

**FAMIG – FACULDADE MINAS GERAIS
ALESSANDRA STELLA DE PAULA**

**ORÇAMENTO DE CONEXÃO COM INVERSÃO DE FLUXO NO POSTO DE
TRANSFORMAÇÃO**

**Belo Horizonte
2024**

ALESSANDRA STELLA DE PAULA

**ORÇAMENTO DE CONEXÃO COM INVERSÃO DE FLUXO NO POSTO DE
TRANSFORMAÇÃO**

Projeto de Pesquisa apresentado aos Prof^o Marconi e Diego como requisito parcial para aprovação na Disciplina de trabalho de conclusão de curso referente a Engenharia de Produção.

Belo Horizonte

2024

ALESSANDRA STELLA DE PAULA

**ORÇAMENTO DE CONEXÃO COM INVERSÃO DE FLUXO NO POSTO DE
TRANSFORMAÇÃO**

Projeto de Pesquisa apresentado aos Profº Marconi e Diego como requisito parcial para aprovação na Disciplina de trabalho de conclusão de curso referente a Engenharia de Produção.

Professor Diego de Jesus Queiroz Rosa (Orientador)
Faculdade FAMIG

Professor Marconi Lacerda Pires (Orientador)
Faculdade FAMIG

Belo Horizonte
2024

*“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para
a vitória é o desejo de vencer.”*

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar essa conquista maravilhosa. Não tenho palavras para expressar o quanto sou grata por todas as bênçãos que recebi.

Aos meus pais, Sônia Aparecida Miranda Amadeu, Carlos Augusto de Paula, e as minhas queridas irmãs, Karla Aparecida de Paula, Larissa Lourenço Miranda de Paula, que me deram todo o apoio ao longo dessa jornada. A vocês eu dedico todo meu amor e gratidão.

Gratidão a Faculdade Minas Gerais (FAMIG), por proporcionar um ambiente educacional excepcional que enriqueceu minha jornada acadêmica. Aos meus professores que me acompanharam ao longo do curso e ao dedicado orientador de TCC, Diego de Jesus Queiroz Rosa, agradeço por compartilharem seus conhecimentos.

Agradeço também agradecer aos meus queridos amigos, por estarem sempre ao meu lado nos momentos difíceis e motivando-me a seguir em frente. E em especial, meu amigo Guilherme Aparecido Inácio.

Aos profissionais engenheiros da CEMIG, expresso meus sinceros agradecimentos para: Raissa Moreira Figueiredo, Ruan Pires Ventillo Dutra, José Paulo Ramos Fernandes, Henrique Jardim Villefort. Que generosamente compartilharam comigo seus conhecimentos e valiosas experiências.

E por fim, aos meus colegas de sala de aula, que fizeram minha jornada acadêmica mais significativa e rica. As trocas de experiências e conhecimentos que não apenas enriqueceram meu aprendizado, mas também laços de amizade.

RESUMO

A quantidade de usinas de geração distribuída, especialmente as fotovoltaicas, tem aumentado significativamente no Brasil e espera-se que esse crescimento continue nos próximos anos.

Durante esta pesquisa, foi observada uma grande evolução da geração distribuída conectada, principalmente, entre os anos de 2022 e janeiro de 2023, devido aos consumidores buscarem manter os benefícios anteriores à promulgação da lei 14.300 de 06 de janeiro de 2022.

O presente trabalho foi elaborado para discutir os impactos causados pela reversão do fluxo de energia causado pelo excesso de geração distribuída e as alternativas disponíveis para viabilizar a conexão de novos consumidores, conforme estabelece o Art. 73 da REN ANEEL nº 1000/2021.

Seu principal objetivo é apresentar as alternativas consideradas, suas análises e simulações, destacando as opções viáveis para permitir uma injeção permanente de energia que atenda ao consumidor. Os prós e contras das diferentes formas analisadas são listados.

Neste contexto, discutem-se tecnologias de armazenamento de energia, com foco no uso de baterias, que podem trazer benefícios no sistema de distribuição que vão além de conter a reversão do fluxo de energia.

Palavras-chave: Energia Solar, Orçamento de Conexão, Inversão de Fluxo, Impactos e soluções da inversão de fluxo.

ABSTRACT

The amount of distributed generation power plants, especially photovoltaic ones, have increased significantly in Brazil and this growth is expected to continue for the next few years.

During this research, an expressive increase in the connected distributed generation was observed, mainly between January 2022 and January 2023, due to consumers seeking to keep benefits prior to the promulgation of the Law 14.300 from January 6th, 2022.

This document has been elaborated to discuss the impacts caused by the power flow reversion caused by the excess of distributed generation and the alternatives available to enable new consumers connections, as established by the 73rd article from ANEEL n^o 1000/2021 Normative Resolution.

Its main objective is to present the alternatives considered, its analysis and simulations, highlighting the viable options to allow a permanent power injection that serves the consumer. The pros and cons from the different ways analyzed are listed.

Under this context, energy storage technologies are discussed, focusing on the use of batteries, which can grant benefits in the distribution system that go beyond containing power flow reversion.

Keywords: Solar Energy, Connection Alternatives, Reverse Power Flow, Distributed Generation Impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Paineis solar com estrutura no telhado e solo	15
Figura 2 - Funcionamento da Energia Solar residencial.....	15
Figura 3 - Matriz da capacidade instalada de geração de energia elétrica – JAN/2023	17
Figura 4 - Cenário da Geração Distribuída.....	18
Figura 5 - Micro e Mini GD na subestação da região A.....	21
Figura 6 - Tecnologias para armazenamento de energia.....	27
Figura 7 - Relatório de acompanhamento de Notas de serviço (NS)	30
Figura 8 - Fluxo de atividades para Orçamento de Conexão	31
Figura 9 - Fluxo de Atividades - SAP IW53	31
Figura 10 - Relatórios por meio do BI.....	32
Figura 11 - Acesso ao SAP por meio da consulta Sistema de Gestão de Clientes (CCS)	33
Figura 12 - Mapa de Disponibilidade Geração Distribuída	34
Figura 13 - Mapa de Disponibilidade de Carga	34
Figura 14 - Mapa - Análise Geográfica das solicitações de GD's na CEMIG	35
Figura 15 - O momento do apagão	36
Figura 16 - Informações do estudo de planejamento	37
Figura 17 - Inversão de fluxo no orçamento de conexão do cliente	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva típica de carga leve da subestação.....	22
Gráfico 2 - Curvas típicas da subestação para dias úteis	23
Gráfico 3 - Curvas típicas da subestação para fins de semana	23
Gráfico 4 - Projeção de crescimento em (MW) da Mini GD.....	38
Gráfico 5 - Projeção de crescimento em (MW) da Micro GD	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica na rede apresentada em (EPE, 2023)	16
Tabela 2 - Vantagens e Desvantagens da energia solar.....	19
Tabela 3 - Crescimento previsto para a carga global no horizonte do PAR/PEL 2023	38

LISTAS DE SIGLAS

Art.	Artigo
GD.	Geração Distribuída
KW.	Quilowatts
Mvar-h.	Megawatt ampère-hora
SE	Subestação
GW	Gigawatt

LISTAS DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CPSA	Celebração de Contrato de Prestação de Serviços Ancilares
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SIN	Sistema Interligado Nacional
TSA	Tarifa de Serviços Ancilares
SAP	Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados
BI	Business Intelligence
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
RBF	Rede Básica de Fronteira

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Energia solar	14
1.2	Relevância do uso da energia solar	14
1.3	Vantagens competitivas	18
1.4	Vantagem e Desvantagem da Energia Solar	18
1.5	Desafios da geração distribuída	20
2	IMPACTOS	20
2.1	O que é inversão de fluxo no posto de transformação?	20
3	OBJETIVOS	24
3.1	Objetivo geral	24
3.2	Objetivo específico	24
4	REFERENCIAL TEÓRICO	24
4.1	Resolução ANEEL 1000/2021 Art. 73	25
4.2	Sistema de armazenamento de energia por baterias	26
4.3	Serviços Ancilares	28
5	METODOLOGIA	29
5.1	Delimitação do Estudo	29
5.2	Orçamento de Conexão do cliente	29
5.3	Fluxo do Processo	30
5.4	Caracterização da Empresa	32
5.5	Geração Distribuída e consumo	33
6	RESULTADOS	35
7	CONCLUSÕES	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 Energia solar

A Energia Solar é alcançada através da conversão da luz do sol em eletricidade, denominado efeito fotovoltaico. É utilizada para geração de energia elétrica em imóveis residenciais, industriais, comércios, usinas de solo, condomínios verticais, com intuito de substituir a energia fornecida pela concessionária ou cooperativa energética.

A Energia Solar possui diversas vantagens, ambientalmente por ser uma fonte de energia renovável, não poluir, além de ter vida útil de aproximadamente 25 anos.

Economicamente, por reduzir a conta de luz em até 90%, trazendo o retorno no investimento. “As tradicionais fontes de energia constituem a base mundial da geração de eletricidade como as grandes usinas hidrelétricas, termelétricas a carvão e petróleo e as usinas nucleares” (MARCELO, 1983, p.6).

As atividades humanas, econômicas e sociais sempre tiveram ligadas à utilização da energia. “Durante longo período da história da humanidade, as fontes de energia utilizadas não continham nenhum tipo de preocupação com seu impacto ambiental nem com o seu esgotamento” (WANDERSON, 2022, p.8).

De acordo com Wanderson Carvalho (2022), o acesso à energia elétrica, a partir dos avanços nas atividades de sua geração, distribuição e transmissão, impulsionou a possibilidade de desenvolvimento econômico em centros urbanos e em centros regionais.

1.2 Relevância do uso da energia solar

A geração distribuída de energia oferece inúmeras vantagens ao setor elétrico. Além disso, permite uma maior diversificação das tecnologias empregadas para a produção de energia e, desta maneira, sua escolha pode ser feita em função dos requerimentos específicos de carga ou da disponibilidade dos recursos energéticos locais (RODRIGUES, 2022).

Normalmente, a usina fotovoltaica da microgeração (até 75kW), por ser menor, é instalada no telhado das residências ou pequenas empresas e tem como finalidade produzir energia para compensação própria, onde a energia gerada compensa o consumo da própria residência do consumidor.

As usinas de 75kW são normalmente construídas no solo e não no telhado, pois são maiores, mais robustas e possuem grande quantidade de placas, conforme a Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Painel solar com estrutura no telhado e solo



Fonte: Adaptado de Solarvolt (<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/orientacao-inclinacao-painel-solares-fotovoltaicos/>)

Para entender como funciona a energia solar fotovoltaica, sua captação pode ser feita por meio de diversas tecnologias, como usinas heliotérmicas, painéis solares, inversores de frequência, além dos materiais como os cabos, proteções elétricas e estruturas metálicas.

De acordo com a Luz Solar (2017), a potência gerada é enviada para o inversor que é o equipamento responsável pela conversão da energia, ou seja, o inversor converte a energia elétrica de corrente contínua gerada pelo painel fotovoltaico para alimentar consumidores em corrente alternada.

A figura 2 detalha como funciona a energia solar residencial.

Figura 2 - Funcionamento da Energia Solar residencial



Fonte: Adaptado de BAO Ribeiro (<https://baoribeiro.com.br/blog/sistema-de-energia-on-grid-como-funciona/>)

Segundo o Roberto Zilles (2012, p. 35), as primeiras aplicações da tecnologia fotovoltaica ocorreram principalmente com sistemas solados.

A conexão de sistemas fotovoltaicos passa ocupar lugar cada vez mais expressivo entre as aplicações da tecnologia, a partir do final da década de 1990.

Roberto Zilles (2012, p. 36), completa que essa transformação pela indústria fotovoltaica aconteceu, inicialmente, com o programa japonês de incentivos aos pequenos geradores fotovoltaicos e, posteriormente, com semelhantes sistemas alemão e americano. Depois, outros países passaram a investir nessa aplicação da energia solar, como Holanda, Suíça, Espanha e Austrália, entre outros.

O cenário atual do sistema elétrico brasileiro é caracterizado por diversos desafios. Entre eles pode-se citar a necessidade de suprimento cada vez maior da demanda energética no país.

De acordo com histórico anual de consumo nacional da rede de energia elétrica apresentada pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2024), no Brasil setor como o residencial industrial e comercial tem sido os grandes responsáveis pelo aumento gradativo do consumo de energia elétrica ao longo dos últimos anos.

A Tabela 1 detalha esse consumo segmentado pelas respectivas classes mencionadas. É possível observar que os três setores juntos correspondem a mais de 80% da energia elétrica consumida ao longo dos últimos 5 anos consecutivos. Nota-se também um aumento gradativo nesse consumo de energia elétrica com uma diferença de, aproximadamente, 7,5% de 2019 para 2023.

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica na rede apresentada em (EPE, 2023)

DIVISÃO POR CLASSES	2019	2020	2021	2022	2023
RESIDENCIAL	142.411	148.173	151.253	152.771	164.323
INDUSTRIAL	167.701	166.452	182.205	184.506	188.268
COMERCIAL	92.083.493	82.524	87.787	92.495	97.715
TOTAL	92.393.605	397.149	421.245	429.772	450.306

Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2023)

Conforme apresentado em Companhia Energética de Minas Gerais e Agência Nacional de Energia Elétrica (CEMIG & ANEEL, 2023) os meios existentes de produção de energia enfrentam problemas novos e atuais como: o aquecimento global, tratados internacionais que visam limitar níveis de poluição, ações para

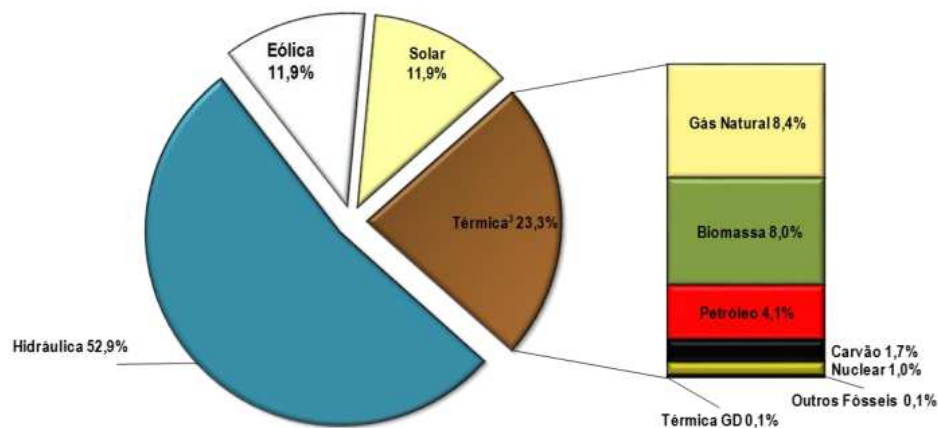
redução da emissão de dióxido de carbono e desativação de usinas nucleares com tecnologias ultrapassadas ou a não construção de novas em vários países devido aos altos riscos de acidentes nucleares com consequências graves ao meio ambiente e aos seres humanos. Sendo assim, tornam-se desafios a necessidade de substituir os antigos métodos de geração de energia por novos.

Neste contexto, a penetração de fontes de energias renováveis e de outras potenciais fontes de geração distribuída está aumentando no Brasil e no mundo.

De acordo com Eurostat (2021), em 2020 as fontes de energia renováveis representaram, em média, 37,5% do consumo bruto de energia elétrica da União Europeia (UE). Suécia (56,4%), Finlândia (43,1%) e Letônia (41%) se destacam como sendo os países-membros da UE cuja energia é proveniente dessas fontes. Além disso, mais de dois terços do total de eletricidade a partir de tais fontes renováveis foram originadas da energia eólica e hídrica, representando cerca de 36% e 33% respectivamente. O terço restante da eletricidade foi gerado a partir da energia solar (14%), biocombustíveis sólidos (8%) e outras fontes renováveis (8%).

No caso do Brasil, o relatório de monitoramento do sistema elétrico apresentado pelo Ministério de Minas e Energia (2023), mostra que a capacidade instalada total de geração de energia elétrica no mês de janeiro no país atingiu 207.512 MW, incluindo geração distribuída (GD) e representa um aumento percentual de 8,6% com relação ao mês anterior. A Figura 3 a seguir é mostrado que as fontes renováveis de energia representaram cerca de 85% da capacidade instalada do mês supracitado.

Figura 3 - Matriz da capacidade instalada de geração de energia elétrica – JAN/2023



Fonte: Adaptado da referência Ministério de Minas e Energia (2023)

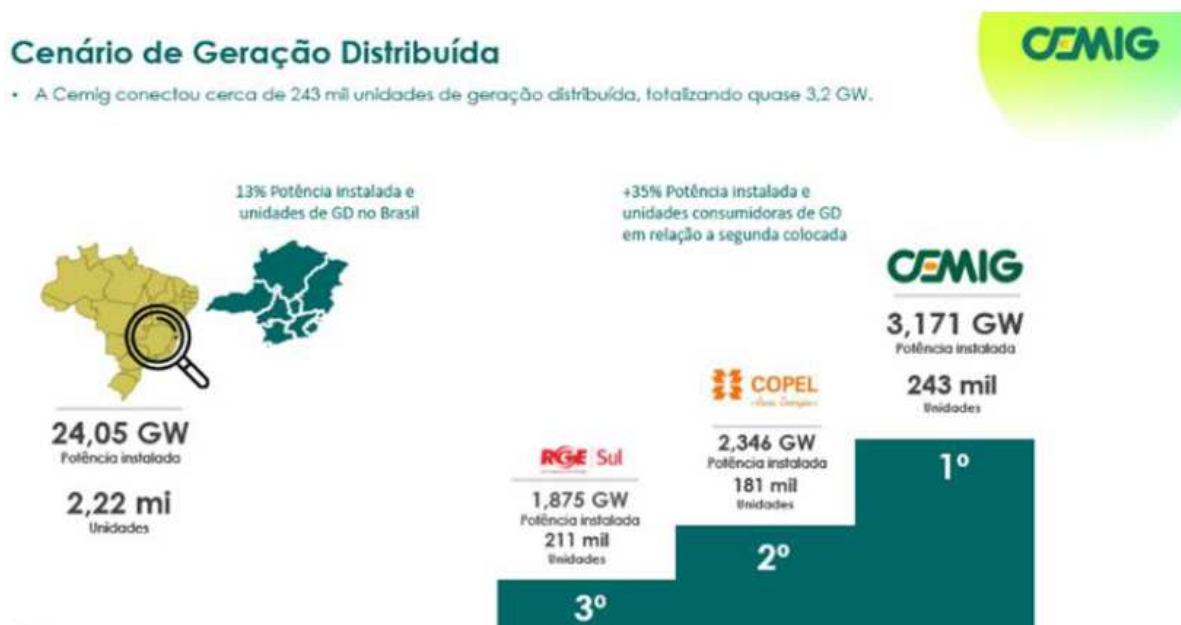
1.3 Vantagens competitivas

A CEMIG D vem aumentando substancialmente seus investimentos no sistema de distribuição. Somente no último ciclo tarifário foram realizados R\$ 7,2 bilhões em obras e melhorias por todo o Estado, contemplando, entre outros investimentos, como: construção de 64 subestações, 1800 km de linhas de alta tensão e mais de 118 mil obras de média e baixa tensão.

Estes investimentos estão contribuindo para o atendimento de novos empreendimentos industriais, comerciais, agronegócio e, também, para a ligação de novas unidades de geração distribuída.

Estes investimentos permitiram o maior volume de ligações de unidades de geração distribuída no país, tanto em número de instalações como em potência. São mais de 3.171 GW de potência instalada, com expectativa de se chegar a mais de 7.000 MW até 2025, considerando os contratos assinados e orçamentos de conexão válidos. Figura 4 ilustra o crescimento da geração distribuída no Brasil.

Figura 4 - Cenário da Geração Distribuída



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

1.4 Vantagem e Desvantagem da Energia Solar

Neves e Rocha define a vantagem da seguinte forma:

uma migração para energia solar e outras fontes limpas, além e promover uma maior eficiência energética, de causar uma redução no gasto de energia nos processos e trazer uma redução da emissão de poluentes que promovem o aquecimento da temperatura média do planeta viria acompanhada de considerável nível de desenvolvimento, de geração de empregos e de uma expressiva economia nos custos energéticos, com grande aumento de bem-estar geral e maior nível de preservação dos recursos naturais (Neves; Rocha, 2021, p.125).

Por fim, conforme Neves e Rocha (2021, p.125), cabe ao Brasil e demais países promovê-las, migrando cada vez mais para a geração de energia com base em fontes mais limpas. O resultado poderá definir uma drástica redução nas emissões de gases dominante de geração de energia no país.

O Brasil está entre os países com maior capacidade de utilização de recursos naturais, promovendo uma importante contribuição à mitigação dos problemas globais e contribuindo fortemente para a sustentabilidade do planeta.

A seguir na tabela 2, considerando as principais contribuições de vantagem e desvantagem da instalação de energia solar.

Tabela 2 - Vantagens e Desvantagens da energia solar

VANTAGEM	DESVANTAGEM
É renovável, limpa e sustentável	Custo elevado
É gratuita	Prejuízos ambientais
Ocupa pouco espaço	Armazenamento limitado
Não têm poluentes	Baixo rendimento
Baixa necessidade de manutenção	Dependência climática
Acessível em lugares remotos	
Economia de até 90% da conta de luz	

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para CanalSolar (2021), a utilização da energia solar apresenta muito mais vantagens. Estes benefícios são bastante impactantes, tanto em escala individual para o usuário, quanto em escala global, na diminuição de impactos ambientais.

1.5 Desafios da geração distribuída

Conforme ciclo definido no contrato de concessão assinado pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica e o poder concedente, acontece a chamada revisão tarifária que, na maioria das vezes, leva ao aumento da tarifa.

A revisão tarifária é um mecanismo previsto nos contratos de concessão para a atualização tarifária, basicamente, é a forma que as concessionárias encontram de preservar bom funcionamento do sistema elétrico, a qualidade do serviço e do ativo.

Na prática, são redefinidos e recalculados os custos operacionais condizentes ao porte da distribuidora em questão, bem como são reconhecidos e remunerados os investimentos realizados para atendimento ao mercado consumidor e à manutenção da segurança operativa de todo o sistema.

De acordo com o cálculo da base remuneratória, é definido o índice repassado para os consumidores através da tarifa de energia. Sendo esse um mecanismo que contribui para a modicidade tarifária.

Em resumo, quanto mais obras com encargos de responsabilidade da distribuidora, maior será a conversão destes investimentos em impactos tarifários à sociedade como um todo.

2 IMPACTOS

2.1 O que é inversão de fluxo no posto de transformação?

De acordo com a Marina Meyer (2023), ocorre quando a quantidade de energia elétrica injetada é maior do que a demanda dos consumidores conectados nessa mesma rede. Sendo assim, produzem mais energia elétrica do que está sendo consumida. Ou seja, o fluxo ocorre no sentido contrário ao convencional ultrapassando os limites de cargas. “Podendo ocasionar sobrecarga, desequilíbrio de tensão e interrupções no fornecimento de energia elétrica” (MARINA, 2023).

A análise do fluxo inverso leva em consideração o somatório das cargas existentes e negociadas na subestação, bem como, o somatório de geração distribuída conectada e negociada.

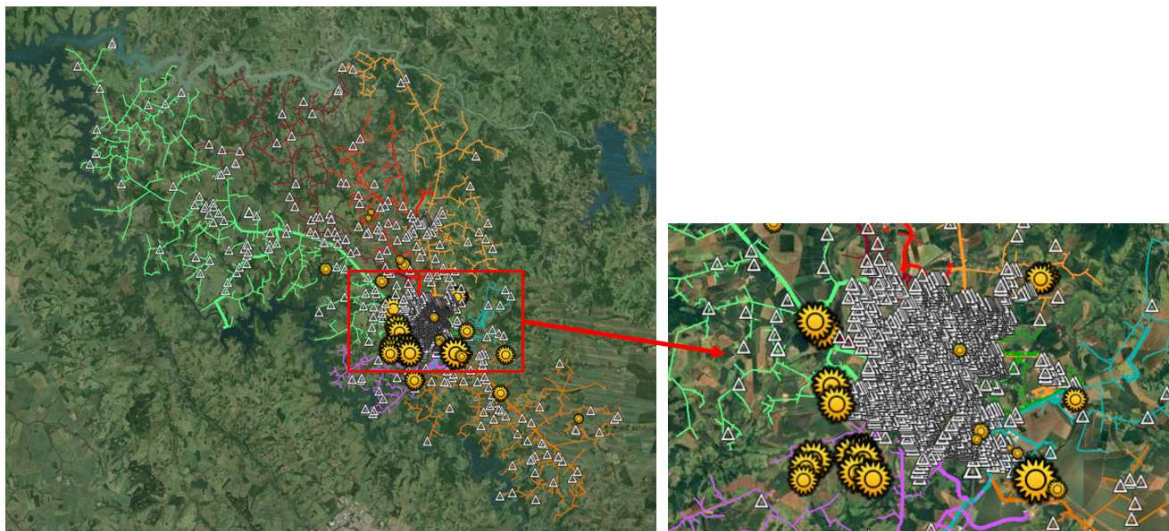
Para as cargas negociadas e válidas, o cálculo é realizado considerando o fator de coincidência/simultaneidade e o perfil de carga do local (residencial, comercial, industrial, etc.). Isto também é feito para as gerações negociadas e

válidas, cuja contribuição é calculada conforme a fonte de geração e perfil esperado do cliente.

Para melhor compreensão do motivo da inversão de fluxo, a figura 5 abaixo retrata a situação de geração distribuída na região A, onde o cliente solicitou junto à CEMIG a análise da conexão de uma usina de microgeração.

O local para qual foi solicitada a conexão da usina, trata-se de uma região com grande penetração de geração distribuída, com significativa quantidade de microgerações (até 75 kW, representadas por triângulos) e minigerações (acima de 75 kW, representadas por sóis).

Figura 5 - Micro e Mini GD na subestação da região A



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para a análise desta inversão de fluxo, foi realizada a projeção do cenário futuro, no qual se considera o impacto do valor total das cargas e gerações negociadas, mas ainda não conectadas na subestação.

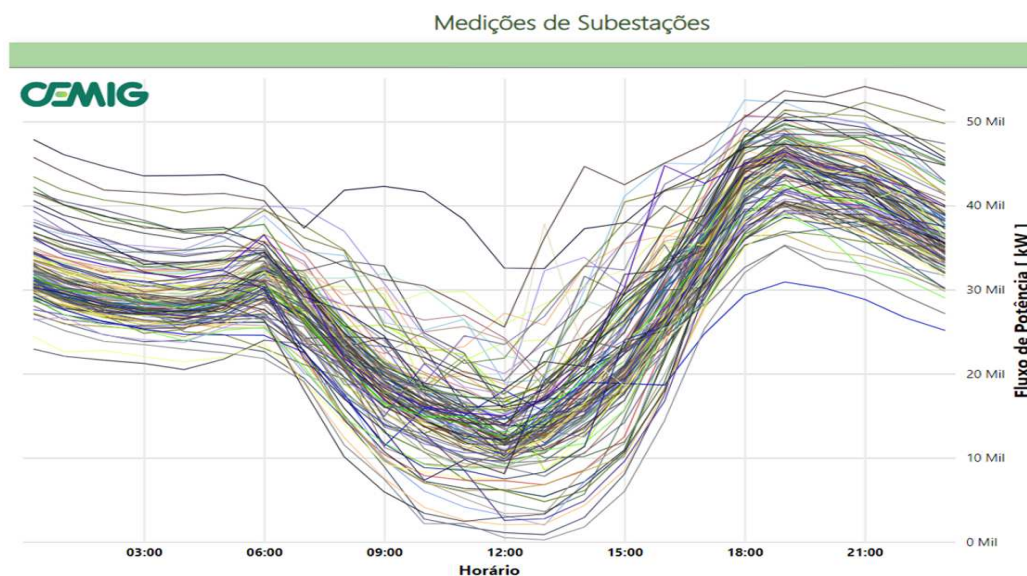
No contexto da solicitação do cliente em questão, devido à curva de carga projetada indicar a inversão de fluxo, seguindo a atualização normativa, a concessionária pode apresentar soluções alternativas viáveis para conter a inversão.

Para fazer essa projeção, a curva típica de carga leve da subestação é calculada e então projeta-se a curva típica dos clientes negociados, com base no perfil destes.

A fim de evitar distorções na obtenção das curvas típicas de carga leve, valores não usuais são descartados, de modo que a curva típica seja uma aproximação da parte gráfica que contém a maior parte das medições. Assim, ao incluir as curvas típicas de gerações e cargas negociadas, é possível obter uma estimativa da curva de carga futura, a qual é utilizada para tomar a decisão de como cada solicitação deve ser tratada.

As medições utilizadas na obtenção das típicas são mostradas no gráfico 1 abaixo, na forma de curvas diárias com granularidade de 1 hora por medição.

Gráfico 1 - Curva típica de carga leve da subestação



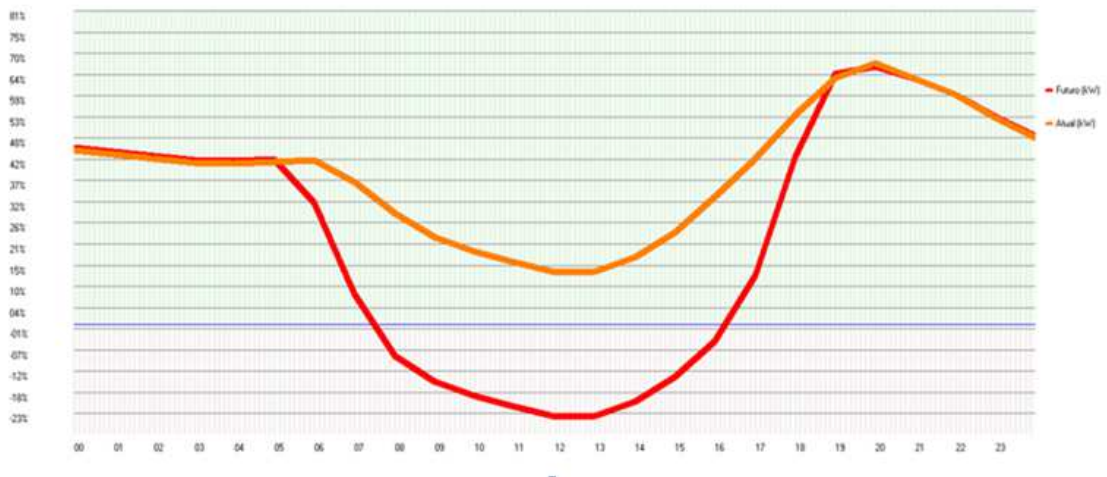
Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A projeção descrita anteriormente é mostrada nos gráficos 2 e 3 adiante, onde as curvas laranja é a curva típica atual e a vermelha é a curva típica projetada para o futuro.

Nota-se que a curva atual (em laranja) indica que o sistema já tem um perfil de carga leve razoavelmente baixa em fins de semana e nos dias úteis.

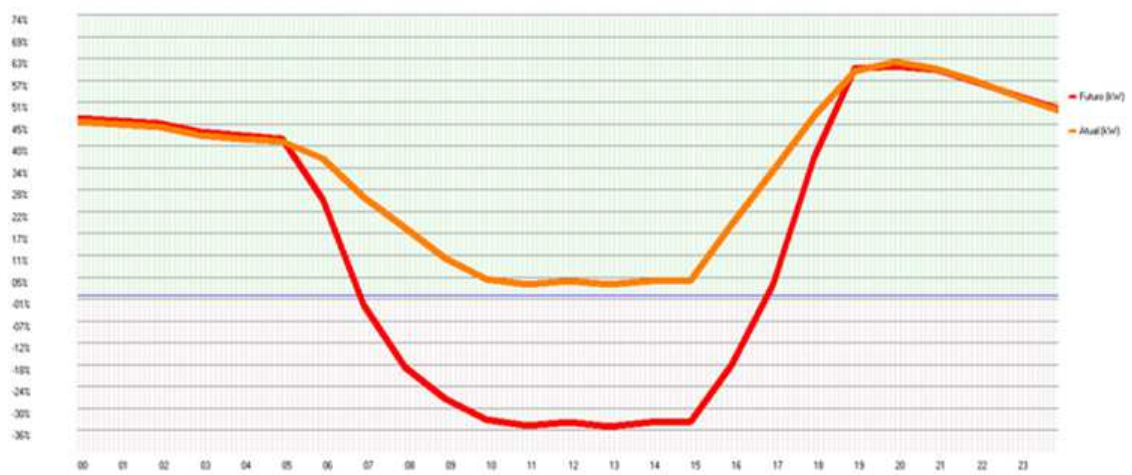
Já a curva futura (em vermelho), que considera o cenário projetado para quando os clientes negociados entrarem em operação indica uma forte inversão de fluxo de potência no posto de transformação da subestação. Tanto em dias úteis, gráfico 2, como aos fins de semana, gráfico 3.

Gráfico 2 - Curvas típicas da subestação para dias úteis



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Gráfico 3 - Curvas típicas da subestação para fins de semana



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Por existir inversão de fluxo no transformador da subestação, qualquer remanejamento de carga, reconfiguração de circuito ou troca de alimentador no local é inviável, pois não irá alterar a curva resultante da subestação.

Pode-se concluir, portanto, com base em todas as informações apresentadas, que a injeção em horário pré-definido compreendido entre 19:00h às 05:00h está em conformidade com as normas regulatórias vigentes, uma vez que não há possibilidade de escoamento de qualquer montante de geração na subestação.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve por objetivo geral, que na apresentação de orçamento de conexão nas situações de impactos em que se tem a inversão de fluxo. Espera-se contornar as limitações existentes em relação ao entendimento mais assertivo do orçamento com inversão de fluxo. Assim, evitando dúvidas nas interpretações e erros de procedimentos e trazendo clareza.

3.2 Objetivo específico

Para o estudo da distribuidora, analisar e detalhar as alternativas de conexão conforme o Art. 73 da Resolução Normativa nº 1.000/2021 da ANEEL, a fim de se apresentar a solução de mínimo custo global, incluindo a máxima capacidade de conexão.

O critério de mínimo custo global no orçamento é “caracterizado pela seleção, dentre as alternativas viáveis, da que tenha o menor somatório dos seguintes custos” (REN 1000/2021, p. 41).

“I - Instalações de conexão, transformação e redes de responsabilidade do consumidor e demais usuários;

II - Obras no sistema elétrico de distribuição e de transmissão;

III - Perdas elétricas no sistema elétrico;

IV - Incorporação de instalações de outros consumidores e demais usuários;
e

V - Remanejamento de instalações da distribuidora ou de terceiros”. (REN 1000/2021, p. 41).

4 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Sharenergy (2023), entender o atual cenário do sistema elétrico, a maior parte da geração de energia elétrica se concentrava em grandes usinas elétricas e algumas termelétricas em um sistema tradicional. Eram localizadas normalmente distantes dos centros de consumo.

Com incentivo às novas fontes de energia solar, eólica e a regulamentação da geração distribuída, o cenário tradicional começou a ser alterado gradativamente no sistema elétrico.

Além disso, conforme apresentado em (Sharenergy, 2023), algumas regiões com índice de radiação elevado, onde se concentram uma quantidade alta de usinas solares, em que é insuficiente para consumidor. Nesses casos surge a inversão de fluxo na rede de distribuição.

Contudo, devido às situações de inversão de fluxo, a ANEEL traz soluções para a geração distribuída com a REN n° 482/2012.

Em 2012, aconteceu no Brasil uma das ações mais importantes no setor solar, a ANEEL lançou a REN n° 482/2012, que permitiu o consumidor brasileiro poder gerar sua própria energia elétrica.

De acordo com Neosolar (2023), a energia solar desde 2012, gerou mais de R\$ 150 bilhões em novos investimentos e 918 mil empregos, sendo capaz de promover benefícios em diversas áreas.

Em 2015 e 2017, as regras aplicáveis foram alteradas com aprimoramentos pela ANEEL por meio das REN n° 687/2015 e 786/2017.

Inicialmente, nova atualização para 2019, ANEEL promoveu adequações por meio da REN n° 1059/2023. Por fim, no ano de 2021, a REN n° 1000/2021, consolida as principais regras para distribuição de energia elétrica e serviços públicos, portanto, é um dos regulamentos mais importantes da ANEEL.

4.1 Resolução ANEEL 1000/2021 Art. 73

Em 2021, a inversão de fluxo surge regulamentada por meio da norma REN n° 1000/2021 do Art. 73 da ANEEL, às distribuidoras, “a conexão injetada de microgeração ou minigeração distribuída implique inversão do fluxo, a distribuidora deve realizar estudos para identificar as opções viáveis que eliminem tal inversão” (REN 1000/2021, p.39).

Atualmente, para conexão da geração referente à solicitação do cliente, são analisadas as seguintes alternativas de conexão viáveis e não viáveis no posto de transformação, conforme o Art. 73 da REN n° 1000/2021.

I – Reconfiguração dos circuitos e remanejamento da carga;

II – Definição de outro circuito elétrico para a conexão da geração distribuída;

III – Conexão em nível de tensão superior;

IV – Redução da potência injetável de forma permanente;

V – Redução da potência injetável em dias e horários pré-estabelecidos ou de forma dinâmica”. (REN 1000/2021, p.39).

4.2 Sistema de armazenamento de energia por baterias

A implementação de sistema de armazenamento de energia tornou-se essencial e estratégica para sanar os problemas supracitados. Sendo assim, conforme o (Hu, 2017) o armazenamento de energia pode desempenhar algumas funcionalidades na rede de distribuição, sendo elas:

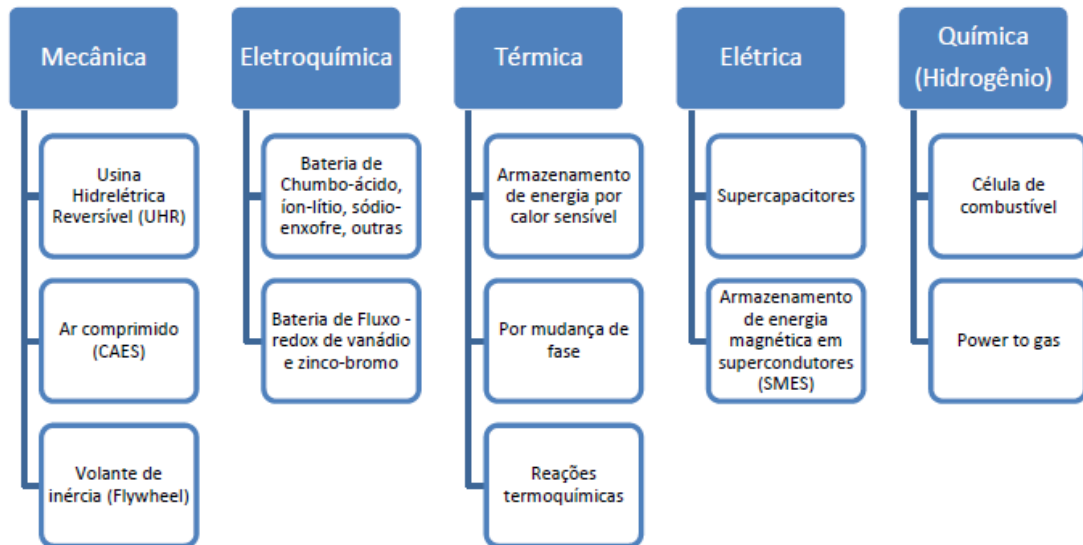
- Melhorar a qualidade de energia elétrica de reserva e garantia de segurança e estabilidade da rede;
- Nivelamento de carga, fornecimento de energia elétrica de reserva e garantia da segurança e estabilidade da rede;
- Suavizar as flutuações do sistema em baixas e altas frequências;
- Melhorar a segurança e confiabilidade do fornecimento de energia.

Os métodos de armazenamento de energia podem ser categorizados por vários critérios, como: tempo de resposta (rápida ou não), escala (pequena, média ou em larga escala) e também, com base na forma de energia armazenada.

Existem diversas alternativas tecnológicas para armazenar energia, cada uma delas com suas particularidades sendo (vantagens e desvantagens) e aplicações.

A figura 6 ilustra as principais tecnologias classificadas pela forma armazenar energia.

Figura 6 - Tecnologias para armazenamento de energia



Fonte: Adaptado de (MassCEC , 2016)

Para EPE (2019), o armazenamento por meio de baterias apresenta grande potencial e destaca-se como uma das principais tecnologias a ser utilizada nas matrizes elétricas futuras.

O armazenamento de energia eletroquímica na forma de baterias, caracterizado em (Hesse et al, 2017) como BESS (do inglês, Battery Energy Storage System) apresentam vantagens como tempo rápido de respostas, alta eficiência, baixa auto descarga e possibilidade de expansão do sistema devido a uma estrutura modular. É ressaltado também que tais características tornam esta tecnologia fortemente competitiva quando comparada a outras formas de armazenamento de energia.

Além disso, conforme (CEMIG & ANEEL, 2021) o BESS caracteriza-se como sendo uma grande promessa associada à redução nos custos das baterias. Em conjunto, esse sistema propicia uma série de aplicações que atendem muitas das necessidades futuras previstas no tempo atual. Em suma, tais aplicações variam desde equipamentos eletrônicos portáteis como celulares e notebooks até aplicações no setor de mobilidade elétrica que teve um aumento considerável nos últimos anos.

Canalsolar (2023) completa que a aplicação do BESS (Battery Energy Storage System), tem a capacidade auxiliar no controle de fluxo própria das concessionárias como também fazer serviços ancilares.

4.3 Serviços Ancilares

Para garantir que o sistema elétrico da geração ao consumo funcione de forma adequada, o serviço ancilar é necessário.

Foi revogada pela ANEEL a REN nº 1030/2022, à prestação e à remuneração de serviços ancilares por centrais geradoras de energia elétrica integrada ao Sistema Interligado Nacional – SIN e a adequações de instalações de centrais geradores motivadas por alteração na configuração do sistema elétrico ANEEL (2022).

De acordo com Megawhats (2022), os equipamentos elétricos e o sistema que nele estão inseridos, operam de acordo com aspectos técnicos pré-estabelecidos, como os limites de tensão e frequência. São utilizados os serviços ancilares, para que o sistema mantenha a segurança de fornecimento com rápidas variações.

Canalsolar (2023) complementa que ANEEL autorizou as usinas eólicas e solares, assim como todas as tecnologias de geração, a prestarem serviço ancilar de suporte de reativos utilizando para controle de tensão do sistema elétrico.

Por fim, segundo Canalsolar (2023), a inclusão das renováveis foi um dos aprimoramentos da REN nº 1030/2022, que contém as normas para a prestação e remuneração de serviços ancilares.

De acordo com a ANEEL (2022), a Celebração de Contrato de Prestação de Serviços Ancilares – CPSA com a ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico é condição indispensável à prestação e possibilidade de remuneração dos seguintes serviços ancilares.

I – Autorrestabelecimento integral;

II – Controle secundário de frequência;

III – Despacho complementar para a manutenção da reserva de potência operativa;

IV – Sistema especial de proteção;

V – Suporte de reativos, de que tratam as alíneas “b” e “c” do inciso XIII do art. REN ANEEL 1062/2023”. (REN 1030/2022,p.20).

5 METODOLOGIA

Neste tópico serão realizadas as caracterizações da empresa, a coleta e análises de dados e apresentadas metodologias para o processo.

5.1 Delimitação do Estudo

Quando falamos de inversão de fluxo no orçamento de conexão do cliente, a distribuidora apresentará o detalhamento das análises e critérios utilizados para obtenção da solução de conexão informada.

O foco é apresentar os impactos causados pela inversão de fluxo no posto de transformação e apresentar as condições de alternativas que eliminem a inversão de fluxo na rede de distribuição de energia elétrica e possibilite o atendimento à solicitação do cliente.

5.2 Orçamento de Conexão do cliente

O solicitante deve formalizar o pedido junto à distribuidora, apresentando a documentação exigida, inclusive o Formulário de Solicitação de Acesso para microgeração e minigeração distribuída, determinados em função da potência instalada da geração através do portal da CEMIG que está disponível em <https://www.cemig.com.br/mini-e-microgeracao-distribuida/>.

Após a aprovação da documentação apresentada, é enviado o orçamento de conexão informando a necessidade ou não de obras no sistema elétrico para viabilizar a conexão solicitada.

A distribuidora deve seguir com os prazos regulatórios para enviar o orçamento de conexão aos clientes, os quais são: microgeração: 15 dias (sem obras) / 30 (com obras) e minigeração: 45 dias de acordo com o Art. 64 da ANEEL REN nº 1.000/2021.

Para o acompanhamento dos prazos para os envios do orçamento de conexão, é realizada consulta ao sistema SAP por meio da transição ZSVC140, conforme a figura 7.

Figura 7 - Relatório de acompanhamento de Notas de serviço (NS)

Relatório de acompanhamento de Notas de serviço

✓ [] [] [] Cancelar Mais ▾

Parâmetros de seleção

Item	[]	[]	[]
Tipologia Indger	[]	[]	[]
Contexto regulatório	[] X	[]	[]
Número de NS (*)	[]	até []	[]
Número da OS - Ressarcimento	[]	até []	[]
Data de Corte	[]	até []	[]
Período de Apuração	[]	até []	[]
Situação do atendimento	0	até 0	[]
Tipo de NS	[]	[]	[]
Tipo de serviço	[]	[]	[]
Centro de trabalho	[]	[]	[]
Layout de saída	/ZSVC140_OP		

Mostrar saída ALV
 Simular valores a compensar
 Exibir somente a última etapa
 Atualizar situação do serviço
 Considerar estoque serv pend.
 Gerar arquivo no servidor?

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Após as análises, o orçamento de conexão com a inversão de fluxo no posto de transformação da distribuidora ou no disjuntor do alimentador, o estudo é realizado para identificar as soluções e sanar a inversão de fluxo na rede. Em seguida, será enviado ao solicitante conforme os termos do Art. 73 da REN nº 1.000/2021, com as alternativas viáveis para a seleção do consumidor.

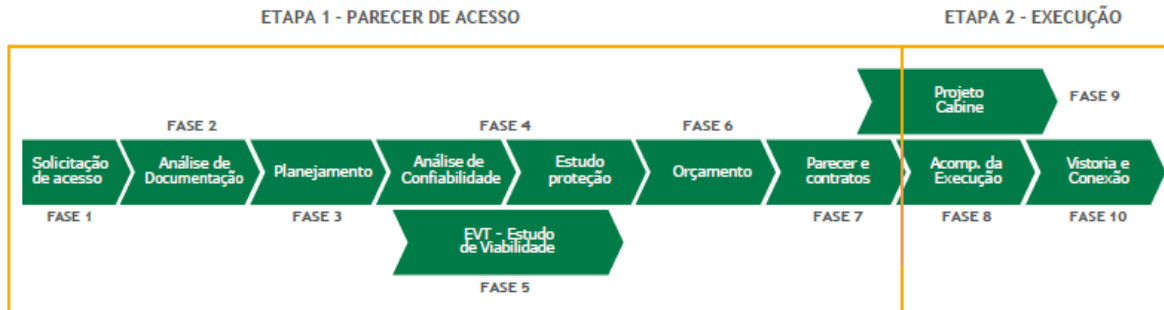
O cliente deve escolher uma das alternativas apresentadas, sendo uma das opções que podem incluir a definição de novos circuitos elétricos, reconfiguração de circuito, conexões em níveis de tensão ou a redução da potência injetada em dias e horários pré-definidos.

5.3 Fluxo do Processo

Conforme a figura 8 a seguir, descreve-se resumidamente o fluxo de atividades que deverão ser efetuadas para a Solicitação de Acesso ou Consulta de Acesso de minigeração.

A etapa 1 compreende desde a Solicitação de Acesso até a emissão do orçamento de conexão.

Figura 8 - Fluxo de atividades para Orçamento de Conexão



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para seguir o fluxo de atividades, elas são criadas individualmente na medida necessária para fluxo de trabalho por meio da transição do sistema SAP IW53.

Conforme a figura 9, a medida 0033 determina o orçamento de conexão com a inversão de fluxo. Após as medidas do código 0031 ao código 0704 serem concluídas, a etapa da elaboração do orçamento de conexão é iniciado por meio da medida 0081 (Com obras) ou a medida 0551 (Sem obras).

Figura 9 - Fluxo de Atividades - SAP IW53

Dados Solicitação		Dados Solicitante		Localização	Datas	Dados Instalação		Atividades
Nº	GrpCodi...	Có...	Texto code de medida	Texto das medidas	T...	Status	Status do u..	
<input type="checkbox"/>	1	ZEO-NTC	0031	Analisar Documentação ...		MEDA	CONC CTEC	
<input type="checkbox"/>	2	ZEO-NTC	0011	Analisar Estrut. Fundiária ...		MEDA	CONC CTEC	
<input type="checkbox"/>	3	ZEO-PLA	0806	Elaborar Estudos Planeja...		MEDA	CONC	
<input type="checkbox"/>	4	ZEO-OPE	0724	Análise Confiabilidade Op..GD Cláudio CCS		MEDA	CONC COBR	
<input type="checkbox"/>	5	ZEO-EAT	0801	Elaborar EVT - Conexão ...		MEDA	CONC CTEC	
<input type="checkbox"/>	6	ZEO-EAT	0802	Elaborar EVT - Conexão ...		MEDA	CANC	
<input type="checkbox"/>	7	ZEO-OPE	0704	Elaborar Coordenação Pr..GD Israel		MEDA	CONC COBR	
<input type="checkbox"/>	8	ZEO-EXP	0081	Elaborar Orçamento de C..		MEDA	CONC	
<input type="checkbox"/>	9	ZEO-RLC	0581	Apres. Parecer Acesso M..		MEDA	CONC	
<input type="checkbox"/>	10	ZEO-RLC	0571	Apres. Parecer Acesso M..		MEDA	CONC	
<input type="checkbox"/>	11	ZEO-NTC	0033	RP - Analisar Minigeração..		MEDA	ABER	

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para as demandas semanais, conforme a figura 10, relatórios são gerados por meio do sistema Business Intelligence (BI), filtrando pela medida código 0031 já concluídas.

Figura 10 - Relatórios por meio do BI

REGIONAL NOVA:	EM/LE/EM/MP/EM/MQ/EM/NT/EM/	REGIONAL ANTIGA:	OE/NT/MQ/TA/LE/SU/CN
POLO:	PSO/ULA/FRU/BHE/AMN/TCS/VGAC/	SITUAÇÃO:	EM ATRASO/VENCE HOJE/VENCE ?
DATA TREAL INICIAL:	<input type="checkbox"/> NULO	DATA TREAL FINAL:	<input checked="" type="checkbox"/> NULO
MERCADO:	URBANO/RURAL/INDEFINIDO	NS (1 por linha):	TODAS
FASE OBRA:	00 - Nota Cancelada 01 - Em Estu	MEDIDAS:	0011.0030.0031.0032.0033.0040.01

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

5.4 Caracterização da Empresa

A companhia Energética de Minas Gerais, conhecida como CEMIG, é uma empresa estatal brasileira que atua no setor de energia elétrica.

Fundada em 1952, a CEMIG é uma das maiores empresas do setor elétrico do Brasil e desempenha um papel fundamental no fornecimento de energia para o estado de Minas Gerais e outras regiões do país.

A CEMIG possui uma estrutura diversificada de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Isso significa que ela está envolvida em todas as etapas do processo de fornecimento de energia, desde a geração até a entrega ao consumidor final.

Ela é responsável pela operação de diversas usinas de geração de energia elétrica, incluindo usinas hidrelétricas, termoelétricas e parques eólicos.

A CEMIG está localizada em Belo Horizonte, possuindo outras unidades em diversas cidades do estado de Minas Gerais.

A unidade em questão está localizada no bairro Camargos em Belo Horizonte, Minas Gerais (<https://www.cemig.com.br/>).

Os ativos da CEMIG são gerenciados pelo sistema SAP, conforme a figura 11, contendo todo o histórico dos clientes.

Figura 11 - Acesso ao SAP por meio da consulta Sistema de Gestão de Clientes (CCS)



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

5.5 Geração Distribuída e consumo

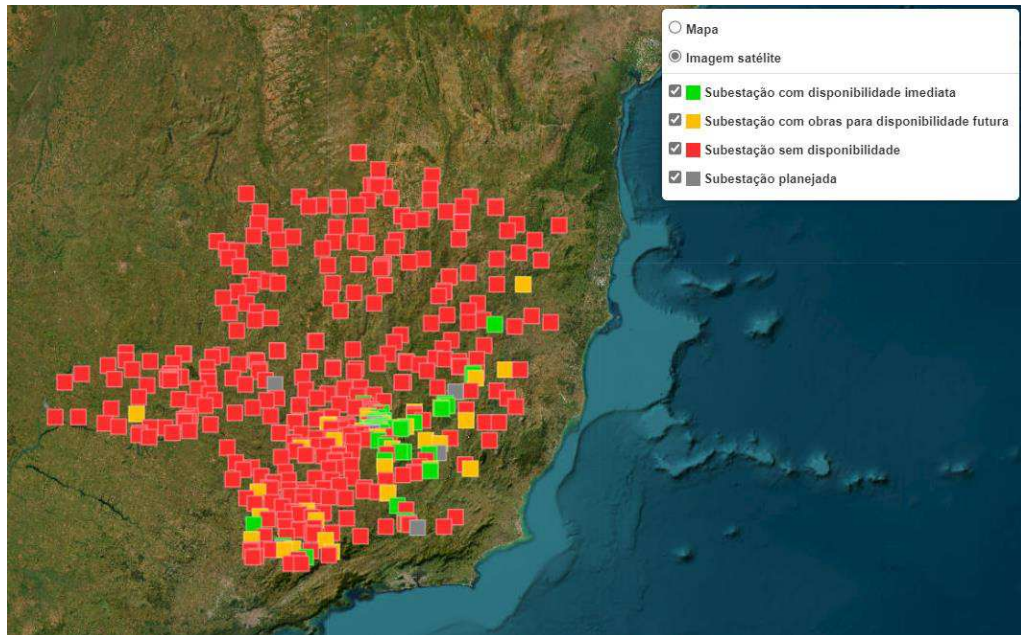
A carga se comporta no sistema elétrico como um elemento passivo que consome energia, enquanto, a geração se comporta como um elemento ativo fornecendo energia.

Diante disso, o impacto de uma carga no sistema elétrico é diferente de uma geração e, conseqüentemente, a proposição da solução de conexão poderá ser distinta, já que os efeitos a serem mitigados serão diferentes.

Para CEMIG D (2024), é importante destacar que o comportamento de uma usina fotovoltaica depende da incidência solar para a geração de energia.

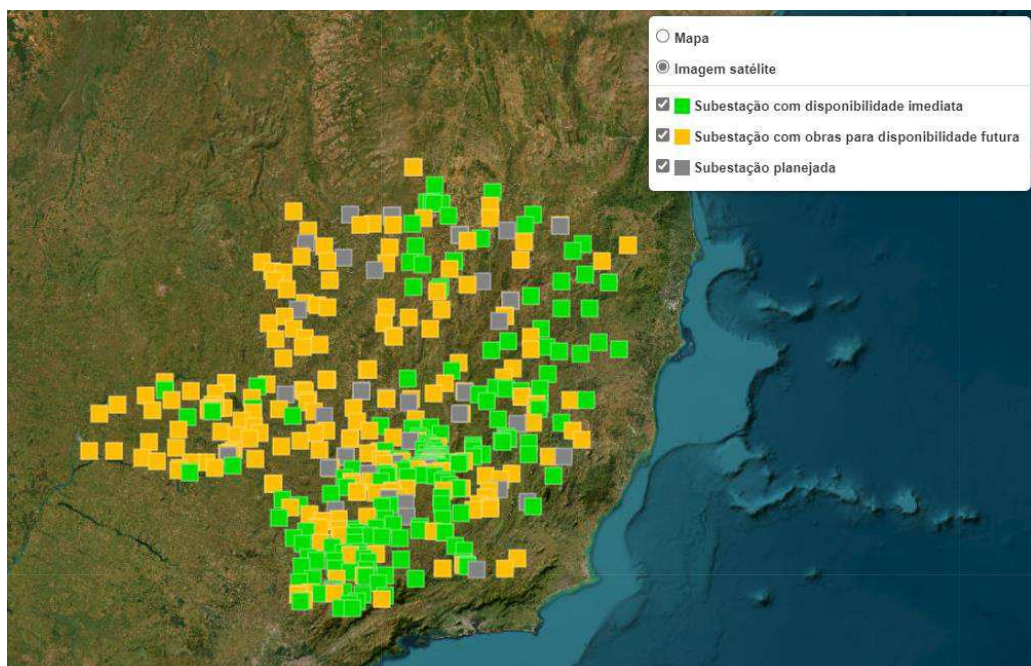
Diante destas considerações, pode ser consultada no site da CEMIG D, a disponibilidade do sistema para a conexão de novas plantas de geração distribuída ou para novas unidades consumidoras de carga, conforme figuras 12 e 13.

Figura 12 - Mapa de Disponibilidade Geração Distribuída



Fonte: Portal CEMIG (<https://geo.cemig.com.br/mca/Home/IndexData?tipoAcesso=1>)

Figura 13 - Mapa de Disponibilidade de Carga



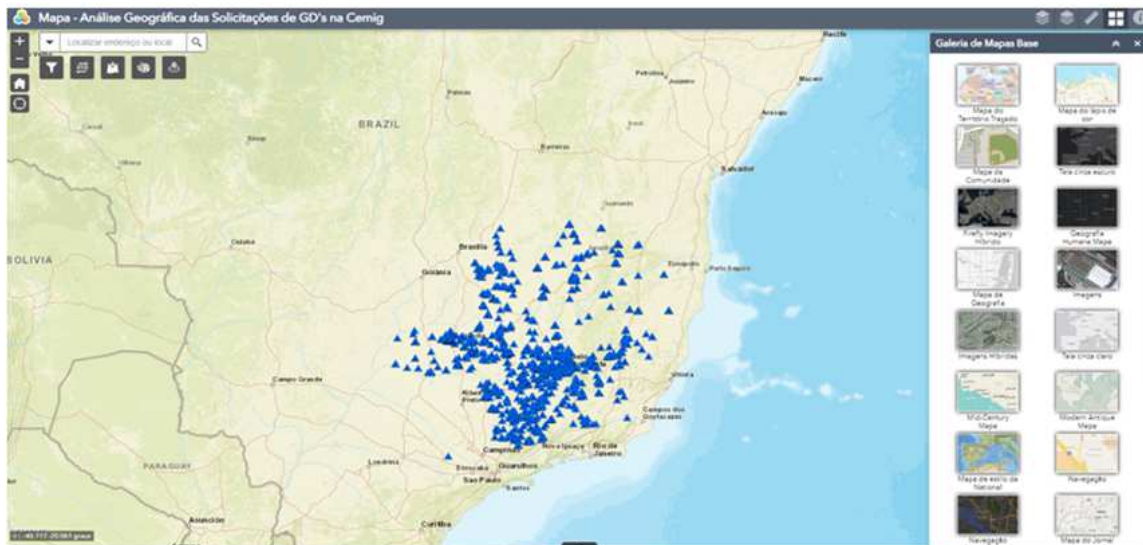
Fonte: Portal CEMIG (<https://geo.cemig.com.br/mca/Home/IndexData?tipoAcesso=1>)

Pela diferença de disponibilidade das subestações apresentada nos mapas acima, é possível verificar que o sistema apresenta disponibilidade para a acomodação de novas cargas (novos consumidores), enquanto, para a geração (injetar energia GD) há restrição em alguns pontos do sistema.

A ferramenta tem o objetivo de aprimorar o acompanhamento das conexões, identificar a situação de cada ponto de conexão e reduzir os prazos de execução de obras.

O mapa geográfico que é representado na figura 14 é fundamental durante as análises, trazendo no processo agilidade e transparência nos estudos.

Figura 14 - Mapa - Análise Geográfica das solicitações de GD's na CEMIG



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

6 RESULTADOS

A CEMIG D realiza as conexões de novas microgeração ou minigeração observando os dispositivos que regulamentam o setor elétrico, com destaques para os requisitos normativos definidos da ANEEL.

A inversão de fluxo é uma condição de operação que não pode impactar uma conexão, desde que os indicadores de qualidade da rede se mantêm dentro dos limites estabelecidos, verificados através do fluxo da potência.

A inversão de fluxo pode afetar de modo considerável o sistema elétrico, causando variações significativas no nível de tensão, comprometimento na segurança da rede, sobreaquecimento de equipamentos e, em casos mais graves, problemas na rede básica que afetam todo o Sistema Interligado Nacional (SIN). Trata-se de um conjunto de problemas que não pode ser resolvido com simples obras na rede, uma vez que não há carga local para consumir o excedente de energia.

De acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS (2023), em 15 de agosto de 2023, houve uma ocorrência no sistema que provocou a separação elétrica das regiões Norte e Nordeste das regiões Sul e Sudeste, onde identificaram falhas no desempenho de equipamentos em usinas eólicas e solares, o que resultou o blecaute, causando a interrupção de parte do fornecimento de energia no (SIN), com o desligamento de uma linha de transmissão no Ceará, que ocorreu o apagão em 25 estados e o Distrito Federal, conforme apresentado na figura 15.

Figura 15 - O momento do apagão



Fonte: ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico (2023)

Conforme o ONS (2023), devido a crescente importância da GD no país, está aprimorando seus processos sobre os impactos nos transformadores da Rede Básica de Fronteira (RBF) nas regiões Norte e do Triângulo do Estado de Minas Gerais, que são as regiões mais afetadas com o impacto da inversão de fluxo.

Para os orçamentos de conexão com a inversão de fluxo das regiões do Norte e Triângulo com a sobrecarga nos transformadores das subestações, são inseridas as notas técnicas emitidas pelo ONS, dentre as alternativas tecnicamente inviáveis, devido à sobrecarga e fluxo inverso, conforme figura a 16.

Figura 16 - Informações do estudo de planejamento

Alternativa 2 - definição de outro circuito elétrico para conexão da geração distribuída

Tecnicamente inviável no período das 05h às 19h não é possível a definição de outro circuito elétrico **da SE** - Circuito próximo ao local indicado na solicitação de acesso, em razão de:

- Sobrecarga nos transformadores das **SEs** da transmissão, conforme nota técnica emitida pelo ONS*.
- Sobrecarga no SDAT
- Fluxo inverso no posto de transformação da **SE**, dentro deste período, conforme demonstrado na curva das Figuras 1 e 2.

*A nota técnica (NT-ONS DPL 0067-2023) emitida pelo ONS pode ser lida [clikando aqui](#).

Tecnicamente inviável no período das 05h às 19h não é possível a definição de outro circuito elétrico na **SE** - Circuito próximo ao local indicado na solicitação de acesso, em razão de:

- Sobrecarga nos transformadores das **SEs** da transmissão, conforme nota técnica emitida pelo ONS*.
- Esgotamento da capacidade de transformação da **SE**;
- Fluxo inverso no posto de transformação da **SE**, dentro deste período, conforme demonstrado na curva das Figuras 3 e 4.

*A nota técnica (NT-ONS DPL 0067-2023) emitida pelo ONS pode ser lida [clikando aqui](#).

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Nos últimos anos, de acordo com o ONS (2023), observa-se um crescimento acentuado de inúmeros pedidos de solicitações de Informação de Acesso e/ou de Solicitação de Acesso para Usinas Fotovoltaicas, de modo que o montante de geração previsto pode alcançar a valores da ordem de 20 GW até o fim de 2026.

Além disso, conforme apresentado pelo ONS (2023), em 2018 a empresa EPE recomendou a implantação de reforços na região do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba visando propiciar margem para a instalação de novos empreendimentos de geração de energia e maior confiabilidade ao atendimento elétrico e também realizou estudos para expansão da rede elétrica nas regiões Norte e Noroeste de Minas Gerais.

A carga utilizada nas avaliações do diagnóstico da Rede Básica foi fornecida pela CEMIG D de acordo com a sua projeção de carga global no período de verão e de inverno, para o horizonte do Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo do SIN (PAR/PEL).

Na tabela 3, conforme informado pela CEMIG D, são apresentadas as previsões de crescimento da carga global em Minas Gerais com relação ao ano de 2023.

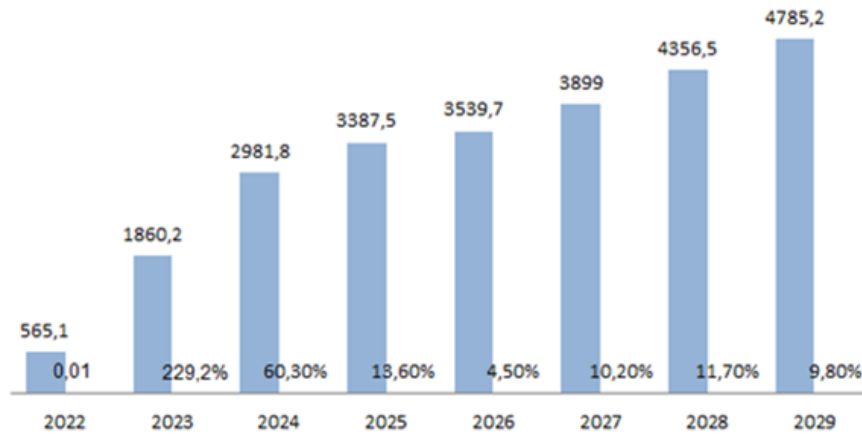
Tabela 3 - Crescimento previsto para a carga global no horizonte do PAR/PEL 2023

ANO	INVERNO		VERÃO	
	Valor (MW)	Variação (%)	Valor (MW)	Variação (%)
2023	7.855,40 MW	-	7446,0 MW	-
2024	8.020,30 MW	2,16%	7599,6 MW	2,06%
2025	8.176,70 MW	1,96%	7747,8 MW	1,95%
2026	8.336,20 MW	1,95%	7898,9 MW	1,95%
2027	8.493,35 MW	1,95%	8052,9 MW	1,95%
2028	8.664,50 MW	1,95%	8210,0 MW	1,95%
2029	8.833,40 MW	1,92%	8373,1 MW	1,99%

Fonte: ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico (2023)

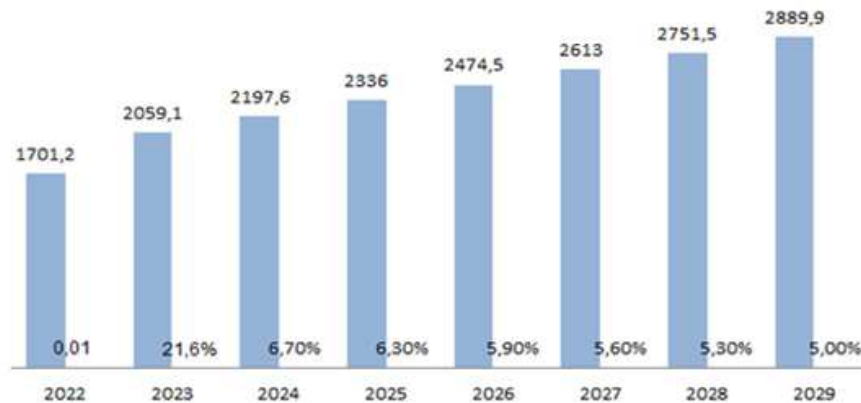
No fim do ano de 2019 e início de 2020, a influência da minigeração e microgeração no sistema da CEMIG D começou a crescer significativamente, conforme detalhado nos gráficos 4 e 5.

Gráfico 4 - Projeção de crescimento em (MW) da Mini GD



Fonte: ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico (2023)

Gráfico 5 - Projeção de crescimento em (MW) da Micro GD



Fonte: ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico (2023)

Foi estimado pela área de mercado da distribuidora o crescimento da microgeração distribuída, enquanto o da minigeração distribuída foi estimado a partir dos orçamentos de conexão válidos.

Para conter estes problemas, a ANEEL estabeleceu através da REN nº 1.000/2021 que a inversão de fluxo no posto de transformação, isto é, nas subestações, alimentadores e transformadores que atendem aos consumidores, deve ser eliminada para que possa haver a conexão de novas gerações distribuídas, conforme a figura 17.

Essa norma adequa a situação da geração distribuída no Brasil ao que já é previsto no Art. 7º do Decreto nº 2.665/1998, que trata da utilização racional dos sistemas e minimização de custos de ampliação.

Figura 17 - Inversão de fluxo no orçamento de conexão do cliente

A Cemig D identificou inversão de fluxo de potência no posto de transformação da distribuidora ou no disjuntor do alimentador necessário para o atendimento de conexão nova ou de aumento de potência injetada de sua microgeração.

Dentre as opções apresentadas no § 1º do art. 73 da REN 1.000/2021, a única viável e de menor custo global é a injeção em horário pré-estabelecido. Portanto, a injeção de potência de sua microgeração no sistema elétrico deverá ser restrita ao horário das 19:00h às 05:00h (em todos os dias).

Em anexo estão descritas as demais alternativas de conexão avaliadas.

Caso a Cemig D verifique injeção de potência em horário distinto do especificado, a distribuidora poderá suspender imediatamente o fornecimento de energia elétrica em sua unidade consumidora, conforme o art. 353 da REN nº 1.000/2021.

Caso deseje continuar com o processo de conexão, deverá ser enviado para aprovação da Cemig D, antes da solicitação de vistoria do padrão de entrada e dos equipamentos informados no Formulário de Solicitação de Acesso, um novo diagrama unifilar básico (DUB) que apresente solução técnica adequada garantindo a injeção de potência apenas no horário especificado das 19:00h às 05:00h. Somente após aprovação desse novo DUB pela distribuidora será dado prosseguimento à conexão da microgeração.

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para a simulação apresentada, por existir uma significativa quantidade de microgeração e minigeração na região, em cumprimento ao disposto no Art. 73 da REN 1000/2021, foi necessário indicar a solução com injeção em horário pré-estabelecido restrita das 19:00h às 05:00h (durante todos os dias).

No sistema de distribuição que vão além de conter o fluxo inverso, o armazenamento de energia por baterias, podem trazer benefícios no sistema.

O uso de baterias possibilita o armazenamento de energia elétrica em períodos de baixa demanda, além de conter o fluxo inverso.

No Brasil, o relatório apresentado pelo CELA (Clean Energy Latin America), até o ano de 2040, pode atingir 12,9% de crescimento ao ano do uso de baterias para armazenamento de energia.

Existem dois tipos de sistemas fotovoltaica que podem ser utilizadas através da bateria para energia solar, Híbrido, Off Grid e On Grid.

- Sistema Híbrido: armazena energia elétrica obtida através do sistema fotovoltaico em baterias que são configuradas mantendo a unidade consumidora conectada a rede elétrica, com possibilidade de utilização da energia armazenada sob demanda ou para injeção na rede em horários controlados.
- Sistema Off Grid: o cliente não é conectado à rede elétrica, porém gera energia através de painéis solares e armazena em baterias para o uso sob demanda.
- Sistema On Grid: tem a função de converter a energia solar em eletricidade, transferindo o excesso de energia gerada para a distribuidora.

7 CONCLUSÕES

Em se tratando de sistemas de distribuição e o crescimento expressivo das instalações de geração distribuída, tem-se que os impactos e desafios da geração distribuída nas redes de distribuição de energia, se tornam cada vez mais relevantes.

Nessa monografia, foi apresentado o cenário brasileiro de distribuição de energia solar, os impactos de inversão de fluxo no sistema de distribuição e os aspectos regulatórios.

O uso da energia solar apesar de ser uma fonte de energia sustentável e renovável, pode impactar o equilíbrio da rede de distribuição de energia provocando, por exemplo, sobretensão na rede elétrica. Com isso, associados aos desafios inerentes ao montante de geração distribuída já conectada nos tempos hodiernos, pode-se afirmar que as distribuidoras de energia elétrica tiveram que se adequar a esse novo cenário do sistema elétrico através de melhorias no quesito de equipamentos na rede de distribuição com tecnologias atuais.

É crucial moderar a expansão do setor acelerada, evitando interferências nas operações e priorizado a qualidade do crescimento.

Sendo assim, com o aumento da geração distribuída, as concessionárias teve que programar mudanças e atualizações nos últimos anos, para atender a essa crescente demanda de energia solar.

Outro aspecto abordado nessa monografia foi à questão chamado fluxo inverso. Desde que foi publicado na REN nº 1059/2023, o fluxo inverso tem causado diversos questionamentos e reclamações, em função de permitir que as distribuidoras indiquem soluções alternativas de conexão como, por exemplo, a redução da potência a ser injetada na rede em dias e horários pré-estabelecidos. Mas, tais soluções que as distribuidoras usam conforme as regulações, não estão sendo aceitas pelo mercado como um todo em razão da dificuldade do ponto de vista técnico e comercial para se adequar as exigências impostas no orçamento de conexão enviado pelas distribuidoras.

Para casos de orçamento de conexão do cliente com a inversão de fluxo, é importante e fundamental que as concessionárias de energia elétrica disponibilizem um estudo de planejamento do sistema elétrico de potência mais assertivo e detalhado.

Apesar das análises técnicas serem específicas e complexas, deverão conter todas as informações necessárias para que o estudo seja reproduzível e transparente. Dessa forma, o cliente tem maior clareza que fundamentam as decisões e procedimentos a serem adotados. Pois, tecnicamente a inversão de fluxo não deve ser utilizada como critério de reprovação.

Portanto, a identificação clara das normas correlatadas dentro do orçamento de conexão do cliente, facilita o entendimento da disposição normativa de forma simplificada, seguindo o Art. 73 da REN ANEEL nº 1000/2021.

Entende-se que a proposta da CEMIG, concessionária utilizada para a exemplificação nessa monografia, é buscar transparência para o tratamento da inversão de fluxo com base nos aspectos regulatórios da ANEEL e, conseqüentemente, trazer mais segurança para os consumidores que fazem uso da sua rede de distribuidores, seja para consumir e/ou injetar na rede.

Como proposta de melhoria para esse trabalho, pode ser citada a utilização do Grid zero e suas aplicações.

O Grid zero é considerado uma inovação no setor renovável.

É um sistema que usa um inversor inteligente, com a capacidade de controlar a geração. Uma estratégia de controle de exportação de energia para rede elétrica.

A distribuidora CEMIG D, como por exemplo, conceitua o Grid zero em suas normas como sistema com “Operação em paralelismo permanente” sem injeção de energia na rede de distribuição.

E, por fim, com o avanço da tecnologia e a crescente necessidade de fontes de energia renováveis, o Grid zero oferece uma série de benefícios, tratam-se de uma opção totalmente livre de impostos, encargos, taxas e tarifas e contribui para a sustentabilidade e eficiência energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VILLALVA, Marcelo Gradella. (2012). **Energia e Eletricidade**, 1983. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/Energia_Solar_Fotovoltaica_Conceitos_e_a/M4diDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=0. Acesso em: 10 de mar. de 2024.

SILVA, Wanderson Carvalho. (2022). **A Geração de Energia Solar como fator de desenvolvimento econômico**, 2022. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/Energia_Solar_Fotovoltaica_Conceitos_e_a/M4diDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=0. Acesso em: 10 de mar. de 2024.

EPE. (2024). **Consumo Mensal de Energia Elétrica por classe (regiões e subsistemas)**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 10 de mar. de 2024.

CEMIG & ANEEL. (2021). Arranjos técnicos e Comerciais para inserção de sistemas de armazenamento de energia em combinação com sistemas de geração distribuída nas redes de distribuição brasileiras.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. (2023). **Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/secretaria-nacional-energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/2023>. Acesso em: 10 de mar. de 2024.

FALCÃO, Marina Meyer. (2023). **Inversão de fluxo na rede de distribuição de energia elétrica**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/inversao-de-fluxo-na-rede-de-distribuicao-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 16 de mar. de 2024.

RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL. (2021). **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>. Acesso em: 16 de mar. de 2024.

CANALSOLAR. (2023). **Como amenizar o problema da inversão de fluxo em sistemas fotovoltaicos**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/como-amenizar-o-problema-da-inversao-de-fluxo-em-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 16 de mar. de 2024.

MEGAWHAT. (2022). **Serviços Ancilares**. Disponível em: <https://www.megawhat.energy/verbetes/69724/servicos-ancilares>. Acesso em: 09 de abr. de 2024.

ANEEL. (2022). **Agência nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20221030.pdf>. Acesso em: 15 de abr. de 2024.

ANEEL. (2012). **Agência nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 15 de abr. de 2024.

CANALSOLAR. (2023). **ANEEL autoriza eólicas e solares a prestarem serviço ancilar de suporte de reativos**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/aneel-autoriza-eolicas-e-solares-a-prestarem-servico-ancilar-de-suporte-de-reativos/>. Acesso em: 15 de abr. de 2024.

CANALSOLAR. (2021). **Energia Solar: vantagens e desvantagens**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/energia-solar-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 15 de abr. de 2024.

NEVES, Filipe Gabriel Gama Rocha; ROCHA, Carlos Frederico Duarte. (2021). **A evolução da energia solar na matriz elétrica brasileira: perspectivas de implementação e impacto positivo na sustentabilidade**. Curitiba: Editora Appris, 2021. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/_/VNNotEAAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1. Acesso em: 15 de abr. de 2024.

SOLARVOL. **Como os painéis solares são instalados em cada tipo de cobertura**. (2024). Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/como-instalar-painel-solar/>. Acesso em: 30 de mar. de 2024.

CEMIG. **Mapa de Disponibilidade de Geração Distribuída**. (2024). Disponível em: <https://geo.cemig.com.br/mca/Home/IndexData?tipoAcesso=1>. Acesso em: 30 de mar. 2024.

HU, C.Z.(2017). **Technological developments in batteries: A survey of principal roles, types, and management needs**. IEEE Power and Energy Magazine.

EPE. (2019). **Sistema de armazenamento em baterias – aplicações e questões relevantes para planejamento**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nt-sistemas-de-armazenamento-em-baterias-aplicacoes-e-questoes-relevantes-para-o-planejamento>. Acesso em: 19 de abr. de 2024.

MassCEC, M. C., & DOER, M. D. (2016). **State of Charge**. Massachusetts Energy Storage Initiative Study. Disponível em: <https://www.mass.gov/service-details/energy-storage-study>. Acesso em: 19 de abr. de 2024.

NEOSOLAR. (2023). **Incentivos à Energia Solar**. Disponível em: [https://www.neosolar.com.br/blog/incentivo-energia-solar-brasil#:~:text=Governo%20federal&text=Mais%20recentemente%2C%20em%20mar%C3%A7o%20de,Ind%C3%BAstria%20de%20Semicondutores%20\(Padis\)](https://www.neosolar.com.br/blog/incentivo-energia-solar-brasil#:~:text=Governo%20federal&text=Mais%20recentemente%2C%20em%20mar%C3%A7o%20de,Ind%C3%BAstria%20de%20Semicondutores%20(Padis)). Acesso em: 24 de abr. de 2024.

SHAREENERGY. (2023). **Impactos reais da inversão de fluxo de potência para geração distribuída**. Disponível em: <https://www.shareenergy.com.br/impactos-reais-da-inversao-do-fluxo-de-potencia-para-geracao-distribuida/>. Acesso em: 07 de maio de 2024.

EUROSTAT. (2021). **Renewable energy statistics-statistics explained**. [S.l.], 2021. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_more_than_doubled_between_2004_and_2019. Acesso em: 13 de jun. de 2024.

RIBEIRO, Thiago Báó. (2022). **O processo de produção de energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <https://baoribeiro.com.br/blog/sistema-de-energia-on-grid-como-funciona/>. Acesso em: 13 de jun. de 2024.

LUZ SOLAR. (2021). **Como funciona o sistema fotovoltaico**. Disponível em: <https://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 13 de jun. de 2024.

ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson Negrão; GALHARDO, Marcos André Barros; OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira. (2012). **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Editora oficina de Textos, 2012. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/Sistemas_fotovoltaicos_conectados_%C3%A0_red/fbgWDAAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1. Acesso em: 14 de jun. de 2024.

ONS. (2024). **ONS Lança nota técnica de carregamento nos transformadores da rede básica de fronteira (RBF) nas regiões Norte e Triângulo de Minas Gerais**. Disponível em: https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20230725_ONS_lanca_Nota_Tecnica_de_carregamento_nos_transformadores_da_Rede_Basica_de_Fronteira_RBF_nas_regioes_Norte_e_Tri.aspx. Acesso em: 15 de jun. de 2024.

ONS. (2024). **ONS Publica nova versão do relatório de análise de perturbação (RAP) sobre a ocorrência de 15 de agosto**. Disponível em: https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20231009_ONS_publica_nova_versao_do_Relatorio_de_Analise_de_Perturbacao_RAP_sobre_a_ocorrencia_de_15_de_agosto.aspx. Acesso em: 15 de jun. de 2024.