REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE INVERSÃO DE FLUXO NO SISTEMA DE COGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

ANALYSIS OF POWER FLOW REVERSAL IN PHOTOVOLTAIC COGENERATION SYSTEMS

ANÁLISIS DE INVERSIÓN DE FLUJO EN EL SISTEMA DE COGENERACIÓN FOTOVOLTAICA

Bruno Gabriel do Nascimento[1], Ronaldo Gomes Figueira[2], Fabiana Florian[3]

e696818
https://doi.org/10.47820/recima21.v6i9.6818

PUBLICADO: 9/2025

RESUMO

A expansão da geração distribuída fotovoltaica no Brasil, impulsionada pela Resolução Normativa nº 482/2012 e consolidada pela Lei nº 14.300/2022, elevou a energia solar como protagonista na matriz elétrica nacional. Contudo, esse avanço trouxe desafios técnicos e regulatórios, especialmente relacionados ao fenômeno da inversão de fluxo de potência, quando a geração local supera o consumo e o excedente é injetado na rede. Foi realizada pesquisa qualitativa, exploratória, descritiva e bibliográfica, analisou documentos técnicos, legislação e artigos sobre os impactos da inversão de fluxo em redes de distribuição, destacando aspectos técnicos (sobretensões, distorções harmônicas, redução da vida útil de equipamentos), regulatórios (lacunas na aplicação da Lei 14.300/2022 e exigências divergentes entre distribuidoras) e econômicos (custos adicionais e inviabilização de negócios). Os resultados evidenciaram que o problema não é teórico, mas já se manifesta em concessionárias brasileiras, gerando instabilidade da rede, custos operacionais e impactos socioeconômicos, como fechamento de empresas e perda de empregos no setor solar. Diante disso, torna-se essencial adotar soluções integradas, que combinem inovação tecnológica, padronização regulatória e modelos tarifários justos, assegurando a sustentabilidade e a segurança da geração distribuída no país.

PALAVRAS-CHAVE: Energia fotovoltaica. Regulação elétrica. Estabilidade da rede. Transição energética.

ABSTRACT

The expansion of distributed photovoltaic generation in Brazil, driven by Normative Resolution No. 482/2012 and consolidated by Law No. 14,300/2022, has positioned solar energy as a key player in the national electricity matrix. However, this progress has brought technical and regulatory challenges, particularly related to the phenomenon of power flow reversal, which occurs when local generation exceeds consumption and the surplus is injected into the grid. A qualitative, exploratory, descriptive, and bibliographic study was conducted, analyzing technical documents, legislation, and articles on the impacts of power flow reversal in distribution networks. The analysis highlighted technical aspects (overvoltage, harmonic distortions, reduction in equipment lifespan), regulatory issues (gaps in the enforcement of Law 14,300/2022 and divergent requirements among distribution companies), and economic impacts (additional costs and business infeasibility). The results showed that the problem is not merely theoretical but is already occurring in Brazilian utilities, leading to grid instability, operational costs, and socioeconomic impacts, such as company closures and job losses in the solar sector. In this context, it becomes essential to adopt integrated

[1] Universidade de Araraquara - UNIARA.
[2] Universidade de Araraquara - UNIARA. Professor universitário nos cursos de engenharia da UNIARA, Instrutor de eletroeletrônica, automação, sistemas de energia e Segurança do Trabalho no SENAI São Paulo.
[3] Universidade de Araraquara - UNIARA. Professora assistente da UNIARA, Departamento de Ciências da Administração e Tecnologia (CAT), no Ensino à Distância (EAD) e Coordenadora de Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) .

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

solutions that combine technological innovation, regulatory standardization, and fair tariff models, ensuring the sustainability and security of distributed generation in the country.

***KEYWORDS**: Photovoltaic energy. Electricity regulation. Grid stability. Energy transition.*

RESUMEN
La expansión de la generación distribuida fotovoltaica en Brasil, impulsada por la Resolución Normativa nº 482/2012 y consolidada por la Ley nº 14.300/2022, ha elevado a la energía solar como protagonista en la matriz eléctrica nacional. No obstante, este avance ha traído consigo desafíos técnicos y regulatorios, especialmente relacionados con el fenómeno de la inversión de flujo de potencia, que ocurre cuando la generación local supera el consumo y el excedente se inyecta en la red. Se realizó una investigación cualitativa, exploratoria, descriptiva y bibliográfica, analizando documentos técnicos, legislación y artículos sobre los impactos de la inversión de flujo en las redes de distribución. El análisis destacó aspectos técnicos (sobretensiones, distorsiones armónicas, reducción de la vida útil de los equipos), regulatorios (vacíos en la aplicación de la Ley 14.300/2022 y exigencias divergentes entre distribuidoras) y económicos (costos adicionales e inviabilidad de negocios). Los resultados evidenciaron que el problema no es teórico, sino que ya se manifiesta en concesionarias brasileñas, generando inestabilidad de la red, costos operativos e impactos socioeconómicos, como el cierre de empresas y la pérdida de empleos en el sector solar. Ante ello, se vuelve esencial adoptar soluciones integradas que combinen innovación tecnológica, estandarización regulatoria y modelos tarifarios justos, garantizando la sostenibilidad y la seguridad de la generación distribuida en el país.

***PALABRAS CLAVE**: Energía fotovoltaica. Regulación eléctrica. Estabilidad de la red. Transición energétic.*

INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia renováveis tem se intensificado nas últimas décadas, em resposta às mudanças climáticas e ao aumento da demanda energética. Entre elas, a energia solar fotovoltaica tem se destacado por sua viabilidade técnica, econômica e por ser uma fonte limpa e inesgotável (Oliveira, 2023).

A Resolução Normativa (REN) nº 1.059/2023 da ANEEL revogou a nº 482/2012, consolidando e aprimorando as regras conforme o Marco Legal da Geração Distribuída (Lei nº 14.300/2022), detalhando pontos técnicos, de faturamento e de transição regulatória. No Brasil, a Resolução nº 482/2012 foi fundamental para impulsionar a expansão da micro e minigeração distribuída (MMGD), processo fortalecido pela Lei nº 14.300/2022 e que consolidou a energia solar como uma das principais fontes da matriz elétrica nacional, alcançando mais de 35 GW de capacidade instalada em 2024 (Barella, 2025).

Entretanto, a rápida expansão da geração fotovoltaica trouxe desafios técnicos e regulatórios. Um deles é a inversão de fluxo de potência, fenômeno que ocorre quando a geração local supera o consumo e o excedente é injetado na rede. Esse processo, embora inerente à geração distribuída, pode comprometer a qualidade da energia, reduzir a vida útil de equipamentos e afetar a estabilidade das redes de distribuição (Casarin, 2024).

Diante desse cenário, surge a seguinte questão: De que forma a inversão de fluxo em sistemas de cogeração fotovoltaica, associada à falta de atualização regulatória, impacta a

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

qualidade da energia elétrica e a estabilidade da rede de distribuição, e quais estratégias podem ser adotadas para mitigar esses efeitos?

O tema se justifica pela relevância da geração distribuída no processo de transição energética brasileira, que busca diversificar a matriz elétrica e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Apesar de seus benefícios ambientais e econômicos, a expansão acelerada da energia solar fotovoltaica tem imposto desafios inéditos à infraestrutura elétrica, especialmente em redes de baixa tensão que não foram projetadas para operar sob regime bidirecional.

Além disso, lacunas na legislação atual permitem que distribuidoras adotem restrições técnicas e regulatórias que afetam a viabilidade de projetos de geração distribuída, comprometendo investimentos, empregos e o avanço do setor. Portanto, compreender os impactos da inversão de fluxo e propor soluções técnicas e normativas é fundamental para garantir a expansão sustentável e segura da energia solar no Brasil.

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo analisar os efeitos da inversão de fluxo em sistemas de cogeração fotovoltaica conectados à rede de distribuição, considerando as consequências da atual lacuna regulatória e propondo estratégias de mitigação. Como objetivos específicos busca-se:

- Identificar os principais fatores regulatórios que contribuem para a ocorrência da inversão de fluxo;

- Investigar as limitações impostas pelas distribuidoras sob respaldo da legislação vigente e seus efeitos sobre o setor de energia solar;

- Propor estratégias técnicas e regulatórias para mitigar os impactos negativos do fenômeno.

REFERENCIAL TEÓRICO

O crescimento da geração distribuída, especialmente por sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*on-grid*), trouxe inúmeros benefícios econômicos e ambientais. No entanto, também emergiram desafios técnicos associados à integração dessas fontes à infraestrutura elétrica existente. Um dos principais fenômenos enfrentados é a inversão de fluxo, que ocorre quando a energia gerada localmente excede o consumo da unidade, retornando à rede elétrica (Araújo, 2024). Este fenômeno, embora esperado em sistemas de cogeração, pode gerar distúrbios que afetam a qualidade da energia, a estabilidade da rede e os próprios equipamentos instalados.

Segundo dados da Agência Brasil (2023), mais de 2,3 milhões de unidades consumidoras operam sob o regime de geração distribuída (GD), sendo a fonte fotovoltaica responsável por mais de 98% das conexões. Esse crescimento intensivo tem pressionado a infraestrutura das distribuidoras, que precisam lidar com novas dinâmicas de fluxo energético.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Contexto Regulatório e Técnico

A cogeração fotovoltaica no Brasil está enquadrada na modalidade de geração distribuída (GD), regulamentada pela REN nº 1.059/2023 da ANEEL, responsável por instituir o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). O setor ganhou maior previsibilidade com a Lei nº 14.300/2022, que consolidou o novo Marco Legal da Micro e Minigeração Distribuída, estabelecendo regras para compensação de créditos e garantindo segurança jurídica aos investimentos.

No contexto da inversão de fluxo de potência, a aplicação da Lei 14.300/2022 destaca-se em quatro pontos principais:

- Compensação de créditos de energia: a energia injetada na rede pelo excedente da cogeração fotovoltaica passa a gerar créditos, agora regulados de forma progressiva, considerando o uso da infraestrutura da rede;

- Custos de uso da rede (TUSD fio B) e tarifas: a lei trouxe mudanças que impactam a atratividade da cogeração, uma vez que novos sistemas conectados a partir de 2023, passaram a contribuir gradualmente para os custos de manutenção da rede elétrica;

- Segurança operacional e padronização: distribuidoras e permissionárias devem estabelecer normas técnicas para mitigar impactos da inversão de fluxo, assegurando estabilidade e proteção dos equipamentos;

- Previsibilidade regulatória: garante direitos adquiridos aos sistemas conectados até 07/01/2023, assegurando a manutenção das regras anteriores até 2045, oferecendo segurança jurídica aos investidores.

A inversão de fluxo, nesse cenário, não é apenas um fenômeno técnico, mas também econômico e regulatório. A Lei 14.300/2022 reconhece a relevância da GD, mas busca equilibrar os benefícios individuais do prosumidor (produtor-consumidor) com os custos coletivos de operação e manutenção da rede.

Sob essa perspectiva, a inversão de fluxo deve ser compreendida em três dimensões: i) Técnica: demanda monitoramento da rede, adequação de transformadores, uso de inversores inteligentes e integração com sistemas de armazenamento (Lino, 2025); ii) Econômica: novos modelos de compensação impactam diretamente o tempo de retorno do investimento em cogeração fotovoltaica (Brasil, 2022; International Energy Agency, 2023); e iii) Jurídica e regulatória: a Lei 14.300/2022 trouxe segurança jurídica, mas também maiores responsabilidades aos consumidores que injetam energia na rede (ANEEL, 2022; Brasil, 2022).

A Tabela 1 - Aspectos técnicos, regulatórios e normativos relacionados à inversão de fluxo em sistemas de cogeração fotovoltaica - apresenta a temática da inversão de fluxo no sistema de cogeração fotovoltaica, destacando as contribuições teóricas e normativas mais relevantes, bem como suas implicações técnicas e regulatória para sistematizar os principais pontos de atenção e

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

estratégias para mitigar os efeitos da inversão de fluxo, garantindo, assim, o equilíbrio entre a expansão da GD e a segurança energética.

Tabela 1. Aspectos técnicos, regulatórios e normativos relacionados à inversão de fluxo em sistemas de cogeração fotovoltaica

Categoria	**Aspectos identificados**	**Relação com a Lei 14.300/2022**	**Referências Bibliográficas/ Documentais**
Técnicos	Inversão de fluxo causada pelo excesso de geração em relação ao consumo local, resultando em impactos como distorções de tensão, necessidade de dispositivos anti-ilhamento e proteção contra sobrecorrentes.	A lei exige regras claras de acesso e uso da rede, prevendo responsabilidades de consumidores-geradores quanto às proteções e segurança operacional.	Villalva; Gazoli, Ruppert Filho (2009); Lino (2025); Sant'Ana (2024); Aneel (Nota Técnica nº 087/2021-SRD/ANEEL).
Econômicos	Custos adicionais para instalação de inversores mais sofisticados e sistemas de proteção impostos pelas distribuidoras; impacto na viabilidade financeira do prosumidor.	A Lei 14.300 estabelece o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), mas prevê revisão gradual dos benefícios, o que pode agravar a percepção de custos pelos consumidores.	Rudnick e Zolezzi (2001); IEA (2023).
Regulatórios	Demandas por padronização nos pareceres de acesso, critérios técnicos distintos entre distribuidoras e necessidade de harmonização regulatória.	A Lei nº 14.300/2022 consolida o marco legal da GD, buscando maior segurança jurídica e uniformidade nos procedimentos.	ANEEL (REN nº 1.059/2023); ANELL (2022).
Sociais e Ambientais	Contribuição da GD fotovoltaica para redução de emissões, descentralização energética e empoderamento do consumidor.	A lei estimula a inserção da GD no Brasil, alinhando-se às metas de transição energética e ampliando o acesso à energia renovável.	Creutzig *et al*. (2022); Tolmasquim (2004).
Desafios Futuros	Necessidade de sistemas de armazenamento, redes inteligentes e	A Lei nº 14.300 abre espaço para novas regulamentações que incentivem soluções	Souza, Bonato e Ribeiro (2022).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

	maior integração tecnológica para mitigar problemas como a inversão de fluxo.	inovadoras (ex: armazenamento distribuído, microrredes).	

Fonte: Elaborada pelo autor

Apesar dos avanços, a Lei delega à ANEEL a definição de aspectos técnicos e tarifários, o que abriu margem para interpretações divergentes pelas distribuidoras. Nesse contexto, surgiram controvérsias sobre a compensação horária de créditos, sobretudo na modalidade Tarifa Branca, que diferencia valores de consumo conforme o horário. Algumas concessionárias passaram a restringir a injeção de excedentes a determinados períodos (ex.: entre 19h e 5h), justificando-se pelo risco de inversão de fluxo (Diário do Aço, 2025).

Essas restrições, entretanto, têm gerado impactos econômicos expressivos. Em Minas Gerais, a Frente Mineira de Geração Distribuída (FMGD) denunciou que as limitações impostas pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) resultaram no fechamento de cerca de 1.200 empresas do setor solar e na perda de aproximadamente 12 mil empregos (Hein, 2024).

Do ponto de vista técnico, a inversão de fluxo se intensifica em áreas residenciais durante o dia, quando a demanda local é reduzida e a geração fotovoltaica atinge seu pico. Esse comportamento sobrecarrega a infraestrutura elétrica, provocando sobretensões, operação incorreta de relés de proteção e redução da vida útil de transformadores de distribuição (Costa, 2023; Araújo, 2025).

Portanto, compreender o alinhamento entre a regulação vigente e os desafios técnicos da inversão de fluxo é essencial para assegurar a sustentabilidade da geração distribuída no Brasil, equilibrando inovação tecnológica, viabilidade econômica e estabilidade do sistema elétrico.

Diante do exposto, a solução não está na simples restrição da geração fotovoltaica, mas sim em uma abordagem integrada que combine: tecnologias de suporte à rede (como inversores inteligentes, tomadas *tap changer* (TAPs) automáticos e armazenamento), e padronização regulatória conduzida pela ANEEL, a fim de reduzir disparidades entre distribuidoras, e novos modelos tarifários que incorporem de forma justa os custos de manutenção da rede sem inviabilizar a expansão da GD. Dessa forma, a Lei, quando interpretada em conjunto com as soluções técnicas propostas, pode se consolidar como um instrumento de equilíbrio entre a sustentabilidade econômica, a modernização da matriz elétrica e a garantia da confiabilidade no fornecimento de energia.

Fenômeno da Inversão de Fluxo

Segundo Costa (2023), a inversão de fluxo pode provocar sobretensões, distorções harmônicas e operação inadequada de dispositivos de proteção, especialmente em redes de baixa

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

tensão. Essa situação é mais comum em regiões com alta densidade de GD e baixa carga local durante o dia, como zonas residenciais em horários comerciais.

A ANEEL (2021; 2024) aborda esses impactos em suas notas técnicas, destacando que a exportação de energia para a rede, em situações de baixo consumo — como dias ensolarados em bairros residenciais, quando grande parte da carga local está desligada — pode levar à elevação do nível de tensão, ao funcionamento incorreto de relés de proteção e, em determinados casos, à intensificação das distorções harmônicas em redes de baixa tensão.

Diversos estudos e experiências em concessionárias brasileiras documentam casos reais de inversão de fluxo, como por exemplo o da Cemig, no qual cerca de 49% dos projetos de microgeração distribuída apresentaram problemas relacionados à inversão de fluxo, gerando reprovações ou restrições na conexão à rede (Badra, 2024); das distribuidoras Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) de São Paulo e da Rio Grande Energia do Rio Grande do Sul, na qual a partir de 2024, começaram a reprovar projetos de GD devido à identificação de inversão de fluxo em áreas com alta densidade de geração solar (Rubim, 2025). Também em estudos da ANEEL, na Nota Técnica nº 32/2024 detalhando procedimentos para avaliar a capacidade da rede em suportar injeção de energia excedente e prevenir impactos na estabilidade do sistema, e por fim, pesquisas (Pena-Bello *et al*., 2023; Rocha, 2025; Origgi, 2024) documentaram que a inversão de fluxo pode comprometer o controle de tensão e a estabilidade da rede elétrica, especialmente em sistemas com alta penetração de geração distribuída envolvendo o alimentador de 34,5kv.

Impactos Técnicos e Operacionais

A inversão de fluxo representa um dos maiores desafios para a consolidação sustentável da geração distribuída no Brasil. Embora seja inerente ao modelo de cogeração fotovoltaica, seus impactos negativos precisam ser cuidadosamente analisados, especialmente em regiões com infraestrutura elétrica frágil (Araújo, 2024; 2025; Cardeli Junior, 2025; Koch, 2025; Miranda, 2025; Souza *et al.,* 2019).

Os impactos da inversão de fluxo podem ser classificados em três níveis:

- i) Na rede elétrica da distribuidora, ocasionando aumento da tensão em ramais de baixa tensão, sobrecarga de transformadores e desbalanceamento, requerendo de investimentos em regulação de tensão (Paludo, 2020);

- ii) Nos equipamentos do consumidor, ocasionando desligamentos frequentes de inversores (por sobretensão), perda de eficiência e redução da vida útil de componentes (Araújo, 2025). A inversão de fluxo pode afetar a vida útil de transformadores de distribuição, já que esses equipamentos não foram projetados para operação contínua sob regime bidirecional. Carvalho (2023) avaliou o desempenho de transformadores de distribuição diante da inserção de geração distribuída, utilizando simulações (transformador de 112,5 kVA), identificando que a presença de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

correntes harmônicas e fluxos reversos reduz a expectativa de vida útil do equipamento. Ioranka (2025) discutiu os impactos do fluxo reverso no funcionamento dos transformadores, destacando pontos como deformação do perfil de corrente, aumento de perdas, elevação de temperaturas (óleo e enrolamento), estresse do isolamento e risco de falhas dielétricas. Estudos que evidenciam que a inversão de fluxo de potência, embora uma característica intrínseca da geração distribuída fotovoltaica, impõe desafios significativos à infraestrutura elétrica existente. A necessidade de adaptação dos transformadores e outros equipamentos de distribuição para suportar operações bidirecionais é clara.

- iii) Na operação do sistema elétrico, causando maior complexidade na gestão do fluxo energético e no despacho das fontes centralizadas, demandando soluções como redes inteligentes (*smart grids*) e armazenamento (Santin, 2015). As *smart grids* são redes elétricas modernas que permitem a bidirecionalidade do fluxo energético, favorecendo a integração da geração distribuída no sistema elétrico (Cumba, 2024). A transição para uma economia mais eletrificada e dependente de fontes renováveis requer uma modernização profunda do sistema elétrico, baseada em redes inteligentes. Essas redes utilizam tecnologias digitais, como sensores, inteligência artificial e automação, para gerenciar eficientemente uma infraestrutura energética cada vez mais descentralizada. A digitalização permite uma supervisão em tempo real, melhor integração de renováveis e uma resposta dinâmica à oferta e demanda, facilitando a participação ativa dos consumidores.

A utilização de sistemas inteligentes na rede elétrica é destacada pelo Grupo de Sistemas Elétricos de Potência Inteligentes (G-SEPi) da Universidade Federal da Bahia, que enfatizam que a digitalização e a automação permitem a supervisão e o comando à distância, além de um gerenciamento mais otimizado e rápido do fluxo de potência (Sena Junior, 2022).

Portanto, para mitigar os desafios operacionais decorrentes da maior complexidade na gestão do fluxo energético e no despacho das fontes centralizadas, a implementação de redes inteligentes e sistemas de armazenamento de energia são estratégias essenciais. E, para mitigar os efeitos da inversão de fluxo, diversas estratégias têm sido estudadas, dentre elas:

- Reconfiguração dos inversores para limitar a injeção de potência: a utilização de inversores híbridos com funcionalidades como zero *grid* permite que a energia gerada seja consumida localmente ou armazenada, evitando a exportação para a rede elétrica. Essa abordagem é especialmente útil em regiões onde as concessionárias impõem restrições à injeção de energia devido à inversão de fluxo. Turra (2023) explica que a utilização de inversores híbridos combinados com baterias, torna possível atender a essa exigência. “Mesmo que o cliente final não deseje investir em baterias no momento, é possível utilizar os inversores híbridos na função zero *grid*, que impede a exportação de energia para a concessionária.” (Turra, 2023, p.1).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

- Instalação de dispositivos de controle de tensão, como reguladores automáticos e bancos de capacitores controlados: a implementação de reguladores automáticos de tensão e bancos de capacitores controlados contribui para a estabilização da tensão na rede, mitigando os efeitos adversos da inversão de fluxo. Pesquisadores australianos, como Hein (2023), estudam a instalação de TAPs automáticos porque, com a inversão de fluxo de potência causada pela geração distribuída (painéis solares fotovoltaicos injetando energia na rede), pode ocorrer elevação da tensão acima do limite permitido. O TAP automático permitiria corrigir isso dinamicamente.

- Incorporação de sistemas de armazenamento (baterias), que retêm o excedente localmente: o uso desses sistemas permite reter o excedente de geração localmente, evitando a injeção de energia na rede durante períodos de baixa demanda. Segundo a empresa Sunus Sistemas Fotovoltaicos (2025), a alternativa mais completa para contornar a inversão de fluxo é a associação de um banco de baterias ao sistema zero *grid*. Nesse modelo, a energia gerada durante o dia que não for consumida instantaneamente pelas cargas é armazenada em baterias.

- Uso de tecnologias de *smart grid* para monitoramento em tempo real e controle bidirecional do fluxo: a implementação de redes inteligentes permite o monitoramento em tempo real e o controle bidirecional do fluxo de energia, adaptando-se dinamicamente às condições de geração e consumo. Conforme Cunha (2021), as redes inteligentes são equipadas com tecnologias de automação e controle que permitem a gestão eficiente do fluxo bidirecional de energia. Essas redes podem responder dinamicamente às mudanças na geração e consumo de energia, ajustando a distribuição de forma a evitar sobrecargas e garantir a estabilidade.

Além disso, distribuidoras brasileiras exigem, nos pareceres de acesso, a implementação de dispositivos de proteção como anti-ilhamento, mecanismos contra sobrecorrente e sobretensão — critérios não previstos de forma uniforme na legislação, mas exigidos para garantir segurança operacional e evitar riscos à rede. Essas exigências resultam em aumento do custo de implantação para o consumidor/prosumidor (ANEEL, 2023; Cemig, 2025; Light, 2024; Neoenergia, 2025). A adoção dessas estratégias é essencial para garantir a sustentabilidade e a eficiência da geração distribuída fotovoltaica, minimizando seus impactos na infraestrutura elétrica e promovendo uma integração harmoniosa com a rede existente.

Por fim, a crescente ocorrência de fluxos reversos também traz à tona a necessidade de revisão regulatória e de novos modelos tarifários. Isso porque o comportamento bidirecional da rede altera a forma como os custos de operação e manutenção são distribuídos entre concessionárias e consumidores, tema que já vem sendo discutido em consultas públicas promovidas pela ANEEL (2021; 2023).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

MÉTODOS

A metodologia deste estudo foi estruturada de forma a possibilitar a compreensão aprofundada da problemática da inversão de fluxo no contexto da cogeração fotovoltaica, com ênfase nos aspectos técnicos e regulatórios que envolvem a Lei nº 14.300/2022, conhecida como Marco Legal da Geração Distribuída.

Quanto à técnica de pesquisa, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, por meio da base de dados Google Acadêmico, utilizando os descritores “inversão de fluxo” e “geração fotovoltaica”, no período compreendido entre janeiro e agosto de 2025. Esse levantamento resultou em 66 documentos, dos quais 29 documentos relacionados ao tema foram selecionados para análise, de modo a garantir a relevância e a consistência do estudo. Complementarmente, foram consultadas legislações, manuais técnicos e relatórios setoriais, a fim de integrar a dimensão normativa e prática ao debate.

A análise dos documentos foi conduzida por meio da análise de conteúdo, conforme proposta por Bardin (2011), o que possibilitou a categorização das informações em eixos temáticos: Fundamentos técnicos da inversão de fluxo; Impactos operacionais e de estabilidade na rede elétrica; Aspectos econômicos e financeiros da GD; Aspectos jurídicos e regulatórios (Lei 14.300/2022 e REN 1.059/2023); Dimensões sociais e ambientais; Soluções tecnológicas e recomendações setoriais. Cada documento foi lido integralmente, destacando-se trechos relevantes para cada eixo, os quais foram sintetizados de forma comparativa, permitindo identificar convergências, divergências e lacunas na literatura.

No que se refere à abordagem da pesquisa, optou-se pela qualitativa, a qual, segundo Minayo (2016), permitiu explorar em profundidade experiências, percepções e significados atribuídos pelos atores sociais envolvidos. No contexto deste estudo, essa abordagem possibilita compreender como os diferentes agentes – produtores de energia, concessionárias e consumidores – percebem e lidam com os impactos da inversão de fluxo, bem como os desafios impostos pela regulamentação vigente.

Quanto aos tipos de pesquisa, este trabalho classifica-se como exploratório e descritivo. A pesquisa exploratória buscou proporcionar maior familiaridade com o problema da inversão de fluxo, tornando-o mais explícito e permitindo o levantamento de hipóteses sobre seus impactos técnicos e regulatórios. Já a pesquisa descritiva teve como objetivo observar, analisar e correlacionar fatos e fenômenos sem interferir neles, descrevendo as características do processo de cogeração fotovoltaica em situações de injeção de excedentes na rede elétrica (Gil, 2019).

Assim, a investigação foi conduzida a partir da análise bibliográfica, integrada a uma reflexão sobre a aplicação da Lei 14.300/2022. A combinação entre a dimensão técnica e regulatória buscou evidenciar de que forma a inversão de fluxo influencia a operação dos sistemas

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

de geração distribuída e quais os possíveis desdobramentos para a expansão sustentável da matriz energética brasileira.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise bibliográfica pautada em livros, artigos e legislação pertinente ao setor evidenciou que a inversão de fluxo em sistemas de cogeração fotovoltaica no Brasil não é apenas um fenômeno teórico, mas já está documentada em casos reais de distribuidoras, conforme apontado por estudos (ANEEL, 2023; Badra, 2024; Cemig, 2025) e de concessionárias como CPFL e RGE (Rubim, 2025). Esses dados confirmam que o problema se intensifica em áreas com alta penetração de geração distribuída e baixa demanda local, reforçando o alerta de que a expansão da GD precisa ser acompanhada de soluções técnicas e regulatórias.

Do ponto de vista técnico-operacional, os resultados convergem para três implicações centrais: Sobretensão e instabilidade da rede (Costa, 2023; Carvalho, 2023; Ioranka, 2025); Aumento da complexidade na operação do sistema (Santin, 2015; Cumba, 2024), e Custos adicionais para consumidores e concessionárias (Turra, 2023; Hein, 2023).

No plano regulatório, a Lei nº 14.300/2022 trouxe avanços significativos ao estabelecer segurança jurídica e previsibilidade tarifária, especialmente ao preservar direitos adquiridos para sistemas conectados até 2023. No entanto, sua aplicação mostrou-se insuficiente para resolver os desafios operacionais da inversão de fluxo, já que delega à ANEEL a definição de critérios técnicos. Essa brecha regulatória tem levado a interpretações divergentes pelas distribuidoras, resultando em exigências diferenciadas e, muitas vezes, onerosas para o consumidor (Cemig, 2025; Neoenergia, 2025).

Economicamente, as restrições impostas por algumas concessionárias já geram impactos expressivos. O caso de Minas Gerais, onde a FMGD relatou o fechamento de 1.200 empresas e perda de 12 mil empregos (Hein, 2024), evidencia que a gestão da inversão de fluxo não é apenas uma questão técnica, mas de sustentabilidade do setor solar.

Logo, os dados analisados indicam que a solução não está na simples restrição da geração fotovoltaica, mas sim em uma abordagem integrada que combine: tecnologias de suporte à rede (inversores inteligentes, TAPs automáticos, armazenamento); padronização regulatória pela ANEEL para evitar disparidades entre distribuidoras; e novos modelos tarifários que reflitam com justiça os custos de manutenção da rede sem inviabilizar a expansão da GD.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir do objetivo proposto, a análise deste estudo demonstrou que a inversão de fluxo em sistemas de cogeração fotovoltaica representa um dos maiores desafios para a consolidação da geração distribuída no Brasil. Embora a Lei nº 14.300/2022 tenha trazido avanços importantes,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

como segurança jurídica e previsibilidade tarifária, sua aplicação prática ainda apresenta lacunas que fragilizam a integração harmônica entre geração distribuída e rede elétrica. Os impactos observados vão além da dimensão técnica, alcançando também esferas econômicas, regulatórias e sociais, evidenciando a necessidade de uma abordagem sistêmica.

Nesse sentido, a solução não reside na simples restrição da injeção de energia, mas sim na modernização da infraestrutura elétrica por meio da adoção de inversores inteligentes, sistemas de armazenamento, dispositivos automáticos de regulação de tensão e redes inteligentes. Além disso, torna-se imprescindível a padronização regulatória conduzida pela ANEEL, reduzindo disparidades entre concessionárias e garantindo condições equitativas de acesso e operação.

Por fim, a sustentabilidade da geração distribuída dependerá do equilíbrio entre inovação tecnológica, estabilidade da rede e viabilidade econômica. A superação dos desafios da inversão de fluxo exigirá cooperação entre consumidores, concessionárias, reguladores e formuladores de políticas públicas, consolidando a energia solar como vetor estratégico para a transição energética brasileira.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. Geração Distribuída aumenta no país e reduz valor de contas de energia. **Agência Brasil**, 2023. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-08/geracao-distribuida-aumenta-no-pais-e-reduz-valor-de-contas-de-energia. Acesso em: 25 ago. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL]. **Contribuição à consulta pública ANEEL nº 47/2021**. Quinta Revisão. Tarifária Periódica da Neoenergia. Brasília, DF, setembro de 2021. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/consultas-publicas-govbr/aneel-consulta-publica-47-2021. Acesso em: 25 ago. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL]. **Nota Técnica n° 0087/2021-SRD/ANEEL.** 15 de julho de 2021. Retificação do resultado do cálculo das perdas na distribuição referentes à Revisão Tarifária Periódica da CEB Distribuição S.A – CEB-DIS. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/consultas-publicas. Acesso em: 22 ago. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL]. **Nota técnica n° 32/2024-STR/ANEEL em 08 de março de 2024.** Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ndsp2024764.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL]. **Regulamentação da Geração Distribuída é debatida com a sociedade.** Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/regulamentacao-da-geracao-distribuida-e-debatida-com-a-sociedade. Acesso em: 25 ago. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL]. **Resolução Normativa ANEEL nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023**. Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica; altera as Resoluções

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Normativas n° 920, de 23 de fevereiro de 2021, 956, de 7 de dezembro de 2021, 1.000, de 7 de dezembro de 2021, e dá outras providências. 2023. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html. Acesso em: 14 abr. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL]. **Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. (Revogada pela Resolução Normativa nº 1059/2023). Disponível em: https://www.aneel.gov.br Acesso em: 13 abr. 2025.

ARAÚJO, D. L. **Análise do impacto nas redes elétricas de distribuição com o aumento da geração distribuída fotovoltaica**: estudo de caso modelado no OPENDSS. 2024. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/80455. Acesso em: 2 jun. 2025.

ARAÚJO, K. M. L. Análise do impacto da instalação de reguladores de tensão na qualidade da energia elétrica frente às consequências de uma densa concentração de geração distribuída: Estudo de Caso. 2025. 55 f. Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Bacharelado em Engenharia Elétrica, Natal, 2025. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/00ef5b07-8955-4bf5-9bcb-15dc823d1ffc/content. Acesso em: 1 jun. 2025.

BADRA, M. Impactos do desregramento sobre inversão de fluxo no setor solar. **Canal Solar**, 23 jul. 2024. Disponível em: https://canalsolar.com.br/impactos-desregramento-inversao-fluxo/. Acesso em: 23 ago. 2025.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARELLA, J. E. **Excesso de geração solar gera prejuízos bilionários e cria nova distorção**: a "energia lunar". [*S. l.: s. n.*]: N25 fev. 2025. Disponível em: https://neofeed.com.br/negocios/excesso-de-geracao-solar-gera-prejuizos-bilionarios-e-cria-nova-distorcao-a-energia-lunar/. Acesso em: 13 abr. 2025.

BRASIL. Senado Federal. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis n. 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm Acesso em: 13 abr. 2025.

CARDELI JUNIOR, D. L. **Geração fotovoltaica em redes de distribuição:** análise das perdas técnicas e do impacto nas emissões de CO_2. 2025. 11 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Energia) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2025. Disponível em: https://dspace.unila.edu.br/server/api/core/bitstreams/44755818-3111-4939-be44-7d155f9c9b45/content. Acesso em: 2 jun. 2025.

CARVALHO, Fábio de Oliveira. **Desempenho dos transformadores de distribuição relacionado à geração distribuída**. Orientador: André Nunes de Souza. 2023. 80 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, Bauru, SP, 2023. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/entities/publication/cf145ff0-a4f7-4171-acb0-8462cb8e8b2e. Acesso em: 25 ago. 2025.

CASARIN, R. O que é inversão de fluxo de potência? **Portal Solar**, 20 set. 2024. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/inversao-de-fluxo-de-potencia. Acesso em: 13 abr. 2025.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

CEMIG. **Manual de Distribuição - Requisitos para a Conexão de Geração**. Distribuída ao Sistema de Distribuição Cemig D – Conexão em Baixa Tensão Belo Horizonte – Minas Gerais – Brasil. Belo Horizonte: CEMIG, 2025. Disponível em: https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2024/07/ND_5.30_Conexao-em-BT.pdf Acesso em: 26 ago. 2025.

COSTA, G. H. **Estudo dos impactos da penetração da geração distribuída fotovoltaica de uma rede de distribuição utilizando o software OpenDSS**. 2023. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/73904. Acesso em: 13 abr. 2025.

CREUTZIG, F.; NIAMIR, L.; BAI, X. *et al*. Demand-side solutions to climate change mitigation consistent with high levels of well-being. **Nat. Clim. Chang**., USA, v. 12, p. 36–46, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41558-021-01219-y. Acesso em: 25 ago. 2025.

CUMBA, J. S. C. **Avaliação da integração das tecnologias de redes elétricas inteligentes ao sistema elétrico de potência.** 2024. 43 f. Monografia (Curso de Engenharia de Energias) - Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção-CE, 2024. Disponível em: https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/handle/123456789/5786. Acesso em: 26 ago. 2025.

CUNHA, A. M. C. Aspectos de energia e potência vinculados a um sistema de armazenamento de energia através de baterias operando em conjunto com um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. 2021. 54 f. Monografia (Especialista em Fontes Renováveis) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponivel em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/36260. Acesso em: 1 jun. 2025.

DIÁRIO DO AÇO. Cemig afirma que clientes só pode injetar energia solar na rede das 19h às 5h. **Diário do Aço**, 17 fev. 2025. Disponível em: https://www.diariodoaco.com.br/noticia/0122411-cemig-afirmaqueclientesopodeinjetarenergiasolarnarededas19has5hhttps://www.diariodoaco.com.br/noticia/0122411-cemig-afirma-que-cliente-so-pode-injetar-energia-solar-na-rede-das-19h-as-5h. Acesso em: 13 abr. 2025.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

HEIN, H. Como amenizar o problema da inversão de fluxo em sistemas fotovoltaicos?. **Canal Solar,** 24 out. 2023. Disponível em: https://canalsolar.com.br/como-amenizar-o-problema-da-inversao-de-fluxo-em-sistemas-fotovoltaicos/. Acesso em: 22 abr. 2025.

HEIN, H. Inversão de fluxo: 1,2 mil empresas fecharam as portas em MG. **Canal Solar,** 8 jul. 2024. Disponível em: https://canalsolar.com.br/inversao-fluxo-empresas-fechadas-cemig/ Acesso em: 12 abr. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [IEA]. **Renewables 2022**: Analysis and forecast to 2027. [S. l.]: IEA, 2023. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/ada7af90-e280-46c4-a577-df2e4fb44254/Renewables2022.pdf. Acesso em: 25 ago. 2025.

IORANKA, O. **O que pode acontecer com transformadores de potência quando expostos ao fluxo reverso de energia?** [*S. l.: s. n.*]: 2025. Disponível em: https://trinse.net/o-que-pode-acontecer-com-transformadores-de-potencia-quando-expostos-ao-fluxo-reverso-de-energia. Acesso em: 25 ago. 2025.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

KOCH, A. H. S. **Análise do impacto de armazenadores de energia no desempenho de uma rede de distribuição de energia elétrica**. 2025. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: https://lume.ufrgs.br. Acesso em: 2 jun. 2025.

LIGHT. **Procedimentos para a Conexão de Microgeração e Minigeração ao Sistema de Distribuição da Light SESA – Até Classe 36,2kV**. [S. l.]: Light, 2024. Disponível em: https://www.light.com.br/Downloads/LIGHT_Informacao_Tecnica_DTE_DTP_01_2012_%20rev%20Abril_2024.pdf. Acesso em: 25 ago. 2025.

LINO, M. Análise atualizada da inversão de fluxo na energia solar: Geração Distribuída e Regras da ANEEL. **Canal Solar**, 2025. Disponível em: https://canalsolar.com.br/inversao-fluxo-empresas-fechadas-cemig/ Acesso em: 28 ago. 2025.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2016.

MIRANDA, L. S. **Modelagem simplificada para alocação de acumuladores em redes de distribuição de energia elétrica**: um estudo de caso utilizando a BDGD. 2025. 21 F. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/288351. Acesso em: 2 jun. 2025.

NEOENERGIA **Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição CÓDIGO**: DIS-NOR-031 REV.: 02 Nº PÁG.: 1/41 APROVADOR: RICARDO PRADO PINA DATA DE APROVAÇÃO: 16/05/2025. Disponível em: https://www.edp.com.br/media/klki3ub5/norma-tecnica-baixa-tensao-00059-v5.pdf. Acesso em: 25 ago. 2025.

OLIVEIRA, J. V. G. O consumo de energia elétrica na Universidade Federal de Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, e o impacto da geração fotovoltaica. 2023. 49 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023. Disponível em: https://monografias.ufop.br/handle/35400000/6245. Acesso em: 12 abr. 2025.

ORIGGI, L. **Avaliação dos impactos da elevada penetração de geração distribuída nas redes de distribuição**. Orientador: Felipe Santana Santos. 2024. 85 f. Monografia (graduação) - Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, Coordenadoria de Curso Superior de Engenharia Elétrica, 2024. Disponível em: https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/4776. Acesso em: 22 ago. 2025.

PALUDO, A. M. Análise de impactos e planejamento do sistema de distribuição em MT e BT considerando conexões de Micro e Minigeração Fotovoltaica. 2020. 131 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, 2020. Disponivel em: https://repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/11673/Alexandre+Martini+Paludo.pdf?sequence=1. Acesso em: 1 jun. 2025.

PENA-BELLO, A.; JUNOD, R.; BALLIF, C.; WYRSCH, N. Balancing DSO interests and PV system economics with alternative tariffs. **Electrical Engineering and Systems Science > Systems and Control**., Neuchâtel, Switzerland p. 1-24, 8 mar 2023. Disponível em: arXiv:2303.04433. Acesso em: 26 ago. 2025.

ROCHA, G. S. **Impacto de geração distribuída desequilibrada nos índices de desequilíbrio de tensão de sistemas de distribuição**. Orientador: Diogo Soares Resende. 2025. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG, Itumbiara, 2025. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/2236. Acesso em: 22 ago. 2025.

RUBIM, B. **Inversão de fluxo ataca com força em São Paulo e Rio Grande do Sul:** saiba o que você pode fazer. [*S. l.: s. n.*], 2025. Disponível em: https://www.weg.net/solar/blog/inversao-de-fluxo-2. Acesso em: 21 ago. 2025.

RUDNICK, H.; ZOLEZZI, J. Electric Sector Deregulation and Restructuring in Latin America: Lessons to Be Learn and Possible Waysforward. **IEEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution,** London, v. 148, n. 2, 2001, p. 180-184. Disponível em: doi:10.1049/ip-gtd:20010230 Acesso em: 25 ago. 2025.

SANT'ANNA, B. P. **Modelagem e controle de um inversor inteligente**: uma avaliação de estratégias de regulação de tensão em redes de baixa tensão. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade de São Paulo (BDTA USP), São Carlos, 2024. Disponível em: https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/9b713f9009bf4366a875c803f93e4b39/SantAnna_Bruno_Paiva.pdf. Acesso em: 25 ago. 2025.

SANTIN, D. **Avaliação do impacto de pequenas centrais hidrelétricas nas perdas de potência em redes de média tensão**. 2015. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15049. Acesso em: 26 ago. 2025.

SENA JUNIOR, M. L. M. **A utilização de Sistemas Inteligentes na rede elétrica**. [*S. l.: s. n.*], 2022. Disponível em: https://www.gsepi.eng.ufba.br/tag/sep/page/3. Acesso em: 22 ago. 2025.

SOUZA, A. C. Z.; BONATTO, B. D.; RIBEIRO, P. F. **Integração de renováveis e redes elétricas inteligentes**. Rio de Janeiro: Interciência, 2022.

SOUZA, D. M.; SOUTO, O. C. N.; AMARAL, J. F. S.; SILVA, S. B. Estudo da viabilidade técnica da inserção de elementos armazenadores de energia (baterias) no sistema fotovoltaico on-grid do instituto federal de Goiás–campus Itumbiara: fontes renováveis de energia: inovações, impactos e desafios. *In*: SILVA, S. B.; SOUTO, O. C. N.; SOUZA, R. A. **Fontes renováveis de energia:** inovações, impactos e desafios. Uberlândia: Navegando Publicações, 2019. p. 33-51.

SUNUS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Superando a inversão de fluxo:** alternativas eficazes contra as limitações da CEMIG. [*S. l.: s. n.*], 2025. Disponível em: https://sunus.com.br/alternativas-inversao-de-fluxo/ Acesso em: 1 maio 2025.

TOLMASQUI, M. T. **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004.

TURRA, A. Utilização de inversores híbridos em casos de inversão de fluxo. **Edeltec Solar**, 10 jan. 2023. Disponível em: https://edeltecsolar.com.br/blog/produtos/inversores-hibridos-invers%C3%A3o-de-fluxo. Acesso em: 1 jun. 2025.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R.; RUPPERT FILHO, E. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays. **IEEE Transactions on Power Electronics**, London, v. 24, n. 5, p. 1198-1208, May 2009, Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/4806084. Acesso em: 25 ago. 2025.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.