



## TRANSFORMAÇÃO SUSTENTÁVEL: ANÁLISES CLIMÁTICA E ECONÔMICA PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS EM UMA UNIVERSIDADE

*SUSTAINABLE TRANSFORMATION: CLIMATE AND ECONOMIC ANALYSES FOR RENEWABLE ENERGIES AT A UNIVERSITY*

*TRANSFORMACIÓN SOSTENIBLE: ANÁLISIS CLIMÁTICO Y ECONÓMICO PARA ENERGÍAS RENOVABLES EN UNA UNIVERSIDAD*

**Aline Cristina Marcelino Pinto**<sup>1\*</sup>, **Fernando Henrique Lermen**<sup>2</sup>, **Felipe Neves Farinhas**<sup>3</sup>, **Vinicius dos Santos Skrzyzowski**<sup>4</sup>, & **Sânia da Costa Fernandes**<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul <sup>2</sup> Universidad Tecnológica de Peru <sup>3,4</sup> Universidade Estadual do Paraná, Reitoria, Faculdade Estadual de Filosofia, Ciências e Letras de Paranaguá <sup>5</sup> Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Departamento de Engenharia da Produção

<sup>1</sup>alinecristinedn@gmail.com <sup>2</sup>fernando-lermen@hotmail.com <sup>3</sup>felipenfarinhas@gmail.com <sup>4</sup>viniciusdsnts78@gmail.com <sup>5</sup>saniafernandes@dep.ufscar.br

### ARTIGO INFO.

**Publicação:** 04.12.2024

**Palavras-chave:** Sustentabilidade; Energia renovável; Análise climática; Análise econômica.

**Keywords:** Sustainability; Renewable energies; Climate analysis; Economic analysis.

**Palabras Clave:** Sostenibilidad; Energía renovable; Análisis climático; Análisis económico.

**\*Autor correspondente:** Pinto, A. C. M.

### RESUMO

A energia desempenha um papel crucial no crescimento econômico e para a sustentabilidade, tornando essencial a promoção de fontes renováveis. Com edifícios consumindo aproximadamente 30% da energia global, a implementação de práticas sustentáveis nos campi universitários, vistos como "cidades em miniatura", ganha destaque. Universidades têm o dever de liderar na adoção de energias renováveis, promovendo consumo limpo e sustentabilidade. Este estudo utiliza análises estatísticas multivariadas e viabilidade econômica para identificar a fonte de energia renovável mais promissora nos campi da Universidade Estadual do Paraná. Curitiba se destaca pelo potencial da energia solar fotovoltaica desde que combinada com armazenamento eficiente. Paranavaí beneficia-se da alta radiação solar, enquanto União da Vitória mostra viabilidade tanto para energia solar quanto hidrelétrica, dependendo da disponibilidade de recursos hídricos. Este estudo oferece uma abordagem pioneira para avaliar a viabilidade da adoção de energias renováveis em diferentes campi universitários. Ao considerar simultaneamente múltiplas variáveis, o estudo oferece insights valiosos para administradores universitários e gestores de infraestrutura que podem facilitar a transição eficiente e econômica para fontes de energia renovável.

### ABSTRACT

Energy plays a crucial role in economic growth and sustainability, making the promotion of renewable sources essential. With buildings consuming approximately 30% of global energy, the implementation of sustainable practices on university campuses, seen as "miniature cities," is gaining prominence. Universities have a duty to lead in adopting renewable energy, promoting clean consumption

and sustainability. This study employs multivariate statistical analyses and economic feasibility assessments to identify the most promising renewable energy source for the campuses of Paraná State University. Curitiba stands out for the potential of photovoltaic solar energy, provided it is combined with efficient storage. Paranavaí benefits from high solar radiation, while União da Vitória shows feasibility for both solar and hydroelectric energy, depending on the availability of water resources. This study offers a pioneering approach to assessing the feasibility of renewable energy adoption on different university campuses. By simultaneously considering multiple variables, it provides valuable insights for university administrators and infrastructure managers that can facilitate an efficient and economical transition to renewable energy sources.

### RESUMEN

La energía desempeña un papel crucial en el crecimiento económico y la sostenibilidad, lo que hace esencial la promoción de fuentes renovables. Con los edificios consumiendo aproximadamente el 30% de la energía global, la implementación de prácticas sostenibles en los campus universitarios, vistos como "ciudades en miniatura", cobra relevancia. Las universidades tienen el deber de liderar la adopción de energías renovables, promoviendo el consumo limpio y la sostenibilidad. Este estudio utiliza análisis estadísticos multivariados y estudios de viabilidad económica para identificar la fuente de energía renovable más prometedora en los campus de la Universidad Estatal de Paraná. Curitiba se destaca por el potencial de la energía solar fotovoltaica, siempre que se combine con un almacenamiento eficiente. Paranavaí se beneficia de la alta radiación solar, mientras que União da Vitória muestra viabilidad tanto para la energía solar como para la hidroeléctrica, dependiendo de la disponibilidad de recursos hídricos. Este estudio ofrece un enfoque pionero para evaluar la viabilidad de la adopción de energías renovables en diferentes campus universitarios. Al considerar simultáneamente múltiples variables, el estudio ofrece información valiosa para administradores universitarios y gestores de infraestructura que pueden facilitar la transición eficiente y económica hacia fuentes de energía renovable.

## INTRODUÇÃO

Devido à importância da energia para o crescimento econômico de qualquer nação, promover o uso crescente de fontes de energia renovável e sustentável na sociedade é essencial (Amin et al., 2021). Isso se torna ainda mais vital ao considerar que os edifícios consomem aproximadamente 30% de toda a energia global (International Energy Agency, 2018). Considerando o impacto significativo que isso representa para a economia e a sociedade, a discussão em torno de energias renováveis tem ganhado destaque na academia, em especial na implementação de práticas sustentáveis em instituições universitárias.

Numerosos estudos têm se concentrado na adoção de sistemas de energia renovável híbrida, uma essa área que se estende naturalmente aos *campi* universitários. De acordo com Ávila et al. (2019), as universidades são tão diversas quanto as cidades em termos de ocupação de espaços e atividades. Conforme destacado por Kolokotsa (2018) e Guerrieri et al. (2019), os *campi* universitários podem ser analogamente considerados "cidades em miniatura", funcionando como comunidades autônomas ou bairros dentro das cidades. Nesse contexto, as universidades têm a responsabilidade de liderar pelo exemplo na implantação de fontes de energia renovável e sustentável, aumentando a adoção de práticas de consumo limpo e desempenhando um papel inspirador para toda a comunidade.

As instituições de ensino superior desempenham um papel crucial nas sociedades modernas e devem assumir a liderança na avaliação da eficiência energética em busca de se tornarem "universidades inteligentes e sustentáveis" (Rinaldi et al., 2018; Maciá Pérez et al., 2021; Arnaldo Valdés et al., 2022). A definição de uma universidade sustentável abraça os pilares da sustentabilidade - ambiental, econômico e social, com responsabilidade na mitigação dos impactos ambientais, promoção da saúde e bem-estar, e disseminação desses valores em escala global (Alshuwaikhat & Abubakar, 2008; Cole, 2003). Montoya & Perea-Moreno (2020) identificam a educação, a pesquisa e a extensão como partes integradas de uma universidade sustentável, destacando seu papel fundamental na promoção da indissociabilidade dos aspectos ambientais, econômicos e sociais.

Embora haja uma crescente literatura sobre universidades sustentáveis e adoção de energias renováveis, os estudos se limitam a abordagens univariadas ou não considera adequadamente a complexidade das interações entre diferentes variáveis, como localização geográfica, condições climáticas e econômicas. Existe uma lacuna significativa na aplicação de métodos analíticos para uma avaliação mais precisa e abrangente da viabilidade e potenciais impactos da implementação de energias renováveis em instituições universitárias.

Esse estudo visa utilizar análises estatísticas multivariadas para identificar a energia renovável mais promissora entre os *campi* da Universidade Estadual do Paraná, incluindo os ambientes de Paranaíba, Curitiba e União da Vitória, juntamente com a análise de viabilidade econômica. Inicialmente, foram consideradas três formas de energia renovável - hidrelétrica, solar e eólica – devido à adequação ao contexto geográfico e climático do Brasil. Com base na análise de eficiência, a energia solar foi destacada como o foco central do estudo, visando reduzir a dependência de fontes não renováveis.

Este estudo oferece uma abordagem pioneira para avaliar a viabilidade da adoção de energias renováveis em diferentes *campi* universitários, potencialmente servindo como um modelo para avaliações semelhantes em outras instituições de ensino superior. Destaca-se a importância da aplicação de análises estatísticas multivariadas para uma avaliação minuciosa e holística, considerando diversas variáveis simultaneamente, enriquecendo o campo de pesquisa em sustentabilidade energética.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo aplicou a análise estatística multivariada como a abordagem metodológica para entender as relações complexas entre múltiplas variáveis em um conjunto de dados. Essa abordagem permite não apenas examinar uma variável isoladamente, mas sim explorar a interação entre diversas variáveis. A seguir, é apresentado o processo de coleta e análise de dados.

### 2.1 Coleta de dados

A etapa inicial do estudo envolveu a seleção criteriosa de quatro *campi* da Universidade Estadual do Paraná (Paranavaí, Curitiba I, Curitiba II e União da Vitória) com base na representatividade geográfica e diversidade climática. Dados de Curitiba I e Curitiba II foram recebidos de forma unificada. Para a condução da análise estatística multivariada, inicialmente foram coletados dados climáticos locais, incluindo parâmetros como temperatura, umidade relativa, precipitação, velocidade do vento e radiação solar. O contato com o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) garantiu acesso a dados climáticos confiáveis coletados sistematicamente considerando o intervalo de quatro anos, abrangendo diferentes estações e variações climáticas. Essa etapa visou compreender profundamente as condições climáticas de cada *campi*, criando um modelo confiável para avaliar a viabilidade de fontes de energia renovável, contribuindo para a sustentabilidade energética universitária.

Além disso, para a análise financeira, dados operacionais, como consumo energético histórico de um ano e padrões de consumo, foram considerados. Foram coletados dados quanto ao consumo mensal de energia e os custos das contas de energia elétrica de doze meses. Isso permitiu calcular a média de despesas associadas à implementação das três formas de energias renováveis selecionadas para o estudo (hidrelétrica, solar e eólica).

Esses dados foram fundamentais para a formulação de projeções precisas dos custos envolvidos na implementação de sistemas de geração de energia a partir de fontes renováveis. A análise revelou que a energia solar consistentemente demonstrou resultados superiores de eficiência, emergindo como a escolha evidente para o foco do estudo. Com a energia solar como ponto central, a pesquisa aprofundou na análise, considerando as particularidades de cada *campi* e as implicações financeiras e de investimento associadas à transição para essa forma de energia sustentável e eficiente.

### 2.2 Análise dos dados

O software Rstudio foi utilizado para a análise dos dados, oferecendo ferramentas para análises estatísticas avançadas. Em particular, os gráficos de *boxplot* gerados no Rstudio foram empregados para visualizar as distribuições das variáveis climáticas em cada *campi*, facilitando

uma investigação detalhada das condições específicas de cada local. Segundo Kronthaler & Zöllner (2021), o *boxplot* é uma ferramenta versátil para a análise exploratória de dados, proporcionando uma visão aprofundada das características e tendências nos dados.

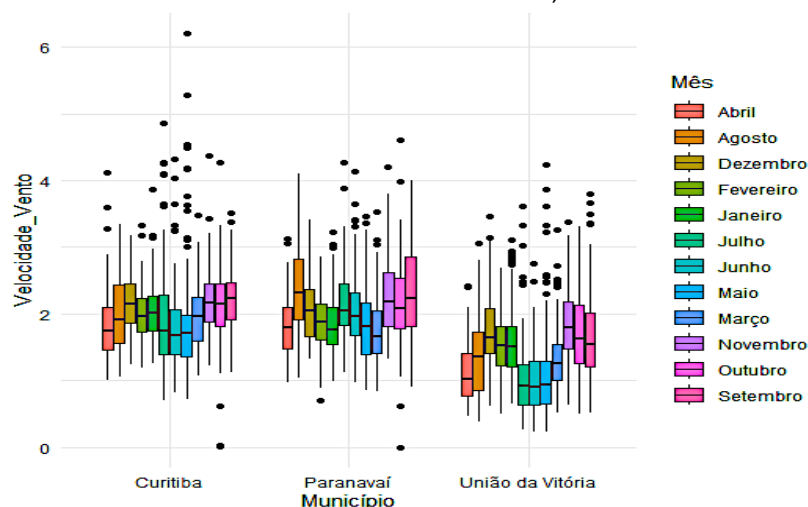
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, apresentamos uma análise detalhada dos resultados obtidos da investigação de dados, destacando suas implicações para a promoção da sustentabilidade energética em instituições de ensino superior. Examinamos as principais descobertas de nossa análise e como elas impactam a transição para fontes de energia mais limpas e eficientes nas universidades do país.

### 3.1 Análise dos fatores climáticos

A análise incluiu a apresentação de um gráfico de *boxplot* que mostra os índices de vento em três cidades de foco da pesquisa. Ressalta-se que dados de Curitiba I e Curitiba II foram recebidos de forma unificada. As caixas no *boxplot* representam a variação interquartil dos dados, permitindo a identificação de tendências como a mediana, os valores máximos e a presença de valores discrepantes. Essas visualizações fornecem informações valiosas para nossa análise, ajudando a entender as características climáticas específicas de cada cidade e orientando decisões sobre sustentabilidade energética (Figura 1).

**Figura 1.** Índices de velocidade do vento nas cidades de Curitiba, Paranavaí e União da Vitória (Paraná)



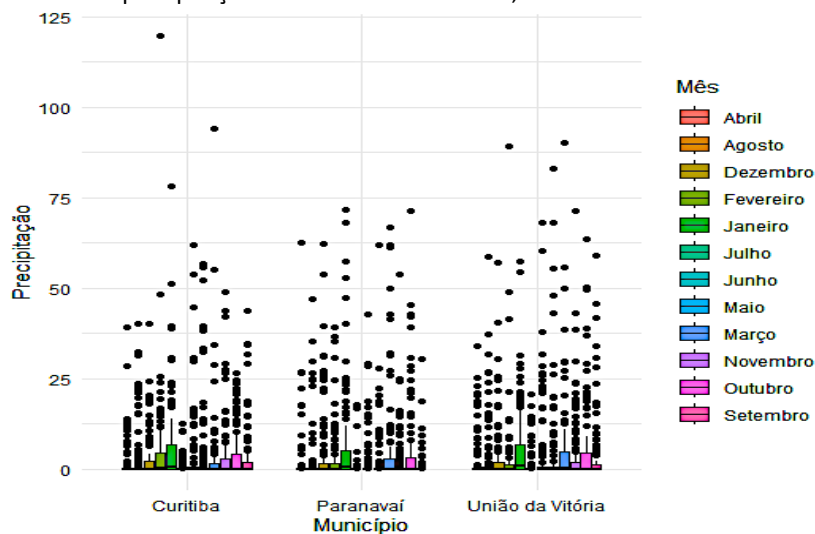
Fonte: Autores.

A análise da Figura 1 revela que Curitiba se destaca com índices de vento significativamente mais altos. Essa diferença é atribuída à sua localização geográfica no sul do Brasil, com variações de altitude e efeitos locais como construções urbanas e vegetação que criam canais de vento e microclimas, aumentando a velocidade do ar em certas áreas da cidade (Krüger et al., 2011). União da Vitória e Paranavaí, embora apresentem velocidades médias de vento e mais baixas que Curitiba, exibem maior variabilidade nos dados, experimentando uma ampla gama de velocidades ao longo do período analisado. Em particular, União da Vitória tem ventos notavelmente menores devido a suas características topográficas, como colinas e vales, que atuam como barreiras naturais ao fluxo do vento (Zhang et al., 2021).

No entanto, é importante notar que nenhuma das cidades atinge a velocidade mínima de vento necessária para viabilizar a geração eficaz de energia eólica, que é consistentemente superior a 8 metros por segundo (Nipo, 2007). Mesmo Curitiba, com ventos mais fortes, não atende a essa condição mínima, tornando inviável a implementação eficaz de energia eólica.

A análise também destaca a importância dos dados pluviométricos para a pesquisa de sustentabilidade energética, especialmente na consideração de fontes de energia renovável como a hidrelétrica. A Figura 2 apresenta os índices de precipitação das três cidades, fornecendo informações cruciais sobre a distribuição das chuvas e a disponibilidade de recursos hídricos, essenciais para estratégias de gestão de recursos e adaptação climática.

**Figura 2.** Índices de precipitação nas cidades de Curitiba, Paranavaí e União da Vitória (Paraná)

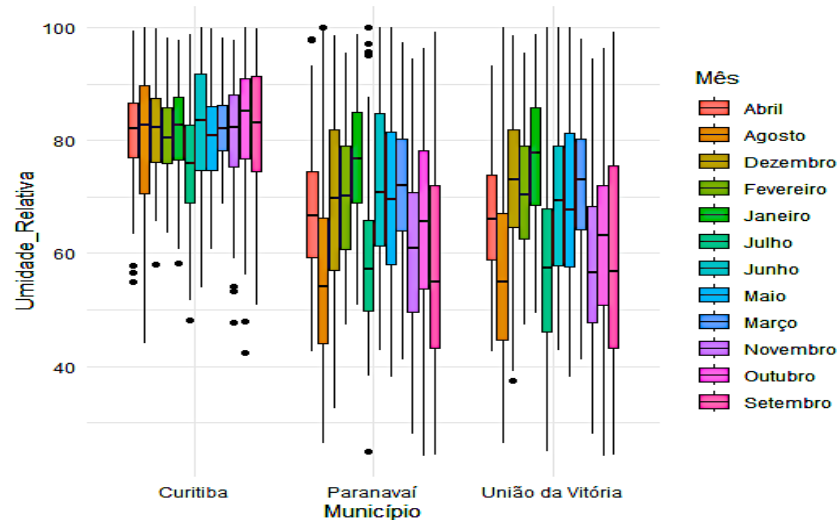


A análise dos dados de precipitação nas cidades de Curitiba, Paranavaí e União da Vitória revela que, de modo geral, não há diferenças significativas entre elas. Os *boxplots* mostram padrões de precipitação similares, com distribuições sobrepostas ao longo do período estudado. Curitiba apresenta índices de precipitação ligeiramente mais elevados em alguns meses específicos, evidenciado pela mediana das precipitações um pouco acima em determinados meses. No entanto, essas diferenças não são substanciais para indicar uma disparidade significativa.

Em termos de precipitação, nenhuma cidade se destaca consideravelmente uma em relação às outras, e nenhuma delas apresentam quantidade suficiente de chuva para viabilizar a aplicação de energia hidrelétrica. A precipitação ligeiramente maior em Curitiba implica mais tempo com o céu nublado ou parcialmente nublado, o que pode afetar a disponibilidade de luz solar direta e, conseqüentemente, a viabilidade da energia solar fotovoltaica, conforme apontado por Alonso-Montesino et al. (2019). Nesse contexto, mesmo que Curitiba registre índices de precipitação ligeiramente superiores, essa particularidade climática pode restringir a eficácia e a uniformidade da geração de energia solar na cidade, uma vez que a presença frequente de nuvens ou nebulosidade pode reduzir a quantidade de radiação solar direta

disponível para captação pelos painéis fotovoltaicos, afetando a confiabilidade da fonte de energia solar em Curitiba (Figura 3).

**Figura 3.** Índices de umidade relativa do ar nas cidades de Curitiba, Paranavaí e União da Vitória (Paraná)



Fonte: Autores.

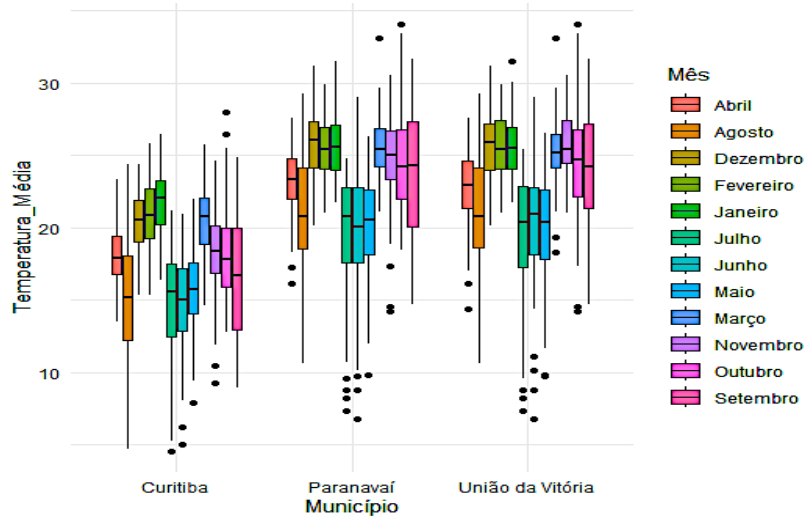
Curitiba se destaca por ter índices de umidade mais constantes e elevados, com menor variação entre os quartis, indicando um clima mais estável. Paranavaí e União da Vitória, em contraste, mostram maior dispersão e a presença de outliers, refletindo variações mais pronunciadas e picos elevados de umidade, embora seus valores médios sejam inferiores aos de Curitiba.

A umidade relativa do ar impacta diretamente a eficiência da geração de energia solar e eólica. Alta umidade pode dispersar a luz solar, reduzindo a radiação direta que atinge os painéis solares e, assim, diminuindo sua eficiência. Para a energia eólica, a umidade afeta a densidade do ar, influenciando a velocidade do vento, um fator crucial para a geração de energia eólica.

A análise desses índices é fundamental para o planejamento da geração de energia renovável, permitindo ajustes operacionais baseados nas condições climáticas previstas para maximizar a produção de energia. A constância e os níveis elevados de umidade relativa do ar em Curitiba podem favorecer a geração estável de energia renovável. Em contraste, as variações em Paranavaí e União da Vitória podem representar desafios adicionais para a implementação eficiente dessas fontes de energia limpa.

Em seguida, a análise se voltará para os índices de temperatura média registrados nas três cidades, dados que são críticos para avaliar a viabilidade das fontes de energia renovável, influenciando diretamente a eficiência de tecnologias como a energia solar e geotérmica (Figura 4).

**Figura 4.** Índices de temperatura média nas cidades de Curitiba, Paranavaí e União da Vitória (Paraná)



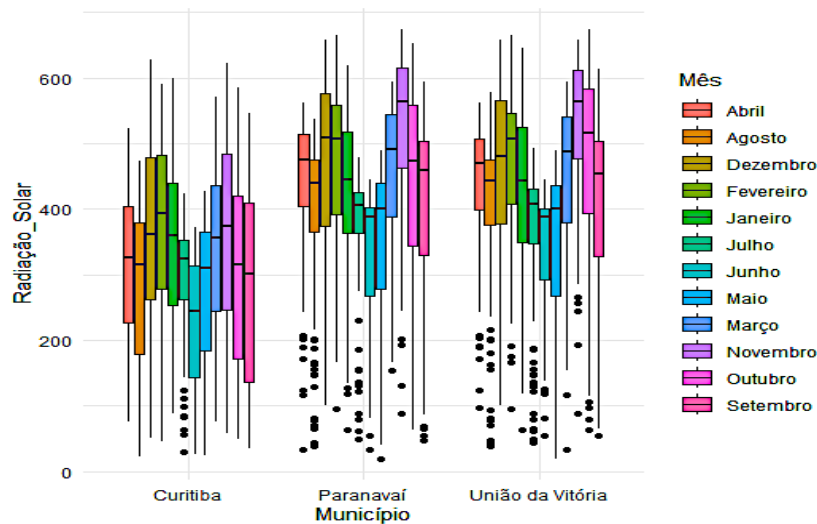
A análise dos índices de temperatura média nas três cidades revela padrões distintos. Curitiba, localizada em regiões mais elevadas, apresenta temperaturas médias mais baixas e variações menores ao longo do ano. Em contraste, Paranavaí e União da Vitória têm temperaturas médias mais elevadas e variações sazonais mais pronunciadas, devido à sua proximidade geográfica e localização em regiões mais quentes do Paraná.

A temperatura média de uma região é crucial para a eficiência dos sistemas de energia solar. Em locais muito quentes, os painéis solares podem superaquecer, reduzindo a eficiência e a vida útil dos painéis. Em regiões frias, a eficiência das células fotovoltaicas pode diminuir devido à menor atividade química. Portanto, Paranavaí e União da Vitória, com temperaturas mais elevadas, são mais propícias para a energia solar fotovoltaica, enquanto Curitiba, com temperaturas mais baixas, pode necessitar de adaptações tecnológicas específicas para otimizar a eficiência da energia solar.

Estimar o desempenho dos painéis solares com base na temperatura média é essencial. Em regiões quentes, sistemas de resfriamento podem ser necessários para evitar o superaquecimento dos painéis. Em regiões frias, é importante usar tecnologias otimizadas para baixas temperaturas, garantindo um desempenho eficiente dos sistemas de energia solar.

A seguir, será realizada uma análise detalhada dos índices de radiação solar em Curitiba, Paranavaí e União da Vitória. A radiação solar é fundamental para avaliar a viabilidade dos sistemas de energia solar fotovoltaica, pois determina a quantidade de energia solar disponível para conversão em eletricidade. Compreender as variações de radiação solar nessas regiões é essencial para identificar locais propícios para a implementação de fontes de energia renovável e para formular estratégias sustentáveis de geração de energia (Figura 5).

**Figura 5.** Índices de radiação solar nas cidades de Curitiba, Paranavaí e União da Vitória (Paraná)



Fonte: Autores.

A análise dos índices de radiação solar nas três cidades revela tendências notáveis. Paranavaí e União da Vitória têm níveis de radiação solar semelhantes e consistentemente mais altos que Curitiba, devido à localização geográfica favorável, proporcionando maior exposição ao sol. Em contraste, Curitiba registra índices de radiação solar mais baixos, possivelmente devido à sua localização e topografia, resultando em maior incidência de nuvens e menor exposição direta ao sol, o que impacta a eficiência da energia solar fotovoltaica na região.

Segundo Salvador et al. (2019), a produção de energia por células fotovoltaicas tem um grande potencial, mas requer investimentos significativos e uma avaliação cuidadosa do retorno sobre o investimento. Apesar de a energia solar representar uma pequena parcela da matriz energética brasileira, há incentivos financeiros e estratégicos que podem promover a adoção de sistemas de microgeração de energia solar.

A energia solar fotovoltaica é uma alternativa atraente globalmente, com duas configurações comuns: instalação em telhados de edifícios e painéis no solo, conforme Lakhani et al. (2014). A escolha entre essas abordagens deve considerar a infraestrutura e o ecossistema local. Li et al. (2017) destacam que sistemas solares em edifícios podem ser integrados ou substituir elementos da construção original.

Em resumo, Paranavaí e União da Vitória, com condições climáticas favoráveis e radiação solar consistente, sendo mais propícias para a geração de energia solar fotovoltaica. Curitiba, com índices de radiação solar mais baixos, requer uma abordagem estratégica, utilizando tecnologias eficientes e estratégias de otimização para maximizar a produção de eletricidade a partir da energia solar.

### 3.2 Análise financeira e de custos

A análise do consumo energético nos três *campi* da universidade foi conduzida com base em uma abordagem detalhada, utilizando uma série de variáveis essenciais para compreender plenamente a dinâmica energética. Para isso, foram considerados dados como o consumo em quilowatt-hora (kWh) ao longo de um ano, bem como as taxas da Companhia Paranaense de



Energia (Copel) e os valores das faturas mensais. Essas informações foram minuciosamente coletadas, permitindo uma avaliação precisa dos padrões de consumo e dos custos associados à energia elétrica em cada campus. Esse processo analítico sólido serviu como alicerce para nossa investigação e tomada de decisões informadas em relação à transição para fontes de energia renovável (Tabela 1).

**Tabela 1.** Consumo Energético dos *campi* universitários de Paranavaí, Curitiba e União da Vitória

2a - Consumo de energia de Paranavaí				2b - Consumo de energia de Curitiba			
<b>Paranavai</b>				<b>Curitiba</b>			
Mês	Valor	TE e TUSD convencional	kWh	Mês	Valor	TE e TUSD convencional	kWh
Jan	R\$ 22.082,53	R		Jan	R\$ 1.535,97	0,72808	1118,31
Fev	R\$ 12.936,51	R\$ 0,73	9418,81	Fev	R\$ 1.357,45	0,72808	988,33
Mar	R\$ 16.697,09	R\$ 0,73	12156,82	Mar	R\$ 1.823,80	0,72808	1327,87
Abr	R\$ 19.720,38	R\$ 0,73	14358,01	Abr	R\$ 2.084,67	0,72808	1517,81
Mai	R\$ 23.324,80	R\$ 0,73	16982,32	Mai	R\$ 3.345,00	0,72808	2435,43
Jun	R\$ 22.184,39	R\$ 0,73	16152,01	Jun	R\$ 5.160,51	0,72808	3757,26
Jul	R\$ 6.490,81	R\$ 0,73	4725,83	Jul	R\$ 5.613,42	0,72808	4087,02
Ago	R\$ 17.379,86	R\$ 0,73	12653,93	Ago	R\$ 5.311,39	0,72808	3867,12
Set	R\$ 17.982,62	R\$ 0,73	13092,79	Set	R\$ 4.386,43	0,72808	3193,67
Out	R\$ 17.090,40	R\$ 0,73	12443,18	Out	R\$ 5.734,54	0,72808	4175,20
Nov	R\$ 15.450,33	R\$ 0,73	11249,08	Nov	R\$ 6.743,08	0,72808	4909,50
Dez	R\$ 21.574,14	R\$ 0,73	15707,70	Dez	R\$ 8.179,19	0,72808	5955,10
<b>Média</b>	<b>R\$ 17.742,82</b>		<b>12918,19</b>	<b>Média</b>	<b>R\$ 4.272,95</b>		<b>3111,05</b>
2c - Consumo de energia de União da Vitória							
<b>União da Vitória</b>							
Mês	Valor	TE e TUSD convencional	kWh				
Jan	R\$ 483,88	R\$ 0,73	352,30				
Fev	R\$ 598,74	R\$ 0,73	435,93				
Mar	R\$ 460,75	R\$ 0,73	335,46				
Abr	R\$ 379,62	R\$ 0,73	276,39				
Mai	R\$ 215,79	R\$ 0,73	157,11				
Jun	R\$ 206,62	R\$ 0,73	150,44				
Jul	R\$ 350,90	R\$ 0,73	255,48				
Ago	R\$ 277,26	R\$ 0,73	201,87				
Set	R\$ 288,44	R\$ 0,73	210,01				
Out	R\$ 215,15	R\$ 0,73	156,65				
Nov	R\$ 407,82	R\$ 0,73	296,93				
Dez	R\$ 267,22	R\$ 0,73	194,56				
<b>Média</b>	<b>R\$ 8.731,31</b>		<b>251,93</b>				

Fonte: Dados da Universidade Estadual do Paraná e da Companhia Paranaense de Energia.

Nas tabelas anteriores, foram registrados os montantes de despesas mensais e a tarifa de energia (TE) e tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD) de R\$0,73, que correspondem aos serviços e produtos oferecidos pela empresa de energia. Com base nesses dados, foi calculado o consumo mensal de energia para cada localidade, multiplicando o valor de cada mês pela tarifa mencionada. Essa informação é crucial para as análises subsequentes, pois é a partir do consumo de energia que determinamos a quantidade ideal de placas solares e inversores a serem instalados, bem como o investimento médio necessário para essa implantação.

Destaca-se que os níveis máximos de consumo em kWh para as cidades de Paranavaí, Curitiba e União da Vitória são, respectivamente, 16.982,32 kWh; 4.909,50 kWh e 435,93 kWh. Também, a média dos gastos mensais da fatura totalizou R\$17.742,82 em Paranavaí, R\$4.272,95 em Curitiba e R\$346,02 em União da Vitória. Esses dados serão utilizados nas análises posteriores dos equipamentos para a oferta da energia solar.

### 3.2.1 Placas solares e inversores

Diante da mudança climática e da busca por fontes de energia mais sustentáveis, os investimentos em sistemas conectados à rede e sistemas autônomos são fundamentais para transformar a geração, distribuição e uso de energia renovável (Deshmukh & Deshmukh, 2008). Inversores *on-grid*, que se conectam à rede elétrica, são essenciais para integrar eletricidade de fontes limpas, permitindo que residências e empresas gerem e compartilhem energia, economizando custos e reduzindo emissões (Guntzel, 2018). Inversores *off-grid*, por outro lado, são vitais para sistemas de energia independentes, sendo ideais para áreas remotas sem acesso à rede elétrica tradicional. Esses inversores convertem energia renovável em eletricidade autossustentável (Guntzel, 2018).

Para determinar os equipamentos ideais para a implantação de energia solar nos *campi* da universidade, conduzimos uma pesquisa abrangente que identificou duas opções de placas solares e inversores, variando em potência e custo. A escolha foi por modelos *off-grid* devido à sua melhor compatibilidade com as infraestruturas e necessidades dos locais examinados. A seleção dos inversores baseou-se em dados de vendas de uma empresa especializada em energia solar (Tabela 2).

**Tabela 2.** Especificação de inversores *off-grid*

Modelo	Potência Máxima (W)	Preço (R\$)	Tipo de Sistema	Loja
Hayonik 3000	3000	2500	<i>Off-grid</i>	NeoSolar
Epever UPower-Hi UP5000	5000	6000	<i>Off-grid</i>	NeoSolar

Fonte: Portal Solar (<https://www.portalsolar.com.br/>).

A Tabela 2 destaca dois modelos de inversores: o Hayonik 3000, com uma potência máxima de 3000W e um custo de R\$2.500,00, e o Epever Upower-H UP5000, com uma potência máxima de 5000W, disponível a um preço de R\$6.000,00. Esses dois modelos foram selecionados para uma análise comparativa, considerando que o primeiro oferece uma potência menor a um custo mais acessível. Essa comparação visa determinar qual deles se adequa melhor às necessidades do cenário em estudo. Em relação às placas solares, foram utilizados os mesmos critérios de escolha, dois produtos com especificações distintas, porém com custo-benefício (Tabela 3).

**Tabela 3.** Especificação dos modelos de placas solares

Modelo	Potência (Wp)	Preço (R\$)	R\$/Wp	Marca	Loja
Luxen Solar Series 5	595	1300	R\$ 2,18	Luxen Solar	NeoSolar
Half-Cell - ZnShine Solar Series ZXP6-HLD 144	335	900	R\$ 2,61	Half-Cell	NeoSolar

Fonte: Portal Solar (<https://www.portalsolar.com.br/>).

No que diz respeito às placas solares selecionadas para a análise deste estudo, foram identificados dois modelos distintos. O primeiro é o Luxen Solar Series 5, que oferece uma potência de 595W por placa e está disponível ao preço de R\$1.300,00. Em contrapartida, o segundo modelo é o Half-Cell, com uma potência de 335W por placa, e seu custo é de R\$900,00. Similarmente aos inversores, o modelo 1 apresenta maior potência, porém com um custo mais elevado em comparação com o modelo 2. Ambos os modelos têm suas vantagens distintas, o que justifica a análise comparativa para determinar qual deles é mais apropriado às necessidades do cenário em estudo.

### 3.2.2 Investimento

Para o investimento, foi utilizado como base o Portal Solar (<https://www.portalsolar.com.br/>), para saber a média do investimento de acordo com a potência do gerador e/ou inversor (Tabela 4).

**Tabela 4.** Preço de Instalação de placa solar para comércios e pequenos negócios

Potência do Gerador	Preço Médio da Instalação
12 kWp	R\$ 44.040,00
30 kWp	R\$ 100,80,00
50 kWp	R\$ 186.500,00
75 kWp	R\$ 288.000,00

Fonte: Portal Solar (<https://www.portalsolar.com.br/>).

Com base nessas informações, realizamos uma análise comparativa dos valores máximos de consumo energético previamente identificados. Destaca-se que para os municípios de Paranaíba, Curitiba e União da Vitória, os consumos são, respectivamente, de 16.982,32 kWh; 4.909,50 kWh e 435,93 kWh. É notável que os campi localizados em Curitiba e União da Vitória apresentam um consumo máximo de até 12kWp, o que implica um investimento médio de instalação de R\$44.040,00. Já no caso de Paranaíba, onde o consumo é maior, estima-se um consumo de até 30kWp, requerendo um investimento de R\$100.080,00.

Essa análise revela que a capacidade de geração de energia necessária para atender às demandas de cada campus está diretamente relacionada ao seu consumo energético. Curitiba e União da Vitória podem ser supridos com sistemas de até 12kWp, enquanto Paranaíba requer um sistema mais robusto de até 30kWp para acomodar seu consumo mais elevado. Essa diferenciação é crucial para a determinação do investimento necessário em cada localidade, garantindo que os recursos sejam alocados de forma eficaz para atender às necessidades específicas de geração de energia em cada campus.

### 3.2.3 Análise de cenários

Realizamos uma simulação de diversos cenários com base nas informações coletadas, analisadas e definidas ao longo deste estudo. Para cada município considerado, exploramos cenários que envolviam diferentes combinações e modelos de placas solares e inversores, com o objetivo de identificar a opção que oferecia o melhor custo-benefício para o investimento em energia limpa.

Esses cenários foram cuidadosamente elaborados levando em consideração variáveis cruciais, como o consumo máximo extraído das faturas de energia, o preço dos equipamentos - calculado com base na quantidade necessária de inversores e placas para atender à demanda de consumo - e o custo de instalação. Este último foi determinado com base em dados do site Portal Solar, que fornece uma tabela padronizada dos valores médios de instalação.

A Tabela 5, apresentada abaixo, representa uma das combinações analisadas, que inclui as placas solares Luxen Solar Series 5 e o inversor Hayonik 3000. Esse processo de simulação permitiu visualizar de forma clara e precisa quais configurações oferecem o melhor desempenho e eficiência energética em cada um dos municípios estudados.

**Tabela 5.** Combinação Luxen Solar Series 5 e inversor Hayonik 3000

Luxen Solar Series 5 + Hayonik 3000					
Município	Máximo Produzido	Inversores	Preço dos Equipamentos	Instalação	Total
Paranavaí	16982,32	6	R\$ 54.000,00	R\$ 100.800,00	R\$ 154.800,00
Curitiba	4909,50	2	R\$ 18.000,00	R\$ 44.040,00	R\$ 62.040,00
União da Vitória	435,93	1	R\$ 9.000,00	R\$ 44.040,00	R\$ 53.040,00

Fonte: Autores.

Na análise da Tabela 5, observamos que, para atender às necessidades de Paranavaí, Curitiba e União da Vitória, foram necessários, respectivamente, 6, 2 e 1 inversores Hayonik 3000. A quantidade de placas solares foi determinada anteriormente com base em informações técnicas e de consumo, o que permitiu calcular os custos associados. Adicionalmente, o custo de instalação foi estimado com base nas variações de consumo energético entre os municípios.

Ao final da análise, destacamos que União da Vitória apresenta o melhor custo-benefício para a instalação inicial de sistemas de energia solar. No entanto, como observado em estudos anteriores neste projeto de pesquisa, o *campi* da universidade em Paranavaí ainda se mantém como a opção mais favorável para a implementação deste tipo de energia. O investimento inicial estimado para Paranavaí é de aproximadamente R\$154.800,00, reforçando sua viabilidade como local ideal para a adoção de energia solar. Essa análise minuciosa permite uma alocação eficaz de recursos para atender às necessidades específicas de cada campus, considerando tanto eficiência energética quanto viabilidade econômica.

A seguir, na Tabela 6, estão especificadas as informações da combinação da placa solar Luxen Solar Series 5 com o inversor Epever UPower-Hi UP5000.

**Tabela 6.** Combinação Luxen Solar Series 5 e inversor Epever UPower-Hi UP5000

Luxen Solar Series 5 + Epever UPower-Hi UP5000					
Município	Máximo Produzido	Inversores	Preço dos Equipamentos	Instalação	Total
Paranavaí	16982,32	4	R\$ 65.600,00	R\$ 100.800,00	R\$ 166.400,00
Curitiba	4909,50	1	R\$ 16.400,00	R\$ 44.040,00	R\$ 60.440,00
União da Vitória	435,93	1	R\$ 16.400,00	R\$ 44.040,00	R\$ 60.440,00

Fonte: Autores.

Na análise da Tabela 6 fica evidente que, para suprir as demandas de energia de Paranavaí, Curitiba e União da Vitória, foram necessários, respectivamente, 4, 1 e 1 inversores Epever UPower-Hi UP5000. A quantidade de painéis solares foi previamente determinada com base em dados técnicos e de consumo, o que permitiu calcular os custos correspondentes a esses

equipamentos. Além disso, o custo de instalação foi estimado considerando as variações no consumo de energia entre os diferentes municípios.

Ao concluir essa análise minuciosa, destaca-se que União da Vitória se destaca como a opção de melhor custo-benefício para a instalação inicial de sistemas de energia solar. No entanto, conforme observado em estudos anteriores neste projeto de pesquisa, o *campi* da universidade em Paranavaí permanece como a escolha mais vantajosa para a implementação desse tipo de energia. O investimento inicial estimado para Paranavaí é de aproximadamente R\$154.800,00, reforçando sua viabilidade como local ideal para a adoção de energia solar. Essa análise criteriosa possibilita uma alocação eficiente de recursos para atender às necessidades específicas de cada campus, considerando tanto eficiência energética quanto viabilidade econômica.

Na Tabela 7, tem-se a análise da combinação dos dois modelos de inversores, o Hayonik 3000 e o Epever UPower-Hi UP5000, juntamente com o modelo da placa solar Half-Cell - ZnShine Solar Series ZXP6-HLD 144.

**Tabela 7.** Combinação Half-Cell - ZnShine Solar Series ZXP6-HLD 144 com inversores Hayonik 3000 e Epever UPower-Hi UP5000

Half-Cell - ZnShine Solar Series ZXP6-HLD 144 + Hayonik 3000					
Município	Máximo Produzido	Inversores	Preço dos Equipamentos	Instalação	Total
Paranavaí	16982,32	6	R\$ 58.200,00	R\$ 100.800,00	R\$ 159.000,00
Curitiba	4909,50	2	R\$ 19.400,00	R\$ 44.040,00	R\$ 63.440,00
União da Vitória	435,93	1	R\$ 9.700,00	R\$ 44.040,00	R\$ 53.740,00
Half-Cell - ZnShine Solar Series ZXP6-HLD 144 + Epever UPower-Hi UP5000					
Município	Máximo Produzido	Inversores	Preço dos Equipamentos	Instalação	Total
Paranavaí	16982,32	4	R\$ 74.400,00	R\$ 100.800,00	R\$ 175.200,00
Curitiba	4909,50	1	R\$ 18.600,00	R\$ 44.040,00	R\$ 62.640,00
União da Vitória	435,93	1	R\$ 18.600,00	R\$ 44.040,00	R\$ 62.640,00

Fonte: Autores.

A análise revelou que a escolha mais vantajosa para a implementação de energia solar nos *campi* da universidade é a combinação das placas solares Luxen Solar Series 5 com os inversores Hayonik 3000. Esta combinação resulta em custos menores na maioria dos cenários analisados, exceto no último, onde os custos são ligeiramente mais altos. No entanto, as variações de custo entre os cenários são relativamente pequenas. Essa combinação não só oferece custos mais baixos, mas também atende à capacidade de demanda requerida por todos os municípios estudados. As placas Luxen Solar Series 5 são particularmente adequadas para grandes demandas, tornando o primeiro cenário uma escolha ideal para permitir a expansão das capacidades das universidades e o aumento da demanda de energia.

Investir em energia solar não só reduz os custos futuros, mas também promove a preservação ambiental, contribuindo para um ecossistema sustentável e equilibrado. Portanto, a implementação dessa combinação de tecnologia solar nos *campi* da universidade apresenta vantagens significativas tanto econômicas quanto ambientais. Além disso, pode-se comparar o valor total de implementação das placas solares e inversores com o valor total gasto pelos *campi* ao final dos 12 meses da coleta de dados (Tabela 8).

**Tabela 8.** Custo do consumo energético total de cada *campi* universitário

5a - Custo do Consumo energético de Paranavaí			5b - Custo do Consumo energético de Curitiba																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Paranavaí</th> </tr> <tr> <th>Mês</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tr><td>Jan</td><td>R\$ 22.082,53</td></tr> <tr><td>Fev</td><td>R\$ 12.936,51</td></tr> <tr><td>Mar</td><td>R\$ 16.697,09</td></tr> <tr><td>Abr</td><td>R\$ 19.720,38</td></tr> <tr><td>Mai</td><td>R\$ 23.324,80</td></tr> <tr><td>Jun</td><td>R\$ 22.184,39</td></tr> <tr><td>Jul</td><td>R\$ 6.490,81</td></tr> <tr><td>Ago</td><td>R\$ 17.379,86</td></tr> <tr><td>Set</td><td>R\$ 17.982,62</td></tr> <tr><td>Out</td><td>R\$ 17.090,40</td></tr> <tr><td>Nov</td><td>R\$ 15.450,33</td></tr> <tr><td>Dez</td><td>R\$ 21.574,14</td></tr> <tr><td><b>Soma</b></td><td><b>R\$ 212.913,86</b></td></tr> </table>			Paranavaí		Mês	Valor	Jan	R\$ 22.082,53	Fev	R\$ 12.936,51	Mar	R\$ 16.697,09	Abr	R\$ 19.720,38	Mai	R\$ 23.324,80	Jun	R\$ 22.184,39	Jul	R\$ 6.490,81	Ago	R\$ 17.379,86	Set	R\$ 17.982,62	Out	R\$ 17.090,40	Nov	R\$ 15.450,33	Dez	R\$ 21.574,14	<b>Soma</b>	<b>R\$ 212.913,86</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Curitiba</th> </tr> <tr> <th>Mês</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tr><td>Jan</td><td>R\$ 1.535,97</td></tr> <tr><td>Fev</td><td>R\$ 1.357,45</td></tr> <tr><td>Mar</td><td>R\$ 1.823,80</td></tr> <tr><td>Abr</td><td>R\$ 2.084,67</td></tr> <tr><td>Mai</td><td>R\$ 3.345,00</td></tr> <tr><td>Jun</td><td>R\$ 5.160,51</td></tr> <tr><td>Jul</td><td>R\$ 5.613,42</td></tr> <tr><td>Ago</td><td>R\$ 5.311,39</td></tr> <tr><td>Set</td><td>R\$ 4.386,43</td></tr> <tr><td>Out</td><td>R\$ 5.734,54</td></tr> <tr><td>Nov</td><td>R\$ 6.743,08</td></tr> <tr><td>Dez</td><td>R\$ 8.179,19</td></tr> <tr><td><b>Soma</b></td><td><b>R\$ 51.275,45</b></td></tr> </table>			Curitiba		Mês	Valor	Jan	R\$ 1.535,97	Fev	R\$ 1.357,45	Mar	R\$ 1.823,80	Abr	R\$ 2.084,67	Mai	R\$ 3.345,00	Jun	R\$ 5.160,51	Jul	R\$ 5.613,42	Ago	R\$ 5.311,39	Set	R\$ 4.386,43	Out	R\$ 5.734,54	Nov	R\$ 6.743,08	Dez	R\$ 8.179,19	<b>Soma</b>	<b>R\$ 51.275,45</b>
Paranavaí																																																																	
Mês	Valor																																																																
Jan	R\$ 22.082,53																																																																
Fev	R\$ 12.936,51																																																																
Mar	R\$ 16.697,09																																																																
Abr	R\$ 19.720,38																																																																
Mai	R\$ 23.324,80																																																																
Jun	R\$ 22.184,39																																																																
Jul	R\$ 6.490,81																																																																
Ago	R\$ 17.379,86																																																																
Set	R\$ 17.982,62																																																																
Out	R\$ 17.090,40																																																																
Nov	R\$ 15.450,33																																																																
Dez	R\$ 21.574,14																																																																
<b>Soma</b>	<b>R\$ 212.913,86</b>																																																																
Curitiba																																																																	
Mês	Valor																																																																
Jan	R\$ 1.535,97																																																																
Fev	R\$ 1.357,45																																																																
Mar	R\$ 1.823,80																																																																
Abr	R\$ 2.084,67																																																																
Mai	R\$ 3.345,00																																																																
Jun	R\$ 5.160,51																																																																
Jul	R\$ 5.613,42																																																																
Ago	R\$ 5.311,39																																																																
Set	R\$ 4.386,43																																																																
Out	R\$ 5.734,54																																																																
Nov	R\$ 6.743,08																																																																
Dez	R\$ 8.179,19																																																																
<b>Soma</b>	<b>R\$ 51.275,45</b>																																																																
<b>5c - Custo do Consumo energético de União da Vitória</b>																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">União da Vitória</th> </tr> <tr> <th>Mês</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tr><td>Jan</td><td>R\$ 483,88</td></tr> <tr><td>Fev</td><td>R\$ 598,74</td></tr> <tr><td>Mar</td><td>R\$ 460,75</td></tr> <tr><td>Abr</td><td>R\$ 379,62</td></tr> <tr><td>Mai</td><td>R\$ 215,79</td></tr> <tr><td>Jun</td><td>R\$ 206,62</td></tr> <tr><td>Jul</td><td>R\$ 350,90</td></tr> <tr><td>Ago</td><td>R\$ 277,26</td></tr> <tr><td>Set</td><td>R\$ 288,44</td></tr> <tr><td>Out</td><td>R\$ 215,15</td></tr> <tr><td>Nov</td><td>R\$ 407,82</td></tr> <tr><td>Dez</td><td>R\$ 267,22</td></tr> <tr><td><b>Soma</b></td><td><b>R\$ 4.152,19</b></td></tr> </table>						União da Vitória		Mês	Valor	Jan	R\$ 483,88	Fev	R\$ 598,74	Mar	R\$ 460,75	Abr	R\$ 379,62	Mai	R\$ 215,79	Jun	R\$ 206,62	Jul	R\$ 350,90	Ago	R\$ 277,26	Set	R\$ 288,44	Out	R\$ 215,15	Nov	R\$ 407,82	Dez	R\$ 267,22	<b>Soma</b>	<b>R\$ 4.152,19</b>																														
União da Vitória																																																																	
Mês	Valor																																																																
Jan	R\$ 483,88																																																																
Fev	R\$ 598,74																																																																
Mar	R\$ 460,75																																																																
Abr	R\$ 379,62																																																																
Mai	R\$ 215,79																																																																
Jun	R\$ 206,62																																																																
Jul	R\$ 350,90																																																																
Ago	R\$ 277,26																																																																
Set	R\$ 288,44																																																																
Out	R\$ 215,15																																																																
Nov	R\$ 407,82																																																																
Dez	R\$ 267,22																																																																
<b>Soma</b>	<b>R\$ 4.152,19</b>																																																																

Fonte: Autores.

O estudo indicou que a potencialidade de energia solar fotovoltaica em Curitiba pode ser obtida quando combinada com sistemas eficientes de armazenamento de energia, que permitem a utilização da energia gerada durante períodos de menor exposição solar. Apesar de ter menor radiação solar comparada a regiões mais ensolaradas, Curitiba pode maximizar o uso da energia solar através dessas tecnologias. A viabilidade da energia eólica na cidade depende da velocidade média do vento, e se adequada, pode diversificar a matriz energética de maneira sustentável. Em Paranavaí, a alta incidência de radiação solar torna a energia solar fotovoltaica a opção mais eficiente e sustentável, capaz de atender às demandas locais e reduzir a dependência de fontes não renováveis. Em União da Vitória, tanto a energia solar fotovoltaica quanto a energia hidrelétrica são opções viáveis. A alta incidência de radiação solar favorece a instalação de painéis solares e sistemas de armazenamento para garantir um fornecimento estável de eletricidade. A energia hidrelétrica também é relevante, mas sua viabilidade depende da disponibilidade de recursos hídricos e dos impactos ambientais associados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo utilizou análises estatísticas multivariadas para identificar a energia renovável mais promissora entre os *campi* de Paranaíba, Curitiba e União da Vitória da Universidade Estadual do Paraná. Também, apresentou uma análise de viabilidade econômica da implementação da energia solar, considerada como a mais eficiente pela análise climática.

Este estudo oferece uma abordagem pioneira para avaliar a viabilidade da adoção de energias renováveis em diferentes *campi* universitários. Essa metodologia pode servir como um modelo replicável para avaliações similares em outras instituições de ensino superior, contribuindo para o avanço teórico no campo da sustentabilidade energética.

Além disso, destaca-se a importância prática da aplicação dessas análises para orientar decisões de investimento e políticas de sustentabilidade em universidades. Ao considerar simultaneamente múltiplas variáveis, o estudo oferece insights valiosos para administradores universitários e gestores de infraestrutura que podem facilitar a transição eficiente e econômica para fontes de energia renovável. Isso contribuirá para promover práticas sustentáveis e mitigando os impactos ambientais das operações universitárias.

Uma das limitações notáveis deste estudo reside na curta periodicidade dos dados climáticos, que abrange um período de quatro anos. Esse intervalo de tempo relativamente limitado não permite capturar variações climáticas de longo prazo ou tendências que podem influenciar de forma significativa a viabilidade das fontes de energia renovável ao longo dos anos. Mudanças climáticas graduais, ciclos de variações climáticas e eventos extremos que ocorrem em escalas de tempo mais amplas não foram abrangidos pela análise, o que poderia afetar as estimativas de disponibilidade de recursos naturais, como radiação solar e velocidade do vento. Outra limitação importante é a falta de consideração de eventos climáticos extremos que podem ocorrer durante o período de análise. Eventos como secas prolongadas, tempestades intensas ou alterações climáticas de médio e longo prazo podem ter um impacto significativo na disponibilidade e confiabilidade das fontes de energia renovável.

Estudos futuros que incluam dados mais abrangentes e considerem uma gama mais ampla de cenários climáticos podem proporcionar uma avaliação mais precisa e completa das opções de energia renovável nas regiões de estudo.

## REFERÊNCIAS

- Alonso-Montesinos, J., Monterreal, R., Fernández-Reche, J., Ballestrín, J., Carra, E., Polo, J., Barbero, J., Battles, F. J., López, G., Enrique, R., Martínez, Durbán, M. & Marzo, A. (2019). Intra-hour energy potential forecasting in a central solar power plant receiver combining Meteosat images and atmospheric extinction. *Energy*, 188, 116034. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116034>
- Alshuwaikhat, H. M. & Abubakar, I. (2008). An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. *Journal of Cleaner Production*, 16(16), 1777-1785. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.12.002>
- Amin, A., Liu, X., Abbas, Q., Hanif, I & Vo, X. V. (2021). Globalization, sustainable development, and variation in cost of power plant technologies: A perspective of developing economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(9), 11158-11169. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-10816-x>
- Arnaldo Valdés, R. M. & Gómez Comendador, V. F. (2022). Iniciativa das Universidades Europeias: Como as Universidades Podem Contribuir para uma Sociedade Mais Sustentável. *Sustentabilidade*, 14(1), 471.
- Deshmukh, M. K. & Deshmukh, S. S. (2008). Modeling of hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), 235-249. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.011>
- Giorgi, F. & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2-3), 90-104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>

- Guerrieri, M., Gennusa, M. L., Peri, G., Rizzo, G. & Scaccionce, G. (2019). University campuses as small-scale models of cities: Quantitative assessment of a low carbon transition path. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109263. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109263>
- GÜNTZEL, I. L. (2018) Análise de viabilidade técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid, instalados em posto de combustível. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. Recuperado de <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/14937>
- International Energy Agency (2018). CO2 Status Report 2017. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2017>
- Kolokotsa, D., Yang, J., & Siew Eang, L. (2018). 5.20 Energy management in university campuses. In *Comprehensive Energy Systems*, 5, 808–826. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00540-X>
- Kronthaler, F. & Zöllner, S. (2021). Data analysis with RStudio: An Easygoing Introduction, Springer Spektrum Berlin, Heidelberg, 1, 125 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-62518-7>
- Krüger, E. L., Minella, F. O., & Rasia, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46(3), 621-634. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.006>
- Lakhani, R., Doluweera, G., & Bergerson, J. (2014). Internalizing land use impacts for life cycle cost analysis of energy systems: A case of California's photovoltaic implementation. *Applied Energy*, 116, 253-259. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.11.038>
- Li, L., Qu, M., & Peng, S. (2017). Performance evaluation of building integrated solar thermal shading system: Active solar energy usage. *Renewable Energy*, 109, 576-585. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.069>
- Maciá Pérez, F., Berna Martínez, J. V., & Lorenzo Fonseca, I. (2021). Modelagem e Implementação de Universidades Inteligentes: Uma Estrutura Conceitual de TI. *Sustentabilidade*, 13(6), 3397.
- Montoya, F. G., & Perea-Moreno, A. J. (2020). Environmental energy sustainability at universities. *Sustainability*, 12(21), 9219. <https://doi.org/10.3390/su12219219>
- Nipo, D. F. (2007). Controlador de carregamento de baterias para turbinas eólicas de pequeno porte. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.
- Rinaldi, C., Cavicchi, A., Spigarelli, F., Lacchè, L. & Rubens, A. (2018). Universities and smart specialization strategy: From third mission to sustainable development co-creation. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 19(1), 67-84. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-04-2016-0070>
- Salvador, D. S., Toboso-Chavero, S., Nadal, A., Gabarrell, X., Rieradevall, J. & Silva, R. S. (2019). Potential of technology parks to implement Roof Mosaic in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 235, 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.214>
- Zhang, S., Kwok, K. C.S., Liu, H., Jiang, Y., Dong, K. & Wang, B. (2021). A CFD study of wind assessment in urban topology with complex wind flow. *Sustainable Cities and Society*, 71, 103006. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103006>