser estudada. A Figura 5 apresenta uma visão de satélite do estacionamento atual do campus, área que, no futuro, será adaptada para receber estruturas do tipo carport. As vegetações existentes no local serão removidas e realocadas em outra parte do campus, em conformidade com as diretrizes ambientais e de sustentabilidade do projeto.

Figura 5 - Imagem aérea do Estacionamento do campus Recife.

Fonte: Google Earth.

3.4 Dimensionamento da Potência do Sistema Fotovoltaico

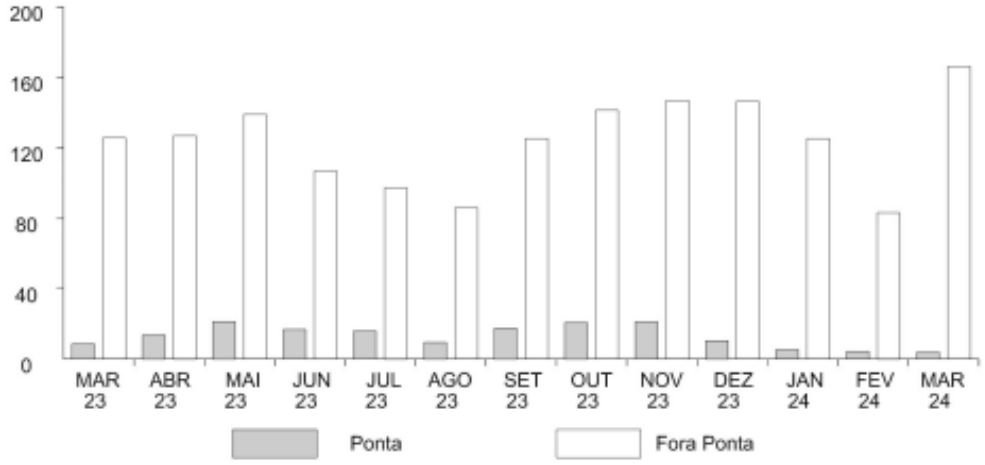
Para estimar a potência do gerador fotovoltaico, levou-se em consideração a potência necessária para supri todo o consumo do campus e a área disponível do estacionamento. Considerando a intenção de suprimir todo o consumo de energia do campus, foi utilizada a Equação 1:

$$P_{peak} = \frac{E_{diário} \cdot P_{sol}}{G_{poa} \cdot PR} \quad (1)$$

Sendo:

a) **$E_{diário}$ - Energia diária consumida pelo campus [kWh/dia]:** A energia consumida diariamente ($E_{diário}$) foi estimada através do cálculo do consumo médio diário nos postos horários de ponto e fora de ponta, extraídos do gráfico da fatura de energia e apresentados na Figura 6 e registrados na Tabela 3.

Figura 6 - Consumo Mensal do Campus Recife em MWh.



Fonte: Fatura de energia do Campus Recife.

Tabela 3 - Consumo Mensal do Campus Recife.

Mês/ano	Consumo Mensal (kWh)	
	Fora de Ponta	Ponta
Março/23	126936,00	13779,36
Abril/23	139032,00	21379,68
Maio/23	106848,00	16824,96
Junho/23	97344,00	15969,60
Julho/23	85968,00	9551,52
Agosto/23	125352,00	17632,08
Setembro/23	141408,00	20921,76

Outubro/23	146952,00	21212,64
Novembro/23	146376,00	10586,88
Dezembro/23	125352,00	5357,52
Janeiro/24	83232,00	4374,72
Fevereiro/24	166248,00	3996,00
Consumo Médio Mensal (kWh)	**124254,00**	**13465,56**
Consumo Médio Diário (Wh)	**4085,06**	**442,70**

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Entretanto, existem duas opções de compensação para o Grupo A, são elas:

I. Geração e compensação no posto fora de ponta: Nesse caso, a energia diária é igual ao consumo médio diário no posto fora de ponta, conforme a Equação 2:

$$E_{diário} = E_{fora_ponta} = \mathbf{4085,06\ kWh} \quad (2)$$

II. Geração e compensação nos postos fora de ponta e ponta: Para essa opção, a energia diária será igual ao consumo médio diário no posto fora de ponta (E_{fora_ponta}) somado ao consumo médio diário no posto de ponta (E_{ponta}) dividido pelo fator de ajuste (FA), conforme a Equação 3:

$$E_{diário} = E_{fora_ponta} + \frac{E_{ponta}}{FA} \quad (3)$$

Onde,

$$Fator\ de\ Ajuste\ (FA) = \frac{Tarifa\ de\ Energia\ no\ Fora\ de\ Ponta}{Tarifa\ de\ Energia\ na\ Ponta} = 0{,}2100$$

Logo,

$$E_{diário} = 4085{,}06 + \frac{442{,}70}{0{,}2100} \ \therefore \ \mathbf{E_{diário} = 6193,15\ kWh}$$

b) P_{sol} - Irradiância de referência [1 kW/m²]: A irradiância de referência é uma constante.

c) G_{poa} - Irradiação diária no plano dos módulos [kWh/m².dia]: A irradiação diária no plano dos módulos foi extraída do site Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESESB, utilizando como dados os valores de latitude e longitude do Campus Recife. O ângulo de inclinação dos módulos foi definido em 10°, conforme a recomendação do fabricante do *carport* e em alinhamento com a latitude aproximada do campus.

$$G_{poa} = \mathbf{5,35\ kWh/m^2.dia}$$

d) PR - Performance Ratio – Coef. De Desempenho [adimensional]: Considerando que os valores de PR típicos variam de 75 a 80%, conforme Mendes (2020), foi considerado um valor igual à 75%.

e) **P_{peak} - Potência pico do gerador fotovoltaico [kWp]:** Considerando os valores calculados e considerados anteriormente, a Potência pico do gerador fotovoltaico para as opções I e II são, respectivamente:

$$\boldsymbol{P_{peak}} = \frac{4085{,}06 \times 1}{5{,}35 \times 0{,}75} = \boldsymbol{1018{,}083\ kWp}$$

$$\boldsymbol{P_{peak}} = \frac{6193{,}15 \times 1}{5{,}35 \times 0{,}75} = \boldsymbol{1543{,}46\ kWp}$$

Considerando as duas opções, verifica-se que a potência de pico necessária para suprir todo o consumo é de cerca de 1,5 MWp. A implantação dessa potência depende da área disponibilizada pelo estacionamento. Para a análise da área disponível, foi necessário definir o modelo de *carport* a ser utilizado, considerando o layout do estacionamento e a quantidade e potência dos módulos suportada pelo modelo.

Após pesquisas, optou-se pela estrutura para sustentação de módulos fotovoltaico *carport* (sem vedação), da fabricante PHB, devido à facilidade de acesso às suas especificações técnicas e preços competitivos. As dimensões da estrutura e número de módulos de acordo com o número de vagas, conforme indicações do catálogo, estão apresentadas na Figura 7 e descritas na Tabela 4.

Figura 7 - Dimensões da estrutura *carport* do fornecedor PHB.

Fonte: PHB, 2024.

Tabela 4 - Dimensões do *carport* e capacidade de módulos por número de vagas.

Nº de Vagas	Nº de Módulos	Dim. Linear Estrutura	Dim. Entre centro (Vaga Dupla)	Dim. Entre centro (Vaga Simples)
1 Vaga	6 Módulos	3560,0 mm	-	3200,0 mm
2 Vagas	10 Módulos	6000,0 mm	5800,0 mm	-
3 Vagas	16 Módulos	9400,0 mm	6000,0 mm	3200,0 mm
4 Vagas	22 Módulos	12800,0 mm	6000,0 mm	-
5 Vagas	28 Módulos	16200,0 mm	6000,0 mm	3200,0 mm
6 Vagas	32 Módulos	18600,0 mm	6000,0 mm	-
7 Vagas	38 Módulos	22000,0 mm	6000,0 mm	3200,0 mm
8 Vagas	42 Módulos	24300,0 mm	6000,0 mm	-
9 Vagas	48 Módulos	27800,0 mm	6000,0 mm	3200,0 mm
10 Vagas	52 Módulos	30100,0 mm	5900,0 mm	-
11 Vagas	58 Módulos	33500,0 mm	6000,0 mm	3200,0 mm

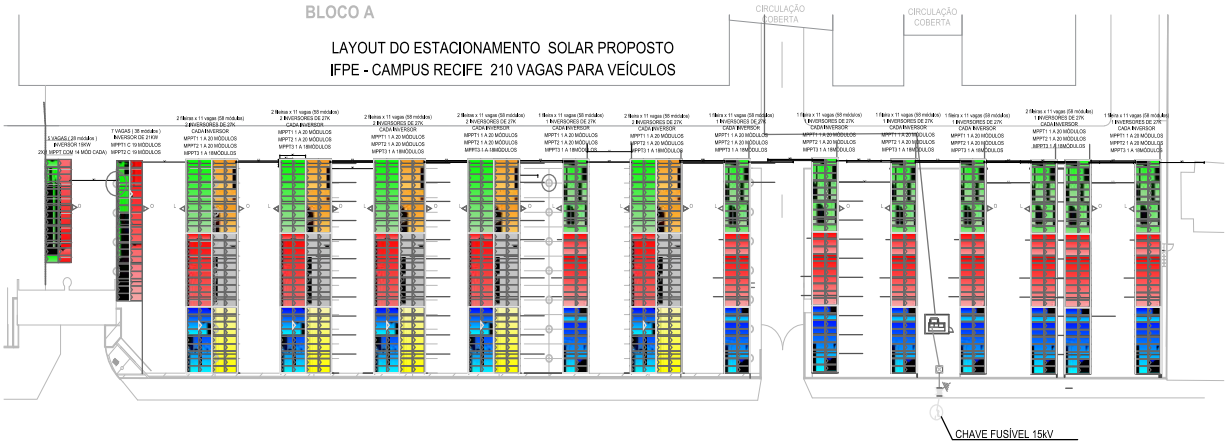
Fonte: PHB, 2024.

Além disso, foram realizadas pesquisas para identificar um módulo fotovoltaico com dimensões compatíveis com o *carport* da PHB, boa relação custo-benefício e potência superior a 600 Wp. O modelo escolhido foi o módulo bifacial JAM66D45-605/LB, da fabricante JA SOLAR, com potência de 605 Wp.

A partir das dimensões da estrutura e do módulo selecionado, foi elaborado um layout do estacionamento solar considerando a disponibilidade de área e as características de tráfego do estacionamento do Campus. A Figura 8 apresenta o layout proposto.

Para mais detalhes, o leitor pode consultar prancha em anexo contendo diagrama unifilar da usina, o layout das disposições de vagas de estacionamento e a ligação das *strings*.

Figura 8 - Layout 2D do estacionamento solar proposto para o IFPE Campus Recife.



Fonte: Autores, 2025.

Considerando o layout da Figura 08 e os dados da Tabela 4, verificou-se que o estacionamento do Campus Recife tem capacidade para acomodar 1110 Módulos, totalizando 210 vagas para veículos e uma potência de geração de 671 kWp. A capacidade obtida para a área disponível corresponde a cerca de 43,40% da potência necessária para compensar todo o consumo do Campus. A seguir serão apresentadas as especificações adotadas para o layout do gerador e simulação no PVSyst.

3.5 Composição do Gerador e Simulação no PVSyst

Para fins de projeto, os módulos fotovoltaicos foram agrupados em duas orientações: oeste e leste. Na orientação oeste, com inclinação de 10° e azimute de 90° conferir no programa, foram configurados no PVSyst 4 subgrupos:

I. **Subgrupo # 1:** composto por 1 inversor PHB15KF-DT de 15kW com 2MPPTs. Cada MPPT recebe uma string de 14 módulos, totalizando 28 módulos distribuídos em 1 fileira de 5 vagas.
II. **Subgrupo #2:** composto por 1 inversor PHB21KF-DT de 21kW com 2MPPTs. Cada MPPT recebe uma string de 19 módulos, totalizando 38 módulos distribuídos em 1 fileira de 7 vagas.
III. **Subgrupo #3:** composto por 5 inversores PHB27K-MT de 27 kW, cada um com 3 MPPTs, aos quais estão conectadas strings de 20, 20 e 18 módulos, respectivamente, totalizando 290 módulos distribuídos em 5 fileiras de 11 vagas.
IV. **Subgrupo #4:** composto por 5 inversores PHB27K-MT de 27 kW, cada um com 3 MPPTs, aos quais estão conectadas strings de 20, 20 e 18 módulos, respectivamente, totalizando 290 módulos distribuídos em 5 fileiras de 11 vagas.

Na orientação oeste, ao total, foram previstos 651 módulos bifaciais JAM66D45-605/LB de 605 Wp. Já na orientação leste, com inclinação de 10º e azimute de -90º, foi configurado no PVSyst 1 subgrupo:

V. **Subgrupo #5:** composto por 8 inversores PHB27K-MT de 27 kW, cada um com 3 MPPTs, aos quais estão conectadas strings de 20, 20 e 19 módulos, totalizando 464 módulos distribuídos em 8 fileiras de 11 vagas.

Ao total, o gerador configurado contempla 20 inversores trifásicos com potência de 522 kWAC, 1110 módulos com 671,55 kWp e proporciona uma área coberta de 2990 m² que abrigam 210 vagas de estacionamento. A Tabela 5 apresenta um resumo da distribuição dos módulos e inversores por orientação nos *carports* adotado no Layout.

Tabela 5 - Distribuição dos módulos e inversores por orientação.

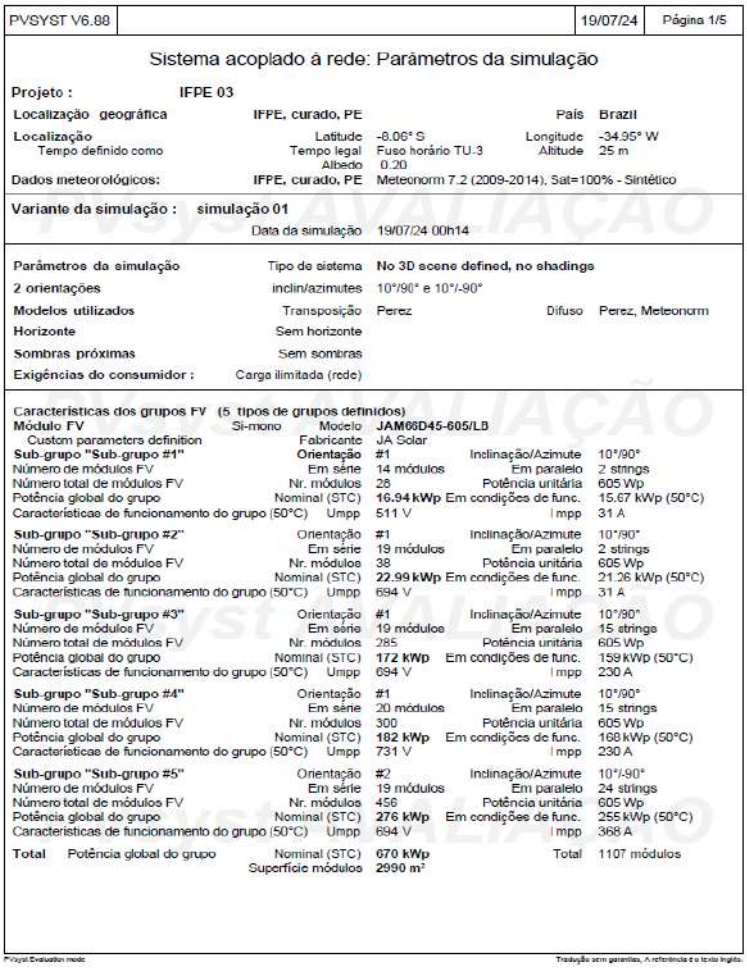
Subgrupo	Inversores (kW)	MPPTs	Módulos por MPPT	Total de Módulos	Vagas	Orientação
1	1x 15	2	14/14	28	5	
2	1x 21	2	19/19	38	7	Oeste
3	5× 27	3	20/20/18	290	55	

4	5× 27	3	20/20/18	290	55	
Total (Oeste)	306	-	-	646	122	-
5	8× 27	3	20/20/18	464	55	Leste
Total (Leste)	216	-	-	464	55	-
Total Geral	**522**	**-**	**-**	**1110**	**210**	**-**

Fonte: Autores, 2025.

Após a definição da configuração do gerador, iniciou-se a etapa de simulação no software PVSyst, com ajustes na quantidade de módulos por string. No PVSyst, foram simulados 1.107 módulos, enquanto no layout foi possível alocar 1.110 módulos, resultando em uma diferença de apenas 0,27% (3/1.110), considerada desprezível pelos autores. A Figura 9 apresenta as configurações de simulação adotadas no software, e a seguir são detalhados todos os subgrupos da simulação, contemplando 1107 módulos.

Figura 9 - Simulação do sistema no software PVSyst.



PVSYST V6.88 | 19/07/24 | Página 1/5

Sistema acoplado à rede: Parâmetros da simulação

Projeto : IFPE 03

Localização geográfica IFPE, curado, PE — País Brazil

Localização Latitude -8.06° S — Longitude -34.95° W
Tempo definido como Tempo legal Fuso horário TU-3 — Altitude 25 m
Albedo 0.20

Dados meteorológicos: IFPE, curado, PE — Meteonorm 7.2 (2009-2014), Sat=100% - Sintético

Variante da simulação : simulação 01
Data da simulação 19/07/24 00h14

Parâmetros da simulação Tipo de sistema **No 3D scene defined, no shadings**
2 orientações inclin/azimutes 10°/90° e 10°/-90°
Modelos utilizados Transposição Perez — Difuso Perez, Meteonorm
Horizonte Sem horizonte
Sombras próximas Sem sombras
Exigências do consumidor : Carga ilimitada (rede)

Características dos grupos FV (5 tipos de grupos definidos)

Módulo FV	Si-mono	Modelo	**JAM66D45-605/LB**		
Custom parameters definition		Fabricante	JA Solar		
Sub-grupo "Sub-grupo #1"		Orientação	#1	Inclinação/Azimute	10°/90°
Número de módulos FV		Em série	14 módulos	Em paralelo	2 strings
Número total de módulos FV		Nr. módulos	28	Potência unitária	605 Wp
Potência global do grupo		Nominal (STC)	**16.94 kWp**	Em condições de func.	15.67 kWp (50°C)
Características de funcionamento do grupo (50°C)		Umpp	511 V	Impp	31 A
Sub-grupo "Sub-grupo #2"		Orientação	#1	Inclinação/Azimute	10°/90°
Número de módulos FV		Em série	19 módulos	Em paralelo	2 strings
Número total de módulos FV		Nr. módulos	38	Potência unitária	605 Wp
Potência global do grupo		Nominal (STC)	**22.99 kWp**	Em condições de func.	21.26 kWp (50°C)
Características de funcionamento do grupo (50°C)		Umpp	694 V	Impp	31 A
Sub-grupo "Sub-grupo #3"		Orientação	#1	Inclinação/Azimute	10°/90°
Número de módulos FV		Em série	19 módulos	Em paralelo	15 strings
Número total de módulos FV		Nr. módulos	285	Potência unitária	605 Wp
Potência global do grupo		Nominal (STC)	**172 kWp**	Em condições de func.	159 kWp (50°C)
Características de funcionamento do grupo (50°C)		Umpp	694 V	Impp	230 A
Sub-grupo "Sub-grupo #4"		Orientação	#1	Inclinação/Azimute	10°/90°
Número de módulos FV		Em série	20 módulos	Em paralelo	15 strings
Número total de módulos FV		Nr. módulos	300	Potência unitária	605 Wp
Potência global do grupo		Nominal (STC)	**182 kWp**	Em condições de func.	168 kWp (50°C)
Características de funcionamento do grupo (50°C)		Umpp	731 V	Impp	230 A
Sub-grupo "Sub-grupo #5"		Orientação	#2	Inclinação/Azimute	10°/-90°
Número de módulos FV		Em série	19 módulos	Em paralelo	24 strings
Número total de módulos FV		Nr. módulos	456	Potência unitária	605 Wp
Potência global do grupo		Nominal (STC)	**276 kWp**	Em condições de func.	255 kWp (50°C)
Características de funcionamento do grupo (50°C)		Umpp	694 V	Impp	368 A
Total Potência global do grupo		Nominal (STC)	**670 kWp**	Total	1107 módulos
		Superfície módulos	**2990 m²**		

PVsyst Evaluation mode — Tradução sem garantias. A referência é o texto inglês.

Fonte: Software PVSyst, 2024.

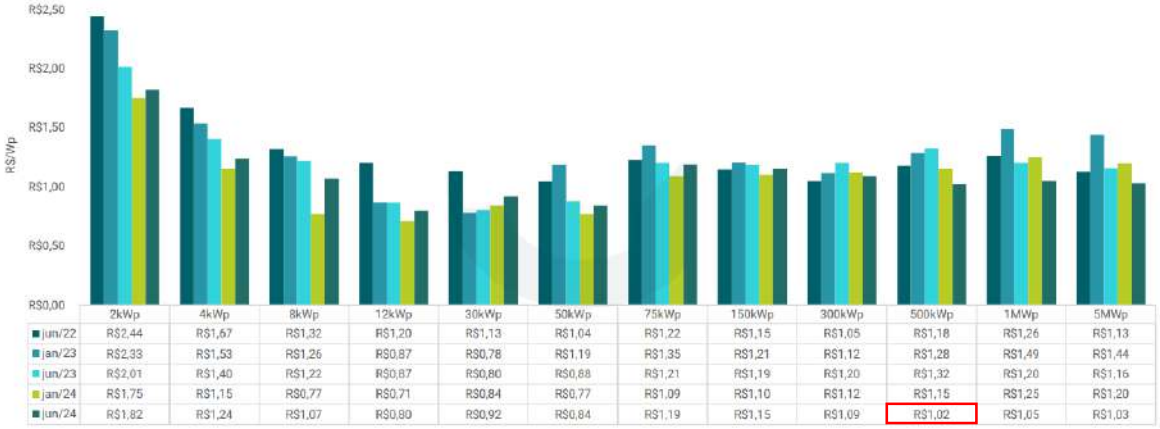
3.6 Levantamento de Custos

Os custos de implantação da usina foram divididos nas seguintes parcelas:

a) Projeto e homologação: composto pelos serviços de elaboração de projeto executivo, Anotação de Responsabilidade Técnica – ART e homologação junto a concessionária de energia;
b) Kit gerador: composto por estrutura (*carport*), módulos fotovoltaicos, inversores, cabos CC, quadros de CA e conetores MC4;
c) Infraestrutura elétrica: composto por cabos CA, quadro de proteção geral e condutos em geral;
d) Mão de obra: composta pelos serviços de montagem dos itens b) e c).

Os custos com projeto e homologação foram orçados junto a empresas atuantes no mercado de energia solar. O preço médio, considerando o projeto executivo, foi cotado em R$ 15.000,00. O kit gerador foi cotado diretamente com a fabricante e distribuidora PHB. Já os custos com infraestrutura elétrica foram estimados a partir de uma pesquisa de mercado em websites de comercialização de materiais elétricos. Por fim, a mão de obra foi estimada em 1,02 R$/Wp, conforme dados da Greener (2024) para usinas fotovoltaicas (UFVs) da ordem de 500 kWp, conforme ilustrado no gráfico da Figura 10.

Figura 10 - Preços dos Serviços de Integração por potência de pico da usina solar fotovoltaica.



	2kWp	4kWp	8kWp	12kWp	30kWp	50kWp	75kWp	150kWp	300kWp	500kWp	1MWp	5MWp
jun/22	R$2,44	R$1,67	R$1,32	R$1,20	R$1,13	R$1,04	R$1,22	R$1,15	R$1,05	R$1,18	R$1,26	R$1,13
jan/23	R$2,33	R$1,53	R$1,26	R$0,87	R$0,78	R$1,19	R$1,35	R$1,21	R$1,12	R$1,28	R$1,49	R$1,44
jun/23	R$2,01	R$1,40	R$1,22	R$0,87	R$0,80	R$0,88	R$1,21	R$1,19	R$1,20	R$1,32	R$1,20	R$1,16
jan/24	R$1,75	R$1,15	R$0,77	R$0,71	R$0,84	R$0,77	R$1,09	R$1,10	R$1,12	R$1,15	R$1,25	R$1,20
jun/24	R$1,82	R$1,24	R$1,07	R$0,80	R$0,92	R$0,84	R$1,19	R$1,15	R$1,09	R$1,02	R$1,05	R$1,03

Fonte: Greener (2024).

3.7 Análise Econômico-Financeira

Para avaliar a viabilidade econômico-financeira da implantação da usina fotovoltaica (UFV), foram utilizados indicadores amplamente reconhecidos em análises de investimento. A Taxa Interna de Retorno (TIR) foi calculada para avaliar a rentabilidade do projeto em relação ao capital investido. O Valor Presente Líquido (VPL) foi determinado com base na projeção dos fluxos de caixa ao longo da vida útil da UFV, utilizando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) como fator de desconto. Neste estudo, a TMA adotada foi a taxa SELIC, considerada como referência para o custo de oportunidade do capital. A análise foi realizada para um período de 10 anos, que corresponde ao prazo de garantia dos inversores fotovoltaicos, assegurando a inclusão dos custos operacionais e de manutenção nesse intervalo.

Os custos operacionais (OPEX) foram estimados em 0,5% ao ano sobre o valor total do investimento. A degradação dos módulos foi considerada de acordo com as especificações do fabricante, com uma redução de 1% na geração no primeiro ano e de 0,4% ao ano nos anos subsequentes. Além disso, foi assumido um reajuste médio anual de 8% nas tarifas de energia, com base em tendências históricas e projeções setoriais. Os valores das tarifas foram obtidos da Resolução Homologatória Nº 3.325, de 23 de abril de 2024 (ANEEL, 2024). Por fim, foi calculado o *payback* descontado, que considera o valor do dinheiro no tempo, permitindo estimar o período necessário para que o investimento se torne economicamente viável após a aplicação do fator de desconto.

Os cálculos da fatura, tanto com quanto sem a utilização de geração distribuída, incluindo os benefícios financeiros e os encargos, foram realizados em conformidade com a Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, e com a Resolução nº 1059 da ANEEL.

5 RESULTADOS E ANÁLISE

Esta seção apresenta os resultados do projeto da UFV do tipo estacionamento solar proposto para o IFPE Campus recife, situado na Av. Prof. Luiz Freire, nº 500, Cidade Universitária, Recife – PE, CEP: 50740-545, latitude: -8.05874 e longitude: -34.94928.

5.1 Capacidade de Geração

Com base na configuração do gerador definida no PVSyst e ilustrada na Figura 8, conduziu-se a simulação, cujos resultados principais estão apresentados na Figura 10. Para a potência instalada de 670 kWp / 522 kWac foi estimada uma geração anual de 1.155 MWh, com um desempenho (performance ratio) de 87,24%. Os resultados mensalisados para Irradiação Global (GlobHor), Temperatura Ambiente (T_Amb), Irradiação Global Inclinada (GlobInc), Energia Injetada na Rede (E_Grid) e Desempenho (PR) estão apresentados na Tabela 06.

Figura 11 – Principais resultados da simulação da usina no PVSyst.

PVSYST V6.88			19/07/24	Página 3/5

Sistema acoplado à rede: Resultados principais

Projeto : IFPE 03
Variante da simulação : simulação 01

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	**No 3D scene defined, no shadings**		
Orientação do plano dos módulos	2 orientações	Inclinação/Azimute = 10°/90° e 10°/-90°		
Módulos FV	Modelo	JAM66D45-605/LB	Pnom	605 Wp
Grupo FV	Número de módulos	1107	Pnom total	**670 kWp**
Inversor	Modelo	PHB15KF-DT	Pnom	15.00 kW ac
Inversor	Modelo	PHB21KT-DT	Pnom	21.00 kW ac
Inversor	Modelo	PHB27K-MT	Pnom	27.00 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	20.0	Pnom total	**522 kW ac**
Exigências do consumidor	Carga ilimitada (rede)			

Resultados principais da simulação				
Produção do sistema	**Energia produzida**	**1155 MWh/ano**	Prod. específica	1724 kWh/kWp/ano
	Índice de performance (PR)	87.24 %		

Fonte: Software PVSyst, 2024.

Tabela 6 – Resultados Mensais da Simulação da UFV no PVsyst.

Mês	GlobHor (kWh/m²)	T_Amb (°C)	GlobInc (kWh/m²)	E_Grid (MWh)	PR
Janeiro	190,2	28,52	188,6	107,6	0,852
Fevereiro	167,9	28,67	166,4	95,4	0,856
Março	181,4	28,71	179,8	103,7	0,861
Abril	159,1	27,63	157,8	93,0	0,880
Maio	142,1	27,26	141,4	84,6	0,894
Junho	123,8	25,65	122,8	74,5	0,906
Julho	133,1	25,60	132,3	79,9	0,902
Agosto	148,0	25,77	146,9	88,1	0,896
Setembro	165,4	26,34	164,0	95,4	0,869
Outubro	191,1	27,52	190,2	110,2	0,865
Novembro	197,2	27,64	196,0	112,0	0,853
Dezembro	191,8	28,31	190,2	110,3	0,866
Ano	1991,0	27,30	1976,5	1154,8	0,872

Fonte: Software PVSyst, 2024.

5.2 Lista de Materiais e Orçamentos

As Figura 12 apresenta a composição da lista de materiais do kit gerador fotovoltaico. As especificações e quantitativos foram cotadas diretamente com a fabricante e distribuidora PHB a partir das potências CC e CA dimensionadas para o gerador.

Figura 12 – Relação de Materiais do Gerador.

ITEM	UNIDADE	QUANTIDADE
1 - 6016012509 - MODULO 605WP - MONO BIFACIAL - HC - 30MM; (DM605M10RT-B72HST) DMEGC	PC	1110
2 - 6000009500 - PHB27K-MT, INVERSOR FV TRI 380V/ 3MPPT/ DPS II	PC	18
3 - 6000013806 - PHB21KF-DT, INVERSOR FV TRI 380V/2MPPTS/DPS II	PC	1
4 - 6000014003 - PHB15KF-DT, INVERSOR FV TRI 380V/2MPPT/DPS II	PC	1
5 - 6006017208 - QDCA/66, QUADRO DE PROT.CA-SOLAR (40A DJ.AC) TRIFÁSICO 380V	PC	1
6 - 6006017406 - QDCA/68, QUADRO DE PROT.CA-SOLAR (50A DJ.AC) TRIFÁSICO 380V	PC	18
7 - 6006023205 - QDCA/103,CJ.QUADRO DE PROT.CA-SOLAR(32A DJ. AC)TRIFASICO 380/220V	PC	1
8 - 6408036906 - CJ.ESTR.P/SUSTENTACAO DE 28 MOD. FRAME 30MM (5 VAGAS - S/ ESTANQ. INC 10°-RETRATO) CARPORT	PC	1
9 - 6408037103 - CJ.ESTR.P/SUSTENTACAO DE 38 MOD. FRAME 30MM (7 VAGAS - S/ ESTANQ. INC 10°-RETRATO) CARPORT	PC	1
10 - 6408037608 - CJ.ESTR.P/SUSTENTACAO DE 58 MOD. FRAME 30MM (11 VAGAS - S/ ESTANQ. INC 10°-RETRATO) CARPORT	PC	18
11 - 0835000107 - CABO SOLAR PRETO COM PROTECAO UV 4,0MM2	M	1500
12 - 0835000305 - CABO SOLAR VERMELHO COM PROTEÇÃO UV 4,0MM²	M	1500
13 - 0835000503 - CABO SOLAR VD/AMARELO COM PROTEÇÃO UV 6,0MM²	M	500
14 - 1011052303 - CONECTOR MC4 MACHO+FEMEMA P/ MODULO DMEGC	PC	75

Fonte: Autores, 2025.

O orçamento do kit gerador, incluindo a estrutura *carport*, conforme a proposta fornecida pela fabricante PHB, totaliza R$ 1.547.053,00. O custo da mão de obra para a instalação foi estimado considerando uma potência instalada de 670 kWp e um valor de implantação de R$ 1,02 por Wp, resultando em um montante de R$ 683.400,00.

A estimativa dos custos referentes à infraestrutura elétrica – incluindo cabos de corrente alternada (CA), quadros de proteção geral e local, além de condutos – foi realizada com base nos principais itens e serviços necessários à execução do projeto. Dentre esses, destacam-se as modificações na subestação, que opera há mais de 35 anos sem reformas, exigindo adequações para conformidade com as normas vigentes. A Tabela 7 detalha a relação de materiais, acompanhada dos custos de fornecimento e instalação, totalizando R$ 560.068,17.

Tabela 7 - Lista dos itens da infraestrutura elétrica mais relevantes economicamente.

Descrição	Unid.	Quant.	Valor unitário (R$)	Total (R$)
Eletroduto Flexível Corrugado, Pead, Dn 100 (4"), Para Rede Enterrada De Distribuição De Energia Elétrica - Fornecimento e Instalação. Af_12/2021	m	200	23,32	4.664,00
Disjuntor A Vacuo 15KV, Marca BEGHIM, Tipo MAF 15-630-350, Manual C/Relé URPE7104 + Jg De Contato 3NF+3NA, Bobina De Fechamento, Bloqueio KIRK, Disparadortcc, Bobina Abert.+3tcs (Ou Similar)	und	1	34.762,71	34.762,71

Disjuntor Caixa Moldada Tripolar Eletronico 1000a - Dwb1000s	und	2	9.064,50	18.129,00
Cabo De Cobre Flexível Isolado, 185 Mm², Anti-Chama 0,6/1,0 Kv, Para Rede Enterrada De Distribuição De Energia Elétrica - Fornecimento e Instalação. Af_12/2021	m	2400	199,05	477.720,00
Quadro Geral De Distribuição, Embutir, Com Barramento, Em Chapa De Aço, Medindo:1800x1100x250cm, Exclusive Disjuntores	und	2	10.108,71	20.217,42
Disjuntor Tripolar Tipo Din, Corrente Nominal De 40a - Fornecimento e Instalação. Af_10/2020	und	2	106,63	213,26
Disjuntor Tripolar Tipo Din, Corrente Nominal De 50a - Fornecimento e Instalação. Af_10/2020	und	36	115,62	4.162,32
Disjuntor Tripolar Tipo Din, Corrente Nominal De 32a - Fornecimento e Instalação. Af_10/2020	und	2	99,73	199,46
			TOTAL	**560.068,17**

Fonte: Autores, 2025.

A Tabela 8 apresenta resume o orçamento completo do projeto de implantação da usina.

Tabela 8 - Resumo do Orçamento para implantação da UFV.

Item		Valor
Projeto e homologação	R$	15.000,00
Kit gerador: estrutura *carport*, módulos fotovoltaicos, inversores, cabos CC, quadros CA parciais e conectores MC4	R$	1.547.053,00
Mão de obra de montagem do kit gerador	R$	683.400,00
Infraestrutura elétrica c/ mão de obra execução	R$	560.068,00
TOTAL	**R$**	**2.805.521,00**

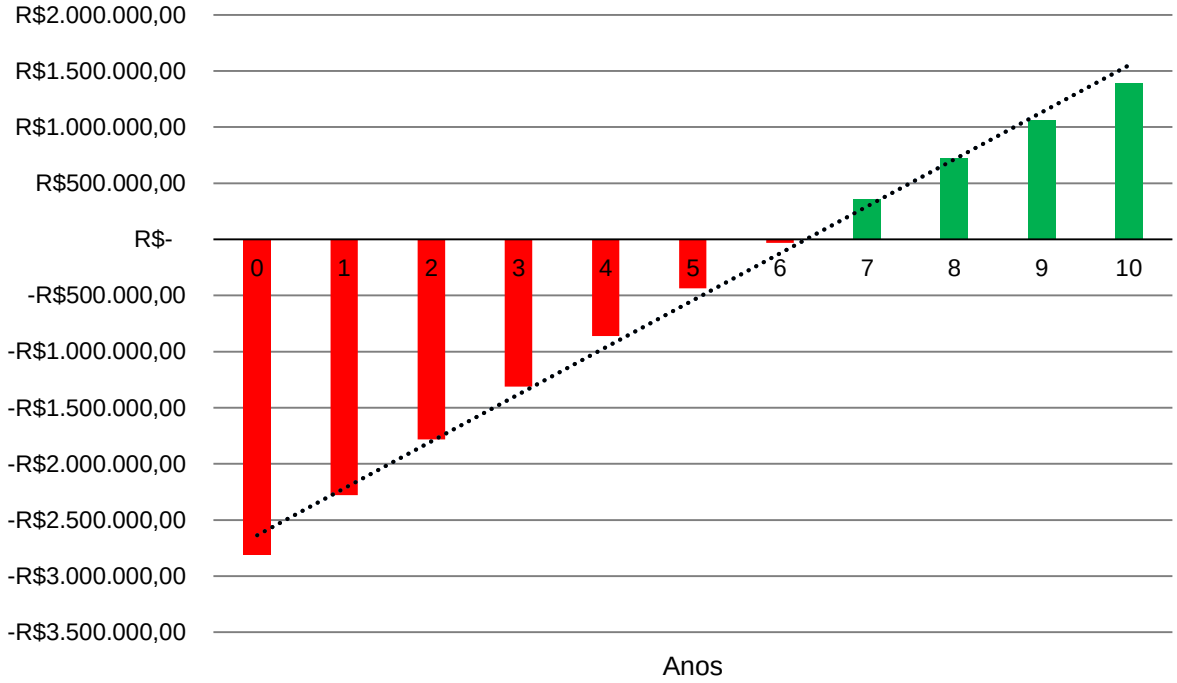
Fonte: Autores, 2025.

5.3 Análise Financeira

A avaliação da viabilidade econômico-financeira da implantação da usina fotovoltaica no IFPE Campus Recife foi conduzida mediante a aplicação dos indicadores Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e *Payback* Descontado. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada correspondeu à taxa SELIC vigente em janeiro de 2025, fixada em 13,25% (BCB, 2025). O custo operacional anual (OPEX) do sistema, equivalente a 0,5% do custo total de implantação, totalizou R$ 11.642,27 por ano.

A TIR calculada para o projeto atingiu 23,32%, demonstrando viabilidade econômica ao superar significativamente a TMA estabelecida. Quanto ao VPL, ao considerar um horizonte temporal de dez anos – alinhado à vida útil dos equipamentos –, obteve-se o valor de R$ 1.393.709,19, evidenciando que os benefícios financeiros acumulados superam os custos iniciais e operacionais. Adicionalmente, o *payback* descontado, conforme ilustrado no Gráfico 2, registrou um período de retorno de 6,7 anos, confirmando a atratividade econômica do investimento em um prazo compatível com projetos de infraestrutura energética.

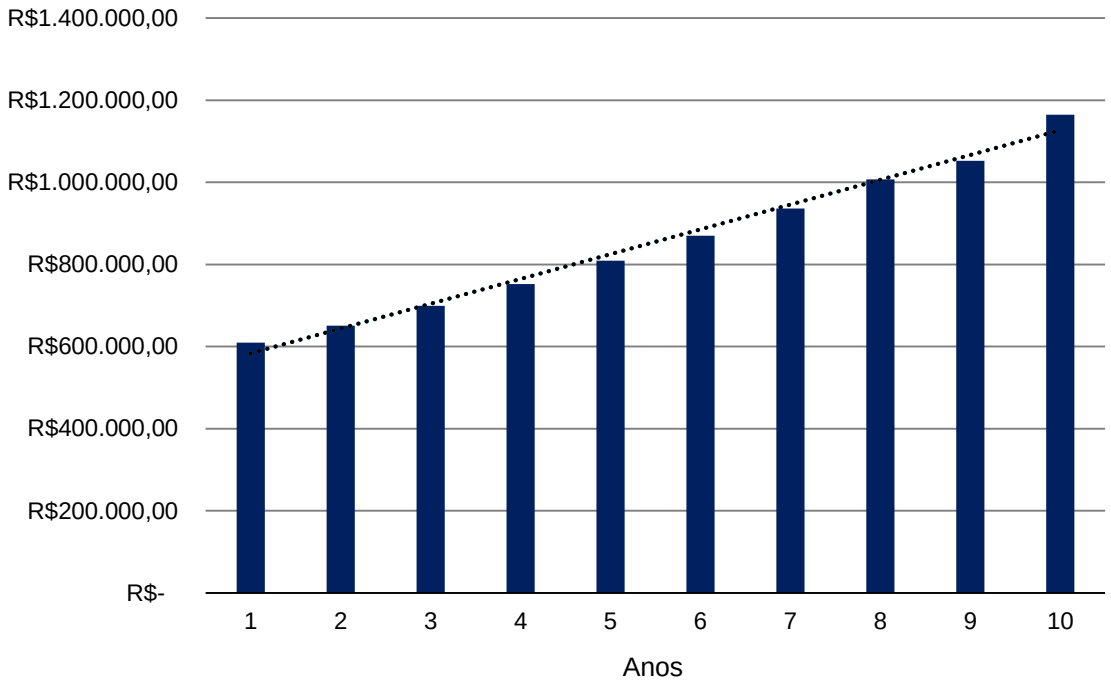
Gráfico 2 - *Payback* descontado.



Fonte: Autores, 2025.

A economia anual estimada decorrente da redução no consumo de energia da concessionária está detalhada no Gráfico 3, totalizando uma média de R$ 855.196,80. Esse valor representa uma redução significativa nos custos operacionais do campus, reforçando o impacto financeiro da iniciativa. Adicionalmente, a projeção de reajuste tarifário médio anual de 8% evidencia o potencial de economia crescente do sistema fotovoltaico, tornando o investimento progressivamente mais vantajoso em um horizonte temporal ampliado.

Gráfico 3 - Economia anual com a implantação da UFV.



Fonte: Autores, 2025.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a implantação da UFV se configura como financeiramente viável, oferecendo benefícios econômicos imediatos e contribuindo para a sustentabilidade ambiental da instituição, alinhada às diretrizes de eficiência energética e responsabilidade socioambiental.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre a implantação de uma UFV no IFPE Campus Recife demonstrou a viabilidade técnica e econômica da solução, configurando-se como alternativa sustentável para redução de custos com energia elétrica na instituição. A projeção da geração energética foi realizada por meio do software PVSyst, que permitiu a modelagem do sistema, considerando parâmetros como degradação dos módulos e perdas térmicas e elétricas.

A análise econômica, fundamentada nos indicadores TIR, VPL e *payback* descontado, confirmou a viabilidade financeira do projeto em longo prazo. Entretanto, observou-se que o *payback* superou as expectativas iniciais devido à adoção da solução do *carport* para instalação dos módulos. Embora essa opção tenha elevado o tempo de retorno do investimento, agregou benefícios adicionais, como a cobertura para o estacionamento, combinando geração de energia com melhoria infraestrutural.

A implementação da UFV também contribui para a sustentabilidade ambiental do campus, alinhando-se a objetivos de redução de emissões e promoção de energia renovável. A possibilidade de expansão para outros campi reforça o potencial do projeto como modelo institucional.

Como recomendações futuras, sugere-se:

Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Especialização em Energia Solar Fotovoltaica. 17 de março de 2025.

I. Integração do sistema com armazenamento de energia para otimização da eficiência;
II. Expansão dos *carports* solares para outras áreas do campus;
III. Análise contínua de desempenho para ajustes operacionais.

Por fim, conclui-se que a UFV no IFPE Campus Recife representa uma solução estratégica, conciliando redução de custos, cerca de R$ 855.196,80/ano em economia, aprimoramento infraestrutural e compromisso socioambiental.

REFERENCIAS

ABNT NBR 17193. Segurança contra incêndios em instalações fotovoltaicas - Requisitos e especificações de projetos — Uso em edificações, fevereiro de 2025.

ABSOLAR. **Isenção de ICMS para energia renovável avança na Assembleia Legislativa de Minas Gerais**, 2020. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/isencao-de-icms-para-energia-renovavel-avanca-na-assembleia-legislativa-de-minas-gerais/>. Acesso em: 12 de março de 2024.

ANEEL. **Expansão da matriz elétrica ultrapassou os 7 GW em 2024,** 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/expansao-da-matriz-eletrica-ultrapassou-os-7-gw-em-2024>. Acesso em: 29 de junho de 2024.

ANEEL. **Geração Distribuída de Energia Elétrica**, 2023. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/energia-asolar>. Acesso em: 20 de março de 2024.

ANEEL. **Resolução Homologatória nº 3.325, de 23 de abril de 2024**. Homologa o resultado do Reajuste Tarifário Anual de 2024, as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD referentes à Companhia Energética de Pernambuco – Neoenergia Pernambuco, e dá outras providências. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20243325ti.pdf. Acesso em: 21 fev. 2025.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 1.000**, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>. Acesso em: 11 de maio de 2024.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 1.059**, 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>. Acesso em: 11 de maio de 2024.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório Síntese, ano base 2023**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa Selic**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 20 fev. 2025.

Borchardt, C.; *et al.* **Viabilidade de um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede**. Revista Esfera Tecnológica, v. 6, n. 2, p. 1-20, 2022. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2022/02/revista-esfera-tecnologia-v06-n02-artigo01.pdf>. Acesso em: 17 de junho de 2024.

Borges, J. L.; *et al.* **Análise técnica e financeira para implantação de um sistema fotovoltaico no Hospital São Sebastião no Município de Turvo/SC**. Revista UNICREA, Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 17-51, 2023. Disponível em:

Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Especialização em Energia Solar Fotovoltaica. 17 de março de 2025.

<https://revistaunicrea.crea-sc.org.br/index.php/revistaunicrea/article/view/24>. Acesso em: 4 de janeiro de 2025.

Burmester, C.; *et al.* **Análise da viabilidade de implementação de placas fotovoltaicas no estacionamento da universidade Tuiuti do Paraná**. Anais IV EURO ELECS, p. 1-15, 2021**.** Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/download/2542/2349/7510>. Acesso em: 25 de novembro de 2024.

Carvalho, A. B. S. **A viabilidade de implantação do sistema de geração de Energia elétrica através de painéis fotovoltaicos.** Semana Acadêmica UNINORTE, p. 1-18, 2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_-_placa_fotovoltaicos.pdf>. Acesso em: 30 de outubro de 2024.

CEMIG. **Matriz energética brasileira se destaca no cenário mundial por sua renovabilidade**, 2024. Disponível em: <https://energialivre.cemig.com.br/blog/matriz-energetica-brasileira-mundial-renovabilidade/#:~:text=Segundo%20os%20dados%20pela%20Ag%C3%AAncia,renov%C3%A1veis%20e%201%25%20nuclear>. Acesso em: 19 de janeiro de 2025.

Correia, F. L. R.; *et al*. **Viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico na AEDB.** Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia XVII SEGeT, p. 1-15, 2019. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos20/18630199.pdf>. Acesso em: 6 de janeiro de 2025.

ECONOMIA. **Ministério da Economia: Painel de Custeio**, 2023.
EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublishingImages/Paginas/Forms/Publicaes/Anuario20anos.pdf>. Acesso em: 9 de fevereiro de 2024.

Felippim, G. M. R.; Souza, S. S. F. **Análise de viabilidade de implantação de um sistema de geração fotovoltaico a partir da nova legislação.** Brazilian Journal of Development ISSN: 2525-8761, p. 1-22, 2023. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index. php/BRJD/article/view/65433>. Acesso em: 14 de outubro de 2024.

FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO**. Resultados da Plataforma Nilô Pecanha 2018,** 2023. Disponível em: <http://resultados.plataformanilopecanha.org/2018/>. Acesso em 04 de maio de 2023.

GREENER. Geração Distribuída, 2024. Disponível em: < https://www.greener.com.br/wp-content/uploads/2024/03/Estudo-GD-2024-V1.0-3.pdf>. Acesso em: 10 de janeiro de 2025.

IFPE. **Departamento de Obras e Projetos de Engenharia do Instituto Federal de Pernambuco.** 2023.

Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Especialização em Energia Solar Fotovoltaica. 17 de março de 2025.

MEC. **Ministério da Educação EneRGIF: Projeto de Eficiência Energética**, 2023. Disponível em: <http://energif.mec.gov.br/sobre>. Acesso em: 22 de setembro de 2024.

MEC. **Ministério da Educação: Profissionais para energia do Futuro II - Boas práticas dos Institutos Federais e Orientações para gestores da Rede Pública**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/areas-de-atuacao/ept/profissionais-futuro>. Acesso em: 4 de agosto de 2024.

Mendes, T. F. **Dimensionamento de uma usina fotovoltaica conectada à rede para o campus litoral norte da UFRGS.** Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Gestão de Energia pela UFRGS, Tramandaí – RS, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/222495/001122210.pdf >. Acesso em: 31 de janeiro de 2024.

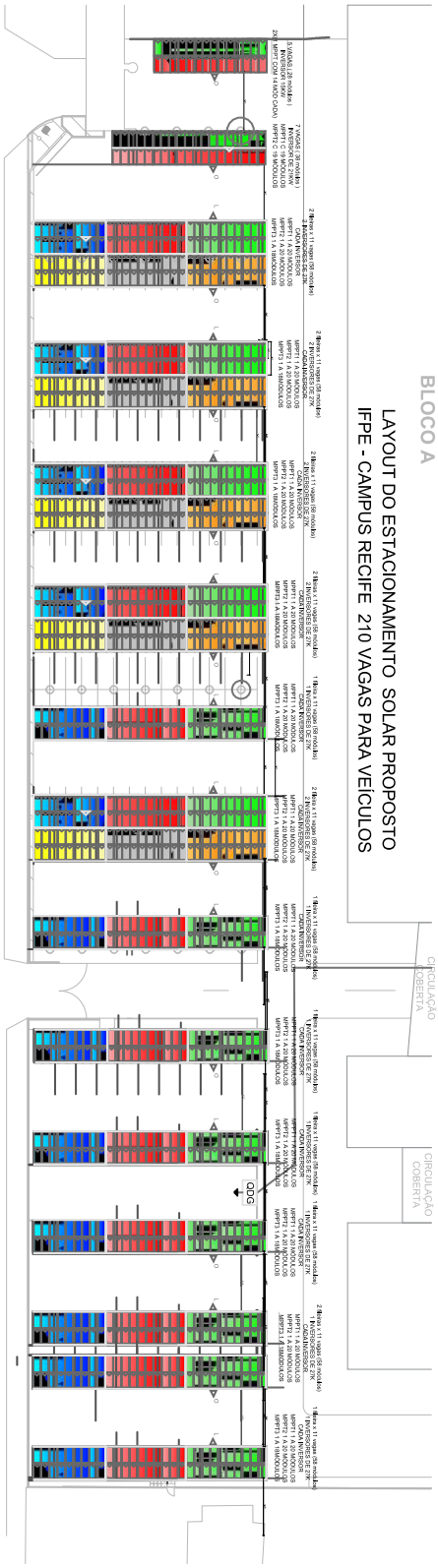
NEOENERGIA. **Geração distribuída**, 2025. Disponível em: <https://clientescorporativos.neoenergiapernambuco.com.br/informacoes/Paginas/geracao-distribuida.aspx>. Acesso em: 9 de fevereiro de 2024.

Oliveira, M. F. **Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em administração.** Manual de Metodologia cientifica - UFG, 2020. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/567/o/Manual_de_metodologia_cientifica_-_Prof_Maxwell.pdf>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2024.

ONS. **Plano da Operação Energética**, 2024. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Acervo DigitalDocumentosEPublicacoes/Relato%CC%81rio%20PEN%202024%20VF.pdf>. Acesso em: 19 de abril de 2024.

PHB. **Estrutura PHB solar para *Carport***, 2024. Disponível em: <https://www.energiasolarphb.com.br/produto/estrutura-phb-solar-para-*carport*/>. Acesso em: 12 de janeiro de 2025.

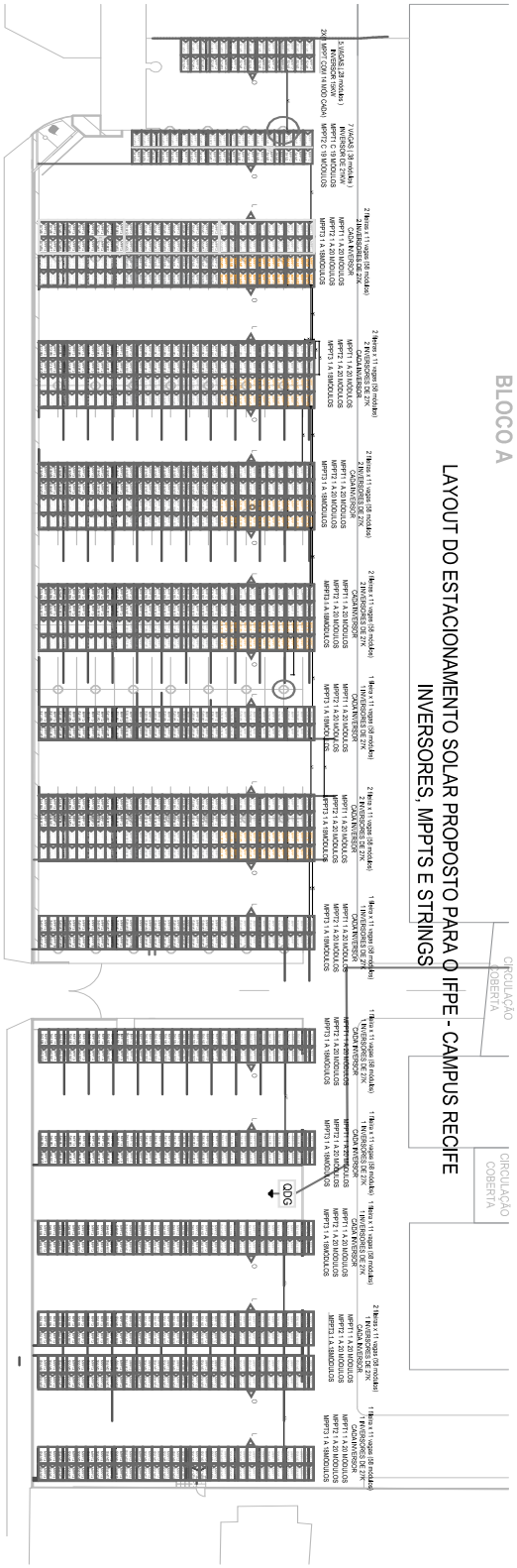
ANEXO I – LAYOUT ESTACIONAMENTO CARPORT PROPOSTO IFPE_CAMPUS DISPOSIÇÃO VAGAS DE ESTACIONAMENTO



Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Especialização em Energia Solar Fotovoltaica. 17 de março de 2025.

Fonte: Autores, 2025.

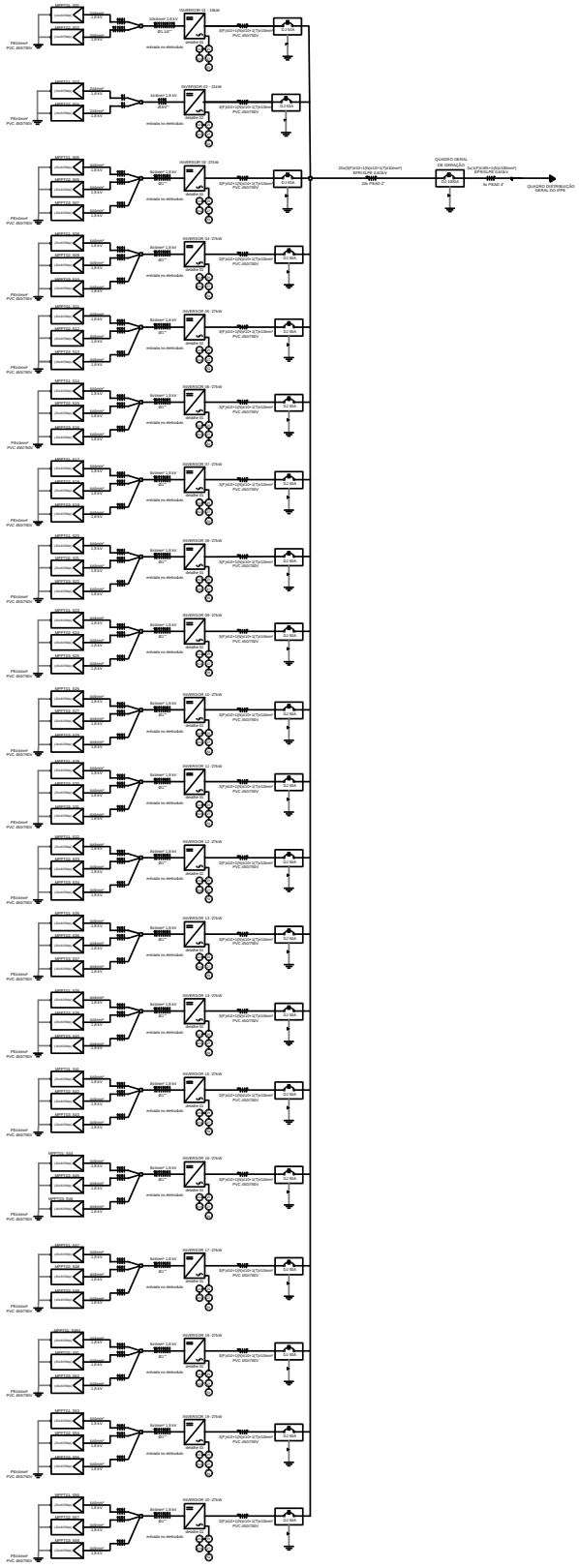
ANEXO II – LAYOUT ESTACIONAMENTO CARPORT PROPOSTO IFPE_CAMPUS RECIFE CONFIGURAÇÃO INVERSORES, MPPTS E STRINGS



Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Especialização em Energia Solar Fotovoltaica. 17 de março de 2025.

Fonte: Autores, 2025.

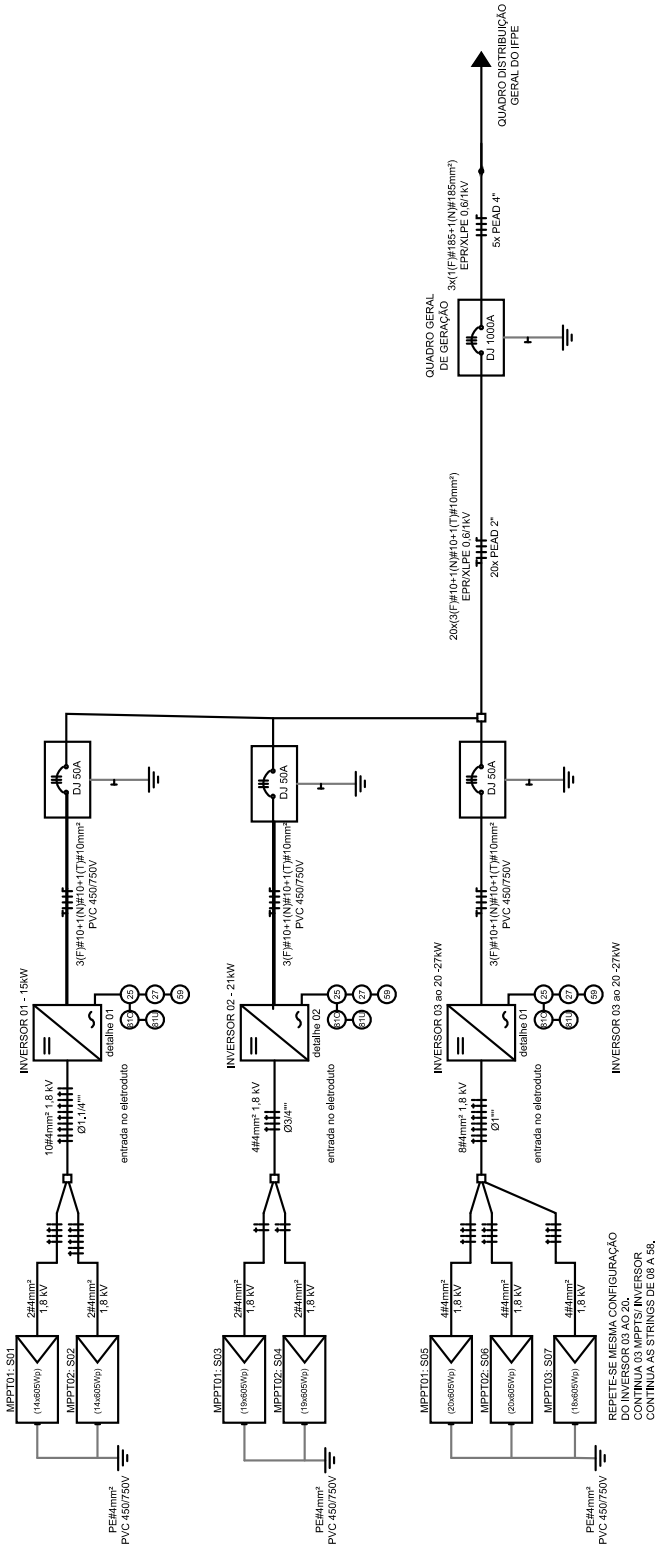
ANEXO III – DIAGRAMA UNIFILAR COMPLETO SFV_ESTACIONAMENTO CARPORT IFPE_CAMPUS RECIFE



Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Especialização em Energia Solar Fotovoltaica. 17 de março de 2025.

Fonte: Autores, 2025.

ANEXO IV – DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO SFV_ESTACIONAMENTO CARPORT IFPE_CAMPUS RECIFE



Fonte: Autores, 2025.

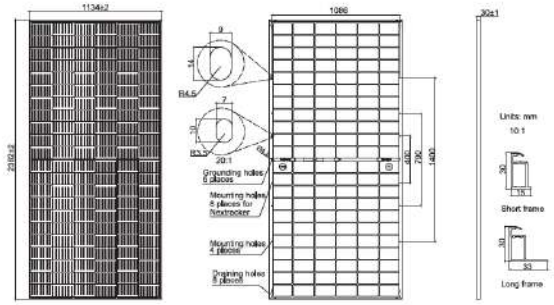
ANEXO V – DATASHEET MÓDULO

JA SOLAR | DEEP BLUE 4.0 Pro

www.jasolar.com
Specifications subject to technical changes and tests.
JA Solar reserves the right of final interpretation.

620W

595-620 LB Series
JAM66D45



Remark: customized frame color and cable length available upon request

Cell	Mono-16BB
Weight	33.1kg
Dimensions	2382±2mm×1134±2mm×30±1mm
Cable Cross Section Size	4mm² (IEC), 12 AWG(UL)
No. of cells	132(6×22)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10-35I/ MC4-EVO2A
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1500mm(+)/1500mm(-)
Front Glass/Back Glass	2.0mm/2.0mm
Packaging Configuration	36pcs/Pallet, 720pcs/40HQ Container

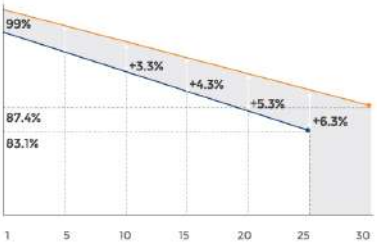
ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM66D45 -595/LB	JAM66D45 -600/LB	JAM66D45 -605/LB	JAM66D45 -610/LB	JAM66D45 -615/LB	JAM66D45 -620/LB
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	595	600	605	610	615	620
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	47.50	47.70	47.90	48.10	48.30	48.50
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	39.27	39.44	39.60	39.77	39.96	40.21
Short Circuit Current(Isc) [A]	15.90	15.95	16.00	16.05	16.10	16.13
Maximum Power Current(Imp) [A]	15.15	15.21	15.28	15.34	15.39	15.42
Module Efficiency [%]	22.0	22.2	22.4	22.6	22.8	23.0
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α_Isc)	+0.046%/℃					
Temperature Coefficient of Voc(β_Voc)	-0.260%/℃					
Temperature Coefficient of Pmax(γ_Pmp)	-0.300%/℃					
STC	Irradiance 1000W/m², cell temperature 25℃, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

Superior Warranty

1% 1st-year Degradation
0.4% Annual Degradation Over 30 years



- n-type Bifacial Double Glass Module Linear Performance Warranty
- Standard Module Linear Performance Warranty

Fonte: JA SOLAR, 2025.

ANEXO VI – DATASHEET INVERSORES 15KW E 21KW

Adequado para sistemas comerciais e industriais. Possui design moderno e inovador que facilita o manuseio e instalação.

PHB9000F-DT INVERSOR FOTOVOLTAICO

PHB12KF-DT INVERSOR FOTOVOLTAICO

PHB15KF-DT INVERSOR FOTOVOLTAICO

PHB21KF-DT INVERSOR FOTOVOLTAICO

Atende as Normas: ABNT NBR 16149; ABNT NBR 16150; ABNT NBR IEC 62116.

Possui a garantia de 7 anos para defeito de fabricação (consulte o termo de garantia).

String Box integrada, reduzindo tempo e área de instalação.

Configuração de saída que permite conexão com a rede usando 3 Fases + Neutro ou 3 Fases. Redução de custo do sistema com a eliminação do neutro.

Dados técnicos

Modelo	PHB9000F-DT	PHB12KF-DT	PHB15KF-DT	PHB21KF-DT
Dados de Entrada CC				
Max. tensão CC [V]	800	800	1100	1100
Faixa de operação SPMP [V]	140~650	140~650	140~950	140~950
Tensão de partida CC [V]	180	180	180	180
Corrente máxima CC [A]	30/30	30/30	30/30	30/30
Corrente curto-circuito CC [A]	37,5/37,5	37,5/37,5	37,5/37,5	37,5/37,5
Número de Strings / MPPT	4/2	4/2	4/2	4/2
Conector CC	MC4			
String Box Integrada	Interruptor/ Seccionador CC (IEC60947-1 e IEC60947-3), DPS CC classe II (EN50539-11)			
Dados da Saída CA				
Potência nominal CA [W]	9000	12000	15000	21000
Max. corrente CA [A]	23,7	31,9	24	31,9
Saída nominal CA	220/127 Vca; 60 Hz		380/220 Vca; 60 Hz	
Faixa de operação CA	101,6~139,7 Vca; 57,5~62 Hz		176~242 Vca; 57,5~62 Hz	
THD	<3%			
Fator de potência	Unitário (0.8 Capacitivo. / 0.8 Indutivo)			
Conexão CA	Trifásico (3F+N+PE) ou (3F+PE)			
Eficiência				
Max. eficiência	96,90%	97%	97,90%	98,20%
Eficiência SPMP	>99,9%			

Fonte: PHB, 2025.

ANEXO VII – DATASHEET INVERSORES 27KW

Adequados para sistemas residenciais, comerciais e industriais. Possui design moderno e inovador que facilita o manuseio e instalação.

PHB15K-MT INVERSOR FOTOVOLTAICO

PHB20K-MT INVERSOR FOTOVOLTAICO

PHB27K-MT INVERSOR FOTOVOLTAICO

PHB36K-MT INVERSOR FOTOVOLTAICO

Atende as Normas: ABNT NBR 16149; ABNT NBR 16150; ABNT NBR IEC 62116.

Possui a garantia de 10 anos* para defeito de fabricação. (consulte o termo de garantia).

String Box integrada, reduzindo tempo e área de instalação.

Configuração de saída que permite conexão com a rede usando 3 Fases + Neutro ou 3 Fases (Redução de custo do sistema com a eliminação do neutro).

Dados técnicos

Dados da Entrada CC				
Modelos	PHB15K-MT	PHB20K-MT	PHB27K-MT	PHB36K-MT
Max. Tensão CC [V]	800		1100	
Faixa de operação SPMP [V]	200~650		200~950	
Tensão de partida CC [V]	180			
Corrente máxima CC [A]	25/25/25			
Corrente curto circuito CC [A]	31,5/31,5/31,5			
Número de Strings / MPPT	6/3			
Conector CC	MC4			
String box integrada	Interruptor/ Seccionador CC (IEC60947-1 e IEC60947-3) DPS CC classe II (EN50539-11)			
Dados da Saída CA				
Potência nominal CA[W]	15000	20000	27000	36000
Max. Corrente CA [A]	41	54,5	41	54,5
Saída nominal CA	220/127Vca; 60Hz		380/220Vca; 60Hz	
Faixa de operação CA	101,6~139,7Vca; 57,5~62Hz		176~242Vca; 57,5~62Hz	
THD	<3%			
Fator de potência	Unitário (0.8 Capacitivo. / 0.8 Indutivo)			
Conexão CA	Trifásico (3F+N+T) ou (3F+T)			
Eficiência				
Max. Eficiência	98,7%	98,8%	98,7	98,8
Eficiência SPMP	>99,9%			

Fonte: PHB, 2025.

Instituto Federal de Pernambuco *campus* Pesqueira. Curso de Especialização em Energia Solar Fotovoltaica. 17 de março de 2025.