

Torre de Emergência Móvel para Linhas de Subtransmissão

Tema: Redes de Distribuição

Autores: Rodinelly Alex de Oliveira, José Antonio de Souza Brito, Emmanuel José Guerra Brito da Silva, Lilian Aguiar Sena da Silva, Ricardo Cerqueira Medrado, Maurício Andrade Marinho

Co-Autores: Danilo dos Santos Suguri

Empresa: Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia - Neoenergia Coelba

Resumo

A busca por métodos e tecnologias mais eficientes é essencial para otimizar serviços em diversas áreas. No setor elétrico, a manutenção e a expansão de redes de distribuição exigem rapidez e eficiência para atender aos indicadores de continuidade e qualidade da ANEEL. Os métodos tradicionais de manutenção demandam muito tempo, grandes equipamentos, equipes numerosas e enfrentam dificuldades em locais de acesso restrito. No P&D ANEEL nº PD-00047-0085/2019, foi desenvolvido um protótipo de torre de emergência móvel que oferece maior agilidade e mobilidade, especialmente em linhas de subtransmissão. A torre elimina a necessidade de montagem manual, utilizando sistemas controlados por operadores e reduzindo o tempo de operação. Este artigo detalha o projeto cabeça de série da torre PDI ANEEL nº PD-00047-0092/2022, que elevou a maturidade tecnológica do protótipo e promoveu sua inserção no mercado. Os resultados obtidos confirmam que a torre atende aos requisitos para manutenção de linhas de subtransmissão, proporcionando uma solução rápida e eficaz para restabelecimento do fornecimento de energia ou substituição provisória durante a construção de novas linhas. A inovação apresentada contribui significativamente para superar limitações dos métodos convencionais, atendendo às demandas do setor elétrico por soluções modernas e eficientes que garantam a continuidade e qualidade do fornecimento elétrico.

1. Introdução

O sistema de subtransmissão tem como função interligar os setores de transmissão e distribuição, captando energia das subestações (SEs) de transmissão e transferindo às SEs de distribuição e, em seguida, aos consumidores. Isso ocorre por meio de linhas trifásicas operando em tensões de 69 kV ou 138 kV [1]. Eventualmente, as estruturas das linhas de subtransmissão podem precisar de manutenção emergencial, devido à ação dos ventos galhos de árvores nas linhas e desgaste dos equipamentos. No entanto, quando as atividades de manutenção exigem substituição das estruturas, o serviço passa a demandar um elevado tempo de execução. Este problema está principalmente relacionado às grandes dimensões dos equipamentos envolvidos, da necessidade de realizar manualmente muitas tarefas, além da dificuldade de acessar aos locais da ocorrência. Em consequência disso, o longo tempo necessário para o reparo acarreta redução da disponibilidade de equipe, aumento nos custos de manutenção, maior tempo de interrupção no

fornecimento de energia elétrica, com impacto no indicador DEC (Duração equivalente da Interrupção) e insatisfação dos clientes. Além disso, considerando que os métodos atuais precisam de grande interação dos operadores, há um elevado risco de acidentes de trabalho.

Visando a melhoria da continuidade dos serviços prestados, algumas distribuidoras fazem uso de soluções do Estado da Arte no reparo das linhas de subtransmissão. Como exemplos destas soluções, denominadas “Torres de Emergência”, destacam-se a Torre de Emergência Triangular (TET), Torre de Emergência de Fibra e a Estrutura ERS Lindsey.

Tendo em vista os problemas relacionados ao processo de manutenção das linhas de subtransmissão e as restrições das torres de emergência do Estado da Arte, o grupo NEOENERGIA, em parceria com o SENAI CIMATEC, desenvolveu os projetos de P&D ANEEL nº PD-00047-0085/2019 e nº PD-00047-0092/2022, denominados, respectivamente, “Torre de Emergência Móvel para Linhas de Subtransmissão em 69 e 138 kV” e “Cabeça de série - Torre de Emergência Móvel para Linhas de Subtransmissão em 69 e 138 kV”. No primeiro projeto, o protótipo da torre foi desenvolvido, e, no segundo, com base nos resultados obtidos no primeiro, as características do protótipo foram otimizadas, resultando em um produto pronto para ser lançado no mercado.

Neste artigo, são apresentados os resultados desses projetos com uma abordagem voltada ao setor elétrico. Dessa forma, nas próximas seções serão apresentados: tipologias de torres de emergência, a Torre de Emergência Móvel, os testes relevantes para validação do funcionamento da torre, bem como será evidenciada a aplicabilidade e benefícios acarretados por ela inseridas ao mercado.

2. Desenvolvimento

As atividades de manutenção em linhas de subtransmissão tem como dificuldade o tempo de execução em função da dimensão dos equipamentos envolvidos, além da dificuldade de acesso aos locais da ocorrência. Esta dificuldade implica em um maior tempo para restabelecimento de linhas, em casos de estruturas avariadas, impactando nos indicadores de continuidade da distribuidora. Os projetos da Torre de Emergência Móvel para Linhas de Subtransmissão de 69 a 138 kV tiveram como principal objetivo fornecer solução ao mercado (TRL 8) para mitigar estes impactos. Nesta seção serão apresentadas as Tipologias de Torres de Emergência, Projeto Cabeça de série da Torre de Emergência Móvel e os resultados dos testes.

2.1. Tipologia de Torres de Emergência

A Torre de Emergência Triangular (TET), Figura 1, é composta por módulos em uma estrutura em aço patinável e galvanizado de coluna única permitindo a utilização em linhas de até 500 kV. Os módulos são montados em solo e podem ser içados para montagem vertical da torre, os equipamentos utilizados na montagem são habituais e atende diferentes tipos de configuração em suspensão e ancoragem. As dificuldades atreladas a utilização dessa torre provêm da necessidade de um caminhão para transportar os materiais e elevada mão de obra para montagem [2].

Já a Torre de Emergência de Fibra consiste em uma torre seccionável em até 3 módulos, podendo ser utilizada em coluna única ou dupla. Essa torre é aplicável em linhas de 69 a 138 kV, sendo transportada através de caminhões e quando no local cada seção da estrutura pode ser transportada manualmente por 6 pessoas. O material utilizado na fabricação da torre é resistente à corrosão e considerado um isolante natural, mais leve que os postes de concreto e com maior vida útil também. Como pontos negativos: a) a torre precisa de um processo de escavação para instalação; b) em alguns casos é necessário lixar os módulos para permitir o encaixe; c) atende apenas a configuração de suspensão e; d) Os custos são mais elevados que os outros tipos de poste [3] [4].

Quanto às estruturas do Sistema de Restauração de Emergência, o modelo 600L ERS da empresa americana Lindsey tem aplicabilidade para linhas de até 500kV, atendendo diferentes configurações de suspensão e ancoragem. Essa torre é composta por liga de alumínio de alta resistência, com resistência a corrosão e vida útil elevada possuindo peças soldadas que evita o manuseio de peças pequenas e parafusadas, facilitando sua montagem. Por outro lado, esse modelo de torre precisa de um caminhão para transporte e tem a necessidade de uma elevada mão de obra para montagem da torre [5].



Figura 1 - Modelo da TET (à esquerda), exemplo de utilização da Torre de Fibra em coluna dupla (ao meio) e modelo 600L ERL montada (à direita).

2.2. A Torre de Emergência Móvel Cabeça de Série

Tendo em vista os problemas relacionados ao processo de manutenção das linhas de subtransmissão e as restrições das torres de emergência do Estado da Arte, o grupo NEOENERGIA em parceria com o SENAI CIMATEC, desenvolveu os projetos de P&D ANEEL nº PD-00047-0085/2019 e PD-00047-0092/2022, denominados, respectivamente, “Torre de Emergência Móvel para Linhas de Subtransmissão em 69 e 138 kV - Protótipo” e “Cabeça de Série - Torre de Emergência Móvel para Linhas de 69 e 138kV”. Em função do desenvolvimento de um Cabeça de série (PD-00047-0092/2022), testado em ambiente operacional (rede de subtransmissão energizada) com uma proposta de introdução inicial no mercado, a solução partiu de um grau de maturidade tecnológica de 2 (PD-00047-0085/2019) para 8 (PD-00047-0092/2022) em 4 anos, segundo as diretrizes da ISO/FDIS 16290 Space Systems – Definition of the Technology Readiness Levels. Nesses projetos foi desenvolvido um modelo de Torre de Emergência Móvel em plataforma veicular, com elevação da estrutura da torre realizada por um sistema de controle remoto para utilização em linhas de subtransmissão de 69 a 138 kV, atendendo as ocorrências emergenciais de manutenção e situações provisórias, como no caso de apoio na construção de novas linhas.

A construção da Torre de Emergência Móvel objetiva a substituição de estruturas de suspensão e ancoragem em atividades de manutenção e expansão das redes de subtransmissão da distribuidora. Além disso, garante maior mobilidade e agilidade no restabelecimento de redes avariadas, em relação à operação convencional, por facilitar a aproximação às linhas de subtransmissão e por possuir uma montagem automatizada. Seu uso poderá impactar em redução do tempo de reestabelecimento do fornecimento de en-

ergia em ocorrências emergenciais da subtransmissão, minimização da equipe de trabalho em operações de manutenção, além de facilitar acesso às redes avariadas devido ao sistema rebocável que dispensa grandes máquinas, aumento da segurança dos eletricitistas devido a estrutura telescópica, otimização do tempo de trabalho e dos custos em obras de expansão de redes e redução de custos para concessionária através da melhoria na qualidade do atendimento e na rapidez do processo. A figura 2 apresenta a torre de emergência móvel, em sua versão final, fabricada no projeto.



Figura 2 – Torre de emergência móvel cabeça de série basculada em 90°.

Os protótipos e a versão cabeça de série da torre de emergência móvel foram completamente fabricados e testados no SENAI CIMATEC PARK, Figura 3, complexo tecnológico-industrial localizado no centro industrial de Camaçari, Bahia, parte integrante da infraestrutura do SENAI CIMATEC. Para os testes em ambiente relevante, foi construída no espaço uma rede de circuito duplo de subtransmissão, com vão de 400 metros e uso de cabos 336 (rede *mockup*).



Figura 3 – SENAI CIMATEC PARK (Camaçari/BA).

Os testes tiveram como finalidade avaliar todos os aspectos do protótipo e da versão cabeça de série, incluindo a montagem, operação e desempenho em diferentes circuitos de rede para demonstração da

versatilidade de utilização da torre, antes de testar a interação do equipamento com redes da Neoenergia (que ocorreram durante o cabeça de série). Assim, dos testes realizados, serão apresentados no presente artigo o teste de montagem para circuito simples, o teste de montagem para circuito duplo, o teste de ancoragem, o teste de montagem com line post de 69 kV, o teste de montagem em rede energizada e o teste de rodagem em locais de difícil acesso.

2.3 Teste de Suspensão em Circuito Simples

O teste para uso de Torre de Emergência Móvel como estrutura de suspensão em circuito simples (tipo Canadense) foi realizado com o intuito de avaliar a capacidade de resistência aos esforços da montagem, estudar os procedimentos para montagem e avaliar o tempo de execução. Essa operação consistiu na montagem da estrutura com a configuração tipo canadense, ou seja, duas mísulas de suspensão para o lado direito e uma mísula de suspensão para o lado esquerdo, conforme Figura 4. A estrutura foi montada no centro do vão de 400 metros da rede mockup.



Figura 4 – Torre de Emergência instalada na configuração tipo Canadense.

O procedimento de instalação e montagem da estrutura foi acompanhado pela equipe da NEOENERGIA, tendo todo procedimento finalizado em menos de três horas, demonstrando eficiência para suprir esse tipo de necessidade, como mostrado de forma detalhada na Tabela 1.

Tabela 1 – Duração de cada etapa

OPERAÇÃO	TEMPO
Basculamento da torre até 45°	0:02
Fixação dos piquetes na base	0:05
Basculamento de 45° até 90°	0:02
Instalação dos estais provisórios	0:10
Remoção do pino e instalação da plataforma de trabalho	0:07
Instalação da mísula superior	0:29
Instalação da mísula superior e inferior em lados opostos	0:22
Instalação das manilhas dos estais permanentes	0:17
Içamento e travamento do módulo 2	0:09
Içamento e travamento do módulo 3	0:07
Tracionamento dos estais permanentes	0:21
Fixação dos cabos nas mísulas e travamento na posição final	0:31
TOTAL	2:42

2.4 Teste de Suspensão em Circuito Duplo

Outro teste realizado foi o teste de suspensão com circuito duplo, cujo procedimento foi semelhante ao de montagem e instalação em circuito simples. No entanto para essa configuração foi necessário a montagem das mísulas no módulo 1 e 2 e o estaiamento fixado no módulo 3. Para configuração de circuito duplo foram utilizadas duas mísulas superiores fixadas no topo do módulo 1, duas mísulas inferiores na base do módulo 1 e duas mísulas inferiores na base do módulo 2, de acordo com a Figura 5 (à esquerda).

Com o intuito de validar mais uma configuração de circuito simples, cabos foram conectados nas mísulas de uma forma que ficassem 3 fases paralelas suspensas pela torre, como pode ser visto na Figura 5 (à direita). Esse teste demonstrou que, mesmo sem os estais contrapostos, a estrutura da torre resistiu aos esforços das 3 fases montadas paralelamente na mesma face.



Figura 5 – À esquerda, Torre de Emergência na configuração de suspensão dupla e, à direita, na configuração com 3 fases paralelas.

Este teste teve como objetivo principal demonstrar a versatilidade da torre em atender configurações de campo mais complexas.

2.5 Teste de ancoragem

O teste de ancoragem buscou demonstrar a aplicabilidade da torre em uma das configurações de circuito mais complexas para uma torre de emergência. Nesta configuração são demandados maiores esforços mecânicos da torre, e a quantidade de estais é, por consequência, maior. Para o teste, a torre foi instalada de forma que os cabos elétricos ficassem cerca de 10° em relação ao centro da torre, utilizando ferragens auxiliares para realizar a instalação nessa configuração, como suportes de ancoragem para o isolador. Nessa configuração, utilizou-se a capacidade máxima de estaiamento da torre, sendo 9 estais de ancoragem, 4 provisórios e 4 permanentes. A Figura 6 abaixo mostra como ficou a torre montada nesse tipo de instalação.



Figura 6 - Torre de Emergência na configuração ancoragem em ângulo.

2.6 Teste de montagem de estrutura CAR com line post de 69 kV

O teste de montagem com *line posts* de 69 kV foi realizado com o intuito de verificar a viabilidade de instalar os *line posts* enquanto a torre ainda estivesse fechada (o que aumenta a velocidade da montagem), sobre o reboque, além de avaliar a possibilidade de realizar o basculamento e a abertura da torre com os *line posts* já instalados. A Figura 7 mostra a execução desse teste.



Figura 7 – Torre de Emergência com line posts de 69 kV instalados.

2.7 Teste de Rodagem em Locais de Difícil Acesso

Tendo em vista que a mobilidade e facilidade de acesso a locais acidentados estão entre os principais diferenciais da Torre de Emergência Móvel, foram realizados testes envolvendo o transporte da Torre sobre o

reboque em diversas condições de terrenos. Os testes de rodagem foram realizados com uma caminhonete 4x4 com capacidade de tração de, no mínimo, 3.000 kgf e foram executados em 2 períodos, o primeiro período ocorreu na área do mockup com estradas que apresentavam difícil acesso (devido às chuvas e intempéries) e o segundo período consistiu em áreas como por exemplo rodovias, este último foi realizado com auxílio da equipe operacional da NEOENERGIA COELBA que realizou o deslocamento do reboque principal da unidade da COELBA, localizada na região de Pirajá (Salvador/BA), para o SENAI CIMATEC PARK, na região de Camaçari/BA.

A performance da Torre de Emergência rebocada para o teste de rodagem foi medida através de um questionário respondido por diversos profissionais que conduziram o veículo de tração e atribuíram notas de 0 a 5 para cada um dos 14 critérios, conforme mostra a Figura 8.

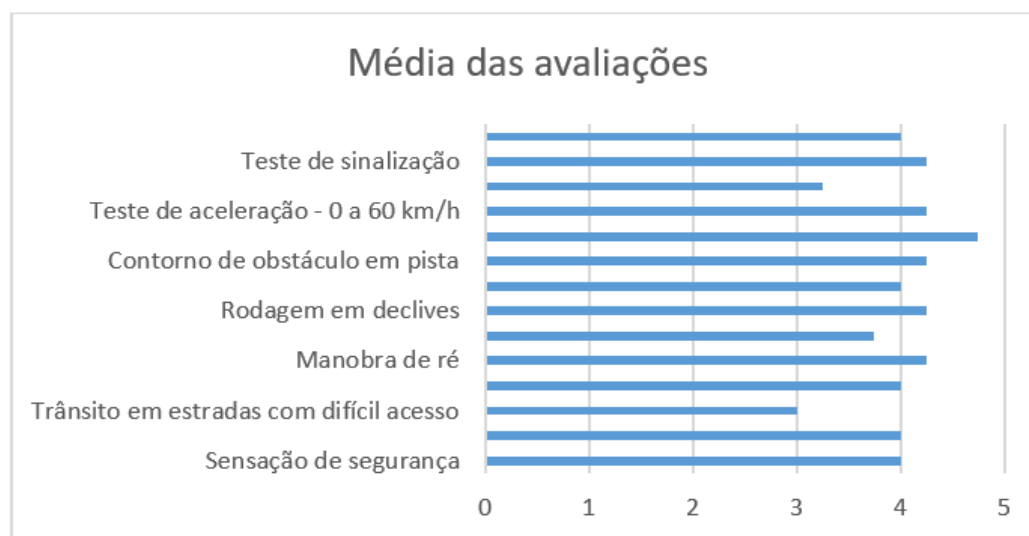


Figura 8 – Média das avaliações da torre de emergência no teste de rodagem.

2.8 Teste em Ambiente Operacional

Com o objetivo de ter uma validação da Torre de Emergência Móvel em ambiente operacional, foi realizada a instalação da torre em rede energizada da COELBA, próxima ao SENAI CIMATEC PARK. A equipe de projeto do SENAI CIMATEC acompanhou o processo do início ao fim, junto a equipe técnica e de execução da NEOENERGIA COELBA, garantindo a segurança e qualidade na execução das atividades. A Torre de Emergência ficou instalada, na configuração suspensão em circuito vertical, por 24 horas, conforme mostra a Figura 9.



Figura 9 – Teste da Torre de Emergência em ambiente real.

Esse teste possibilitou ainda identificar possíveis falhas ou dificuldades que podem não ser evidentes em testes simulados, permitindo ajustes antes da utilização real da torre em situações de emergência.

3. Conclusão

Após a realização dos testes e a validação da funcionalidade do produto, é possível concluir que a Torre de Emergência Móvel desenvolvida apresenta maior agilidade e mobilidade em comparação aos sistemas atualmente disponíveis. Construída a partir de uma estrutura treliçada e modular em alumínio, e transportada sobre uma plataforma veicular basculante, o equipamento pode ser instalado com total segurança em menos de três horas, demandando apenas quatro operadores.

A facilidade de acesso às redes avariadas também é um aspecto de destaque da nova solução, uma vez que não se fazem necessários tratores, caminhões ou equipamentos de guindar. A Torre de Emergência Móvel e todos os seus acessórios são transportados por meio de reboques especialmente desenvolvidos para a aplicação, tracionados por veículos pick-up.

Diante dos resultados obtidos nos projetos da Torre de Emergência Móvel, Protótipo e Cabeça de série, o projeto demonstra sua relevância para o setor elétrico, com aplicabilidade comprovada em diversas configurações de redes de 69 kV e 138 kV. Ele pode ser utilizado tanto por distribuidoras quanto por prestadoras de serviços, seja em operações de manutenção ou como suporte para a construção de novas linhas. Embora tenha sido desenvolvido seguindo o padrão construtivo das redes do grupo Neoenergia, a TEM-CS apresenta flexibilidade para se adaptar a outros modelos de linha com facilidade.

Em função do desenvolvimento de um Cabeça de Série, testado em ambiente operacional real, com uma proposta de introdução no mercado, o projeto possibilitou um avanço significativo na maturidade tecnológica. Assim, o protótipo desenvolvido no P&D anterior, PD-00047-0085/2019, que tinha TRL de partida 2 (conceito) teve seu grau de maturidade elevado de TRL5 para TRL8 no PD-00047-0092/2022.

4. Referências bibliográficas

- [1] Sistema de distribuição. [Online]. Acesso em: 26/11/2024. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/apostila_sdee_01>.
- [2] Seccional. Informativo Técnico 19 - Torres de Emergência Triangulares. [Online]. Acesso em: 02/12/2024. Disponível em: <<https://www.seccional.com.br/informativostecnicos/>>.
- [3] ENMAC. Postes para suportes de linha de transmissão para 69kV e 138kV. [Online]. Acesso em: 01/02/2022. Disponível em: <<https://enmac.com.br/produtos/postes-e-cruzetas/postes/postes-para-uportes-de-linhas-de-transmissao-p-69kv-e-138kv>>.
- [4] Coelba. Montagem Poste de Fibra 18/400 Seccionável. Coelba, Unidade de Manutenção da Subtransmissão - Norte, 2019.
- [5] Lindsey Manufacturing. Brochure 600L - Serie ERS. [Online]. Acesso em: 01/02/2022. Disponível em: <<http://lindsey-usa.com/wp-content/uploads/2015/10/ERS-600L.pdf>>.