

PROPOSTA DE UM MEIO NATURAL DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA TRIFÁSICA QUE VIABILIZE A INSTALAÇÃO DE PARQUES DE GERAÇÃO RENOVÁVEL EM ÁREAS RURAIS SUPRIDAS POR SISTEMAS MRTs

Selso Rabelo¹, Ghendy Cardoso Junior², Gustavo Marchesan², Aécio de Lima Oliveira², Leyla Kraulich², Diego Ramos Berlez²

¹ Universidade Federal de Santa Maria, *srabelo486@gmail.com*

² Universidade Federal de Santa Maria

RESUMO

A Geração Distribuída (GD), paulatinamente, tem apresentado soluções para a questão energética mundial. No Brasil, com a regulamentação da lei nº 14.300/2022, também chamada de marco regulatório da GD no país, vislumbram-se novos horizontes e novas possibilidades para a geração, principalmente a fotovoltaica, que é a que oferece maior possibilidade de crescimento devido ao privilegiado índice de irradiação solar no país. Uma das grandes oportunidades apresentadas pela nova lei, é a possibilidade da criação de consórcios de pessoas físicas que tenham interesse em gerar sua própria eletricidade. Neste contexto, a geração em locais distantes dos centros urbanos, em “fazendas de geração”, se apresenta como uma possibilidade, pois no campo, ou em locais distantes e remotos, há espaço suficiente para a alocação de painéis solares, por exemplo. Assim, este trabalho apresenta uma forma de transmissão não convencional, simples, econômica e confiável, dessa eletricidade, considerando que grande parte do meio rural é atendido pelo sistema MRT ou MRN. O meio natural é o solo, que tem alta capacidade de condução elétrica, e a proposta é baseada na transmissão trifásica a dois fios (T2F), em média tensão. A T2F vem sendo amplamente estudada e tem se mostrado uma ótima solução para transmissão trifásica para consumidores alocados em localidades distantes das redes trifásicas convencionais.

Palavras chave: Geração Distribuída. Transmissão a dois fios. Fotovoltaica. Marco temporal.

1. INTRODUÇÃO

A sociedade global está em constante aprimoramento e em busca de evolução. Para que estes sejam possíveis, a necessidade de disponibilidade de energia se torna premente. Assim, nesta constante busca por soluções energéticas, surge a Geração Distribuída (GD). O conceito de geração distribuída passou a ser cunhado no Brasil, oficialmente, a partir da consulta pública nº 15/2010, e pela audiência pública nº 42/2011, promovidas pela ANEEL. Ambas foram instauradas com o objetivo de discutir e debater os dispositivos legais inerentes à conexão da GD, de pequeno porte à rede de distribuição.

Surge, então a RN 482/2012 que dá os primeiros passos na direção dos conceitos de mini e microgeração distribuída, cunhando o conceito de compensação de energia. A partir daí, todo cidadão se torna um potencial “gerador” de energia com possibilidade de conectar sua geração à rede de distribuição, tornando-se um “prosumidor” (MOREIRA, 2021). O novo modelo de geração de energia, no qual coabitam as gerações centralizadas e descentralizadas, insere, ao longo dos anos, milhares de microgeradores de energia aumentando a complexidade do sistema. Obviamente que além do intuito de aumentar a produção de energia elétrica no país, a geração descentralizada a partir da GD, pretende aumentar a eficiência do sistema, promover o desenvolvimento e melhorar a qualidade da energia entregue ao consumidor. No entanto, à medida que se inserem novos pontos de geração à rede de distribuição, há um significativo aumento na complexidade de operação desse sistema.

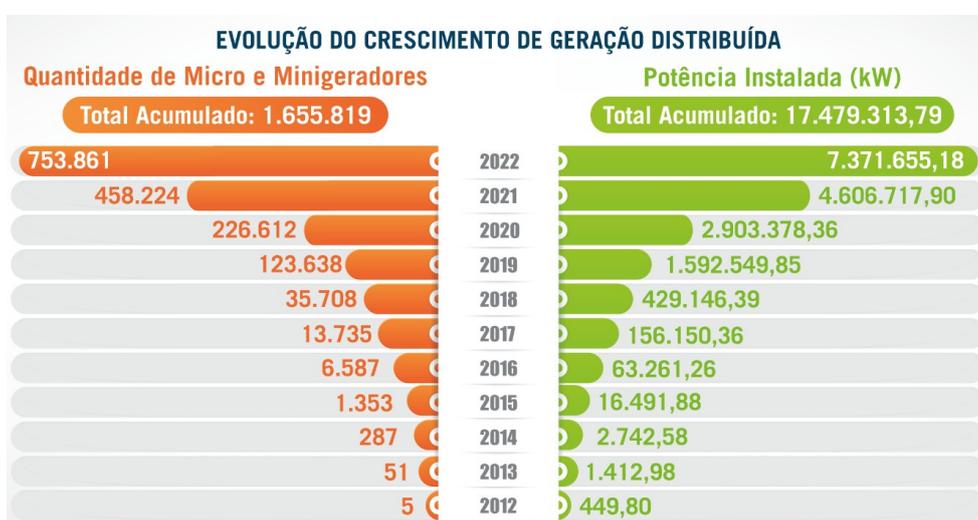
De acordo com a Rede Nacional de Organizações da Sociedade Civil para Energias Renováveis (RENOVE), a geração distribuída ameniza, diminui e exclui a necessidade do transporte de energia elétrica, desde sua origem ao ponto de consumo. Aliado a isto, há a redução de perdas, melhora nos níveis de tensão, e alívio no carregamento local das redes e transformadores. Ou seja, a geração distribuída surge, também, para sanar o problema do transporte de energia elétrica a grandes distâncias, visto que as maiores usinas geradoras de energia estão concentradas em pontos distantes de importantes pontos de consumo do país. Diversificar a matriz energética brasileira, leva a um aumento do consumo do gás natural e uma maior exploração de fontes renováveis, incentivando cada região do país a explorar seus melhores potenciais. Com isso, a concentração em geração eólica, por exemplo, tende a se concentrar no nordeste e no sul brasileiro.

Com o intuito de aliar aspectos econômicos e ambientais, assim como a autossustentabilidade, naturalmente surgem as Resoluções Normativas que tendem a aprimorar a proposta de geração distribuída no Brasil. São as RN 687/2015 e 786/2017 que ampliam e definem as regras aplicáveis à Microgeração e Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica (MMGD), e do Sistema de Compensação de Energia (SCEE). Finalmente, o chamado Marco Regulatório da Geração Distribuída no Brasil, surge a partir da regulamentação da lei 14.300/2022 e é consolidado a partir da RN 1059, de 7 de fevereiro de 2023.

1.1 A Expansão da GD e a Conexão à Rede de Distribuição

A partir do surgimento da lei nº 14.300/2022, considerada o marco legal da Micro e Minigeração Distribuída no Brasil, aliado à “ameaça” de taxação do sol, houve uma exponencialidade no crescimento da GD. De acordo com a ANEEL, em artigo publicado em 07 de fevereiro de 2023, foram efetivadas mais de 780 mil conexões de micro e minigeração distribuídas entre 7 de janeiro de 2022, data da publicação da lei nº 14.300, até 7 de fevereiro de 2023. Tais conexões totalizam 7,6 GW de potência instalada, o que representa um aumento de 60 % em conexões e 54 % em potência, em relação aos 13 meses anteriores ao da publicação da lei. O gráfico da figura 1 mostra a evolução da GD no Brasil, de 2012 a 2022.

Figura 1: Evolução da GD no Brasil de 2012 a 2022. Fonte: ANEEL



De acordo com a Associação Brasileira de Energia Fotovoltaica (ABSOLAR), de toda a geração distribuída instalado no país, em setembro de 2023, da energia gerada por micro e minigeração, 98,9% da potência instalada, corresponde à energia fotovoltaica, o que representa mais de 2,1 milhões de sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

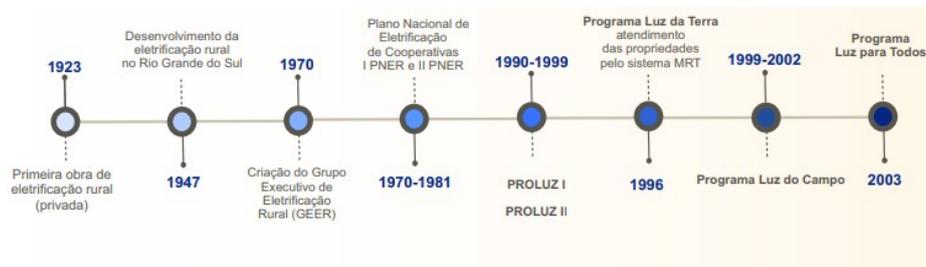
A inserção da geração distribuída na rede elétrica de distribuição tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores, e seus impactos vêm sendo conhecidos à medida que a micro e a minigeração aumentam. Os impactos negativos vão desde danos significativos aos reguladores de tensão (GAMA et al, 2021), significativas perdas nos transformadores, perdas totais nas linhas, e sobretensão em regime permanente (CASTILHOS, 2014). Ainda, a inserção da GD na rede elétrica de distribuição pode afetar o desempenho destas, causando alterações no fator de potência e no desbalanço de tensão. Dessa forma, altera

seus índices de qualidade, confiabilidade e continuidade, o que requer novas estratégias de monitoramento, controle, proteção e operação do sistema (SILVA FILHO, 2023).

2. A ELETRICIDADE NO MEIO RURAL

No Brasil, história da eletricidade no meio rural tem início datada de 1923, quando João Nogueira Gonçalves, a instalou em sua propriedade, no município de Batatais em São Paulo. Desde essa época, a luta pelo conforto promovido pela eletricidade ao homem do campo tem sido constante. Muito foi feito, principalmente por programas governamentais, mas ainda há bastante a fazer. Em busca de soluções, surge o sistema Monofilar com Retorno por Terra (MRT), que teria sido utilizado pela primeira vez, em larga escala, na Nova Zelândia em 1941, e vem sendo largamente utilizado até a atualidade. A figura 2 dá uma ideia da maneira como a eletricidade é inserida no meio rural ao longo do tempo no Brasil.

Figura 2: Eletricidade no meio rural no Brasil. Fonte: Kräulich, 2022



Em 2023, começa a se consolidar uma nova proposta de transmissão de eletricidade no meio rural. Ou seja, aproximadamente 100 anos depois da primeira obra no meio rural, a distribuição a partir da T2F passa a figurar como uma alternativa para auxiliar na solução do fornecimento de energia elétrica trifásica em substituição ao MRT.

3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: NOVAS POSSIBILIDADES

A lei 14.300/2022 também chamado de marco regulatório da geração distribuída no Brasil, teve seu início a partir do Projeto de Lei nº 5.829/2019. Publicada em 06 de janeiro de 2022 e regulamentada em 07 de fevereiro de 2023. A lei passou a estabelecer novas regras para a cobrança pelo uso do sistema de distribuição pela quantidade de energia gerada e injetada na rede elétrica. Basicamente, a lei estabeleceu 3 períodos para a cobrança tarifária, sendo que no primeiro deles os créditos podem ser totalmente

compensados, o segundo é considerado um período de transição, e no terceiro deverá haver a efetividade da aplicação tarifária.

O grande destaque aqui, com a nova lei e sua regulamentação, se deve à possibilidade da criação de consórcios, nos quais há a geração compartilhada, ou seja, um grupo de pessoas pode formar um consórcio, instalar uma usina de micro ou minigeração, podendo compartilhar o consumo em diferentes CPFs, o que antes não era permitido. E aqui, é vislumbrada a possibilidade de geração em locais distantes das cidades e dos grandes centros. Sabe-se que nos centros urbanos os espaços são ocupados por prédios e condomínios, e não há a possibilidade de instalação de uma usina solar, por exemplo, devido à grande área necessária a ser ocupada pelos painéis fotovoltaicos. Primordialmente, a instalação de usinas fotovoltaicas, em áreas distantes de centros urbanos, onde sabidamente há terras que podem ser impróprias para a agricultura ou pecuária, podem ser adquiridas a custo baixo, e tem bom índice de radiação solar, trazem à tona outro problema: a conexão da geração à rede elétrica, que em áreas distantes dos centros, deverá ser feita pelo sistema MRT ou pelo MRN. Embora a configuração atual do MRT apresente uma boa capacidade de transmissão, o sistema pode se tornar sobrecarregado com a inserção paulatina da GD. Assim, a implantação do sistema de transmissão a dois fios (T2F) surge como alternativa que se torna viável, técnica e economicamente.

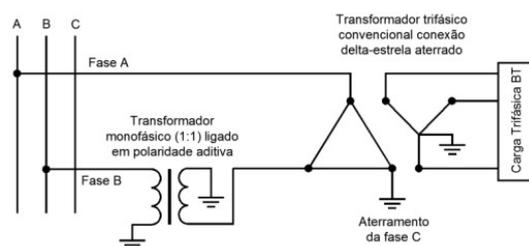
4. UM SISTEMA NÃO CONVENCIONAL DE TRANSMISSÃO ELÉTRICA: O T2F

Em termos de GD, a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos tem sido a mais significativa no Brasil, pois de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, o país recebe irradiação solar média entre 4,444 Wh/m² e 5,483 Wh/m² diariamente. Esse é um dos fatores que contribui para que o recorde de geração fotovoltaica seja batido a cada ano, desde o advento da RN 482/2012. Partindo da ideia de instalação de usinas solares em locais distantes dos grandes centros urbanos, e com a necessidade de manter a qualidade e eficiência da energia fornecida, aliada ao baixo custo, não cabe falar em construção ou instalação de novas redes de transmissão ou distribuição, partindo de locais remotos. Dessa forma, surge a necessidade de utilização das redes já existentes, caracterizadas como sistemas MRT ou MRN.

Com o avanço das tecnologias no campo e a necessidade de utilização de equipamentos que necessitem de rede trifásica, e considerando que a geração poderá estar próxima do produtor rural, há de se considerar que o mesmo possa aproveitar essa geração que está perto de sua propriedade, e lhe seja fornecida como uma rede trifásica. Neste contexto, há de se considerar os estudos experimentados, que convertem uma rede a 2 fios em uma rede trifásica, pois a instalação de uma rede trifásica convencional no meio rural, a localidades distantes, é bastante oneroso.

Em *Two Wire Distribution Systems for Supplying Three Phase Rural Loads*, (FANDI, 2014) apresenta um método onde ocorre o aproveitamento de uma rede MRN, a convertendo em rede trifásica, utilizando arranjos eletromagnéticos específicos. A proposta consiste em utilizar o condutor de retorno (neutro), convertendo-o em uma fase, com a necessidade de realocá-lo, e substituir os isoladores para nível de média tensão. A figura 3 mostra o arranjo proposto. Nesta proposta, há de se destacar um ponto positivo, que é o baixo custo em relação à instalação de um ramal trifásico novo. No entanto, embora os ensaios de laboratório tenham apresentado resultados satisfatórios, o sistema carece de estudos acerca, das configurações do aterramento da fase C, da dispersão da corrente no solo pelo aterramento da fase C, medição da tensão de passo no local do aterramento, do desbalanço de tensão para o caso de maiores distâncias.

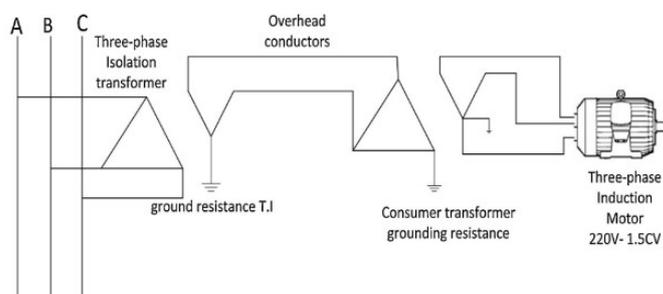
Figura 3: Diagrama proposto para obter rede trifásica a partir da MRN. Fonte: Fandi, 2014



Em *Repowering rural single-phase distribution network: A non-conventional proposal using two overhead wires and the ground as the third phase*, Borges et al (2017), baseado em estudos anteriores de Iliceto (1989), propõe uma rede trifásica a 2 fios (T2F), onde usa a terra como 3º condutor. A figura 4 ilustra este esquema proposto por Borges. Inicialmente, o sistema proposto transmite energia a média tensão e o transformador do consumidor é do tipo abaixador, reduzindo para baixa tensão trifásica. Para corroborar os estudos a respeito do correto e eficiente funcionamento do sistema T2F, Oliveira et al (2022) realizam o estudo sobre o correto dimensionamento dos para-raios a serem

utilizados no mesmo. Sebastiany et al (2022) realizam estudos comparativos entre métodos de cálculo de distribuição de potencial na superfície de redes aterradas, de forma a investigar o comportamento da fase aterrada no sistema T2F. Marchesan et al (2022), por sua vez, efetuam estudos a respeito do desbalanço de tensão para a rede trifásica a dois fios. Kräulich et al (2022) realizam estudos a respeito da estimativa de custos para a implantação de uma rede T2F, demonstrando a vantagem econômica do sistema, a partir de certa distância de instalação. Silveira et al (2022) efetuam estudos para verificar a efetividade das metodologias de compensação dos desequilíbrios de tensão no T2F. G. Cardoso et al (2022) realizam estudos que avaliam a segurança das pessoas, em meio rural, nas proximidades dos sistemas que utilizam a terra como meio condutor.

Figura 4: Protótipo reduzido de proposta para baixa tensão. Fonte: Borges, 2017



Além dos resultados que vêm sendo obtidos, em termos de transmissão de energia com o uso do T2F em um protótipo em 13,8 kV, instalado no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), há de se avaliar a constante preocupação global com o meio ambiente. Nesse ínterim, vêm sendo realizados estudos que visam avaliar os impactos diretamente no solo. Inicialmente, o foco está em monitorar a umidade no solo devido a fase aterrada, que poderia sofrer algum ressecamento devido a circulação de corrente elétrica. Entretanto, é possível afirmar que o não uso do T2F implicaria na construção de uma rede trifásica para o objetivo proposto, o que poderia ter um alto impacto ambiental em seu percurso.

Embora alguns estudos ainda estejam em andamento, e seus corolários vêm sendo constantemente avaliados, o T2F tem se apresentado como uma alternativa viável técnica e economicamente. Os resultados obtidos a respeito dos níveis de tensão, níveis de segurança, e qualidade de energia têm sido plenamente satisfatórios ao que se propõe, ou seja, atender o fornecimento de carga trifásica no meio rural, de forma totalmente satisfatória.

5. CONCLUSÃO

Um século após a primeira obra de eletrificação rural, no Brasil, a transmissão Trifásica a Dois Fios (T2F) surge como a primeira solução inovadora, desde o sistema Monofilar com Retorno por Terra (MRT), para suprir as necessidades do meio rural. A proposta é não convencional por utilizar a terra para carregar uma fase da transmissão trifásica, pois há tempos se sabe que a terra é um ótimo condutor elétrico devido a sua baixa resistividade. Atualmente, com o advento da Geração Distribuída e o aproveitamento da energia fotovoltaica, o T2F surge como promissora possibilidade para solucionar a transmissão da GD a partir de locais distantes da rede convencional, ao mesmo tempo que pode resolver o abastecimento trifásico no meio rural. Assim, o objetivo deste trabalho, que foi de levantar considerações a respeito das novas possibilidades de GD definidas pela lei nº 14.300/2022, principalmente sobre a possibilidade de geração compartilhada por pessoas físicas, também buscou apresentar uma alternativa à transmissão da energia gerada, através do sistema T2F. Portanto, seguindo uma provável tendência da criação de usinas de geração distribuída em locais onde não exista a rede trifásica, o sistema T2F, corroborado pelos estudos apresentados, se apresenta como uma solução relativamente simples, eficiente e de baixo custo.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES/PROEX) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. **ANEEL regulamenta marco legal da Micro e Minigeração Distribuída**. Disponível em: [ANEEL regulamenta marco legal da Micro e Minigeração Distribuída — Agência Nacional de Energia Elétrica \(www.gov.br\)](http://www.aneel.gov.br). Acesso em: 02 out. 2023.

BORGES, P. R. O., RAMOS, J. E., CARVALHO, C. A. T., PIRES, V. A., CARDOSO, G., RAMOS, D. B., de MORAIS, A. P. (2017). **"Repowering rural single-phase distribution network: A non-conventional proposal using two over-head wires and the ground as the third phase. Electric Power Systems Research"**, 150, 105–117. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.05.001>

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2023.

SEBASTIANY, P. H. B. et al. ***Comparison between methods for the calculation of the electrical potential distribution in the surface of grounded grids.*** Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9976458>. Acesso em: 12 set. 2023

OLIVEIRA, M.N. et al. **Especificação de para-raios em sistemas de distribuição rural trifásico a dois fios.** Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br>. Acesso em: 22 set. 2023.