

Estimativa do custo de implantação de um sistema trifásico a dois fios para repotencialização de redes rurais monofásicas

Leyla Kräulich* Lucas K. Centenaro** Jean P. Rossini***
Adriano C. Marchesan**** Gustavo Marchesan†
Ghendy Cardoso Jr.‡

* Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFSM, RS,
(leylakraulich3@gmail.com)

** Instituto Federal Catarinense, Campus São Francisco do Sul, SC
(lucas.centenaro@ifc.edu.br)

*** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFSM, RS,
(e-mail: j.perossini@gmail.com)

**** Instituto Federal Farroupilha, Campus Jaguari, RS,
(adriano.marchesan@iffar.edu.br)

† Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFSM, RS,
(e-mail: gutomarchesan@gmail.com)

‡ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFSM, RS,
(e-mail: ghendy@ufsm.br)

Abstract: Most rural electrical loads are Single Wire Earth return (SWER), mainly for budgetary reasons. However, many rural consumers do not have their needs fully met due to the SWER limited supply capacity and its and the inability to connect three-phase motors.. The solution planned to benefit these rural properties is through the repowering of the three-phase network. The present work sought to compare distribution network projects from an economic perspective, the Three-Phase Two-Wire System (T2F) and the Conventional Three-Phase System, pointing out the most profitable solution. All structures were selected according to the rules and procedures of rural aerial distribution networks, counted for one kilometer and extended up to twenty kilometers for comparison purposes. It was found that from five kilometers of network extension, the costs with T2F will be more advantageous in relation to the three-phase.

Resumo: Majoritariamente as cargas elétricas rurais são atendidas pelo sistema Monofilar com Retorno por Terra (MRT), sobretudo por uma questão orçamentária. Entretanto, muitos consumidores rurais não tem suas necessidades completamente atendidas devido a pequena capacidade de fornecimento do sistema MRT e pela incapacidade de atender motores trifásicos de grande porte. A solução prevista para beneficiar estas propriedades rurais é por meio de repotencialização da rede para trifásica. O presente trabalho buscou comparar projetos de redes de distribuição sob uma perspectiva econômica, o Sistema Trifásico a Dois Fios (T2F) e o Trifásico Convencional, apontando a solução mais rentável. Todas as estruturas foram selecionadas conforme as normas e procedimentos de redes aéreas de distribuição rurais, contabilizadas para um quilômetro e estendidas até vinte quilômetros para fins de comparação. Constatou-se que a partir de cinco quilômetros de extensão, os custos com o T2F serão mais vantajosos em relação ao trifásico.

Keywords: Electric power distribution; rural electrification; single wire earth return systems; three-phase two wire systems.

Palavras-chaves: Distribuição de energia elétrica; eletrificação rural; sistema monofilar com retorno por terra; sistema trifásico a dois fios.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, assim como em outros países, as redes de distribuição Monofilares com Retorno por Terra (MRT) são comumente empregadas em áreas rurais, sobretudo nos locais em que há poucos consumidores, baixa densidade de cargas instaladas, e que são geograficamente esparsos e distantes de centros urbanos (Sander, 1997). Alguns anos atrás, esta configuração se mostrava como uma boa solução técnica e economicamente viável, principalmente para atendimento à população que não dispunha do fornecimento de energia elétrica.

Muitas destas redes foram construídas a partir de incentivos de programas nacionais de eletrificação rural para facilitar a oferta e o acesso de uso da Energia Elétrica, como por exemplo, PROLUZ (I e II), Luz da Terra, Luz do Campo, e o Programa Luz Para Todos (Jeronymo and Guerra, 2018). Tais programas, de forma geral, tinham como principal objetivo fomentar a estruturação de sistemas de distribuição em locais remotos ou de difícil acesso.

No entanto, com o crescente uso de equipamentos elétricos, seja para suprimento da mecanização agrícola e consequente melhoria da produtividade, quanto para benefícios na qualidade de vida e acesso aos meios de comunicação e informação, a capacidade de transmissão do sistema MRT se tornou obsoleta e incapaz de atender a demanda de eletricidade atual. Esta condição pode ocasionar vários problemas relacionados à qualidade de energia previstos no Módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), como o nível de tensão em regime permanente em faixa precária ou crítica (ANEEL, 2021). Por outro lado, os custos envolvidos para a substituição deste tipo de sistema por redes trifásicas, na maioria das vezes, não se mostram economicamente atraentes para as distribuidoras de energia.

Neste contexto, este artigo apresenta um sistema não convencional denominado por sistema Trifásico a dois Fios (T2F) que surge como alternativa para viabilizar projetos com menor custo em relação à tradicional expansão de rede trifásica, com intuito de aumentar a capacidade de fornecimento de energia em regiões em que hoje são atendidas pelo sistema MRT. Essencialmente, o sistema T2F considera a reutilização do circuito já existente, em que o ramal monofásico de média tensão, que atende o consumidor, é adaptado para uma configuração trifásica. Desta maneira, um dos cabos alimentadores pode ser reaproveitado do MRT, e um novo condutor é adicionado para a segunda fase, e a terceira é conectada diretamente ao solo. O funcionamento do sistema T2F é abordado em detalhes na Seção 2.

Este artigo está organizado em 6 Seções. A Seção 2 apresenta um breve descritivo sobre o funcionamento do sistema T2F. A Seção 3 pormenoriza as estruturas utilizadas nas instalações do sistema T2F, com a respectivas justificativas de escolhas. A Seção 4 descreve a metodologia proposta, a qual busca auxiliar a tomada de decisão em projetos de repotencialização de redes de distribuição. Na Seção 5 é abordada uma análise comparativa de custos

* Este trabalho é parte integrante de um projeto de P&D aprovado pela ANEEL e desenvolvido em parceria entre a UFSM e a CEEE-GT.

entre as topologias de rede de distribuição tradicionais e o sistema T2F. Por fim, na Seção 6 são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2. O SISTEMA TRIFÁSICO A DOIS FIOS (T2F)

Esta seção apresenta, de forma concisa, a proposta de atendimento a cargas trifásicas rurais baseada no trabalho de Borges et al. (2017). Em que o escopo do estudo intencionou verificar a viabilidade prática de transmissão de energia elétrica utilizando o solo como um dos condutores.

A topologia de rede de distribuição proposta por Borges et al. (2017) está representada na Figura 1 através do diagrama multifilar. Observando a imagem, nota-se que no sistema T2F há a inclusão de um transformador isolador interposto entre o circuito da rede primária de distribuição e o transformador que atende o consumidor.

O primário do transformador isolador, usualmente será ligado em delta e energizado por tensão trifásica simétrica, e o secundário possui conexão estrela fase aterrada. Cabe ressaltar também, que uma das fases derivada do enrolamento do secundário representada na figura pela linha tracejada e nomeada por Fase C, possui conexão solidamente aterrada, singularidade da topologia por utilizar o solo como uma das fases condutoras da rede.

A inclusão do transformador isolador promove o desacoplamento elétrico da rede trifásica convencional daquela que alimentará o consumidor, permitindo o confinamento da corrente de alimentação a jusante. Desta maneira, pode-se monitorá-la com frequência, e assim controlar as tensões de passo e de toque do circuito, a fim de garantir os limites de segurança pessoal.

Outra particularidade do T2F, está no sistema de aterramento. Em um sistema trifásico convencional, sua função é a dissipação de correntes em um curto intervalo de tempo, como por exemplo, em descargas atmosféricas. Enquanto que no T2F, o aterramento é parte ativa do sistema, impondo condições significativas para determinar tanto metodologia de utilizar o solo como fase condutora, quanto os recursos de investimentos financeiros.

A outra estrutura que completa o novo padrão de atendimento é a substituição do transformador monofásico, próximo ao ponto de entrega da unidade consumidora, por um trifásico. Ressalta-se ainda na Figura 1, que uma das fases do lado primário deve ser aterrada.

3. DEFINIÇÃO DE ESTRUTURAS PARA A REPOTENCIALIZAÇÃO DO SISTEMA MRT

Perante a validação do Sistema T2F proposto por Borges et al. (2017), cuja topologia de rede caracteriza-se como método inovador de distribuição de energia elétrica trifásica, há necessidade de determinar o padrão de instalação das estruturas básicas de montagem desta rede de distribuição rural, a fim de que o modelo possa ser efetivamente implementado. Em virtude desta demanda, na seção aborda-se os argumentos de escolha das estruturas convencionais utilizadas para o modelo T2F em comparação ao modelo trifásico convencional.

A escolha e o dimensionamento das estruturas de uma rede de distribuição estão inter-relacionados com questões

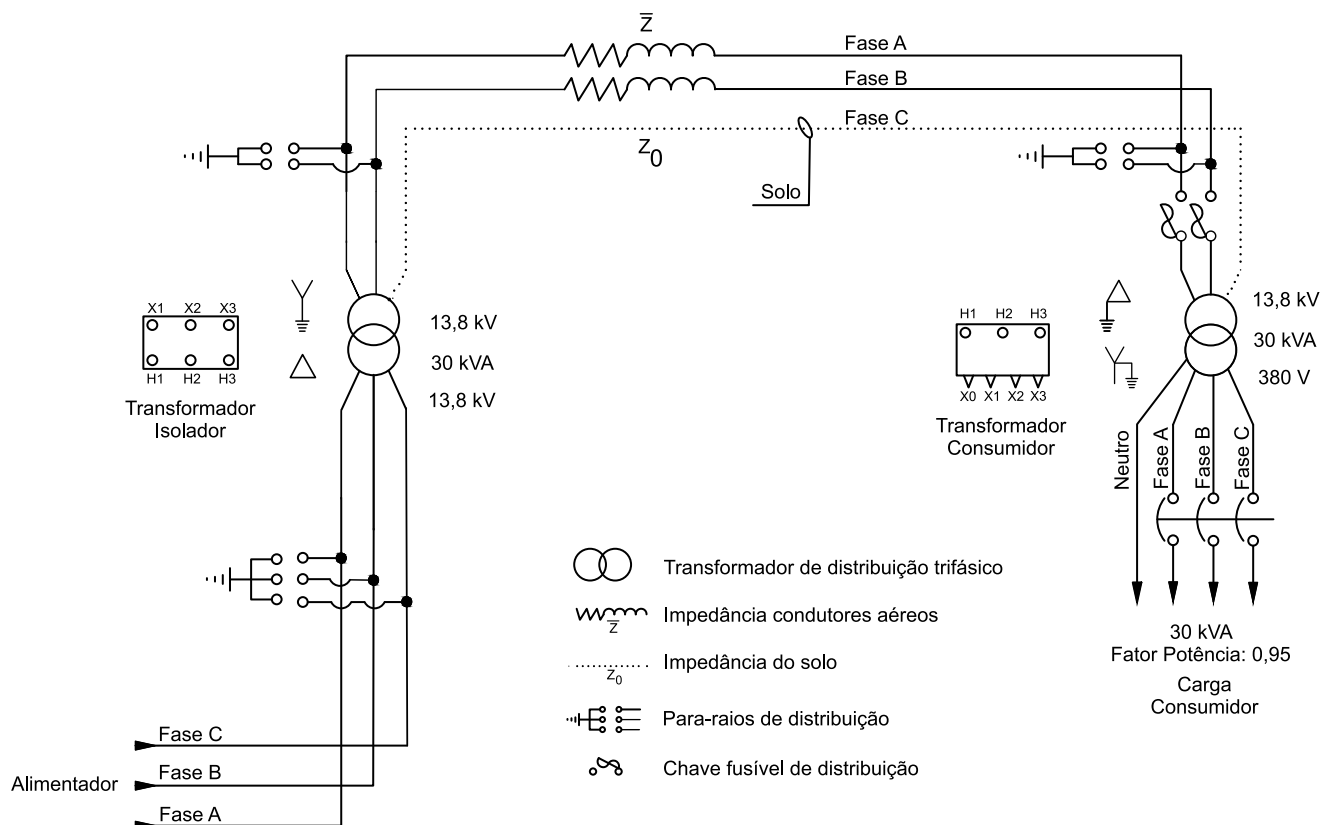


Figura 1. Diagrama multifilar do Sistema T2F.

técnicas como, qualidade de energia em sistemas curtos e longos, desbalanços de carga, aterramento; e causam impactos nas questões econômicas e nos princípios básicos de segurança. Por esse motivo, avaliar tais requisitos é imprescindível para sucesso do projeto e sua execução.

Os sistemas de distribuição são compostos de elementos básicos como postes, estruturas, cabos condutores, transformadores, equipamentos de medição, controle e proteção. No que se refere ao projeto e construção das redes de distribuição, seja em média ou baixa tensão, as características de topologia de tais equipamentos obedecem a um conjunto de normas emitidas pelas entidades legalmente habilitadas e respectivas concessionárias.

Neste caso, a instrução técnica IT-81.002 (2015) será o principal documento para a elaboração do estudo, ela estabelece condições exigíveis para apresentação e elaboração de redes aéreas de distribuição rurais (RDR). O padrão de estruturas e nomenclaturas de projeto, foram embasadas na padronização PAD-11.003 (2021) para estruturas primárias e PAD-11.026 (2019) para estruturas secundárias, cujos procedimentos são aplicados aos sistemas de distribuição da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica - CEEE-D.

Considerando que a forma tradicional de entrega de energia trifásica seja realizada pela rede trifásica convencional, tomou-se esta como referência na comparação estrutural e orçamentária. Ressalta-se ainda, que a presente proposta de repotencialização da rede monofásica sugere o aproveitamento da topologia do ramal monofásico existente com finalidade de obter redes elétricas rurais com menor investimento possível. Na Tabela 1, elencou-se os principais

equipamentos característicos para ambas as configurações estruturais, que irão impactar no orçamento e nos detalhes do projeto.

Tabela 1. Principais estruturas para os sistemas trifásico convencional e T2F.

Descrição de Materiais	Trifásico Convencional	T2F
Nº condutores CAA (4 AWG)	3	2
Isoladores por estrutura	3	2
Transformador do consumidor	1	1
Transformador isolador (TI)	-	1
Para-raios poliméricos do TI	-	6
Sistema de aterramento do TI	-	1
Postes do Sistema do TI	-	1

3.1 Sistema Isolador

Como pode-se observar na Seção 2, uma particularidade na questão estrutural do Sistema T2F, trata-se da implementação do sistema isolador composto pelo transformador isolador e todos os elementos que acompanham esta configuração. Para definição das estruturas que compõem o sistema isolador, parâmetros essenciais como distância de segurança, afastamentos mínimos, características mecânicas e elétricas dos materiais foram ponderados no projeto.

A instalação do transformador isolador, imprescindível para o sistema T2F, estabeleceu-se a uma distância de 20 metros a partir da derivação do tronco alimentador. A escolha desta distância, caracteriza um vão mais curto que o padrão de 100 metros, a fim de evitar a troca do

poste previamente instalado da rede monofásica. Além disso, almeja-se facilitar a manutenção adequada de todo o conjunto de equipamentos que constituem a estrutura, visto que as derivações existentes estão em locais de boa acessibilidade.

A potência do transformador isolador baseia-se no somatório de demanda dos consumidores do sistema. Neste estudo considerou-se apenas um consumidor no projeto, por esse motivo a potência dos transformadores isolador e consumidor são iguais a 30 kVA. A relação de transformação para o isolador é 1:1 e tensão nominal de 13,8 kV, entretanto para o transformador consumidor o valor das tensões nominais são 13,8 kV/380 V, conforme está evidenciado na Figura 1.

O transformador isolador e estruturas auxiliares estão alocados em poste com 12 metros de altura e capacidade de 400 daN, conforme é mostrado na Figura 2 e a listagem dos materiais discriminada na Tabela 2. Considerando a hipótese de aumentar a potência do transformador, caso necessário, haverá substituição em projeto da capacidade do poste, bem como dos elementos que dependem deste acréscimo de demanda.

A aplicação do estaiamento é preferivelmente utilizado para oferecer estabilidade e equilíbrio de postes e estruturas. Neste caso, o estaiamento é necessário em virtude da derivação presente. Além disso, a distância estabelecida de 20 metros corrobora para a instalação do estai (ea1), pois este requer espaço para ser posicionado de maneira a suprir os esforços no topo do poste. Os detalhes destes elementos de projeto, como por exemplo estai (ea1), estão representados na Figura 2.

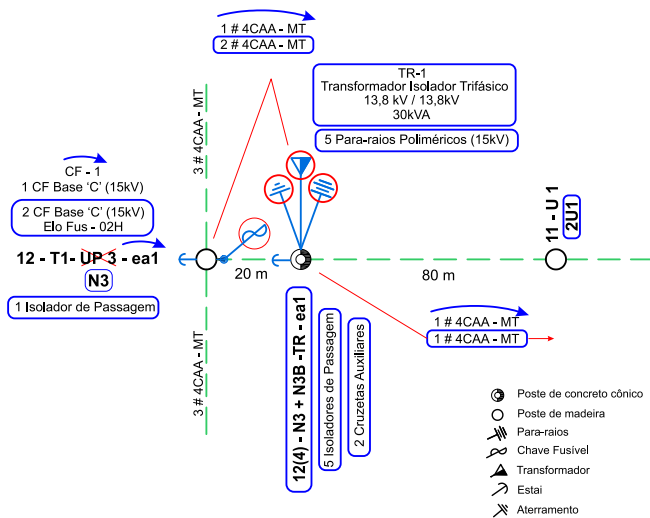


Figura 2. Trecho da derivação aos cem metros iniciais do projeto da rede modificada T2F.

A estrutura de derivação presente na MT trifásica até o transformador isolador é N3, e após, passa ser caracterizada pela estrutura bifásica N3B. O aterramento da fase C é efetuado com 12 hastes de cobre interconectadas com cabo de cobre nu de 25 mm² em formato de malha quadrada. As estruturas do aterramento elétrico são propostas para um estudo hipotético, entretanto merecem atenção, pois será necessário avaliar características do solo principalmente com relação à sua resistividade elétrica. Em

virtude disso, o projeto será específico para cada condição de terreno, que se traduz na variabilidade das estruturas empregadas.

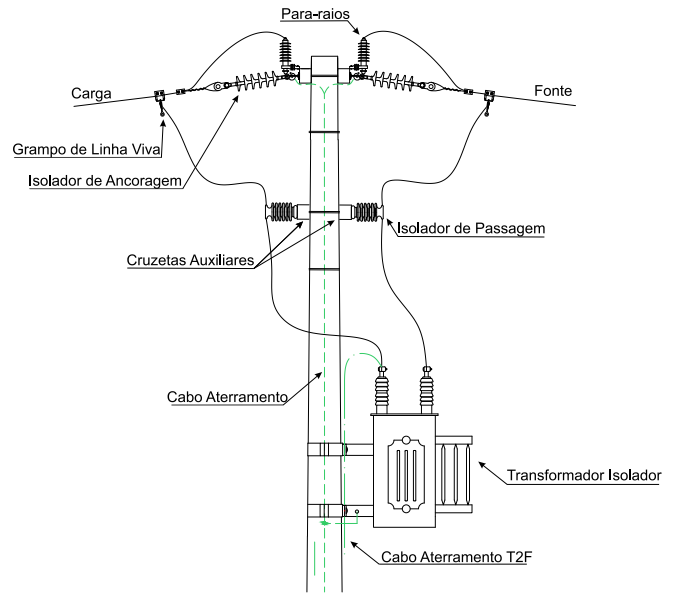


Figura 3. Detalhamento do transformador isolador e equipamentos que compõe a estrutura.

Tabela 2. Materiais e elementos que compõe o poste do transformador isolador.

Descrição de Materiais	Unidade
Poste de concreto circular cônico 12 m - 400daN	1
Suporte p/ transformador - Cinta	2
Cinta circular	4
Para-raios poliméricos 15kV	5
Isolador pilar com pino e laço (classe 15kV)	5
Cabo de cobre 25mm ²	18
Isolador de passagem	5
Conexões exotérmicas	14
Haste de aço cobreada Ø16 2400mm	12
Transformador isolador 13,8kV (relação 1:1)	1
Cruzeta polimérica com sela	4
Conector cunha	11
Grampos de linha viva com estribo	5
Isolador de ancoragem polimérico com alça	5

3.2 Rede de Distribuição

A sequência de posteação presente para o sistema representado na Figura 2 corresponde à estrutura monofásica MT básica do antigo sistema MRT, representada pela nomenclatura U1 com postes em madeira de 11 metros. Manteve-se os postes preexistentes para as duas configurações implementadas, supondo que estavam em bom estado de conservação.

Conforme instrução técnica IT-81.002 (2015), para estruturas monofásicas são permitidas transformações, sem desmontagem da estrutura original, desde que previstos os devidos afastamentos mínimos entre condutores, neste caso de 60 centímetros. Assim também, é considerado que

todos os postes projetem condutores com altura suficiente sob o ponto mais desfavorável de sua catenária.

Com propósito de compor os custos dos investimentos necessários para sistema convencional trifásico e, sincronicamente compará-lo ao T2F, adaptou-se as estruturas monofásicas progressas da rede MRT para trifásicas MT básicas. Notoriamente, esta configuração é isenta da utilização de um transformador isolador, e o projeto dos cem metros iniciais da rede são apresentados na Figura 4. A sequência de postes é a mesma representada anteriormente pela nomenclatura U1 com postes em madeira de 11 metros.

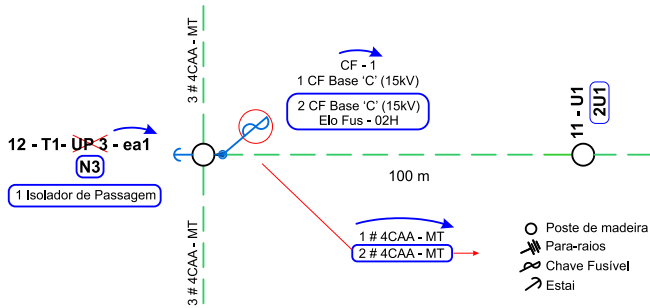


Figura 4. Trecho da derivação dos cem metros iniciais do projeto da rede convencional trifásica.

Para ambos os sistemas de análise, o atendimento ao consumidor é efetuado com um transformador trifásico de 13,8 kV/380 V de tensão nominal, sendo sua potência nominal 30 kVA, igual a demanda do cliente. Com relação às formas de compensação de esforços, em áreas rurais há possibilidade de utilizar projeção de estai de ancoragem em postes em deflexão de rede.

4. METODOLOGIA

Uma vez que sob o aspecto técnico o sistema T2F já foi comprovado por Borges et al. (2017), o escopo deste estudo é validar o presente sistema como uma proposta economicamente viável frente ao convencional fornecimento trifásico. Para isso, primeiramente é necessário identificar as estruturas presentes no sistema de distribuição MRT e, a partir delas, fazer a repotencialização da rede para um fornecimento convencional trifásico e para o sistema T2F, e assim construir a relação de comparação de custos entre ambos os sistemas.

A Figura 5 apresenta um fluxograma com as etapas e sequência de procedimentos que visa esclarecer escolhas de estruturas necessárias para realizar o projeto de repotencialização, tanto para as topologias mais tradicionais, quanto para o T2F. As etapas contempladas no fluxograma foram elaboradas com propósito permitir escolhas diferentes nos orçamentos, adequando o projeto a situações específicas e que podem ser adaptadas de acordo com as particularidades estabelecidas em normas técnicas por cada concessionária. Neste caso, tomou-se como referência a instrução técnica IT-81.002 (2015) e a norma técnica NBR-15688 (2012).

1ª etapa - Entrada de dados. Recebe a informação inicial da Extensão total da Rede existente (ER) em metros a fim de determinar a quantidade de condutores em metros a serem empregados.

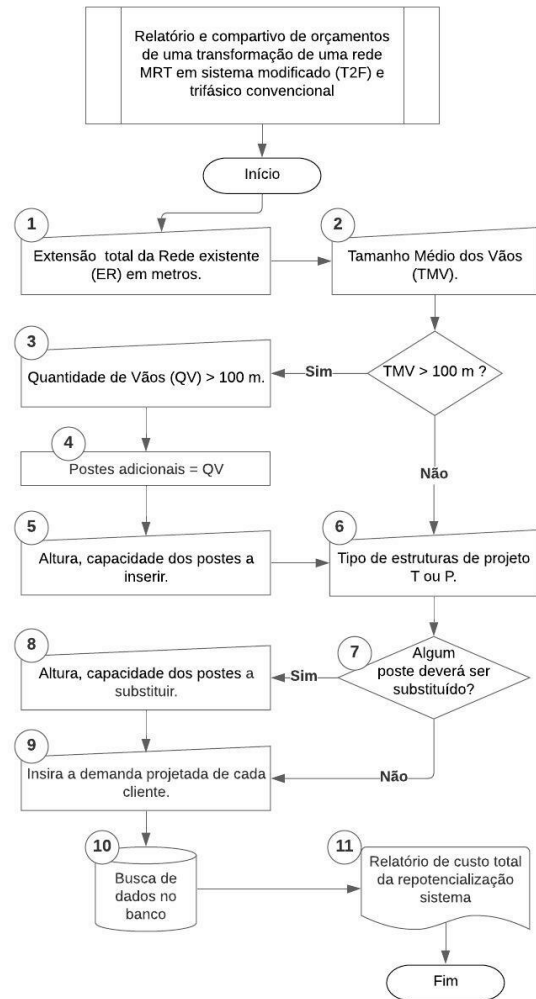


Figura 5. Fluxograma com etapas de transformação de uma rede MRT em trifásico convencional ou T2F.

2ª etapa - Entrada de dados. Compreende a entrada de dados que delimita o Tamanho Médio dos Vãos (TMV). Sua sequência implica no domínio da variável de decisão ser maior ou menor que 100 metros, pois a distância entre postes (vão) é determinante na decisão de incluir postes intermediários, à medida que se efetua o complemento das fases aéreas de acordo com o padrão da concessionária.

Salienta-se que, mesmo o TMV sendo previsto em normas técnicas, excepcionalmente pode haver vãos maiores que os limites contemplados nestas normas, e que tecnicamente foram justificados quanto aos esforços longitudinais e transversais na estrutura de sustentação. Porém, devido a repotencialização tais distâncias de vãos precisam ser reavaliadas.

3ª etapa - Entrada de dados. Caso TMV seja maior que 100 metros, o projetista deverá inserir a quantidade de vãos que receberá a instalação de postes devido o complemento de fases. Esta ação de projetar postes em vãos maiores que 100 metros visa considerar a altura mínima da catenária, necessária em casos com o acréscimo de fase, cuja distância ao solo está reduzida. Os acidentes

geográficos, os locais de instalação e obstáculos também são corrigidos com esta projeção.

4ª etapa - *Processo/Ação*. Com os dados inseridos na 3ª etapa, é possível processar quantos postes serão adicionados, ou seja, postes adicionais é igual a QV. Além de intercalar os postes é necessário analisar as distâncias a jusante e a montante do poste intercalado, a fim de que sejam constatados os surgimentos de esforços antes inexistentes.

5ª etapa - *Entrada manual*. Nesta etapa é essencial considerar as alturas recomendadas para os postes, as flechas dos condutores e as distâncias mínimas admissíveis entre o condutor mais baixo e o solo. Deste modo pode-se saber a altura, capacidade e modelo dos postes a serem inseridos, pois tais informações influenciarão diretamente na combinação de todas as estruturas do orçamento impactando no custo final da rede.

6ª etapa - *Entrada manual*. Entrada de dados sobre qual o tipo de estruturas que já estão presentes no projeto T ou P, seguiu-se o mesmo padrão de estruturas já instaladas previamente na rede.

7ª etapa - *Decisão*. Na presente etapa, é essencial informar se há necessidade de substituição de postes, seja por introduzir mais um condutor na rede, que ocasiona um aumento de tração dos condutores para postes em deflexão, seja por acréscimo de altura nominal.

8ª etapa - *Entrada manual*. Partindo da condição anterior, é necessário informar o número de postes a serem substituídos, bem como a respectiva altura, capacidade e modelo.

9ª etapa - *Entrada manual*. Informar qual a demanda em Volt Ampères (VA) de cada consumidor. Essa é uma informação necessária para obter a potência nominal dos transformadores que compõe a rede analisada, bem como, o transformador isolador.

10ª etapa - *Banco de dados*. Busca ativa de dados ao banco de informações, cujo cadastro contém a lista de todas as estruturas, equipamentos e elementos com seu respectivo valor, necessário para a composição dos custos totais.

11ª etapa - *Relatório*. Como resultado de todo processo, nesta etapa se obtém a apresentação de um relatório de custos do sistema trifásico convencional e do T2F. Através desta análise comparativa, a qual constam ambos os orçamentos, o planejador pode optar pela solução mais adequada a implementar levando em conta os parâmetros de projeto inseridos no decorrer do fluxograma.

5. ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS

Para fins de validação da proposta, partiu-se da existência prévia de um sistema MRT convencional de 10 kVA com extensão de 1 a 20 quilômetros e configuração de rede linear - sem ângulos - atendendo apenas um consumidor. Tal sistema foi transformado para sistema trifásico convencional e para sistema T2F, seguindo os passos descritos na Figura 5.

Para esta análise comparativa, realizou-se o mínimo de alterações possíveis em relação à rede monofásica existente, adicionando apenas estruturas necessárias para cada

um dos tipos de rede. Além dos valores materiais, estão inclusos nos orçamentos gastos com mão-de-obra, administração e transporte.

O primeiro quilômetro da rede T2F representa uma parcela considerável dos custos em relação aos investimentos totais, devido à instalação do sistema isolador requerido para seu funcionamento. Em decorrência da utilização do transformador, também haverá necessidade de implementação do sistema de aterramento e todas as estruturas agregadas para sua instalação.

O cálculo dos investimentos para o primeiro quilômetro de rede, para ambos os sistemas, foi executado separadamente em virtude das diferenças estruturais já citadas. A partir destas estimativas, os valores de custos, expressos em reais, foram comparados a cada quilômetro de extensão das redes, conforme está apresentado na Figura 6.

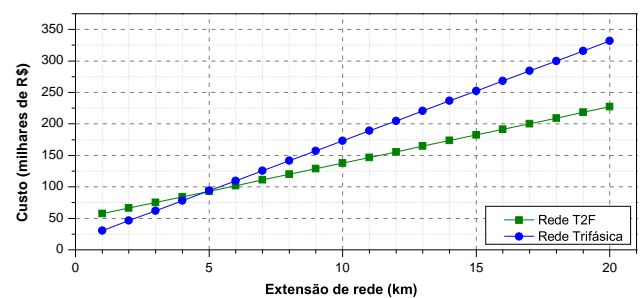


Figura 6. Gráfico comparativo de orçamentos da rede T2F × rede trifásica convencional.

Analisando o gráfico da Figura 6, nota-se que os investimentos construtivos iniciais para implementar a rede T2F são maiores, em virtude do sistema isolador descrito na Seção 3.1, e aos 5 quilômetros a diferença de custo entre tais redes se equipara. Na medida em que a extensão da rede aumenta, a partir do quinto quilômetro de projeto, a economia de investimentos no T2F em relação ao sistema convencional torna-se maior. Pode-se atribuir esta diferença no orçamento devido ao sistema T2F conduzir eletricidade de uma das fases através do solo, sendo desnecessário um dos cabos condutores e estruturas auxiliares para suporte do mesmo.

6. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma análise comparativa de custos com relação a uma transformação de rede de distribuição rural monofásica para trifásica. Tradicionalmente, os consumidores da zona rural são atendimentos por redes MRT, porém a demanda do setor, que visa garantir o crescimento do agronegócio, necessita um aumento da capacidade de abastecimento energética que será suprida por um sistema trifásico.

O presente estudo é imprescindível para identificar quais os principais fatores que interferem nos custos de implementação de um sistema T2F em relação ao trifásico convencional, e que estes valores tenham custos atrativos para empresas de distribuição. Demonstrou-se que há factibilidade na adaptação dos convencionais ramais MRT para o T2F a fim de suprir cargas trifásicas, neste caso triplicando a potência do MRT pré-existente, com um custo menor que redes tradicionais sistemas trifásicos.

Por meio deste projeto, pode-se detalhar cada estrutura do sistema isolador e confirmar que ele é um fator preponderante nos custos do projeto. Além disso, permitiu vislumbrar outras vertentes para sequência do trabalho, tendo em vista que há outras possíveis configurações de sistemas a serem estudadas para uma validação mais aprofundada no assunto.

7. AGRADECIMENTOS

O trabalho apresentado integra diversos temas e é o objetivo parcial de um projeto de P&D iniciado em 2020, aprovado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e desenvolvido em parceria com a CEEE-GT Nº 5000003852. Está sendo realizado com apoio financeiro do Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) vinculado ao projeto Nº 88887.137201/2017 – 00.

REFERÊNCIAS

- ANEEL (2021). Agência Nacional de Energia Elétrica. Experiências brasileiras com eletrificação rural. *PRODIST - Procedimentos de distribuição de energia elétrica*, 239. URL <https://www.aneel.gov.br/modulo-8>.
- Borges, P.R., Ramos, J.E., Carvalho, C.A., Pires, V.A., Cardoso, G., and Ramos, D. B. e de Moraes, A.P. (2017). Repowering rural single-phase distribution network: A non-conventional proposal using two overhead wires and the ground as the third phase. *Electric Power Systems Research*, 150, 105–117. doi:10.1016/j.epsr.2017.05.001. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2017.05.001>.
- IT-81.002 (2015). Elaboração de projetos de redes aéreas de distribuição rural. *Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul*, 38.
- Jeronymo, A.C.J. and Guerra, S.M. (2018). Experiências brasileiras com eletrificação rural. *45 Encontro Nacional de Estudos Rurais e Urbanos*, 144–163. URL http://web.fflch.usp.br/ceru/eventos_45.html.
- NBR-15688 (2012). Redes de distribuição aérea de energia elétrica com condutores nus NBR-15688. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, 158.
- PAD-11.003 (2021). Estruturas para redes aéreas de distribuição com condutores nus. *Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul*, 38.
- PAD-11.026 (2019). Nomenclatura de estruturas de redes de distribuição secundárias. *Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul*, 11.
- Sander, C.H.L. (1997). *An earthing design guide for single wire earth return (SWER) systems in the northern cape region*. Mestrado em engenharia elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, África do Sul.