



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LARISSA BARBOZA MELO

**ANÁLISE DOS IMPACTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS PROVENIENTES DA
EXPANSÃO DA MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO: UM
ESTUDO DE CASO NA DISTRIBUIDORA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DE MATO
GROSSO**

CUIABÁ – MT
JUNHO, 2023

LARISSA BARBOZA MELO

**ANÁLISE DOS IMPACTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS PROVENIENTES DA
EXPANSÃO DA MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO: UM
ESTUDO DE CASO NA DISTRIBUIDORA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DE MATO
GROSSO**

Trabalho Final de Curso apresentado ao
Departamento de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Mato Grosso, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador:
Dr. Dorival Goncalves Junior

CUIABÁ – MT
JUNHO, 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

M528a Melo, Larissa Barboza.

Análise dos impactos técnicos e econômicos provenientes da expansão da minigeração distribuída em redes de distribuição: um estudo de caso na distribuidora de eletricidade do estado de Mato Grosso [recurso eletrônico] / Larissa Barboza Melo. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 21 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientador: Dorival Gonçalves Junior.

TCC (graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2023.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Geração Distribuída, Minigeração, Sistema de distribuição Fluxo de Potência. I. Gonçalves Junior, Dorival, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**DESPACHO**

Processo nº 23108.037985/2023-21

Interessado: LARISSA BARBOZA MELO

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO DO TRABALHO: “ANÁLISE DOS IMPACTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS PROVENIENTES DA EXPANSÃO DA MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO: UM ESTUDO DE CASO NA DISTRIBUIDORA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO”

ALUNA: Larissa Barboza Melo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para a obtenção de grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 2 de junho de 2023.

Nota: 10,00

BANCA EXAMINADORA:**Prof. Dorival Gonçalves Junior - Orientador****Prof. Jorge Luiz Brito de Faria****Eng^a Eletricista Rafaela Maria de Francesco Fernandez Campos**

Documento assinado eletronicamente por **JORGE LUIZ BRITO DE FARIA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 02/06/2023, às 16:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **RAFAELA MARIA DE FRANCESCO FERNANDEZ DE CAMPOS, Usuário Externo**, em 02/06/2023, às 16:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **DORIVAL GONCALVES JUNIOR, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 02/06/2023, às 16:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](#), informando o código verificador **5817227** e o código CRC **A16293C9**.

Referência: Processo nº 23108.037985/2023-21

SEI nº 5817227

RESUMO

MELO, L.B. **Análise dos impactos técnicos e econômicos provenientes da expansão da minigeração distribuída em redes de distribuição: um estudo de caso na distribuidora de eletricidade do estado de Mato Grosso**. 2023. 20f. . Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2023.

A expansão da Geração Distribuída no Brasil é uma realidade. Quando conectada em pequenas quantidades, a modalidade apresenta um impacto insignificante. Contudo, o avanço potencial da geração distribuída em grandes empreendimentos, como as “fazendas solares”, produz impactos para a rede de distribuição, resultando em uma intensificação dos investimentos da distribuidora para manter a rede de distribuição nos níveis de operação adequados. Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo fazer uma análise técnica de uma rede de distribuição envolvendo um alimentador localizado em uma zona rural do estado de Mato Grosso, considerando as condições de operação da rede antes e depois da inserção do empreendimento de minigeração, visando apontar impactos técnicos e econômicos deste cenário para a distribuidora de energia na área de concessão. A escolha deste arranjo justifica-se devido a modalidade minigeração proporcionar maior potencial de geração em quilowatts injetado na rede. No entanto, a expansão dessa modalidade pode implicar em uma saturação da capacidade de absorção e escoamento dessa geração. Ou seja, em determinados momentos, a geração pode ser superior ao consumo local, implicando em uma mudança no fluxo de potência e perfil de tensão, isto é, um novo modelo de operação da rede de distribuição.

Palavras-chave: Geração Distribuída. Minigeração. Sistema de distribuição. Fluxo de Potência.

ABSTRACT

MELO, L.B. Analysis of the technical and economic impacts arising from the expansion of distributed mini-generation in distribution networks: a case study in the electricity distributor in the state of Mato Grosso Mato Grosso. 2023. 20f. Final Course Work (Graduation in Electrical Engineering) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2023.

The expansion of Distributed Generation in Brazil is a reality. When connected in small quantities, the modality presents an insignificant impact. However, the potential advancement of distributed generation in large projects, such as "solar farms," produces impacts on the distribution grid, resulting in an intensification of investments by the distributor to maintain the distribution grid at appropriate operation levels. Within this context, this work aims to perform a technical analysis of a distribution grid involving a feeder located in a rural area of the state of Mato Grosso, considering the operating conditions of the grid before and after the insertion of the mini-generation project, aiming to identify the technical and economic impacts of this scenario for the energy distributor in the concession area. The choice of this arrangement is justified by the mini-generation modality providing a greater potential for generation in kilowatts injected into the grid. Therefore, the expansion of this modality may imply a saturation of the capacity to absorb and accommodate this generation. In other words, at certain moments, the generation may exceed local consumption, resulting in a change in power flow and voltage profile, that is, a new model of operation for the distribution grid.

Keywords: Distributed Generation. Mini Generation. Distribution System. Power Flow

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Fig. 1. Modelo do Setor Elétrico Brasileiro	14
Fig. 2. Diagrama Unifilar de um Sistema de Distribuição [10].....	14
Fig. 3. Fluxo para determinação da solução de conexão [11]	14
Fig. 4. Sobretensão causada pela GD [11].....	15
Fig. 5. Quantidade anual de conexões de micro e minigeradores	16
Fig. 6. Percentual de potência instalada por modalidade no estado.	16
Fig. 7. Percentual de quantidade de UC instalada por modalidade	16
Fig. 8. Configuração do alimentador.....	17
Fig. 9. Ponto de Conexão e distribuição.....	17
Fig. 10. Gráfico de tensão ao longo do alimentador 016 na situação sem a conexão da minigeração distribuída.	17
Fig. 11. Gráfico de tensão ao longo do alimentador 016 na situação com a conexão da minigeração distribuída.	17
Fig. 12. Fluxo de Potência no AL sem GD	17
Fig. 13. Fluxo de Potência no AL com GD	17
Fig. 14. Simulação de rede de distribuição de Lucas do Rio Verde, Interplan.	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Pontos de Conexão em tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV.....	15
Tabela 2 Perdas no AL sem GD	17
Tabela 3 Perdas no AL com GD.....	17
Tabela 4 Relação de Conexões SE Nova Mutum	18

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AL	Alimentador
AT	Alta Tensão
BRT	Banco Regulador de Tensão
BT	Baixa Tensão
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
GD	Geração Distribuída
MT	Média Tensão
NDU	Norma Técnica Unificada
NT	Nota Técnica
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
REN	Resolução Normativa
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SE	Subestações
SEP	Sistema Elétrico de Potência
UC	Unidade Consumidora
UFV	Usina Fotovoltaica

LISTA DE SÍMBOLOS

km	Quilômetro
kV	Quilovolts
kW	Quilowatts
MVA	Megavolt-ampère
MW	Megawatts
pu	Por Unidade
V	Volts
W	Watts

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO	12
A. Breve panorama Regulatório.....	12
B. Minigeração distribuída	13
II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
A. Distribuição de Energia.....	14
B. Procedimentos para acesso à GD	14
C. Critérios de Conexão da GD na rede de distribuição.....	15
D. Software Interplan	15
III. MINIGERAÇÃO DISTRIBUIDA NO MATO GROSSO.....	16
IV. ESTUDO DE CASO	16
A. Jangada (primeiro caso)	16
B. Lucas do Rio Verde (segundo caso).....	18
V. CONSIDERAÇÕES FINAIS	18

ANÁLISE DOS IMPACTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS PROVENIENTES DA EXPANSÃO DA MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO: UM ESTUDO DE CASO NA DISTRIBUIDORA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO

Larissa Barboza Melo

Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia,
Departamento de Engenharia Elétrica, Cuiabá – Mato Grosso, larissafbmello@gmail.com

Resumo - A expansão da Geração Distribuída no Brasil é uma realidade. Quando conectada em pequenas quantidades, a modalidade apresenta um impacto insignificante. Contudo, o avanço potencial da geração distribuída em grandes empreendimentos, como as “fazendas solares”, produz impactos para a rede de distribuição, resultando em uma intensificação dos investimentos da distribuidora para manter a rede de distribuição nos níveis de operação adequados. Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo fazer uma análise técnica de uma rede de distribuição envolvendo um alimentador localizado em uma zona rural do Estado de Mato Grosso, considerando as condições de operação da rede antes e depois da inserção do empreendimento de minigeração, visando apontar impactos técnicos e econômicos deste cenário para a distribuidora de energia na área de concessão. A escolha deste arranjo justifica-se devido a modalidade minigeração proporcionar maior potencial de geração em quilowatts injetado na rede. No entanto, a expansão dessa modalidade pode implicar em uma saturação da capacidade de absorção e escoamento dessa geração. Ou seja, em determinados momentos, a geração pode ser superior ao consumo local, implicando em uma mudança no fluxo de potência e perfil de tensão, isto é, um novo modelo de operação da rede de distribuição.

Palavras-Chave - Geração Distribuída. Minigeração. Sistema de distribuição. Fluxo de Potência.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC IMPACTS ARISING FROM THE EXPANSION OF DISTRIBUTED MINI-GENERATION IN DISTRIBUTION NETWORKS: A CASE STUDY IN THE ELECTRICITY DISTRIBUTOR IN THE STATE OF MATO GROSSO MATO GROSSO

Abstract - The expansion of Distributed Generation in Brazil is a reality. When connected in small quantities, the modality presents an insignificant impact. However, the potential advancement of distributed generation in large projects, such as "solar farms," produces impacts on the distribution grid, resulting in an intensification of investments by the distributor to maintain the distribution grid at appropriate operation levels. Within this context, this work aims to perform a technical analysis of a distribution grid involving a feeder located in a rural area

of the state of Mato Grosso, considering the operating conditions of the grid before and after the insertion of the mini-generation project, aiming to identify the technical and economic impacts of this scenario for the energy distributor in the concession area. The choice of this arrangement is justified by the mini-generation modality providing a greater potential for generation in kilowatts injected into the grid. Therefore, the expansion of this modality may imply a saturation of the capacity to absorb and accommodate this generation. In other words, at certain moments, the generation may exceed local consumption, resulting in a change in power flow and voltage profile, that is, a new model of operation for the distribution grid.

Keywords - Distributed Generation. Mini Generation. Distribution System. Power Flow.

I. INTRODUÇÃO

A Geração Distribuída (GD), principalmente por geração solar fotovoltaica vem crescendo no Brasil, especialmente a partir do ano de 2016, sendo uma fonte de energia alternativa e um grande atrativo desse mercado de investimento é a possibilidade do retorno em um período relativamente curto [1]. Entretanto, o termo GD não é nada novo, utilizava-se o mesmo para designar a produção de energia elétrica oriunda de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador em 2004, nas primeiras legislações sobre o tema.

Entretanto, as diretrizes para geração distribuída de pequeno porte foram estabelecidas por volta de 2010 através de uma nova regulação visando a expansão dessa modalidade de produção de energia junto ao consumo. Por um lado, a nova política de incentivo a geração distribuída proporcionou o desenvolvimento, a regulamentação e o estabelecimento da modalidade. Porém, do ponto de vista do sistema de distribuição de energia elétrica, faz-se necessário a adaptação das redes de distribuição para que o sistema possa acomodar a quantidade de energia injetada. Ou seja, a expansão da geração distribuída implica em impactos técnicos e econômicos como, por exemplo, a necessidade de antecipação de investimentos no sistema de distribuição.

A. Breve panorama Regulatório

Segundo dados levantados através da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), responsável pelo registro das unidades consumidoras com geração distribuída, mostram 1.922.283 sistemas conectados às redes de distribuição

nacional até o meados de maio de 2023, correspondendo a uma potência total instalada de 21.077,14 MW [2] sendo a modalidade de geração por meio de usinas fotovoltaicas a mais expressiva, representando 20.818,31 MW da potência instalada. Esse número, é um reflexo de uma trajetória que teve início no Brasil através da consulta pública nº 15/2010 na qual, a ANEEL demonstrou interesse em promover a expansão de uma forma de geração próxima a carga e através de fontes renováveis. Como resultado do processo de consulta e participação pública a Diretoria Colegiada da ANEEL publicou em 2012 a Resolução Normativa nº 482/2012 [3] que estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica correspondente e foi feito o disciplinamento quanto a forma e faturamento desses empreendimentos. A revisão da resolução até então vigente iniciou-se com somente 2 anos após sua publicação. Vale destacar os seguintes trechos da NT nº 0096/2015-SRD/ANEEL [4]:

“11. Inicialmente é importante destacar que o princípio adotado na REN nº 482/2012 é o da eficiência energética, pois a geração instalada junto à carga geralmente produz maiores benefícios para a rede, tais como postergação de investimentos em distribuição e transmissão e redução de perdas técnicas. (...)

20. Ao contrário da geração no mesmo local do consumo, a instalação de sistemas de geração em unidades consumidoras sem carga associada não agregaria os mesmos benefícios elétricos para as redes de distribuição, tais como redução de perdas técnicas, postergação de investimentos nos sistemas de distribuição e de transmissão. Nesse sentido, as regras propostas preveem que as unidades consumidoras que utilizem a energia produzida por microgeração ou minigeração localizada longe do local de consumo terão regras diferenciadas na compensação dos créditos. (...)

Pode-se observar que já havia uma percepção de que a GD longe da carga não acarreta os mesmos benefícios que a geração próximo a carga. Contudo, no ano de 2015 foi publicada a Resolução Normativa nº 687/2015 [5], a qual revisou a REN nº 482/2012 e definiu o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) como sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa, permitiu o aumento dos limites de potência de geração para 5MW e criou as modalidades de geração compartilhada e autoconsumo remoto. Com isso permitiu-se que uma unidade consumidora instalasse seu empreendimento de micro ou minigeração, mas não necessariamente tivesse uma carga instalada correspondente a potência de geração e sim que os créditos de energia gerados por essa central geradora fossem rateados entre outras unidades consumidoras titulares da instalação com geração ou reunidas em consórcios. Em 6 de janeiro de 2022 foi assinada a lei nº 14.300 [6] que institui o marco legal da microgeração e minigeração, e um ano após a assinatura da Lei a ANEEL publica a Resolução Normativa nº 1.059/2023 [7] a qual 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, alterando então a REN 1.000 de dezembro de 2021 que estabeleceu as regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica.

Segundo a REN 1.059/2023 a micro e minigeração foram definidas como:

I - Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme a Resolução Normativa nº 1.031, de 26 de julho de 2022, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidade consumidora;

II - Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada, conforme a Resolução Normativa nº 1.031, de 26 de julho de 2022, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidade consumidora, que possua potência instalada em corrente alternada maior que 75 kW e menor ou igual a:

- a) 5 MW para as centrais geradoras de fontes despacháveis;
- b) 3 MW para as demais fontes não enquadradas como centrais geradoras de fontes despacháveis; ou
- c) 5 MW para unidades consumidoras já conectadas em 7 de janeiro de 2022 ou que protocolarem solicitação de orçamento de conexão, nos termos da Seção IX do Capítulo II do Título I, até 7 de janeiro de 2023, independentemente do enquadramento como centrais geradoras de fontes despacháveis.

B. Minigeração distribuída

O objetivo da ANEEL ao criar as modalidades de micro e minigeração distribuída em 2012 era reduzir as barreiras para o avanço da GD e promover benefícios, como a maior participação do consumidor na geração de energia elétrica no Brasil. Com isso, buscava-se diversificar a matriz energética e postergar investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão. Contudo, conforme foram se estabelecendo condições favoráveis, como o queda em taxas de juros, aumento da tarifa de energia, e a maior produção industrial de módulos fotovoltaicos [1], houve uma forte expansão da minigeração distribuída por meio de fonte solar principalmente a partir do ano de 2016 [2]. Esse aumento expressivo na quantidade de conexões provoca para as distribuidoras uma grande mudança quanto ao seu modelo de planejamento, operação e manutenção. Ou seja, a minigeração distribuída fotovoltaica que cada vez mais tem se expandido tem potencial para grandes impactos técnicos e econômicos para a distribuidora de energia. Isso devido ao sistema de distribuição de energia elétrica ter sido projetado para operar de forma radial, recebendo energia das centrais de geração e distribuindo-a para os consumidores, ou seja, como um circuito passivo, onde os fluxos de potência ativa e reativa sempre fluem do maior nível de tensão para o menor [8]. De modo que, o incremento de uma GD em um circuito outrora dimensionado para cargas passivas, pode provocar problemas como o aumento de perdas no sistema ao invés de diminuí-las [9]. Diante disso, estes artigo tem como objetivo realizar análises relacionadas ao impacto da minigeração distribuída fotovoltaica em redes de distribuição rural. Para este fim, utilizou-se o software Interplan que permitiu simular a rede de

distribuição na situação com e sem GD e também verificar a necessidade de obras de melhorias para instalação.

Este artigo está estruturado da seguinte forma. A Seção II aborda sobre a fundamentação teórica. A seção III discorre sobre a situação da minigeração distribuída no Estado de Mato Grosso. A seção IV aborda o estudo de caso. A seção V discorre sobre as considerações finais. Por fim são apresentadas as referências que foram utilizadas neste artigo.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O sistema elétrico brasileiro, composto pelas etapas de geração transmissão e distribuição e comercialização de energia, pode ser ilustrado resumidamente pela figura 1.



Fig. 1. Modelo do Setor Elétrico Brasileiro

A. Distribuição de Energia

Para que aconteça o pleno funcionamento do sistema, é necessário que ocorra a interação de todas as partes envolvidas ou seja, as usinas geram a energia normalmente em média tensão (MT) assim, visando a redução de perdas nas longas distâncias percorridas por todo país a transmissão da energia gerada é feita em alta tensão (AT). E então, nas subestações (SE) de distribuição a tensão é reduzida novamente para média tensão para que seja levada aos consumidores livres (atendidos em MT) ou cativos (atendidos em MT ou baixa tensão BT). Pode-se observar na figura que a geração distribuída está diretamente conectada ao consumidor, além de compartilhar o excedente de energia gerada com a rede de distribuição. Portanto, o sistema de distribuição desempenha um papel fundamental no contexto do Sistema Elétrico de Potência (SEP), principalmente por suprir os consumidores e ser responsável pela qualidade dos serviços de fornecimento de energia.

O Sistema de distribuição pode ser dividido em:

- Sub-transmissão ou distribuição em AT: Tem como função levar a energia das SE Sub-transmissão para as SE de distribuição ou para grandes consumidoras, normalmente com tensões operando em 138 kV, 115 kV, 69 kV ou 34,5 kV e potência entre 20 a 150 MW.
- Distribuição primária ou Distribuição em média tensão: São os circuitos de saída da distribuidora operando normalmente com tensão em 13,8 kV (podendo variar de 2,3 kV a 44 kV) e potência com cerca de 12 MVA de potência máxima. Os circuitos de média tensão (Alimentadores primários) saem das subestações levando energia elétrica para os transformadores de baixa tensão.
- Distribuição secundária ou Distribuição em baixa tensão: Tem como função levar a energia elétrica até as residências e pequenos comércios/indústrias através dos

ramais de ligação. Operam com tensão elétrica variando entre 110 a 440V. (Alimentadores secundários).

Uma ilustração do sistema de distribuição é apresentada na figura 2.

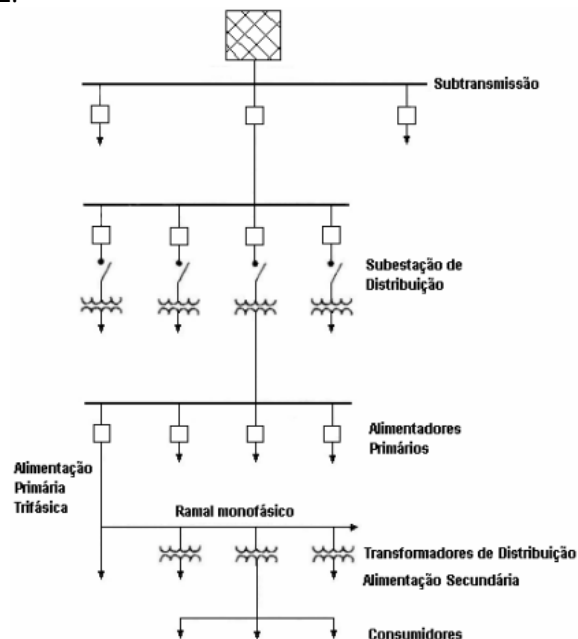


Fig. 2. Diagrama Unifilar de um Sistema de Distribuição [10]

Em geral, o sistema de distribuição foi projetado para atendimento de cargas passivas com critérios considerando um dimensionamento adequado visando manter os níveis de qualidade de energia. Com as novas resoluções que foram criadas, o número de “consumidores geradores” teve um aumento significativo. Dessa forma, a rede de distribuição deixou de ser de atendimento apenas de cargas passivas e os critérios de atendimento das solicitações de acesso a rede de distribuição de energia elétrica passam a ser tanto para análises de carga quanto para geração de energia. Esse processo implicou em mudanças do ponto de vista regulatório, que serão apresentadas nos próximos itens.

B. Procedimentos para acesso à GD

A solicitação para conexão da minigeração é feita pelo consumidor indicando um ponto de conexão de interesse e o nível de tensão desejado. Segundo Bernardes [11] considerando a minigeração distribuída, a determinação do ponto de conexão e respectivas obras são estabelecidas através da realização de estudos de fluxo de potência que observam as etapas conforme fluxograma a seguir:

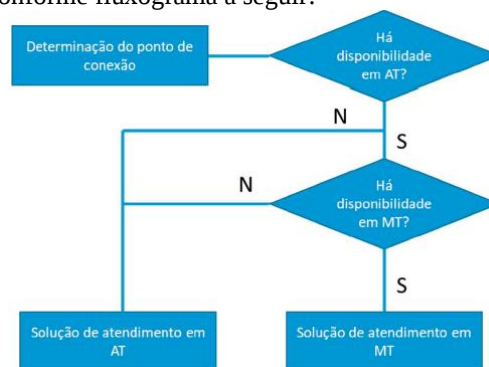


Fig. 3. Fluxo para determinação da solução de conexão [11]

Ou seja, se não houver disponibilidade de acomodação da energia que será injetada pela usina em um nível de tensão superior, também não haverá disponibilidade no nível inferior. Além das normas regulatórias da ANEEL os projetos de minigeração devem estar enquadrados também na NDU 015 - Critérios para a Conexão em Média Tensão de Acessantes de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição [14]. Conforme a NDU os procedimentos são obrigatórios e constituem etapas que devem ser seguidos pela distribuidora e pelo consumidor. Em síntese, o processo se inicia com a Solicitação do orçamento de conexão, cabe então a distribuidora emitir o orçamento de conexão (conforme Seção IX - REN nº 1000/2021). Quando ocorre o aceite do orçamento de conexão pelo consumidor a distribuidora deve emitir acordo operativo e contratos. O orçamento de conexão pode resultar em obras de responsabilidade da distribuidora com ou sem participação financeira do cliente. Neste caso, após a devolução dos contratos assinados, realização das obras de responsabilidade da distribuidora e em paralelo a instalação da GD no ponto de conexão por parte do consumidor, a distribuidora deve realizar a vistoria de conexão. Assim, não havendo pendências para correção será realizada a instalação do medidor bidirecional e o cadastro da UC GD no site da ANEEL.

C. Critérios de Conexão da GD na rede de distribuição

Os critérios para conexão e estudos necessários para viabilização da solicitação de minigeração são conforme determinações estabelecida na regulação vigente, normas internas da distribuidora e PRODIST neste último é fácil verificar as diversas mudanças que ocorreram para o estabelecimento da GD tendo em vista, as várias edições no conteúdo do Módulo 3 do qual cita-se [13]:

Seção 3.0 item 4.2 - Os procedimentos de acesso devem atender ao padrão de indicadores de desempenho e de qualidade do serviço de distribuição, preservando a segurança, a eficiência e a confiabilidade do sistema e das conexões existentes, bem como o meio ambiente; item 4.13 - O acesso ao sistema de distribuição deve atender estes Procedimentos e resoluções vigentes, além de atender as normas técnicas brasileiras, bem como as normas e padrões da acessada.

Seção 3.1 item 6.2 - Segundo esse critério, entre as alternativas consideradas para viabilização do acesso, deve ser escolhida a alternativa tecnicamente equivalente de menor custo global de investimentos, observando-se o mesmo horizonte de tempo para todas as alternativas avaliadas, considerando-se: a) as instalações de conexão de responsabilidade do acessante; b) as instalações decorrentes de reforços e ampliações no sistema elétrico; c) os custos decorrentes das perdas elétricas no sistema elétrico

O sistema elétrico brasileiro possui um padrão de qualidade de energia necessário, que deve ser atendido. Esse padrão estabelece limites superiores e inferiores, tendo como objetivo manter um sistema elétrico de qualidade e confiança, permitido um funcionamento adequado das cargas conectadas a ele [14]. Quando ocorre a inserção de uma minigeração na rede de distribuição o empreendimento pode provocar efeitos na rede de distribuição sendo o mais notável a elevação de tensão. Outros efeitos a serem considerados são: reversão do fluxo de potência; Nível de Curto-circuito; troca de taps do transformador; desbalanceamento de fase; isolamento do

transformador, vida útil do transformador e equipamentos; fator de potência; proteção; ilhamento do sistema de geração, entre outros [15].

Bernardes [11] acrescenta que a elevação de tensão ocorre pois quando minigeradora se conecta a rede de distribuição, a usina se comporta como uma fonte e a SE como uma carga com tensão muito alta portanto, para que possa fluir pela rede a tensão no ponto de conexão da usina se eleva a um nível superior à da SE para que haja diferença de potencial e uma corrente elétrica. A situação é ilustrada na figura 4. Este aumento de tensão no ponto de conexão irá reduzir a queda de tensão ao longo das linhas de distribuição podendo acarretar em uma reversão no fluxo de potência, e consequentemente em perdas técnicas para o sistema de distribuição.

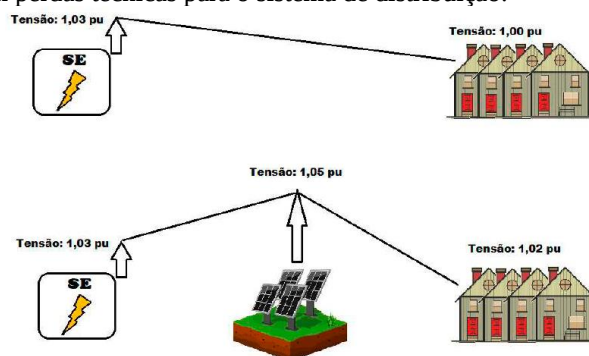


Fig. 4. Sobre-tensão causada pela GD [11]

Vale ressaltar que, os limites de tensão definidos no Módulo 8 do PRODIST [16] são:

Tabela 1
Pontos de Conexão em tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05 TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93 TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Além disso, os critérios para análise de opções viáveis que eliminem inversão do fluxo de potência estão definidos art.73 da REN 1059 [7] que, entrou em vigor no dia 07 de fevereiro de 2023. Da qual cita-se:

§ 1º Caso a conexão nova ou o aumento de potência injetada de microgeração ou minigeração distribuída implique inversão do fluxo de potência no posto de transformação da distribuidora ou no disjuntor do alimentador, a distribuidora deve realizar estudos para identificar as opções viáveis que eliminem tal inversão, a exemplo de:

- I - Reconfiguração dos circuitos e remanejamento da carga;
- II - Definição de outro circuito elétrico para conexão da geração distribuída;
- III - conexão em nível de tensão superior ao disposto no inciso I do caput do art. 23;
- IV - Redução da potência injetável de forma permanente;
- V - Redução da potência injetável em dias e horários pré-estabelecidos ou de forma dinâmica;

D. Software Interplan

Para análise dos impactos técnicos decorrentes da inserção da minigeração na rede de distribuição em zona rural que

compõe o estudo de caso deste artigo, foi utilizado o software Interplan com dados disponibilizados pela distribuidora. O Interplan é um sistema computacional utilizado para análise de redes e estudos de planejamento de sistemas de distribuição de energia elétrica. O software permite a visualização, edição e a definição de configurações da rede para atendimento de padrões anteriormente especificados. Sendo possível simular o nível de tensão, fluxo de potência, curto-circuito, manobras, edição de redes para estudos de novas cargas ou alterações topológicas, confiabilidade, suporte reativo, análise de transitórios em cargas especiais e análise técnico-econômica de obras de expansão [17], entre outros. O Interplan é amplamente utilizado nas distribuidoras de energia elétrica no Brasil, sendo considerada uma ferramenta confiável para operação e planejamento dos sistemas [18]. Portanto, através da ferramenta é possível verificar impactos da expansão da minigeração para a rede de distribuição.

III. MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO MATO GROSSO

Segundo o cadastro de mini e microgeradores do site da ANEEL [2], até o dia 28 de abril de 2023, estavam registrados 85.650 micro e minigeradores de energia, correspondendo a uma potência instalada de mais de 1,2 GW. Como pode ser visto na Figura 5, com o decorrer dos anos a quantidade de conexões se acentuou muito, tendo a microgeração como a principal modalidade de conexão.

(a) Quantidade anual de conexões de micro e minigeradores



(b) Quantidade anual de conexões de microgeradores



(c) Quantidade anual de conexões de minigeradores

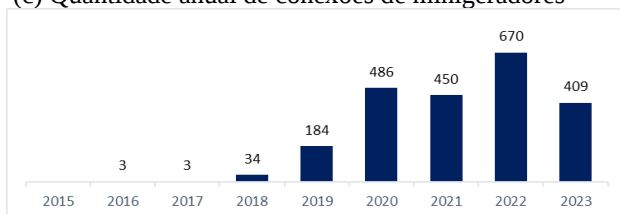


Fig. 5. Quantidade anual de conexões de micro e minigeradores

Ainda que exista essa grande diferença, quando se trata de potência instalada pode-se observar um cenário oposto pois na data citada, a potência instalada de minigeração correspondia a aproximadamente 400 MW, ou seja, cerca 33,3% da potência instalada como demonstra a figura 6. Um número excepcionalmente considerável baseado em que corresponde a 2239 unidades consumidoras geradoras de um total de 85650 ou seja, aproximadamente 3% conforme figura 6.

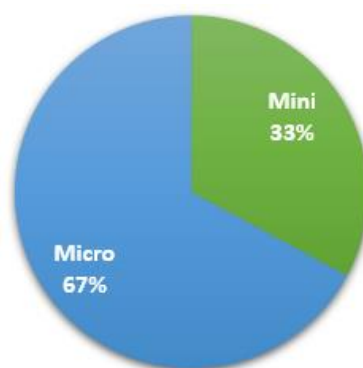


Fig. 6. Percentual de potência instalada por modalidade no estado.

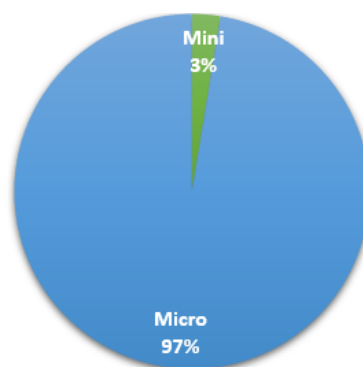


Fig. 7. Percentual de quantidade de UC instalada por modalidade

Ou seja, 3% das GDs representam a minigeração, porém este mesmo 3% corresponde a 1/3 da potência instalada total no estado de Mato Grosso. Portanto, com o objetivo de analisar os impactos no sistema de distribuição relacionados a minigeração que tem se expandido cada vez mais no estado de Mato Grosso foram escolhidas duas situações a serem analisadas no capítulo subsequente.

IV. ESTUDO DE CASO

Para realização do estudo foram considerados dois casos com o objetivo de verificar os impactos da inserção da minigeração distribuída por meio de usina fotovoltaica em rede de distribuição em zona rural. No primeiro caso, trata-se de uma UFV em funcionamento, permitindo verificar a situação de operação da rede de distribuição antes e após a conexão do empreendimento, bem como os impactos técnicos e econômicos decorrentes. No segundo caso, trata-se de uma solicitação de acesso para um empreendimento futuro. Nessa situação, o estudo tem por objetivo evidenciar a necessidade de investimentos para manter o sistema de distribuição nos níveis de operação adequados.

A. Jangada (primeiro caso)

Este estudo visa avaliar a influência da conexão da geração distribuída no alimentador 087016 da Energisa MT, do ponto de vista técnico. Os dados para este estudo de caso foram fornecidos pela distribuidora de energia. A rede analisada refere-se à subestação de Jangada. Neste estudo foi realizada a simulação da operação da rede de distribuição local nas situações antes da conexão de um empreendimento de minigeração distribuída com potência instalada de 5 MW na rede existente e após instalação do empreendimento conectado

no alimentador AL016 da subestação 087 10/12,5/15MW – 138kV/34kV. As figuras 5 e 6 apresentam a configuração da rede de distribuição da região.

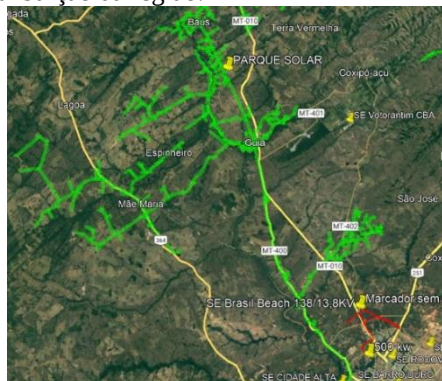
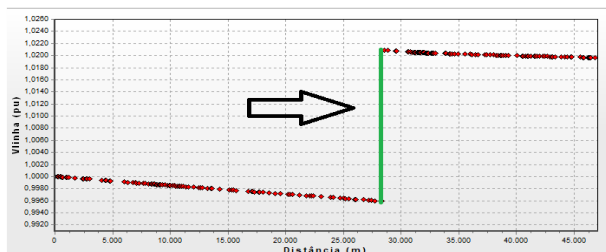


Fig. 8. Configuração do alimentador.



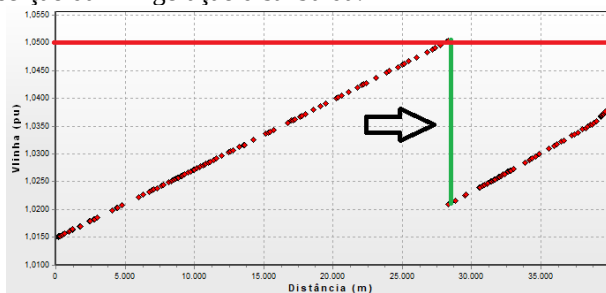
Fig. 9. Ponto de Conexão e distribuição

O Gráfico em Fig. 10 mostra os valores de tensão antes da inserção da minigeração distribuída.



Obs. Em verde, degrau devido a influência do regulador de tensão
Fig. 10. Gráfico de tensão ao longo do alimentador 016 na situação sem a conexão da minigeração distribuída.

O Gráfico em Fig. 11 mostra os valores de tensão depois da inserção da minigeração distribuída:



Obs. Em verde, degrau devido a influência do regulador de tensão
Fig. 11. Gráfico de tensão ao longo do alimentador 016 na situação com a conexão da minigeração distribuída.

Como pode ser verificado nas figuras 10 e 11 a tensão ao longo do alimentador antes da entrada da geração apresentava a tensão dentro do permitido conforme estabelecido no modulo 8 do PRODIST.

No entanto a tensão varia entre 0,996 PU até 1,022 PU.

Com a entrada da minigeração no alimentador 087016 verifica-se um aumento significativo da tensão (elevação), chegando ao patamar de 1,05 pu, sendo este o limite permissível por norma. Fora isto a variação de tensão varia de 1,0 pu até 1,05 pu.

A figura 12 mostra o fluxo de potência no alimentador e a tabela 2 as perdas técnicas antes da entrada da minigeração distribuída

Alimentador 087016: Demanda Calculada

Fluxo de potência ativa no trecho		
Período	P12-Tri.(kW)	P21-Tri.(kW)
manhã	372,87	-372,87
Manhã	1464,93	-1464,91
Tarde	1767,39	-1767,38
Noite	1040,70	-1040,69

Fig. 12. Fluxo de Potência no AL sem GD

Tabela 2
Perdas no AL sem GD

Período	Perda (kW)
Madrugada	0,15
Manhã	2,20
Tarde	4,28
Noite	1,47

Total: 8,1 kW em perdas.

A figura 13 mostra o fluxo de potência no alimentador e a tabela 3 as perdas técnicas depois da entrada da minigeração distribuída:

Alimentador 087016: Demanda Calculada

Fluxo de potência ativa no trecho		
Período	P12-Tri.(kW)	P21-Tri.(kW)
manhã	-4730,61	4730,78
Manhã	-3952,05	3952,17
Tarde	-3844,74	3844,85
Noite	610,46	-610,46

Fig. 13. Fluxo de Potência no AL com GD

Tabela 3
Perdas no AL com GD

Período	Perda (kW)
Madrugada	8,42
Manhã	8,18
Tarde	8,60
Noite	0,24

Total: 24,55 KW em perdas.

Diante dos dados apresentados percebe-se que, com a entrada da UFV o alimentador tem o comportamento alterado para fluxo reverso, tendo dessa forma um aumento de perdas durante todos os patamares da manhã e da tarde o que acarreta em uma diminuição na vida útil dos equipamentos.

B. Lucas do Rio Verde (segundo caso)

Neste caso relevante, o estudo realizado e fornecido pela distribuidora diz respeito a solicitação de acesso para conexão de uma mini UFV com potencial de geração de 1 MW. Originalmente a solicitação foi feita com a indicação do ponto de conexão com interesse no acesso a SE Nova Mutum. Entretanto, devido a entrada dos empreendimentos citados na tabela abaixo na mesma subestação verificou-se esgotamento de escoação de geração para rede básica de Nova Mutum, mesmo motivo pelo qual o ONS colocou como premissa para entrada da PCH Rio Claro, controle de geração via SEP conforme o parecer técnico PL 0062 2020 que foi emitido.

Tabela 4
Relação de Conexões SE Nova Mutum

Potência (MW)	Nome Empreendimento
28	PCH Rio Claro
13,3	PCH Diamantino
26	Inpasa Nova Mutum
5	CGH Santo Antonio
5	CGH água verde
2,5	UFV Colorado

Então, foi realizada a modelagem e análise da rede na situação regime permanente em que se constatou carregamento próximo da nominal, motivo para a não “liberação” de conexão na SE devido ao carregamento do transformador da rede básica. Na análise em contingência, constatou-se, sobre carga no transformador da rede básica.

Diante disso, respeitando o critério de “mínimo custo global”, os critérios definidos por norma para manter o nível de tensão adequado e mantendo a opção viável de eliminação da inversão do fluxo de potência conforme art. 73 [7], como alternativa para conexão da UFV considerou-se a SE Lucas do Rio Verde 109 Alimentador 014 com a seguinte obra a ser executada para operação da rede dentro dos limites de operação e confiabilidade:

1 – Extensão de aproximadamente 57km Rede-AT 34,5kV de cabo a partir da coordenada X:592458 Y:8514256 até o ponto de entrega do cliente.

2 – Estrutura de Derivação – 34,5kV.

Nesta condição de obra as simulações apresentaram nível de tensão dentro dos limite em que a geração esta em operação (patamares manhã e tarde).

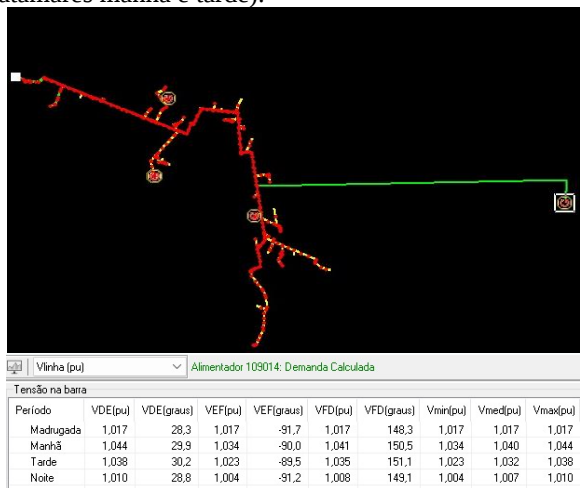


Fig. 14. Simulação de rede de distribuição de Lucas do Rio Verde, Interplan.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expansão da geração distribuída tem sido um tema recorrente no setor elétrico brasileiro. Do ponto de vista do sistema de distribuição, existem pontos de atenção que precisam ser analisados visando manter a qualidade do serviço. Neste sentido, este trabalho propôs fazer uma análise especialmente dos impactos da minigeração que tem se expandido potencialmente no estado de Mato Grosso para a distribuidora na área de concessão.

Conclui-se, portanto, que a expansão da minigeração distribuída em redes de distribuição apresenta impactos técnicos e econômicos significativos para a distribuidora de energia. Por um lado, tem-se uma trajetória regulatória cheia de mudanças e marcos legais a serem seguidos, e por outro lado, um sistema de distribuição como o do estado de Mato Grosso em que, conforme visto, tem se expandido cada vez mais o número de conexões de empreendimentos de minigeração, principalmente por meio das tecnologias fotovoltaicas. Contudo, a minigeração quando conectada à rede de distribuição provoca, efeitos na rede, como mostra o caso de Jangada, em que mesmo apresentando nível de tensão dentro dos parâmetros de operação estabelecidos por norma, o alimentador apresentou um aumento significativo em perdas técnicas e ocorreu a inversão do fluxo de potência. Ou seja, conforme os valores apresentados no estudo, mesmo dentro dos limites aceitáveis por norma, em decorrência dos efeitos citados, tem-se um prejuízo na qualidade do serviço de fornecimento de energia prestado na área pela distribuidora. Entretanto, a acelerada expansão da minigeração que vem acontecendo em Mato Grosso reflete, principalmente, na situação do estudo de Lucas do Rio Verde, em que, devido ao esgotamento da capacidade de acomodação de geração distribuída no ponto de conexão foco da solicitação de acesso que seria a subestação de Nova Mutum, para viabilidade do projeto a alternativa foi a conexão da GD em outra subestação sendo necessário então uma extensão de rede de mais de 50 km. Ou seja, fica evidente que considerando a expansão da minigeração distribuída, mais situações como essa podem se ampliar, em que as subestações existentes nas localidades do estado não comportam mais a inserção de novas GD's sem que haja investimento por parte da distribuidora. Pode-se citar como exemplo de obras, a extensão de redes e troca de equipamentos, como religadores, redimensionamento de linhas, troca de transformadores, construção de subestações, bem como, todos os equipamentos necessários para o funcionamento. Portanto, todas essas obras decorrentes da expansão da geração distribuída reivindicam justamente, os investimentos que, ao contrário do que estava previsto na regulamentação, estão sendo antecipados para garantir que a geração distribuída tenha uma conexão segura e estável.

Considerando o exposto neste artigo, entende-se que a minigeração distribuída principalmente por meio de usina fotovoltaicas tem trazido impactos técnicos para rede de distribuição sendo um deles o fluxo reverso. Além disso, o principal impacto econômico diz respeito à necessidade de obras que acabam gerando a antecipação dos investimentos no sistema elétrico de distribuição.

Diante dos aspectos citados, surgem muitas questões pertinentes ao assunto como forma de aprofundamento para abordagens futuras, tais como: avaliar a repercussão do quão

significativos são os investimentos decorrentes da expansão da GD na administração econômica da distribuidora procurando identificar a influência nos custos operacionais e nos custos de investimentos. Além disso, é importante também realizar uma análise de como a geração distribuída tem repercutido nos contratos de compra de energia e nos contratos de linhas de transmissão firmados pela distribuidora de energia.

Outro acontecimento que requer maiores análises, devido à publicação da Lei 14.300, proporcionando uma verdadeira "corrida pelo ouro" na expansão da GD, na qual o consumidor tinha o objetivo de protocolar seu projeto junto à distribuidora até o dia 7 de janeiro de 2023 e garantir os benefícios estipulados pela norma. Entretanto, muitos dos projetos protocolados e aprovados até a data ainda estão em fase de execução, enquanto outros ainda não tiveram as obras iniciadas. Portanto, outra possibilidade de aprofundamento diz respeito a uma análise quantitativa dos projetos em andamento, levando em consideração a localidade e a viabilidade técnica da rede de distribuição, entre muitos outros aspectos técnicos e econômicos, relacionados a distribuidora de energia, que estão surgindo decorrente da intensa expansão da minigeração distribuída por meio de tecnologias fotovoltaicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. M. Magalhães, MATRIZ DE INTERESSES NA EXPANSÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO SOBRE A REGULAÇÃO DA GD NO BRASIL DE 2010 ATÉ O PRESENTE., Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Cuiabá: Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia. UFMT, 2022, p. 2-63.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica, "Microsoft Power BI – Geração Distribuída," ANEEL, 2023. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojY2VmMmUwN2QrYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiR9>>. Acesso em: 08 mai. 2023.
- [3] ANEEL, "Resolução Normativa N° 482," Portal da ANEEL, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2023.
- [4] ANEEL, "Nota Técnica n° 0096/2015-SRD/ANEEL," Portal da ANEEL, 2015. Disponível em: <<https://acesse.one/21yVO>>. Acesso em: 8 mai. 2023.
- [5] ANEEL, "Resolução Normativa N° 687,," Portal da ANEEL, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2023.
- [6] P. d. República, "Lei n° 14.300 de 06 de Janeiro de 2022,," PALÁCIO DO PLANALTO, 06 Janeiro 2022. Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Acesso em: 01 mai. 2023.
- [7] ANEEL, "Resolução Normativa N° 1059," Portal da ANEEL, 2023. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>>. Acesso em: 01 mai. 2023.
- [8] R. Gonçalves, B. F. Ballerini e E. L. d. Freitas, "INFLUÊNCIA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA,," Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, vol. 1, n° 1, pp. 1-2, 2016.
- [9] J. HUANG, V. GUPTA e Y.-F. HUANG, "Electric grid state estimators for distribution systems with microgrids,," ANNUAL CONFERENCE ON INFORMATION SCIENCES AND SYSTEMS (CISS), 46. Proceedings [...]. Princeton,USA: IEEE, vol. 1-6, 2012.
- [10] R. Leão, Distribuição de Energia Elétrica, São Paulo. Disponível em: <<https://dee.ufc.br/pt/ensino/>>. Acesso em: 01 mar. 2023
- [11] R. F. Bernardes, "O IMPACTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA REMOTA NOS INVESTIMENTOS DO SISTEMA ELÉTRICO DE DISTRIBUIÇÃO DA CEMIG-D,," Minas Gerais, 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação). Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/39626>>. Acesso em: 26 fev. 2023.
- [12] ENERGISA, NDU 015, vol. 5, João Pessoa , 2022, p. 101. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas-normas-tecnicas.aspx>>. Acesso em: 08 mai. 2023
- [13] ANEEL, "PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL – Módulo 3,," Portal da ANEEL, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_2.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2023.
- [14] I. VICENTE, ANÁLISE DOS PROBLEMAS DE TENSÃO DECORRENTES DA ALTA PENETRAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, vol. 1, Florianópolis: Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, 2021, p. 5-83. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Disponível em: <<https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2349>> Acesso em: 05 mai. 2023
- [15] G. L. S. Almeida, ESTUDO DA ELEVAÇÃO DE TENSÃO EM REDES DE ENERGIA ELÉTRICA COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE GERADORES, 1 ed., vol. 1, Belo Horizonte: CEFET/MG, 2017, p. 93. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Disponível em: <https://www2.dee.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/18/2017/11/TCC_2017_1_GLSA_lmeida.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2023
- [16] ANEEL, PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL - Modulo 8, 2021. Disponível em: <<https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/1486691>>

4/M%C3%B3dulo8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19> Acesso em: 08 mai. 2023

- [17] DAIMON, “Interplan,” DAIMON, Disponível em:< <http://www.daimon.com.br/interplan.html>>. Acesso em: 09 mai. 2023.
- [18] E. L. Vargas, “PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO DE ALTERNATIVAS E ANÁLISE MULTICRITÉRIO,” PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, UFSM, p. 136, 2015. Disponível em:< <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/8572>>. Acesso em: 05 mai. 2023.