

Análise do fator de simultaneidade em sistemas fotovoltaicos para prosumidores com diferentes padrões de consumo

 10.47236/2594-7036.2025.v9.1578

Murilo de Ávila Dilli¹
Brunno Henrique Brito²

Data de submissão: 29/8/2024. Data de aprovação: 29/4/2025. Data de publicação: 15/5/2025.

Resumo – Desde a promulgação da Lei nº 14.300/2022, que atualizou as regras da geração distribuída no Brasil, quem adquire um sistema fotovoltaico conectado à rede precisa pagar uma parcela da tarifa de energia sobre a energia injetada na rede e compensada. No entanto, a energia gerada durante o dia e consumida no mesmo instante fica isenta de qualquer tarifa, pois não chega a ser injetada no medidor de energia. Por conta disso, o chamado fator de simultaneidade, que representa a fração da energia gerada consumida instantaneamente pela própria unidade prosumidora (UP), impacta diretamente no valor da fatura de energia e, conseqüentemente, no tempo do retorno do investimento. Este estudo tem como objetivo determinar valores médios de simultaneidade em UPs com diferentes padrões de consumo no estado do Tocantins e avaliar seu impacto no tempo de retorno do investimento. Para isso, é realizado um estudo de caso com 86 UPs, classificadas em quatro perfis de consumo distintos: Diurno, Noturno, Integral e Noturno com fins de semana (Noturno+FDS). São coletados os dados de consumo e geração de energia em intervalos de 30 dias ao longo de um ano e, em seguida, processados por meio de planilhas computacionais que calcularam o fator de simultaneidade para cada perfil. Posteriormente, é aplicada uma análise financeira para estimar o tempo de retorno do investimento com base nas taxas médias de simultaneidade de cada perfil de consumo e nas regras tarifárias vigentes. Os resultados indicam que UPs com consumo predominantemente diurno apresentam os maiores fatores de simultaneidade (média de 60%) e, conseqüentemente, os menores tempos de retorno do investimento, embora a diferença entre os perfis não seja extremamente significativa. Esses achados reforçam a importância de considerar o padrão de consumo no planejamento de sistemas fotovoltaicos.

Palavras-chave: Fator de simultaneidade. Padrões de consumo. Sistema fotovoltaico conectado à rede. Tempo de retorno do investimento.

Analysis of the simultaneity factor in photovoltaic systems for prosumers with different consumption patterns

Abstract – Since the enactment of Law No. 14,300/2022, which updated the rules for distributed generation in Brazil, anyone who purchases a photovoltaic system connected to the grid must pay a portion of the energy tariff on the energy injected into the grid and offset. However, the energy generated during the day and consumed at the same time is exempt from any tariff, as it is not injected into the energy meter. Because of this, the so-called simultaneity factor, which represents the fraction of the energy generated that is consumed instantly by the prosumer unit (UP) itself, directly impacts the value of the energy bill and, consequently, the time to return on investment. This study aims to determine average simultaneity values in UPs with different consumption patterns in the state of Tocantins and assess their impact on the time

¹ Especialista em Sistemas Fotovoltaicos pelo Instituto Federal do Tocantins. Palmas, Tocantins, Brasil.  murilodilli@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-7352-4495>  <http://lattes.cnpq.br/8210703739151623>.

² Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professor do Instituto Federal do Tocantins. Palmas, Tocantins, Brasil.  brunno@ifto.edu.br  <https://orcid.org/0000-0003-0801-4207>  <http://lattes.cnpq.br/7011090464501972>.

to return on investment. To this end, a case study is conducted with 86 UPs, classified into four distinct consumption profiles: Daytime, Nighttime, Full-time, and Nighttime with weekends (Nighttime+WEEKENDS). Energy consumption and generation data are collected at 30-day intervals over the course of a year and then processed using spreadsheets that calculated the simultaneity factor for each profile. Subsequently, a financial analysis is applied to estimate the return on investment time based on the average simultaneity rates of each consumption profile and the current tariff rules. The results indicate that UPs with predominantly daytime consumption have the highest simultaneity factors (average of 60%) and, consequently, the shortest return on investment times, although the difference between the profiles is not extremely significant. These findings reinforce the importance of considering the consumption pattern when planning photovoltaic systems.

Keywords: Simultaneity fator. Consumption patterns. Grid-connected photovoltaic system. Return on investment time.

Análisis del factor de simultaneidad en sistemas fotovoltaicos para prosumidores con diferentes patrones de consumo

Resumen – Desde la promulgación de la Ley nº 14.300/2022, que actualizó las normas de generación distribuida en Brasil, quienes adquieren un sistema fotovoltaico conectado a la red deben pagar una parte de la tarifa energética correspondiente a la energía inyectada y compensada. Sin embargo, la energía generada durante el día y consumida en el mismo instante está exenta de cualquier tarifa, ya que no llega a ser inyectada en el medidor de energía. Por esta razón, el llamado factor de simultaneidad, que representa la fracción de energía generada que es consumida instantáneamente por la propia unidad prosumidora (UP), incide directamente en el valor de la factura energética y, en consecuencia, en el tiempo de recuperación de la inversión. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo determinar valores promedio de simultaneidad en UP con distintos patrones de consumo en el estado de Tocantins y evaluar su impacto en el tiempo de retorno de la inversión. Para ello, se llevó a cabo un estudio de caso con 86 UP, clasificadas en cuatro perfiles de consumo diferentes: diurno, nocturno, integral y nocturno con fines de semana (nocturno+FDS). Se recopilaron datos de consumo y generación de energía en intervalos de 30 días a lo largo de un año, los cuales fueron procesados mediante hojas de cálculo que calcularon el factor de simultaneidad para cada perfil. Posteriormente, se aplicó un análisis financiero para estimar el tiempo de recuperación de la inversión en función de las tasas promedio de simultaneidad de cada perfil de consumo y las normas tarifarias vigentes. Los resultados indican que las UP con consumo predominantemente diurno presentan los mayores factores de simultaneidad (promedio del 60%) y, en consecuencia, los menores tiempos de retorno de la inversión, aunque la diferencia entre los perfiles no sea extremadamente significativa. Estos hallazgos refuerzan la importancia de considerar el patrón de consumo al planificar sistemas fotovoltaicos.

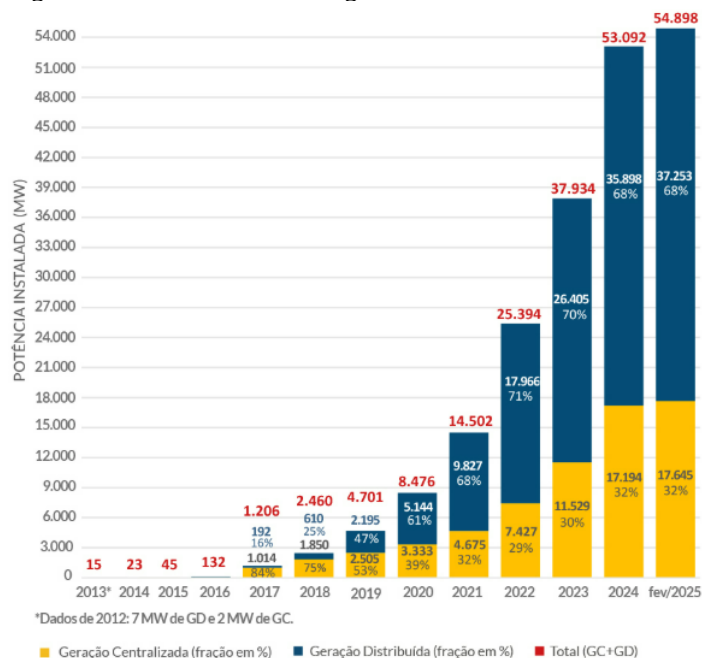
Palabras clave: Factor de simultaneidade. Patrones de consumo. Sistema fotovoltaico conectado a la red. Tiempo de retorno de la inversión.

Introdução

A energia solar fotovoltaica é crucial para o progresso humano, especialmente diante do risco de esgotamento das fontes de energia tradicionais e do desequilíbrio ambiental. A crescente conscientização da sociedade tem impulsionado a busca por fontes renováveis, que produzem energia limpa e sustentável, gerando menos impactos ambientais e reduzindo significativamente a emissão de gás carbônico na atmosfera (Barbosa, 2024). Nos últimos anos, como pode ser observado na Figura 1, houve um crescimento exponencial da energia solar

fotovoltaica no Brasil, impulsionado em grande parte pela regulamentação da geração distribuída estabelecida pela Resolução Normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012). Atualmente, a potência instalada de usinas solares fotovoltaicas já representa 18% de toda a matriz elétrica brasileira (Absolar, 2025).

Figura 1 – Crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil.



Fonte: Absolar (2025).

As recentes atualizações normativas, como a Resolução Normativa 687/2015 e a Lei nº 14.300 de 2022, introduziram mudanças significativas no ambiente regulatório (Carvalho, 2024). A última, em especial, implementou um sistema de remuneração gradual para as concessionárias de energia, impactando diretamente a viabilidade econômica dos projetos fotovoltaicos de geração distribuída (Cardoso, 2024). Com base nas regulamentações recentes, uma porção da energia elétrica que é injetada na rede pelas unidades geradoras — ou seja, a energia não consumida instantaneamente — passa a estar sujeita, a partir de 2023, a uma cobrança progressiva de uma parcela da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), denominada Fio B. Essa parcela serve para custear operação, manutenção e expansão da infraestrutura das distribuidoras. Em outras palavras, mesmo a energia injetada na rede por quem gera sua própria energia terá um custo associado ao uso da rede elétrica. Com a vigência da referida Lei 14.300, a cobrança da parcela da tarifa referente ao Fio B será realizada de maneira gradual, conforme indicado na Tabela 1. Atualmente, a parcela referente ao Fio B representa cerca de 36% da tarifa total de energia de uma residência no Tocantins.

Tabela 1 – Percentual cobrado do Fio B na fatura de energia elétrica ao longo dos anos.

Ano	Percentual cobrado
2023	15%
2024	30%
2025	45%
2026	60%
2027	75%
2028	90%

Fonte: Autoria própria (2024).

Por outro lado, a energia gerada e consumida simultaneamente, sem passar pela rede, proporciona ao consumidor o benefício financeiro integral da tarifa, já que não incide sobre ela a cobrança do Fio B (Menezes, 2022). Assim, surge uma nova preocupação relacionada ao fator de simultaneidade, que é a relação entre o consumo instantâneo de energia e a geração do sistema fotovoltaico. Esse fator é crucial para avaliar a eficiência e a rentabilidade dos sistemas fotovoltaicos (Sousa, 2022). Como exemplo, suponha que tenhamos duas UPs com consumo médio de 500kWh/mês, onde a primeira possui simultaneidade de 70% e a segunda de 20%. Na primeira UP haverá a cobrança do Fio B sobre apenas 150kWh. Enquanto isso, na segunda UP haverá a cobrança do Fio B sobre 400kWh, pois 80% do consumo vem da rede elétrica da concessionária. Note que, mesmo com consumos iguais, os valores das faturas das UPs serão diferentes.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo principal determinar valores médios de simultaneidade para distintos tipos de UPs, em termos de perfil de consumo, no estado do Tocantins. Com esse propósito, são utilizados dados reais de consumo e geração de energia fotovoltaica afim de investigar padrões de comportamento e estabelecer parâmetros. Adicionalmente, é realizado um estudo de caso para verificar o impacto das diferentes taxas médias de simultaneidades constatadas na viabilidade econômica do sistema fotovoltaico conectado à rede.

Materiais e métodos

Na primeira parte do trabalho, para realizar a análise do fator de simultaneidade entre o consumo e a geração de energia fotovoltaica nos sistemas instalados no Tocantins, é adotada uma metodologia que envolve a categorização das unidades UPs com base em seus perfis de consumo e a coleta de dados detalhados sobre a geração e o consumo de energia ao longo de 2023. Em seguida, é realizado o estudo da viabilidade econômica para um estudo de caso envolvendo cada categoria de consumo, a fim de demonstrar os resultados e os impactos obtidos.

Fator de simultaneidade

O fator de simultaneidade é calculado para cada UP como uma métrica-chave, a fim de avaliar a sincronia entre o consumo instantâneo mensal e a geração média mensal de 2023. A equação abaixo demonstra o cálculo desse fator.

$$FS (\%) = \frac{CIM}{GMM_{2023}} \times 100\% \quad (1)$$

Obs.: $FS (\%)$ é o fator de simultaneidade, em porcentagem; CIM é o consumo instantâneo mensal, em kWh; e GMM_{2023} é a geração média mensal do sistema fotovoltaico em 2023, em kWh.

Essa métrica é crucial para compreender como as UPs estão utilizando a energia gerada pelo sistema fotovoltaico no momento exato de sua produção, influenciando diretamente na eficiência e no aproveitamento do sistema.

A metodologia adotada proporciona uma análise aprofundada dos hábitos de consumo e geração de energia fotovoltaica, permitindo resultados valiosos para a otimização da utilização dessa fonte renovável no contexto específico do Tocantins.

Categorização do consumo nas unidades prosumidoras (UPs)

A categorização das UPs é baseada em quatro perfis distintos e característicos de consumo, considerando diferentes padrões de utilização de energia ao longo do dia e da semana. A abordagem é conduzida por meio de entrevistas individuais com os responsáveis pelas UPs, nas quais foram exploradas suas rotinas de uso de eletrodomésticos, principalmente de

aparelhos de ar-condicionado, já que este é o grande responsável pelo consumo de energia elétrica nos estados de temperatura mais elevada, como o Tocantins. Essa categorização proporcionou uma segmentação relevante para entender as dinâmicas específicas de cada UP em relação ao consumo de energia. As quatro categorias de consumo em UPs consideradas nesse trabalho são:

- Noturno (majoritariamente noturno): UPs cujo consumo de energia elétrica é predominantemente concentrado no período noturno. Exemplos característicos: bares, casa noturnas e residências cujos moradores passam o dia fora de casa.
- Diurno (majoritariamente diurno): Perfil cujo consumo é predominante durante o dia. Exemplos característicos: comércios ou escritórios que funcionam essencialmente em horário comercial.
- Integral (diurno e noturno): Consumidores que utilizam energia de maneira equilibrada em ambos os períodos, diurno e noturno. Exemplos característicos: residências que utilizam ar-condicionado durante todo o dia (de dia nas áreas comuns e de noite nos quartos), estabelecimentos comerciais que funcionam durante o dia e boa parte do período noturno, comércios com muitos freezers/refrigeradores que ficam ligados 24 horas do dia.
- Noturno + FDS (majoritariamente noturno durante a semana e diurno e noturno nos finais de semana): Perfil com consumo predominantemente noturno em dias úteis e integral em finais de semana e feriado. Exemplos característicos: residências cujos moradores passam o dia fora em dias úteis, mas utilizam muito ar-condicionado em feriados e finais de semana, quando estão em casa.

Coleta de dados e análise do consumo e geração

Para a obtenção de dados robustos da geração nas UPs, são utilizadas as plataformas de monitoramento dos inversores fotovoltaicos. Essas ferramentas permitiram o acesso à geração média mensal de energia ao longo de todo o ano de 2023 para cada sistema fotovoltaico. Simultaneamente, as faturas mensais de energia elétrica foram analisadas para determinar o consumo médio mensal não simultâneo, isto é, o consumo da rede elétrica da concessionária. Foram filtradas as UPs cujo valor da geração média mensal fosse próximo ao consumo total, evitando, assim, as unidades com sobredimensionamento na geração – aquelas com sistema dimensionado para alimentar também outras unidades consumidoras.

A análise do consumo e da geração é realizada para entender como o sistema fotovoltaico contribui para a demanda energética das UPs. Para isso, é calculado o valor médio mensal de injeção de energia excedente na rede, indicando a quantidade de energia gerada que não foi consumida instantaneamente.

A equação (2) demonstra a fórmula utilizada para encontrar o consumo instantâneo médio mensal da UP.

$$CIM = GMM_{2023} - IMMR \quad (2)$$

Obs.: *CIM* é o consumo instantâneo médio mensal, em kWh; *GMM*₂₀₂₃ é a geração média mensal do sistema fotovoltaico em 2023, em kWh; e *IMMR* é o valor médio da energia injetada na rede da concessionária mensalmente pelo sistema em kWh.

Essa análise permite avaliar a eficácia do sistema fotovoltaico em atender às demandas de consumo nas UPs e entender como a energia excedente é tratada.

Viabilidade econômica

Para a análise da viabilidade econômica, é utilizada, em cada categoria de consumo, a simultaneidade média obtida e os valores das tarifas no estado do Tocantins, dispostas na resolução homologatória Nº 3.214, de 27 de junho de 2023, demonstradas na Tabela 2. Note

que o valor da parcela do Fio B aumenta progressivamente (Senado, 2022), até chegarmos em 90% em 2028.

Tabela 2 – Valores das tarifas no Tocantins em 2024.

Tarifa c/ ICMS	R\$ 0,989670
Tarifa s/ ICMS	R\$ 0,858000
Tarifa Fio B – 2024	R\$ 0,110973
Tarifa Fio B – 2025	R\$ 0,166459
Tarifa Fio B – 2026	R\$ 0,221945
Tarifa Fio B – 2027	R\$ 0,277431
Tarifa Fio B – 2028	R\$ 0,332917

Fonte: ANEEL (2023).

Conhecidas as tarifas, pode-se calcular, primeiramente, o valor da fatura de energia sem energia fotovoltaica utilizando a equação (3).

$$FSSF = TCICMS \times CMM \quad (3)$$

Obs.: *FSSF* é o valor da fatura sem sistema fotovoltaico, em R\$; *TCICMS* é a tarifa de energia com ICMS, em R\$; e *CMM* é o valor do consumo médio mensal da unidade consumidora, em kWh.

Na sequência, é calculado o valor da fatura mensal de uma UP:

$$FCSF = [CMM \times (1 - FS)] \times (TFB + TCICMS - TSICMS) \quad (4)$$

Obs: *FCSF* é o valor da fatura com sistema fotovoltaico, em R\$; *CMM* é o valor do consumo médio mensal da unidade consumidora, em kWh; *FS* é o valor da simultaneidade, adimensional; *TFB* é a tarifa do Fio B no ano analisado, em R\$; e *TCICMS* é a tarifa de energia com ICMS, em R\$; e *TSICMS* é a tarifa de energia sem ICMS, em R\$.

Por fim, com o valor da fatura da unidade com sistema fotovoltaico, desconsiderando o valor de iluminação pública, pode-se calcular a economia mensal no ano analisado e, consequentemente, o tempo de retorno do investimento (*payback*) e o fluxo de caixa mensal.

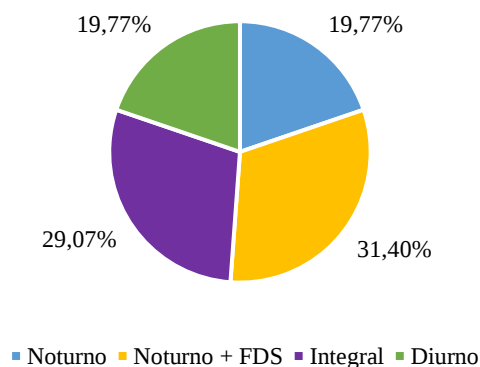
$$EM = FSSF - FCSF \quad (5)$$

Obs.: *EM* é a economia mensal do ano analisado na fatura, em R\$; *FSSF* é o valor da fatura sem sistema fotovoltaico, em R\$; e *FCSF* é o valor da fatura com sistema fotovoltaico, em R\$.

Resultados e discussões

Nesta seção, inicialmente são apresentados os resultados que demonstram os níveis médios de simultaneidade em UPs com diferentes perfis de consumo. Na sequência, são realizados estudos de viabilidade econômica, de modo a identificar o impacto dos níveis médios de simultaneidade no tempo de retorno do investimento. Para isso, foi utilizada uma amostra de 86 UPs que se dispuseram a participar da pesquisa fornecendo as faturas de energia e os dados de monitoramento da geração do sistema, e respondendo ao questionamento quanto ao padrão de consumo. Os padrões de consumo declarados pelos titulares das UPs podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 – Percentual de consumidores por categoria.



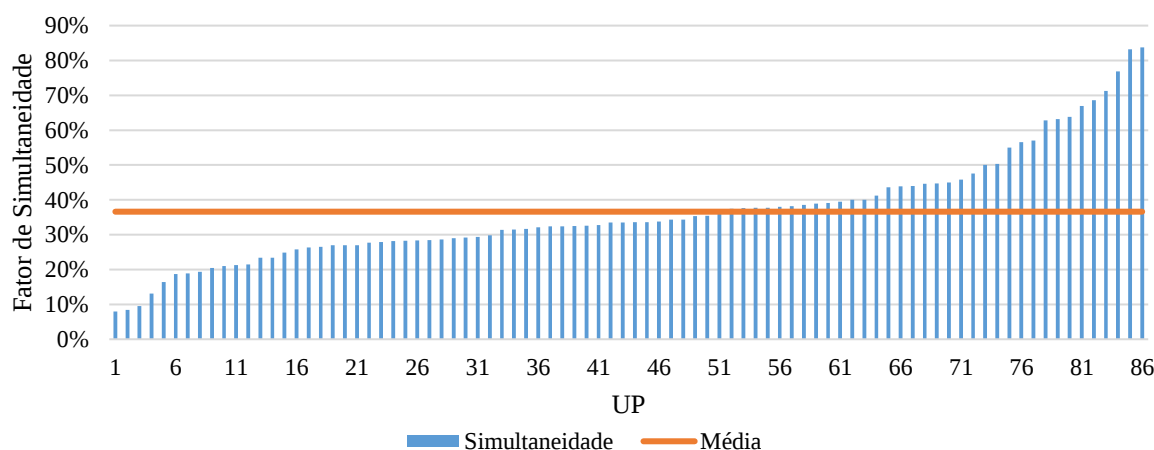
Fonte: Autoria própria (2024).

Percebemos que 31,4% das UPs (27 UPs) possuem uma rotina de consumo predominantemente Noturno + FDS (noturno durante a semana e integral nos finais de semana); 29,07% (25 UPs) apresentam um padrão de consumo Integral (equilibrado ao longo do dia); 19,77% (17 UPs) têm um padrão de consumo Noturno (predominantemente noturno); e 19,77% (17 UPs) têm um padrão de consumo Diurno (predominantemente diurno).

Simultaneidade individual

Na Figura 3, é possível observar o fator de simultaneidade obtida para todas as 86 UPs analisadas.

Figura 3 – Simultaneidade individual.



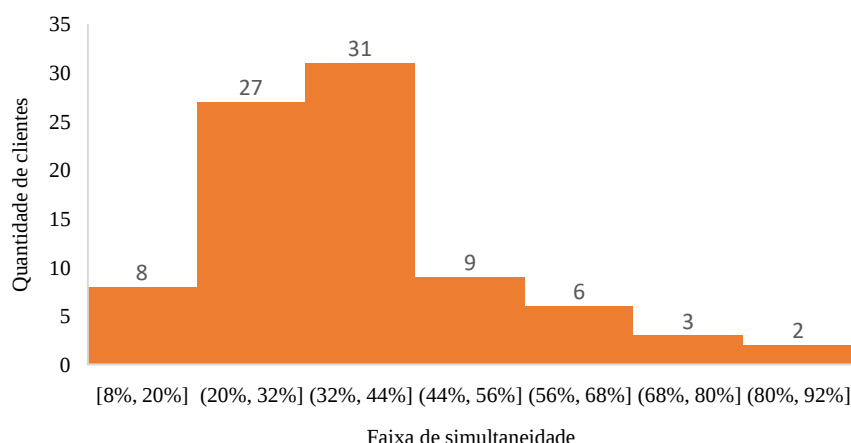
Fonte: Autoria própria (2024).

A análise individual da simultaneidade oferece uma visão detalhada das características de consumo de energia fotovoltaica de cada UP. Perceba que os fatores de simultaneidade oscilaram em cerca de 8% a 84%. O fator de simultaneidade médio percebido para todas as UPs ficou em 37% e a mediana ficou em 34%. A grande variação da simultaneidade é explicada pelas particularidades da rotina dos consumidores, já que alguns só se encontram nas UPs à noite, resultando numa baixa simultaneidade, e outros que possuem estabelecimentos comerciais que funcionam prioritariamente durante o período diurno, resultando numa

simultaneidade alta. Essa diversidade de comportamentos destaca a importância de entender as particularidades de cada consumidor ao calcular uma estimativa aproximada do valor a ser pago na conta de energia. Compreender a simultaneidade média de cada UP é fundamental para garantir uma estimativa de gasto mensal junto a concessionária, levando em consideração os padrões de consumo existentes e otimizando os benefícios da energia solar.

A Figura 4 evidencia a distribuição das UPs de acordo com faixas de simultaneidade.

Figura 4 - Quantidade de clientes por faixa de simultaneidade.



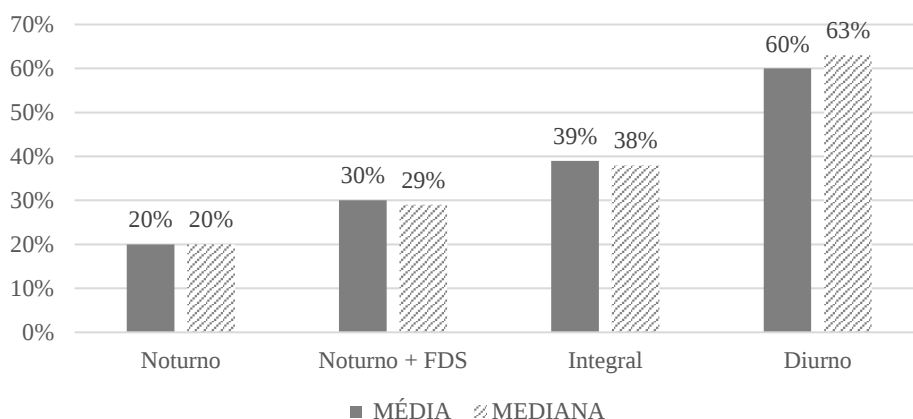
Fonte: Autoria própria (2024).

Notamos que aproximadamente 36% dos consumidores estão concentrados na faixa de 32% a 44% de simultaneidade no Tocantins. Quando somamos as duas faixas mais representativas, é possível perceber que cerca de 68% das UPs têm simultaneidade entre 20% e 44%.

Simultaneidade média por categoria

Na Figura 5, podem ser observadas as médias e medianas dos fatores simultaneidade para as diferentes categorias de consumo analisadas. Os resultados demonstram que diferentes perfis de consumidores apresentam níveis médios específicos de simultaneidade. Como era de se esperar, quanto maior o consumo de energia durante o período diurno, maior tende a ser o fator de simultaneidade.

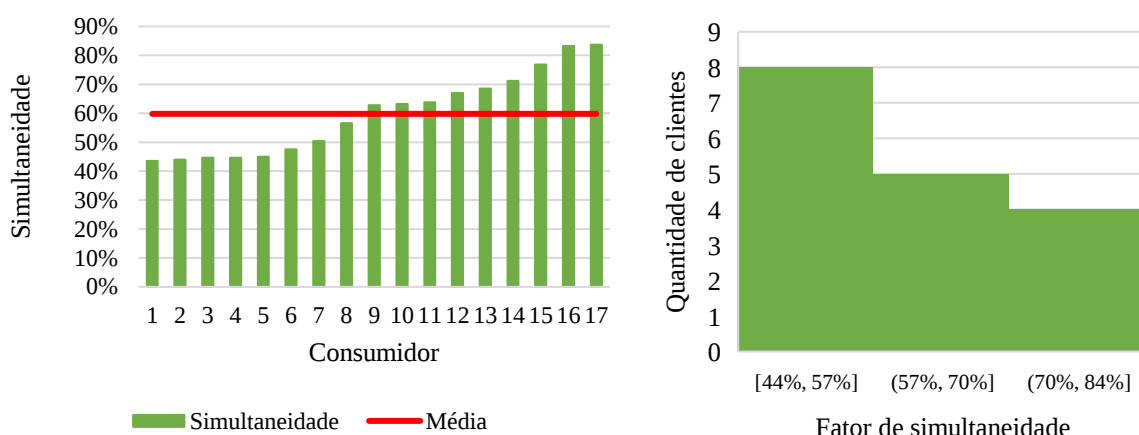
Figura 5 - Simultaneidade média por categoria.



Fonte: Autoria própria (2024).

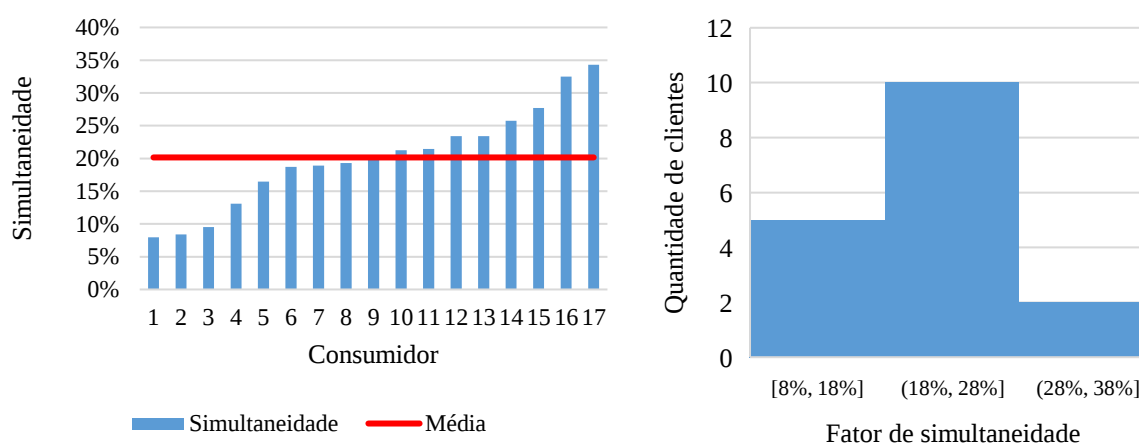
As Figuras 6, 7, 8 e 9 ilustram os fatores de simultaneidade de cada UP em sua respectiva categoria de consumo, bem como o histograma para identificação da representatividade das faixas de simultaneidades. Essa análise permitiu observar como os consumidores de cada categoria se comportam em relação ao consumo de energia fotovoltaica ao longo do tempo. A comparação com a média da categoria revelou se os consumidores apresentam padrões de consumo mais alinhados ou divergentes em relação à média.

Figura 6 - Simultaneidade do consumidor Diurno.



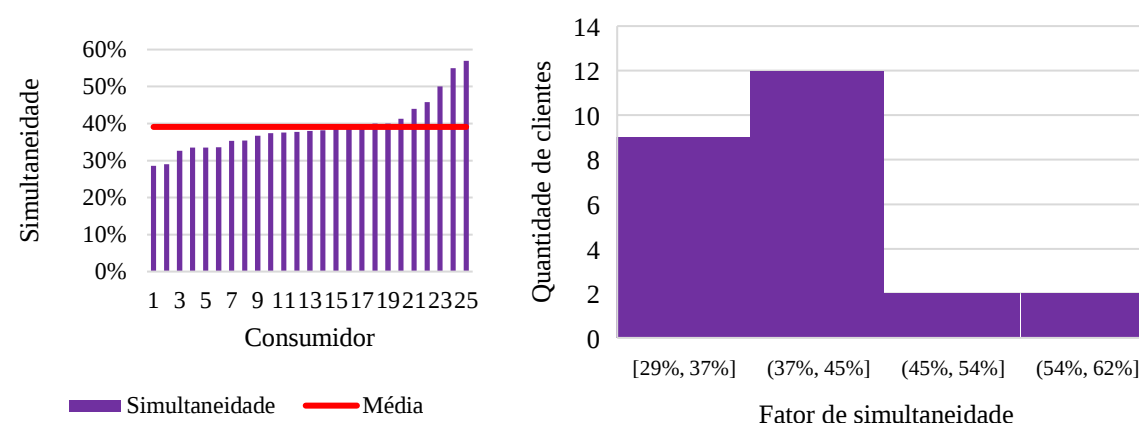
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 7 - Simultaneidade do consumidor Noturno.



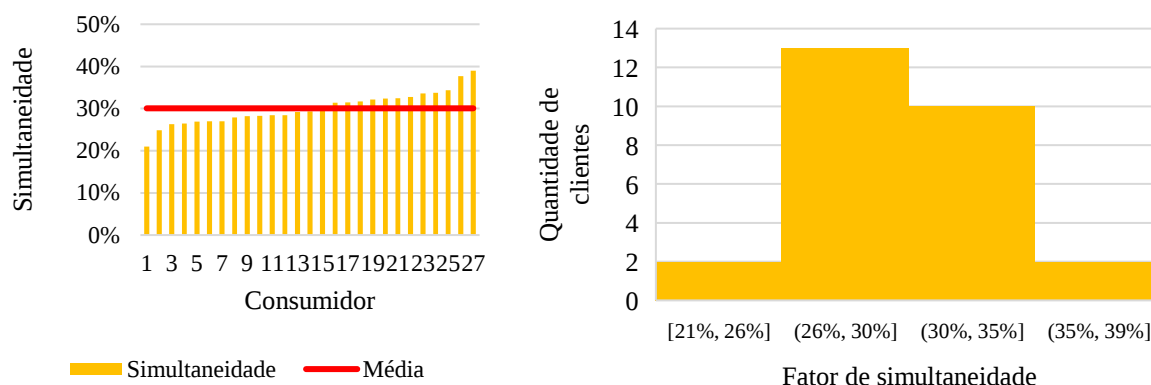
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 8 - Simultaneidade do consumidor Integral.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 9 - Simultaneidade do consumidor Noturno + FDS.



Fonte: Autoria própria (2024).

A Figura 6 demonstra uma grande variação na simultaneidade das UPs com consumo predominantemente diurno e fatores variando de 44% até 84%. Isso se explica porque essa categoria é composta por muitas instalações comerciais. Vale ressaltar que oito das 17 UPs dessa categoria de consumo são instalações comerciais.

Na Figura 7, as UPs com consumo Noturno possuem uma variação de 8% a 38%, isso porque essa categoria além de ter a maioria de consumidores residenciais, possuem duas UPs comerciais, como bares e restaurantes, cujo horário de funcionamento é essencialmente noturno.

Nas UPs com consumo integral, Figura 8, percebe-se também uma grande variedade de faixa de simultaneidade em relação à média. Conforme pode ser observado, o fator de simultaneidade variou de 29% até 62%, o que pode ser explicado pela aleatoriedade de consumo de cada UP. Por exemplo, nessa categoria, há UPs que utilizam em sua maioria cargas maiores durante o período diurno e outras no período noturno, o que explica respectivamente altas e baixas simultaneidades.

A Figura 9 remete aos consumidores Noturno+FDS, ou seja, um consumo prioritariamente noturno durante a semana e integral nos finais de semana. Por ser uma rotina bem específica, essa categoria foi a que apresentou o menor índice de variação em relação à simultaneidade mínima e máxima, de 21% até 39%.

A análise dos padrões de simultaneidade de consumo de energia fotovoltaica por categoria revelou resultados significativos, evidenciando variações marcantes entre os consumidores em diferentes rotinas de consumo. Notavelmente, os consumidores das categorias "Diurno" e "Noturno" demonstraram maior variação em relação à média de simultaneidade, indicando uma diversidade considerável nos hábitos de consumo de energia dentro dessas categorias específicas. No caso dos consumidores da categoria "Diurno", a maior variação em relação à média sugere uma distribuição menos uniforme do consumo ao longo do dia, com picos de consumo que podem não estar alinhados com os períodos de maior geração de energia solar.

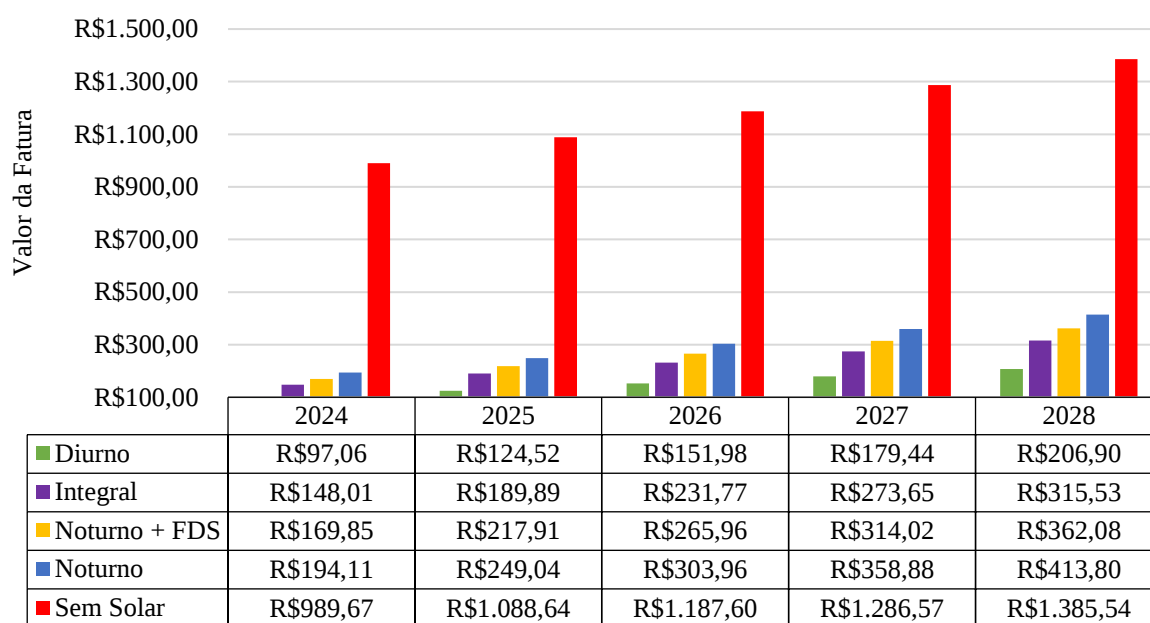
Análise econômica

Para ilustrar o impacto dos fatores de simultaneidade em UPs com diferentes padrões de consumo no tempo de retorno do investimento, é apresentado um estudo de caso para quatro UPs fictícias. Todas as UPs possuem um sistema fotovoltaico com capacidade de geração igual a um consumo médio de 1000 kWh/mês. No entanto, cada uma delas possui um fator de simultaneidade igual à média apresentada na Figura 4. Em outras palavras, a primeira UP possui

consumo Noturno e 20% de fator de simultaneidade; a segunda possui consumo Diurno e 60% de fator de simultaneidade; a terceira possui consumo Integral e 39% de simultaneidade; e a última possui padrão de consumo Noturno+FDS e 30% de simultaneidade. A ideia principal é entender quanto cada uma dessas UPs irá pagar de energia e, consequentemente, qual a diferença no retorno do investimento entre UPs com mesmo nível de geração, mas com diferentes padrões de consumo.

Neste cenário, na Figura 10 podem-se observar os valores das faturas mensais de energia em cada ano e em cada categoria de consumo, além dos valores a serem pagos por uma unidade consumidora sem sistema fotovoltaico. Para isso, foram considerados os valores da tarifa apresentados na Tabela 2. Assim, por exemplo, se for considerada a UP com consumo Diurno, a tarifa a ser cobrada sobre 400kWh (já que 60% da geração é consumida instantaneamente pela UP) em 2024 é R\$0,242643 (R\$0,98967-R\$0,85800+R\$0,110973). Dessa forma, essa UP pagará R\$97,06. Ademais, é considerado um aumento médio de 10% ao ano na tarifa de energia.

Figura 10 – Valor da tarifa a ser pago à concessionária ao longo dos anos para cada categoria de consumo.



Fonte: Autoria própria (2024).

A análise do gráfico do valor da tarifa a ser pago à concessionária do Tocantins ao longo dos anos (de 2024 a 2028) para cada categoria de consumo, revela resultados valiosos sobre o impacto da simultaneidade no custo da energia elétrica aos consumidores. Os dados mostram claramente que a simultaneidade desempenha um papel significativo na determinação do valor da tarifa, com variações substanciais entre as diferentes categorias de consumo. É interessante perceber que, mesmo em cenários de baixa simultaneidade de consumo, como no caso do consumo apenas noturno, onde a simultaneidade foi de apenas 20%, a instalação de sistemas fotovoltaicos ainda apresenta uma redução significativa na conta de energia em comparação com o custo da energia elétrica sem o uso dessa tecnologia. Esses resultados destacam a importância de considerar não apenas a geração de energia, mas também a sincronização entre a produção e o consumo ao avaliar a viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos.

Após a análise dos dados, procedemos à avaliação da viabilidade econômica da implementação do sistema fotovoltaico em cada categoria de consumo. Para isso, é considerado um investimento inicial de R\$24.500,00 na aquisição e instalação do sistema, utilizando

microinversores. Além disso, é levada em conta a substituição dos microinversores no 15º ano de funcionamento, bem como um custo anual de manutenção do sistema de R\$500,00.

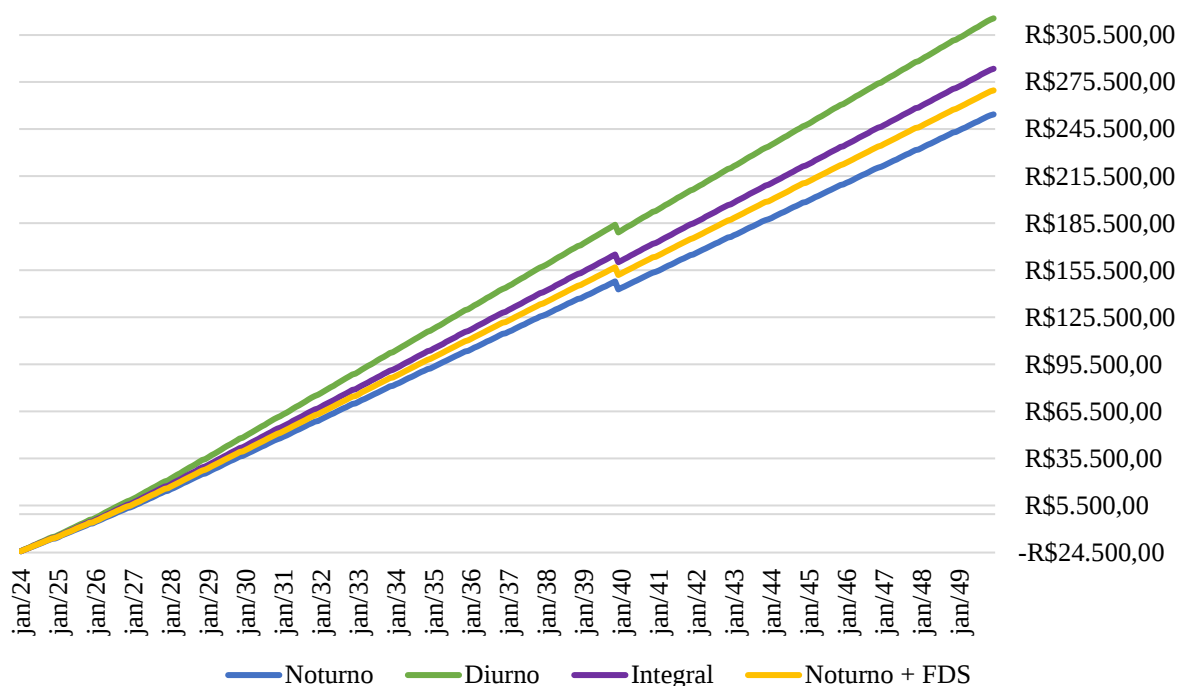
Com base nessas premissas, é realizado o cálculo do fluxo de caixa ao longo de 25 anos, a partir da instalação do sistema, valor usualmente utilizado como vida útil do sistema. Além disso, é realizado o cálculo do fluxo de caixa para o final de 2028, já que a Lei 14.300 divulgou regras de cobrança até essa data no momento presente desse artigo. A Tabela 4 expõe um resumo dos valores obtidos do fluxo de caixa e o *payback* da aquisição do sistema em cada categoria de consumo, e a Figura 11 mostra os resultados obtidos pelo fluxo de caixa em cada categoria de consumo ao longo do tempo.

Tabela 4 – Valores obtidos do fluxo de caixa e o *payback* da aquisição do sistema em cada categoria de consumo.

	Consumo Noturno	Consumo Noturno + FDS	Consumo Integral	Consumo Diurno
Payback	2 anos e 7 meses	2 anos e 6 meses	2 anos e 5 meses	2 anos e 4 meses
Saldo final (12/2028)	R\$ 26.018,69	R\$ 28.298,38	R\$ 30.350,11	R\$ 35.137,46
Saldo final (25 anos)	R\$ 254.895,66	R\$ 270.210,18	R\$ 283.993,24	R\$ 316.153,74

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 11 – Fluxo de caixa em cada categoria de consumo ao longo do tempo.



Fonte: Autoria própria (2024).

Ao analisar os resultados, observamos que a viabilidade econômica da implementação do sistema fotovoltaico varia de acordo com a categoria de consumo. Nas categorias com maior simultaneidade e, conseqüentemente, maior autossuficiência na geração de energia, como o consumo Diurno, a implementação do sistema fotovoltaico demonstrou-se mais vantajosa, apresentando um retorno sobre o investimento mais rápido.

Por outro lado, nas categorias com menor simultaneidade, como o consumo Noturno, embora o retorno sobre o investimento seja mais gradual, ainda assim foi possível observar uma economia significativa ao longo do período analisado.

Esses resultados destacam a importância de considerar não apenas a simultaneidade de consumo, mas também outros fatores, como os custos de instalação e manutenção, ao avaliar a viabilidade econômica da implementação de sistemas fotovoltaicos.

Considerações finais

A análise dos padrões de simultaneidade de consumo de energia fotovoltaica no estado do Tocantins revelou resultados cruciais para a eficácia e viabilidade dos sistemas fotovoltaicos, especialmente considerando o contexto da Lei 14.300 e seus impactos na cobrança de energia elétrica. Ao longo deste estudo, foi evidenciado que a simultaneidade entre o consumo e a geração de energia solar desempenha um papel fundamental no cálculo do tempo de retorno do investimento para os consumidores, influenciando diretamente o valor a ser pago à concessionária de energia.

A partir de uma pesquisa de campo, foi possível traçar uma simultaneidade média sabendo apenas a rotina de consumo do consumidor, dando uma segurança maior nos cálculos de gasto mensal previsto com as tarifas da concessionária e, conseqüentemente, no tempo de retorno do investimento. As UPs com consumo Noturno, Noturno+FDS, Integral e Diurno, obtiveram, respectivamente, uma simultaneidade média de 20%, 30%, 39% e 60%. Os resultados obtidos demonstraram que, apesar da variedade da simultaneidade no Tocantins, até as que possuem menor valor obtiveram retorno financeiro próximos das UPs com simultaneidade alta, obtendo um *payback* apenas 3 meses após os consumidores Diurnos.

Nesse contexto, estratégias que visem otimizar a simultaneidade de consumo, como a conscientização dos consumidores, a implementação de tecnologias de monitoramento e gestão de energia, e o desenvolvimento de políticas tarifárias mais flexíveis e adaptadas às características individuais de cada consumidor, tornam-se imperativas. Essas medidas não apenas promovem a eficiência energética, mas também contribuem para a sustentabilidade ambiental e econômica do setor energético no Tocantins.

Portanto, conclui-se que a consideração da simultaneidade no cálculo do tempo de retorno do investimento em energia solar é crucial para garantir uma análise precisa e realista da viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos. Ao alinhar os padrões de consumo dos clientes com a geração de energia solar, é possível maximizar os benefícios financeiros e ambientais dessa fonte renovável, impulsionando assim a transição para um futuro energético mais sustentável e eficiente.

Referências

ABSOLAR, 2025. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**: Infográfico ABSOLAR nº 77.

Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 20 abr. 2024.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482/2012 de 17 de abril de 2012**. 2012 B. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 23 abr. 2024.

BARBOSA, Wladimir de Macedo. **Impactos econômicos das energias renováveis na economia nordestina**. 2024. 32f. Dissertação (Mestrado em Economia do Setor Público) - Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade - FEAAC, Programa de Economia Profissional - PEP, Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza (CE), 2024.

CARDOSO, Renan de Sousa. **Análise de viabilidade econômica de Sistemas de Microgeração Distribuída Fotovoltaico para conexões protocoladas após 7 de janeiro de 2023**. 2024. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia de Produção, Florianópolis, 2024.

CARVALHO, Gabriela Souza. **Sistema de compensação de energia elétrica para consumidores de micro e minigeração distribuída solar fotovoltaica**. 2024. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2024.

MENEZES, Mariana Pereira (2022). **Impactos da Lei 14.300 na viabilidade de usinas de micro e minigeração fotovoltaica: estudo de caso no Ceará**. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

SENADO, Agência (2022). **Lei institui marco legal da micro e minigeração de eletricidade**. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/843782-lei-institui-marco-legal-da-microe-minigeracao>.

deenergia/#:~:text=O%20presidente%20Jair%20Bolsonaro%20sancionou,sexta%2Dfeira%20(7). Acesso em: 23 abr. 2024.

SOUSA, Breno Giovanni oliveira de. **Análise econômica das novas regras de compensação de energia estabelecidas na Lei 14.300 em sistemas de microgeração**. 2022. 78 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

Agradecimentos

Ao curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Sistemas Fotovoltaicos do *Campus* Palmas, do IFTO, assim como à empresa Palmas Energia Solar, por permitir e disponibilizar o acesso às tarifas de energia dos consumidores e clientes, com as devidas permissões. A generosidade e o apoio de ambos foram fundamentais para a realização desta pesquisa.

Informações Complementares

Descrição		Declaração
Financiamento		<i>Campus</i> Palmas, do Instituto Federal do Tocantins.
Aprovação ética		Não se aplica.
Conflito de interesses		Não há.
Disponibilidade dos dados de pesquisa subjacentes		O trabalho não é um <i>preprint</i> e os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos neste artigo.
CrediT	Murilo de Ávila Dilli	Funções: conceitualização, curadoria de dados, análise formal, metodologia e escrita – rascunho original.
	Brunno Henrique Brito	Funções: conceitualização, análise formal, validação, escrita – revisão e edição.

Avaliadores: Os avaliadores optaram por ficar em anonimato.

Revisora do texto em português: Marilene Barbosa Pinheiro.

Revisora do texto em inglês: Adriana de Oliveira Gomes Araújo.

Revisora do texto em espanhol: Graziani França Claudino de Anicézio.