

REDES SUBTERRÂNEAS DE ENERGIA ELÉTRICA

UMA VISÃO ESTRATÉGICA

AUTOR Nilson Baroni Jr.



PRODUÇÃO E EDIÇÃO

Revista **potência**

APOIO

 **UniPotência**
UNIVERSIDADE
POTÊNCIA EDUCAÇÃO

AGRADECIMENTO e DEDICATÓRIA

Toda Honra e toda a Glória a Cristo, por me guiar, sustentar e abençoar com dons, sabedoria e entendimento.

Louvo a Deus pela minha esposa, Zilda, e meus filhos, Heitor e Bruna, família minha e razão de tanta alegria e realização.

Agradeço também por Deus ter me confiado uma equipe maravilhosa com quem muito aprendi e tenho o prazer e alegria de compartilhar agora com a sociedade um pouco deste conhecimento através deste livro.

Dedico este trabalho a todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada.

PREFÁCIO

O setor elétrico está passando por uma transformação significativa, na qual a distribuição de energia elétrica assume uma posição central. O sistema evolui de uma cadeia linear composta por geração, transmissão, distribuição e consumo para um sistema multidirecional. Impulsionada pela Transição Energética, caracterizada pela descentralização, descarbonização, digitalização e eletrificação, a infraestrutura de distribuição torna-se essencial como plataforma para viabilizar trocas energéticas entre os diferentes agentes do setor. Diante dessa transformação, exige-se uma maior confiabilidade da distribuição, em um contexto no qual a atividade humana está cada vez mais dependente de energia elétrica, com clientes mais exigentes e uma comunicação cada vez mais rápida, especialmente através das mídias sociais. Os desafios são muitos, incluindo o crescimento das cidades, a gestão do espaço urbano em megacidades e a severidade climática. Nesse cenário, as redes subterrâneas de energia elétrica ganham importância crescente, sendo fundamentais para a modernização e resiliência das infraestruturas urbanas.

Nilson Baroni Jr. possui uma vasta experiência no setor de distribuição de energia elétrica, com destaque para sua atuação na construção, operação e manutenção de sistemas subterrâneos na megacidade de São Paulo. Possui também experiência técnico-científica, quando conduziu um grande projeto de Pesquisa e Desenvolvimento setorial em que levantou o estado-da-arte de redes subterrâneas e forneceu direcionamentos determinantes para a condução do tema no Brasil. Na minha atuação na distribuição, tive a oportunidade de conhecê-lo, atuar e aprender com Baroni, observando de perto a aplicação de sua experiência teórica, prática e seu profundo conhecimento em gestão de projetos para melhorar a performance das redes. Além de sua experiência prática, sua atuação como consultor internacional ampliou ainda mais sua visão do sistema elétrico. Esse conjunto de experiências permite que hoje ele atue como um pensador do tema, escrevendo artigos, proferindo palestras e, em muito boa hora, como autor deste livro. Para escrever um livro como este, experiência é um requisito necessário, mas não suficiente; é preciso ter paixão pelo tema e generosidade para compartilhar o conhecimento. A paixão do autor pelas redes subterrâneas é evidente, exemplificada pela criação de um espaço de memória e treinamento para redes subterrâneas na empresa em que atuava, dedicado a promover o conhecimento e a inovação na área.

Nesse cenário, o presente livro, “Redes Subterrâneas de Energia Elétrica – Uma Visão Estratégica”, oferece uma abordagem detalhada e prática sobre os aspectos técnicos e estratégicos das redes subterrâneas. Organizado em oito capítulos que abrangem desde a conceituação técnica até a gestão de crises e a análise de custo-benefício, o autor conduz o leitor por uma jornada de conhecimento que é tanto teórica quanto prática. Através de exemplos concretos e uma extensa pesquisa de cases e artigos nacionais e internacionais, Nilson Baroni compartilha insights valiosos, tornando este livro uma leitura indispensável para estudantes, pesquisadores, engenheiros, gestores de infraestruturas urbanas e todos aqueles interessados em compreender melhor as redes subterrâneas de energia elétrica.



Com a leitura deste livro, profissionais do setor elétrico, acadêmicos e formuladores de políticas terão à disposição uma valiosa fonte de conhecimento e inspiração. A visão estratégica e prática apresentada tem o potencial de moldar o futuro das redes subterrâneas de energia elétrica no Brasil, promovendo sistemas mais resilientes e eficientes. Este livro não é apenas uma contribuição acadêmica, mas um verdadeiro guia para conduzir melhorias significativas no sistema de distribuição nacional. Através de sua dedicação e paixão pelo tema, Nilson Baroni Jr. oferece ao leitor as ferramentas necessárias para enfrentar os desafios do setor elétrico com inovação e eficácia, contribuindo para um futuro da distribuição de energia elétrica no Brasil mais robusto e alinhado às necessidades da sociedade.

FERNANDO ANDRADE

ENGENHEIRO ELETRICISTA FORMADO PELA UFU, COM MAIS DE 20 ANOS DE EXPERIÊNCIA NO SETOR ELÉTRICO. MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO PELA UFF E DOUTOR EM ADMINISTRAÇÃO PELA FEI



ÍNDICE

CAPÍTULO I – Breve conceituação	08
1.1 – Sistemas Radiais	08
1.2 – Sistemas Radiais em Anel (aberto ou fechado).....	09
1.2.1 – Underground Residential Distribution (URD)	09
1.3 – Sistemas Radiais com Primário Seletivo.....	11
1.4 – Sistemas Reticulados (ou Network)	12
1.4.1 – Breve história sobre o sistema reticulado	12
1.4.2 – Conceituação sobre sistemas reticulados	13
1.4.3 – Algumas curiosidades nos 100 anos dos sistemas reticulados	15
1.4.4 – Qual o futuro dos sistemas reticulados?.....	16
 CAPÍTULO II – Que tipo de rede subterrânea você quer operar?.....	 18
 CAPÍTULO III – Gestão de crise se faz antes da crise	 21
3.1 – Plano de Mútua Ajuda	22
3.2 – Como funciona a ajuda mútua?	22
3.3 – Responsabilidades	22
3.4 – Segurança.....	23
3.5 – Quem paga pela ajuda mútua?.....	24
3.6 – Concluindo	24
 CAPÍTULO IV – Redes subterrâneas no foco das empresas norte-americanas	 26
4.1 – Modelo regulatório americano.....	28
4.2 – Concluindo	29

CAPÍTULO V – Índice de qualidade das redes de distribuição de energia elétrica subterrânea.....	30
5.1 – Breve Conclusão.....	32
CAPÍTULO VI – Qual o custo unitário da rede de distribuição de energia elétrica subterrânea.....	33
6.1 – Por que a rede subterrânea é mais cara que uma rede aérea?	34
6.2 – Por que os valores do km da rede subterrânea podem variar tanto?	34
6.3 – Alguns exemplos de valores expressos em artigos técnicos.....	37
6.4 – Breve Conclusão	38
CAPÍTULO VII – Infraestrutura civil de redes de distribuição de energia elétrica subterrânea.....	39
7.1 – Conceituação.....	39
7.2 – Breve conclusão.....	42
CAPÍTULO VIII – Relação custo vs. benefício de implantação de redes de distribuição de energia elétrica subterrâneas	43
8.1 – Avaliação Econômica.....	45
8.2 – Breve Conclusão	46
CAPÍTULO IX – Conclusão.....	47
REFERÊNCIAS.....	49
BIOGRAFIA	50

INTRODUÇÃO

Vivemos hoje um momento muito singular na discussão sobre o tema de redes de distribuição de energia elétrica subterrâneas nos preparando, talvez de forma um pouco atrasada, para algo que não é futuro, mas sim, que já está acontecendo, que são as mudanças climáticas que têm impactado nosso Planeta. Definitivamente, nenhuma rede aérea está preparada para as catástrofes naturais que temos visto.

Enquanto as Nações discutem ações para reverter estas tendências que temos observado no clima, nós aqui precisamos discutir ações de como tornar nossas redes mais resilientes a fenômenos como estes que temos observado. E redes subterrâneas são mais uma das muitas ações que podemos adotar para este fim.

Pelo fato de redes subterrâneas serem pouco difundidas no Brasil, muita coisa é falada por “especialistas” sem um embasamento técnico ou uma visão prática de operações de redes e isto, por vezes, cria retóricas em formadores de opinião pública que nem sempre correspondem à verdade e, pior, ações são cobradas das concessionárias baseadas nestas afirmações.

As literaturas nacionais e internacionais, além de seminários, trazem muito material técnico sobre inovações, cálculos de engenharia e soluções desenvolvidas pelos ótimos fabricantes que temos no Mundo, porém, são raros os materiais que tratam do tema por uma ótica mais prática e estratégica que ele carrega por sua polêmica em relação a custos e pressão da sociedade.

A ideia deste livro não é tratar o tema pela ótica política ou se aprofundar na engenharia do tema, mas sim, trazer um nivelamento de conhecimento ao leitor por uma visão macro e estratégica sobre este assunto baseado em larga pesquisa de artigos nacionais e internacionais, além da minha experiência desenvolvida liderando equipes de engenharia, operação e manutenção de um dos sistemas mais complexos de ser gerido em uma megalópole como São Paulo, onde a sensibilidade do tema é sempre tratada com muita intensidade pelo potencial de impacto que ele pode causar na qualidade do fornecimento de energia elétrica, estética dos centros urbanos, além de aspectos voltados à segurança da população.

CAPÍTULO I - BREVE CONCEITUAÇÃO

Antes de entrarmos nos pontos estratégicos deste e-book, é importante trazer ao leitor uma breve conceituação técnica para alinhamento de conhecimentos. Isto posto, vamos às soluções de tipologia de sistemas subterrâneos existentes e à disposição dos projetistas:

1.1- SISTEMAS RADIAIS

A figura 01 traz de forma bastante simplificada e lúdica o que chamamos de sistemas radiais.

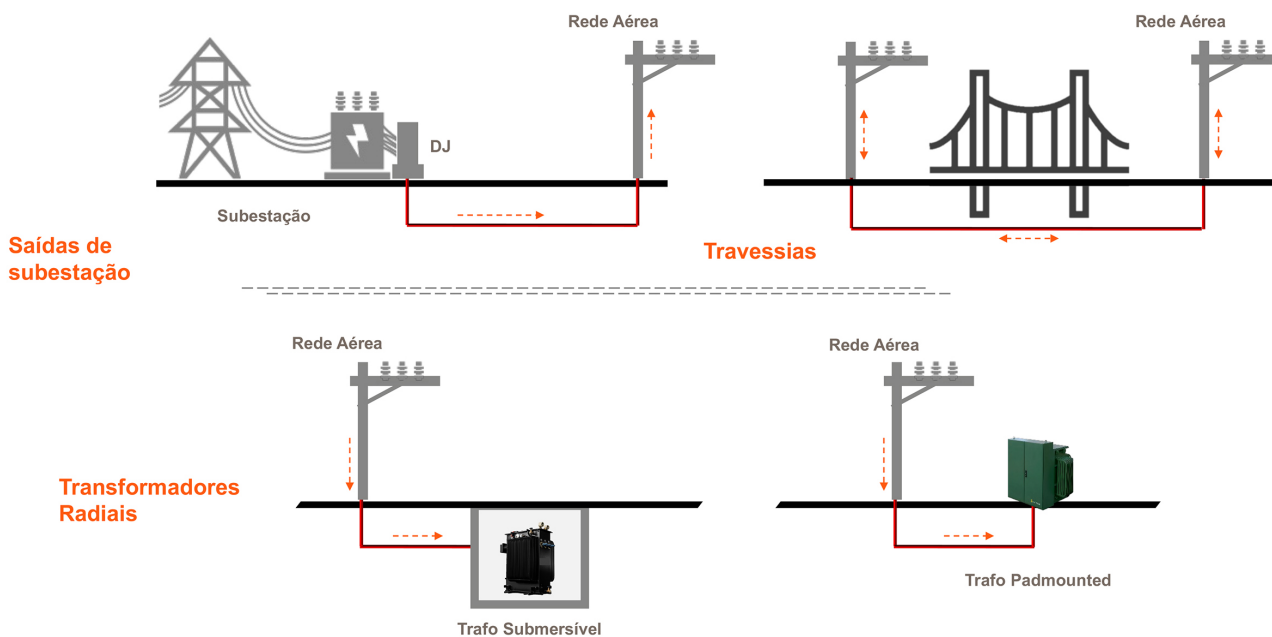


Figura 01

Desde uma simples saída de uma subestação onde redes subterrâneas são muito eficientes para escoamento da carga sem congestionar os postes, até a transposição de obstáculos como pontes, ferrovias, rodovias etc., as redes radiais têm larga aplicação como solução técnica a ser adotada no nosso dia a dia. Na mesma figura, notamos a aplicação de redes subterrâneas para alimentar transformadores com capacidade superior ao do sistema aéreo. Eles podem ser submersíveis ou em padmounted. No caso de alimentação em transformadores submersíveis, uma vantagem adicional é a possibilidade de alimentar mais de um transformador até o limite necessário para atendimento à carga requerida sem a limitação dos esforços mecânicos dos postes para sustentar os postes.

Cabe ressaltar que a grande desvantagem deste sistema é a falta de contingência, ou seja, quando há uma falha, a interrupção de carga persiste até a localização e reparo do ponto de falta que, no caso de redes subterrâneas, pode ser de algumas longas horas.

1.2 - SISTEMAS RADIAIS EM ANEL (ABERTO OU FECHADO)

Esta é a solução certamente mais adotada pelos projetistas em processos de conversão de redes aéreas para subterrâneas e na implantação de novos alimentadores. A figura 02 traz um modelo simplificado destes sistemas:

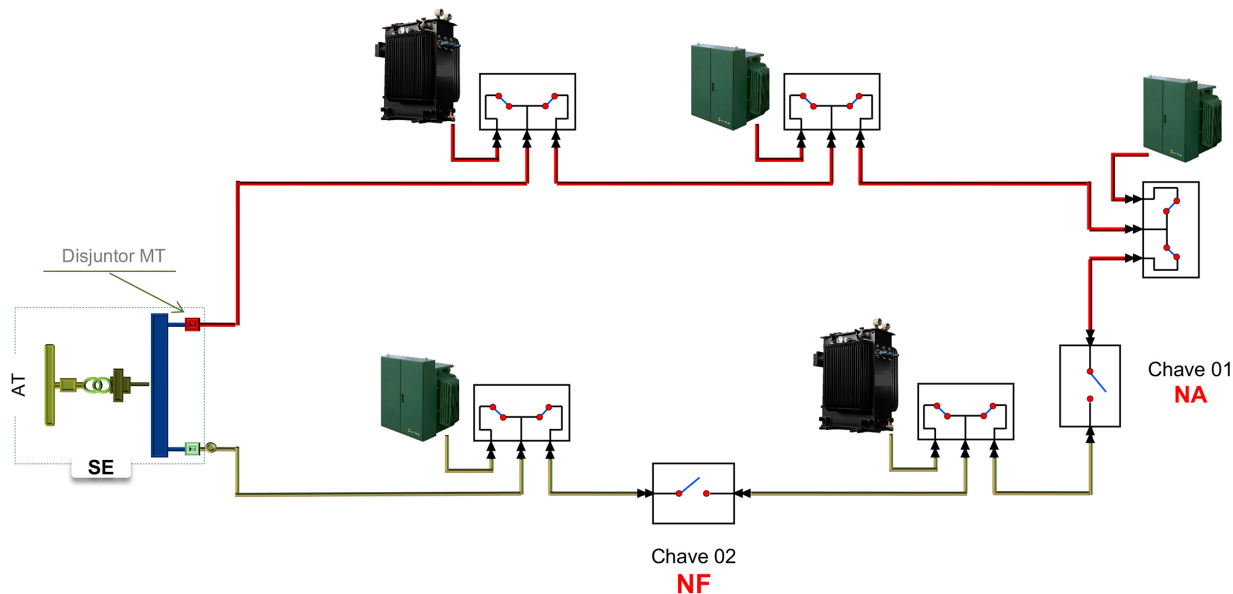


Figura 02

A configuração e flexibilidade operativa deste sistema são muito semelhantes às do sistema aéreo com um alimentador, podendo socorrer ao outro em caso de falha, reestabelecendo o máximo de carga quanto possível mitigando o impacto nos clientes. Evidente que, quando um projeto deste for concebido, a previsão de carga atual e futura de ambos os alimentadores deve ser fortemente considerada.

O exemplo acima trata de um sistema em anel aberto onde a Chave 01 faz o fechamento para alimentar alguma carga estratégica e/ou bloco de carga que necessite de um nível de velocidade de reestabelecimento diferenciado. Apesar do exemplo ser um anel aberto, operações com anel fechado já são observadas em muitas concessionárias de energia elétrica. Também não há limitação de que o socorro seja por uma mesma subestação ou barramento.

O sistema Radial em Anel tem sido largamente aplicado por sua relação de benefício versus custos se comparado com outros sistemas que trazem flexibilidade operativa como uma necessidade. As equipes de operação também têm bom domínio sobre este sistema o que o torna mais “desejável” como solução a ser adotada.

Inclusão de inteligência através de sistemas de automação (telesupervisão e selfhealing) é algo cada vez mais explorado pela necessidade de agilidade no reestabelecimento em um sistema como o subterrâneo, onde as falhas não são visíveis a olho nu. Vamos falar um pouco mais sobre este tema no capítulo onde abordamos que tipo de rede subterrânea você quer entregar para sua operação.

1.2.1 - Underground Residential Distribution (URD): uma larga aplicação desta filosofia pode ser observada nos URD fortemente aplicados para condomínios residenciais nos EUA.

Tratam-se de sistemas subterrâneos monofásicos com transformadores de baixa capacidade (37,5 a 75 kVA) com bucha em loop (entrada e saída) usados para alimentar cargas bifásicas em sistema delta (notar figura abaixo).

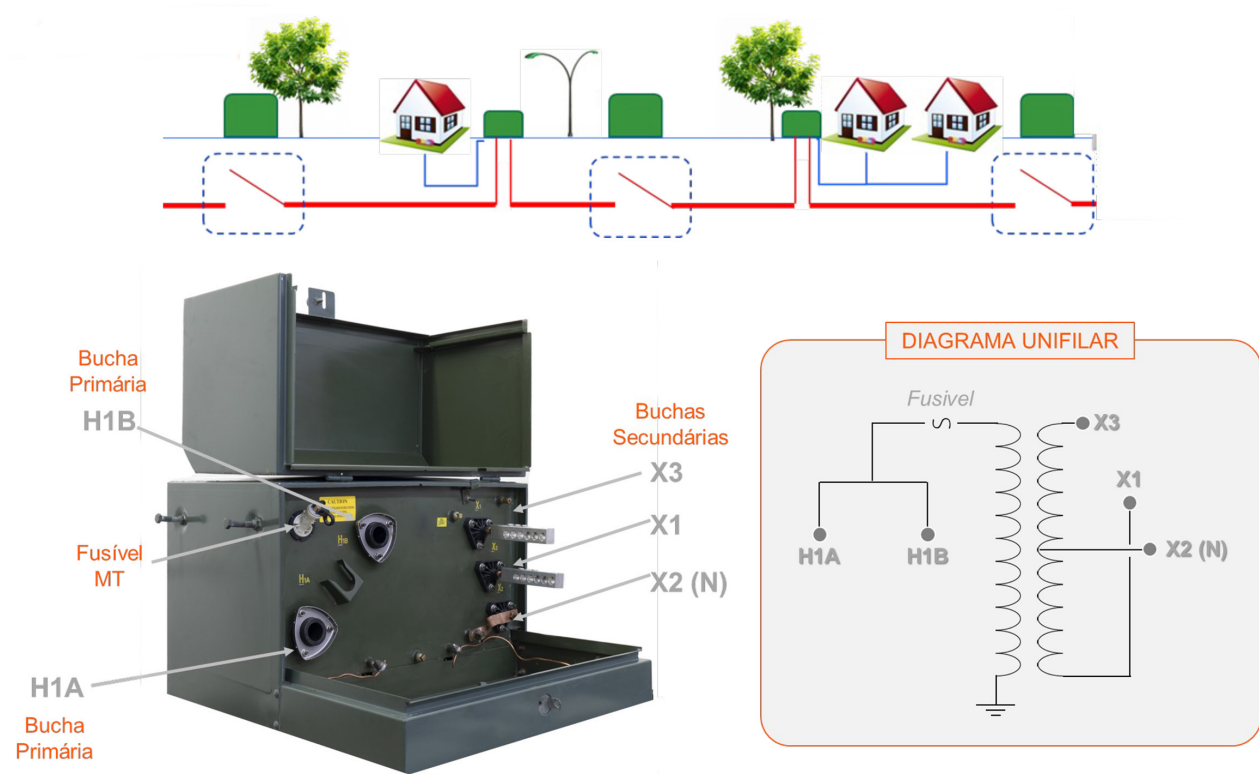


Figura 3



Conforme consta no artigo técnico “Historical Review by Willam A. Thue, Consultant”, na década de 60 nos EUA houve um esforço muito grande de melhoria de estética das comunidades. Foi atribuído um objetivo aos engenheiros de desenvolver um sistema subterrâneo de mesmo custo que o aéreo. O menor valor reportado foi de aproximadamente 1.6 vezes um sistema aéreo, sendo que a média em 1975 foi de 2:1. Além dos diferenciais acima apontados, os projetistas foram beneficiados pela mudança da tecnologia de cabos (PILCC para polimérico) porém, mudanças significativas foram implantadas e usada até hoje como a eliminação de dutos para cabos diretamente enterrados e a eliminação de poços de inspeção para uso de “junction box” (pontos de manobra possíveis de operar a nível de solo e sem espaço confinado).

1.3 – SISTEMAS RADIAIS COM PRIMÁRIO SELETIVO

Estes sistemas já têm uma grande semelhança com sistemas de transmissão de energia elétrica que trabalham com contingência N-1, ou seja, na perda de um alimentador o outro tem capacidade de suprir toda a carga. De forma simplificada, a reserva é sempre de no mínimo 50%.

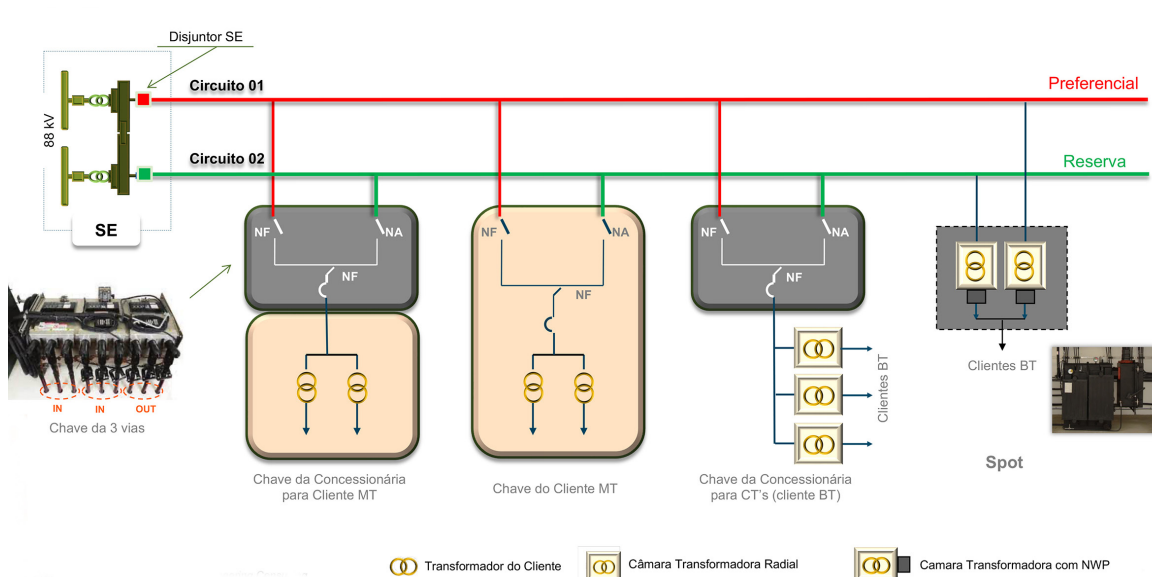


Figura 04

No exemplo da figura 04, temos uma visão de como estes sistemas operam, onde a seletividade pode ser feita de 4 maneiras básicas:

- ✘ Há o caso mais clássico e padrão na maioria das empresas onde a chave de transferência automática (normalmente de 3 vias: duas de entrada e 1 de saída) é de propriedade da concessionária e a transformação é responsabilidade do cliente;
- ✘ Há também a condição em que a chave de transferência e a transformação são de responsabilidade do cliente. Este caso traz algumas preocupações pois, um mau funcionamento da chave de transferência do cliente, pode gerar um desligamento dos dois alimentadores impactando toda a carga conectada neste par;
- ✘ Existem casos também muito comuns onde as chaves de transferência e a transformação são de responsabilidade da concessionária. Configurações como estas são muito comuns em empresas que possuíam sistemas reticulados (falaremos na sequência) e tomam a decisão de desmanchar estes sistemas sem que a confiabilidade do fornecimento seja fortemente afetada;
- ✘ Existe uma quarta aplicação, menos comum, onde um spot com dois transformadores (por exemplo) são conectados diretamente nos alimentadores. Neste caso, a flexibilidade operativa é delegada ao protetor de rede (falaremos na sequência) que garante a continuidade de fornecimento não pela média tensão, mas sim, pela baixa tensão.

A aplicação de sistemas como o Radial com Primário Seletivo é, via de regra, específica para cargas críticas como hospitais, shopping center, centros financeiros etc.

1.4 - SISTEMAS RETICULADOS (OU NETWORK)

Para conceituação do sistema reticulado, é necessário investir um pouco mais de tempo. Desde que a eletricidade se tornou um bem tão essencial para nosso dia a dia, as empresas de energia com seus engenheiros buscam formas de transformar seus serviços o mais isentos possíveis de interrupções não somente pelas penalizações que podem receber, mas também entendendo o seu papel na sociedade de entrega de algo que traz praticidade, entretenimento, conforto e segurança para nossas comunidades.

Esta evolução passa por diversas etapas. Onde sistemas aéreos já não comportam o nível de exigência de continuidade, adotam-se sistemas de automação (monitoramento e self healing) além de robustos e rigorosos planos de manutenção para estes sistemas. Onde ações como as listadas não resolvem mais, convertemos os sistemas de aéreos para subterrâneos. Onde a clássica confiabilidade dos sistemas não é suficiente, adotam-se sistemas com contingências. Os engenheiros norte-americanos foram muito além e criaram o Sistema Reticulado (ou Secondary Network) conhecido como o sistema de distribuição de energia mais confiável do Mundo.

Vamos, portanto, entender um pouco mais sua história, funcionamento, curiosidades e futuro deste sistema.

1.4.1 - BREVE HISTÓRIA SOBRE O SISTEMA RETICULADO

A história do sistema reticulado é uma evolução da própria história de sistemas de distribuição de energia elétrica. O primeiro relato sobre sistema em corrente alternada (AC) de baixa tensão data de 1907 na cidade de Memphis, Tennessee, EUA (antes disto, sistemas de corrente contínua para distribuição de energia elétrica predominavam). Os transformadores da rede eram alimentados por circuitos primários através de seccionadores de distribuição e conectados a uma rede de baixa tensão protegidos por fusíveis.

Em 1921, foram feitas melhorias no sistema básico em Seattle, Washington, EUA, pela Puget Sound Power & Light Co. Isso envolveu a conexão dos terminais secundários dos transformadores à rede por meio de protetores de rede. Esses protetores disparariam automaticamente após o fluxo de energia reverso e seriam reiniciados manualmente.

Em abril de 1922, a cidade de Nova York colocou em operação o primeiro sistema de rede utilizando protetores de rede totalmente automáticos. Este foi o nascimento do sistema reticulado, como é conhecido hoje e amplamente utilizado principalmente em grandes capitais norte-americanas e áreas centrais em muitas cidades de outros países.

Em 1952, 82 empresas nos EUA e outros países já operavam 414 redes utilizando este sistema. Em 1974, 315 empresas norte-americanas já haviam instalado sistemas reticulados de baixa tensão. Os atuais sistemas de rede de baixa tensão de 216 / 125 V são muito semelhantes em configuração e operação básica aos primeiros sistemas. Tensões secundárias de 460 / 265 V e 380 / 220 V também podem ser encontradas nestes sistemas para alimentação de grandes clientes. Hoje, o sistema da ConEdison que alimenta Manhattan – NY - EUA é o maior sistema em operação do mundo, seguido de PS&G (New Jersey - EUA) e da Pepco (Washington DC - EUA).

No Brasil, esta tecnologia inovadora para a época não demorou muito para chegar. Em 1926, foi instalado o primeiro sistema reticulado do Brasil na cidade de São Paulo pela canadense The São Paulo Trainway, Light and Power Company (ou simplesmente Light São Paulo), detentora da concessão na época mostrando o comprometimento desta empresa em acompanhar o crescimento da cidade de São Paulo.



Figura 05

Atualmente, os sistemas reticulados estão basicamente concentrados nas grandes cidades norte-americanas e no Canadá. No Brasil, 6 empresas possuem este sistema de distribuição de energia em suas regiões centrais: Light Rio (o maior sistema do Brasil e 4º maior do mundo), Enel Distribuição São Paulo, CEB - Companhia Energética de Brasília, CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais, COPEL - Companhia Paranaense de Energia e CEEE Equatorial.

Na América do Sul grandes cidades no Chile, Colômbia e Venezuela compõem o grupo de países que possuem sistemas reticulados em sua base de ativos.

1.4.2 – CONCEITUAÇÃO SOBRE SISTEMAS RETICULADOS

Sistema de Reticulados (ou Network como é chamado em algumas empresas no Brasil): É um sistema de distribuição de energia em corrente alternada no qual os clientes são atendidos por circuitos de baixa tensão trifásicos alimentados por dois ou mais transformadores de rede cujos terminais de baixa tensão estão conectados aos alimentadores através de protetores de rede e interconectados entre si.

Um sistema reticulado clássico opera sua baixa tensão em uma configuração que chamamos de Malha Infinita Reticulada, conforme pode ser visto no esquema elétrico abaixo:

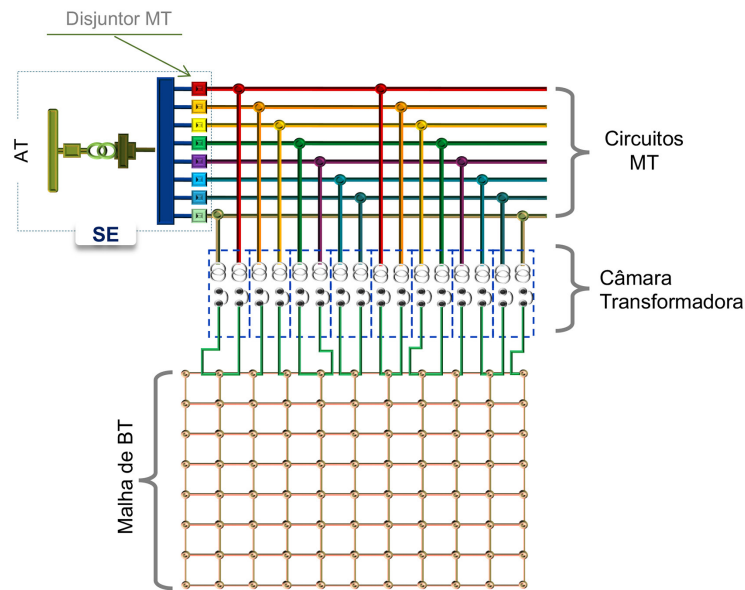


Figura 07

Note no exemplo acima, que foi extraído de um material técnico dos nossos colegas da Light Rio, que temos 8 circuitos radiais de média tensão alimentando todo o sistema de baixa tensão interconectado. Na minha experiência, já encontrei sistemas reticulados de 3 alimentadores até 16 alimentadores.

Nesta altura, creio que já tenha sido possível entender um pouco o porquê deste sistema ser considerado o mais confiável do mundo em termos de continuidade de distribuição de energia elétrica, pois é

Câmara Transformadora Típica do Sistema Reticulado

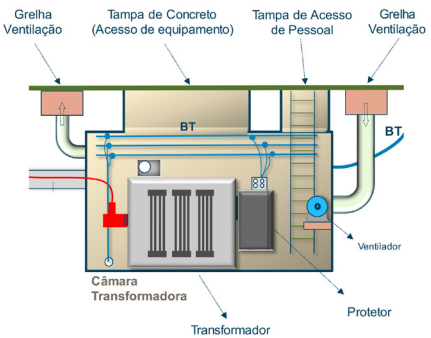


Figura 06

um sistema extremamente contingenciado, onde a perda de um alimentador primário não é perceptível pelo cliente pois os alimentadores remanescentes, assim como seus devidos transformadores, têm plena capacidade de suportar a carga atendida pelo sistema.

Além de arranjo secundário de malha infinita, outra configuração muito usual é a operada em Spot como no exemplo abaixo:

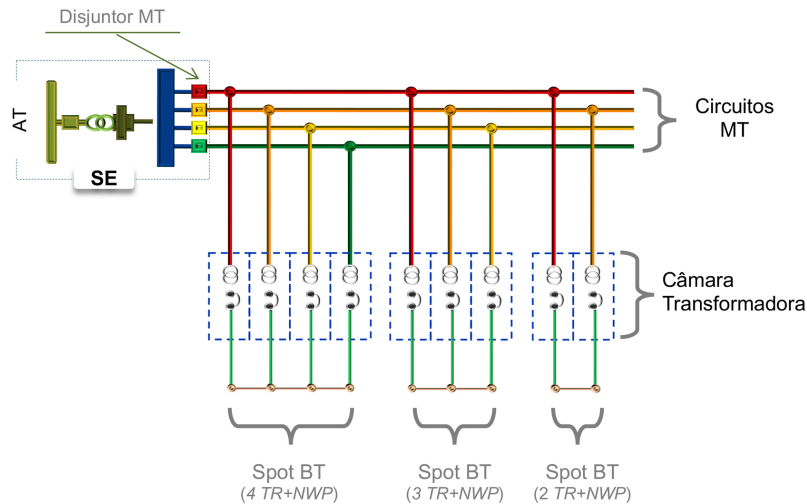
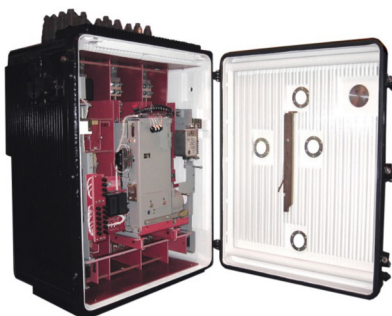


Figura 08

Note na Figura 08 que os spots (para este exemplo) podem operar com 2, 3 ou 4 transformadores dependendo da carga que está sendo atendida ou da confiabilidade que você quer trazer para o cliente.

Estes spots podem ser exclusivos para um cliente específico ou com seus circuitos de baixa tensão distribuídos em algumas ruas e alimentando clientes. Em algumas empresas, como na Cidade de São Paulo, estes spots com cargas distribuídas são chamados de mini reticulados.

Interessante destacar que sistemas spots não são exclusivos de sistemas reticulados. Algumas concessionárias constroem spots de 2 transformadores (por exemplo) em sistemas com primário radial seletivo.



NETWORK PROTECTOR

Figura 09

Esta conceituação não estaria completa se não falássemos do Protetor de Rede (ou Network Protector). Ele é o cérebro do sistema reticulado pois sem ele a concepção não existiria. Ele é um dispositivo instalado no secundário do transformador do sistema reticulado (malha infinita ou spot) e em spots do sistema duplo radial seletivo. Tem a função de: 1) abrir automaticamente para uma falta no alimentador primário e isolar a falta da rede secundária; 2) abrir automaticamente quando o disjuntor do alimentador primário, instalado na subestação, for aberto na ausência de falta e 3) fechar automaticamente quando houver uma tendência de fluxo de potência ativa e/ou reativa. De forma simplificada, eles são disjuntores de baixa tensão controlados por um relé unidirecional alojado em uma caixa metálica estanque.

Na Figura 10, tentamos de uma forma lúdica trazer ao leitor uma visão de duas situações em um sistema hipotético: 1) condições normais de operação com o fluxo de corrente; 2) condição de falha no Circuito 1 – MT e como é o comportamento do fluxo de corrente.

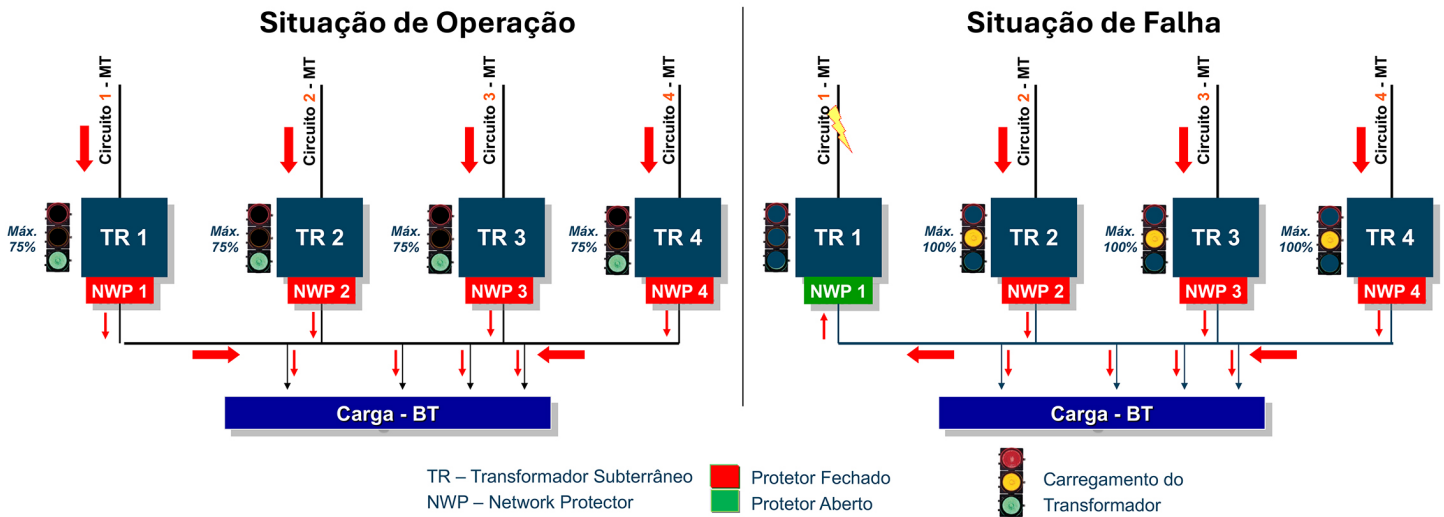


Figura 10

Note que na situação de falha, o protetor de rede (NWP 1) abre automaticamente, impedindo que o fluxo de corrente dos alimentadores remanescentes alimentem a falha no Circuito 01 – MT. Você acertadamente pode perguntar: “E se perdermos mais um Circuito MT?” No exemplo da Figura 10, certamente o desligamento de todo o sistema seria realizado pela Central de Operações pois teríamos dois transformadores remanescentes operando com 150% de sua capacidade, porém, em situações reais outros fatores como o horário do dia e carregamento dos transformadores podem ser avaliados para tomar a decisão de manter o sistema ligado até que a falha seja identificada pelas equipes de campo.

1.4.3 – ALGUMAS CURIOSIDADES NOS 100 ANOS DOS SISTEMAS RETICULADOS

Não podemos achar que sistemas reticulados são exclusivos para câmaras subterrâneas. As fotos abaixo (Figura 11) trazem alguns sistemas da década de 40 em Detroit – EUA onde transformadores e protetores de redes foram montados em postes.



Pole Mount - Detroit - USA

Figura 11

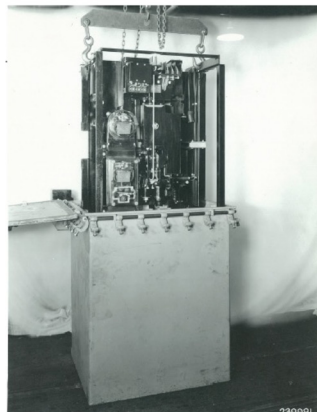
Um pouco mais atual, a Figura 12 traz o conceito do sistema reticulado alimentando um sistema aéreo completo onde os transformadores são montados em plataformas.



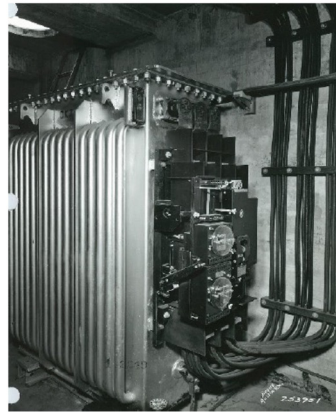
Platform Mount - Bangkok - Thailand

Figura 12

E para finalizar, abaixo (Figura 13) temos protetores de rede da década de 30: 1) a parte ativa do equipamento é extraída por cima do invólucro estanque (lift-out), contrariando os modelos atuais onde a porta frontal garante acesso à parte ativa para a manutenção; 2) um protetor de rede sem invólucro (open-frame).



**Lift-out
1937**



**Open-frame
1937**

Figura 13

1.4.4 – QUAL O FUTURO DOS SISTEMAS RETICULADOS?

Infelizmente, tão elevado grau de confiabilidade tem um custo na mesma proporção. O custo para expandir o sistema reticulado é elevadíssimo, e algumas empresas que possuem pequenos sistemas (menos de 100 protetores) têm optado por “desmanchar” estes sistemas substituindo por radiais com primário seletivo que ainda carrega um bom nível de qualidade de fornecimento. Neste sentido, a confiabilidade é transferida da baixa tensão através dos protetores de rede para a média tensão com seleção automática de alimentador pelas de chave de transferência automática.



Figura 14

Empresas que não optaram por desmanchar um sistema de elevada confiabilidade como o reticulado, têm investido em sistemas de automação para transformar o fornecimento de energia ainda mais eficiente. Fora as soluções clássicas de qualquer outro sistema de distribuição de energia elétrica subterrâneo, as empresas têm se valido do “cérebro” do sistema que são os protetores de rede e agregando automação pela troca de seu relé eletromecânico por um relé microprocessado que pode: 1) operar o protetor (telecomando); 2) calcular a carga do transformador pela medição de corrente e tensão no secundário; 3) medição de pressão do protetor para garantir a sua estanqueidade.

Outra mudança de tecnologia que pode ser observada nas empresas é a preocupação com a segurança dos técnicos de campo na operação dos protetores quando há uma necessidade de intervir nos mesmos com a caixa aberta. Na maioria das vezes que intervenções como estas são realizadas, o alimentador primário está ligado e conseqüentemente o transformador está alimentando o protetor. O conceito de “dead front” (frente morta), tem sido adotado como uma ação para garantir a segurança de quem realiza este tipo de manutenção com dispositivos automatizados para extração da parte ativo de dentro da caixa do protetor sem a necessidade de usar ferramentas próximo a partes energizadas.

Nos dias atuais, o crescimento dos sistemas reticulados é vegetativo, ou seja, atendimento de novas cargas somente na área atendida por este sistema com troca de transformadores e protetores de rede por equipamentos de maior potência e/ou instalação de novas unidades transformadores com seus devidos protetores de rede.

CAPÍTULO II - QUE TIPO DE REDE SUBTERRÂNEA VOCÊ QUER OPERAR?

Não é novidade que todo Verão é caracterizado por chuvas de grande intensidade. Segundo especialistas, mudanças climáticas globais têm impactado fortemente na intensidade com que estas chuvas acontecem e na velocidade dos ventos.

Não é novidade, também, como a população é afetada por estas chuvas e ventos não só pela mobilidade urbana, mas pela falta de um bem tão precioso para a vida moderna como a energia elétrica.

A predominância de redes de distribuição de energia elétrica aéreas, atrelada a um florestamento urbano desordenado, é a principal causa raiz deste problema, que afeta nossas comunidades todos os anos.

Sempre que somos confrontados com problemas que afetam a população, com milhares de consumidores ficando horas sem energia, o debate sobre a viabilidade de redes subterrâneas vem à tona. Retornamos, então, às mesmas narrativas de fontes de financiamento para conversão de redes ou de quem é a responsabilidade. Fato é que este é um tema com forte viés técnico (tanto de engenharia, quanto regulatório) e tentar politizar eventos, como os relatados aqui, não tem nos levado a lugar algum nos últimos anos, quando muito tem gerado pouquíssimas iniciativas que realmente saíram do papel.

Este capítulo tem por objetivo não tratar de temas políticos ou mesmo de regulação nacional, mas trazer importantes e breves “insights” para o nosso corpo de engenharia de distribuição e para os órgãos reguladores, sobre o que levar em conta quando construímos uma nova rede de distribuição subterrânea.

Então, a pergunta de hoje é: que tipo de rede você quer operar, após a conclusão da conversão de redes aéreas para redes subterrâneas?

Muitas vezes geramos problemas de operação, que produzem aumento de custos de O&M de nossas redes de distribuição subterrâneas, por questões óbvias que poderiam ter sido evitadas no período de concepção da solução técnica a ser aplicada, durante a elaboração de um projeto de conversão de rede aérea para rede subterrânea. No dito popular: “damos um tiro no nosso próprio pé”.

Vamos então a 4 pontos práticos, importantes e estratégicos na elaboração de um projeto de conversão:

1. Nunca concebam um projeto de redes subterrâneas sem contingência: redes subterrâneas são excelentes, até o momento que ocorre uma falha e, como qualquer sistema elétrico, elas estão sujeitas a eventos indesejados. O tempo de localização de uma falha e reparo da rede subterrânea pode durar até 10 vezes mais do que um evento na rede aérea, que podemos estimar, expresso em horas, algo da ordem de 18 horas entre localização e reparo na rede subterrânea. Isto por razões óbvias, pois diferente da rede aérea, nas redes subterrâneas as falhas não são visíveis por inspeção simples e os componentes que necessitam ser reparados não são de simples acesso, sendo, por vezes, necessário escavar a via pública. Em resumo, elaborar projetos de redes subterrâneas sem contingência é simplesmente enterrar fios.

Quando propomos uma solução para uma determinada região, temos que pensar e simular diversas condições de falhas, de operação da rede e de como garantir o fornecimento de energia elétrica para os

clientes, enquanto as equipes investigam a causa da falha e realizam os reparos necessários para retornar a rede a sua condição original de trabalho. Desenvolver soluções de conversão de rede, sem flexibilização operativa é aceitar que falhamos como técnicos do setor.

2. Evitem casos pontuais de enterramento de rede aérea: talvez este seja o maior desafio dos técnicos do setor de distribuição pela pressão de custos, porém, ceder a esta condição trará dois problemas futuros:

- a. Investimentos não prudentemente aplicados, pois certamente você terá um benefício estético para aquele pequeno trecho onde a rede subterrânea foi aplicada, porém, haverá uma expectativa não correspondida de termos um benefício de qualidade, que não vai acontecer, pois a performance daquela solução estará totalmente afeta ao desempenho da rede de distribuição aérea que atende aquela localidade;
- b. Aquela conversão pontual pode estar inserida em uma área de larga aplicação de redes aéreas e os sites operacionais da concessionária, que fazem a operação daquela localidade, necessitam ter equipes, equipamentos, ferramentas e estoque específicos por conta de uma pequena aplicação de redes subterrâneas, sem o devido planejamento anterior.

3. Evitem operações que envolvam espaços confinados: este “insight” é importante, principalmente, para novas redes de distribuição subterrâneas, pois é notório que a conversão de grandes centros urbanos traz restrições como espaço no mobiliário urbano para instalação de equipamentos, elevada densidade de carga etc. Nesta altura, você já deve saber que falamos de aplicação de equipamentos tipo “pad-mounted”, onde os benefícios para operação são substancialmente superiores, se comparados a equipamentos instalados em câmaras subterrâneas. Citamos abaixo alguns destes benefícios:

- a. Menor risco laboral para os técnicos que operam a rede, por não haver a componente de gases tóxicos, que podem estar presentes em espaços confinados, principalmente em vias públicas;
- b. Os riscos ao trabalhador também são mitigados, por não haver trabalhos em altura, lembrando que espaços confinados em redes de distribuição subterrâneas são comumente caracterizados por descidas em escada com altura superior a 2 metros;
- c. Operação minimizada a 2 profissionais, ao invés de 3 profissionais por força de legislação (conforme Norma Regulamentadora 10 e 33);
- d. Maior agilidade de operação, pelo fato de não haver necessidade de eventualmente esgotar a água do ambiente e efetuar medição de gases tóxicos. Somente nestes dois itens exemplificados, estamos contabilizando cerca de 1 hora a menos de tempo de operação.

Importante reforçar que equipamentos “pad-mounted” não são somente transformadores, mas sim, pontos de manobra de dispositivos desconectáveis nas chamadas “junction box” ou chaves de transferência/manobra, que fazem parte desta família de soluções também.

4. Inteligência de rede é sempre bem-vinda: soluções de supervisão e controle, para agilidade na localização de falhas, são ações extremamente desejáveis na concepção de um desenvolvimento de uma solução de rede subterrânea. Identificadores de falta com tele supervisão, sistemas “self-healing”, telecomandos etc., são aplicações que, no contexto geral da obra, não são soluções que devam impactar substancialmente os custos e trazem incalculáveis benefícios para a operação de uma rede de distribuição subterrânea. Este é o ponto onde profissionais de desenvolvimento de



novas tecnologias, no setor de energia, têm mais trabalhado ultimamente e as soluções que já estão disponíveis em prateleira de fornecedores confiáveis são muitas e devem ser consideradas pelos profissionais do setor. Conceitos de “Smart Grid” são fartamente aplicados em redes subterrâneas em todo o Mundo e podem trazer benefícios de confiabilidade de diversos níveis. Cabe a um bom projetista aplicar esta cesta de soluções conforme diretrizes estratégicas da Organização.

Por fim, comumente ouvimos que os custos de O&M de uma rede subterrânea fazem com que ela se pague no futuro, porém isto não é absolutamente verdade, como será tratado nos próximos capítulos, Devemos trabalhar em soluções de menor custo, não somente na implantação, mas sim na operação desta rede, podendo trazer esta afirmação para a condição de verdadeira e viabilizarmos o tão desejado crescimento de redes subterrâneas no nosso País, colocando em prática um forte anseio da sociedade.

CAPÍTULO III - GESTÃO DE CRISE SE FAZ ANTES DA CRISE

Aqui, fazemos uma parada no tema técnico de redes subterrâneas de energia elétrica para trazer uma outra ótica mostrando que redes subterrâneas nem sempre são as respostas para atender os anseios da população. São ações de longo prazo e que devem ser adotadas de forma permanente. Neste sentido, redes subterrâneas de energia elétrica não são a resposta para necessidades urgentes para atender mudanças climáticas que acontecem em uma velocidade mais rápida do que nossa capacidade de construção de redes subterrâneas de energia elétrica. Este capítulo traz uma abordagem direcionada como uma proposta para atendimento às falhas no sistema elétrico que acontecem e acontecerão sempre em caso de fortes tempestades.

Nenhuma empresa em geral dimensiona seus recursos pelo pico de necessidade. Isto gera ineficiência e impacta diretamente no equilíbrio financeiro da Organização que, ou não se torna sustentável ou os custos são repassados para seus clientes. Empresas são dimensionadas para atender a demanda média dos seus produtos e serviços tendo mecanismos para aumentar sua produção em caso de necessidade até o limite dos seus recursos finitos. O problema é quando estes recursos se esgotam e as empresas têm que começar a recusar novos pedidos (em caso de picos sazonais) ou postergar entregas até que novas linhas de produção ou contratações equacionem a demanda (em casos de demandas que se perpetuem).

Quando falamos de um bem tão necessário para a vida moderna quanto a eletricidade, as duas ações acima listadas caem por terra, pois não podemos pensar em postergar entregas de energia elétrica e nem esperar contratar novas equipes para atendermos os picos de ocorrências na rede de distribuição que são observadas no período de tempestades. Esta é uma preocupação que ocupa a gestão de crise das empresas em todo lugar do mundo, pois falamos de sistemas de distribuição de energia elétrica predominantemente aéreos e, portanto, susceptíveis a falhas diante de eventos climáticos de grande magnitude, por mais que as redes elétricas estejam com seus planos de investimentos e manutenção em dia.

Diante disto, este capítulo aborda de forma geral, sem o intuito de varrer todos os detalhes, um pouco da boa prática adotada pelas empresas de energia elétrica nos Estados Unidos para melhor atender seus clientes em caso de picos de ocorrências e magnitude das falhas em função de eventos climáticos como tempestades de neves, furacões, queimadas etc.



Figura 15

3.1 - PLANO DE MÚTUA AJUDA

Tal como os bombeiros, os agentes da polícia e outras equipas de emergência unem forças para ajudar a reconstruir comunidades devastadas por catástrofes naturais, as empresas de energia elétrica juntam esforços para reestabelecer a energia para a população afetada no menor espaço de tempo possível.

Um acordo nacional de ajuda mútua conecta mais de 1.100 empresas de serviços públicos nos Estados Unidos para que possam ajudar-se mutuamente em momentos de necessidade. Algumas distribuidoras de energia elétrica também podem ter outros contratos e acordos locais, estaduais e regionais em vigor para prestar ajuda mútua.

3.2 - COMO FUNCIONA A AJUDA MÚTUA?

A ajuda mútua é exatamente o que parece: empresas de serviços de energia elétrica ajudando-se mutuamente em momentos de necessidade. Associações como a American Public Power Association (APPA), juntamente com empresas e organizações de energia pública estaduais e regionais, coordenam a rede de ajuda mútua para as empresas de energia elétrica do País. As concessionárias que desejam fornecer e obter ajuda para a restauração da energia após um desastre associam-se nesta rede de ajuda mútua. A APPA também mantém uma lista de prestadores de serviços e fornecedores de materiais independentes que podem ser chamados quando for necessária ajuda extra.

Quando (e mesmo antes) um grande desastre atinge a área de concessão de uma empresa e, esta sabe que as suas próprias equipas e equipamentos não serão suficientes para restaurar a energia rapidamente, apela à ajuda mútua. Estas empresas solicitantes fornecem a melhor estimativa de quantas pessoas são necessárias e que tipo de habilidades elas deveriam ter. A concessionária também especifica as necessidades de equipamentos e materiais. A concessionárias que suportam este plano, respondem com o que podem oferecer.

O próprio envio e movimentação de equipas de diferentes empresas de serviços públicos são coordenados por funcionários de empresas de serviços públicos e de associações de poder público que se voluntariam como coordenadores de ajuda mútua regionais e nacionais. Tais esforços exigem uma gestão logística substancial como vamos ver abaixo.

3.3 - RESPONSABILIDADES

Sucintamente, as **obrigações da Empresa Solicitante** são:

- × Fornecimento de materiais (postes, cabos e equipamentos necessários);
- × Designar um profissional para trabalhar com cada equipa da Empresa de Assistência que esteja familiarizado com o sistema elétrico da Empresa Solicitante, estradas locais e que tenha acesso direto ao sistema de comunicação da Empresa Solicitante. Em alguns casos são acionados profissionais aposentados que conhecem bem os sistemas elétricos da empresa;



Figura 16

- ✘ Desenvolver e fornecer para a Empresa de Assistência uma descrição do plano operacional do sistema elétrico e outras informações úteis, incluindo mapas de circuitos de distribuição, diagramas unifilares, tensão do sistema, número de subestações, configurações de comutação, sistema de comunicação e procedimentos operacionais para condições de emergência;
- ✘ Liberação de todos os funcionários e equipamentos da Empresa de Assistência quando a assistência não for mais necessária ou desejável;
- ✘ Fornecer três (3) refeições quentes diárias; alojamento adequado; cobrir despesas pessoais (ex.: lavanderia);
- ✘ Instalações adequadas de armazenamento e manutenção de veículos e equipamentos. Em alguns casos, os veículos da Empresa de Assistência são guardados nos pátios de estacionamentos de supermercados e casas de material de construção;
- ✘ Segurança do pessoal, veículos e equipamentos da Empresa de Assistência.

Em outras palavras, nada disto é algo que consiga ser organizado durante a crise, necessitando que os fatores acima listados sejam pensados e diligenciados antes de serem necessários.

Sucintamente, as **obrigações da Empresa de Assistência** são:

- ✘ Responder ao acionamento do plano com pessoal qualificado e equipamentos/ferramentas necessárias para a operação conforme necessidades da Empresa Solicitante;
- ✘ É obrigada a obter e manter em vigor cobertura de seguro específica para o plano da ajuda mútua. Empresas de Assistência devem fornecer um certificado de autosseguro declarando que a Empresa de Assistência é uma auto seguradora autorizada e qualificada pelo estado de origem para compensação e responsabilidade dos trabalhadores. Estas contas, conforme autorizadas pelo conselho de administração da Empresa de Assistência, destinam-se exclusivamente ao propósito de fornecer alívio de reclamações aplicáveis pelas quais a Empresa de Assistência possa tornar-se responsável.
- ✘ Os requisitos mínimos de seguro são: i) Seguro Acidentes de Trabalho e o Seguro Desemprego para todos os trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente na execução do trabalho; ii) Responsabilidade Geral Abrangente, incluindo instalações-operações, danos à propriedade de forma ampla, lesões pessoais etc.; iii) Seguro de responsabilidade civil automóvel para veículos próprios, alugados e não próprios.

Tudo isto dá tranquilidade jurídica para a Empresa Solicitante. Em outras palavras, a responsabilidade pelos recursos cedidos, não é transferida para a Empresa Solicitante.

3.4 - SEGURANÇA

No campo, a segurança é a preocupação operacional preeminente. A integração e gestão de padrões e culturas de segurança de múltiplas organizações durante as operações de restauração são, portanto, uma alta prioridade.

Principais pontos:

- ✘ Uma grande vantagem nos Estados Unidos é que maioria das concessionárias adotam o Manual de Segurança da APPA que reflete a OSHA 1910-269 e o National Electric Safety Code (Código Nacional de Segurança

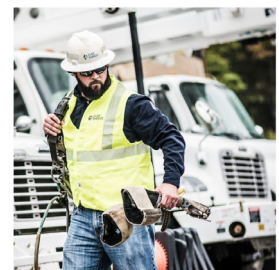


Figura 17

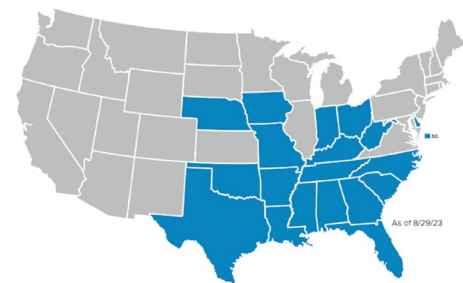
Elétrica). Seguir as orientações deste Manual de Segurança é uma prática recomendada e deve ser adotada por todos os membros da equipe. Quaisquer exceções feitas a esta orientação devem refletir requisitos aprimorados ou abordar características específicas do equipamento ou do sistema da concessionária.

- ✘ No caso de variações, as concessionárias devem seguir seus próprios procedimentos de segurança: independentemente dos padrões adotados pelas organizações, deve-se esperar variação nas práticas de segurança, equipamentos e cultura nas ativações de ajuda mútua. Nesses casos, as equipes devem ser autorizadas a aderir aos seus próprios padrões e práticas de segurança, a menos que tais práticas sejam manifestamente inseguras ou causem impactos operacionais intoleráveis.
- ✘ A Empresa Solicitante deve fornecer uma orientação de integração detalhada antes de utilizar as equipes que chegam. Esta orientação a todas as equipes das Concessionárias Auxiliares deve ser feita por um briefing de integração completo e formal, cobrindo todos os aspectos de segurança, operações e procedimentos (ou seja, o plano de restauração), informações técnicas relevantes do sistema, protocolos de comunicação etc. As equipes também devem receber materiais de referência, incluindo informações sobre o sistema elétrico e mapas de circuitos. Finalmente, as tripulações devem ser apresentadas ao pessoal relevante, incluindo a equipe de comando e profissional da Empresa Solicitante que fará o acompanhamento de cada equipe.

3.5 - QUEM PAGA PELA AJUDA MÚTUA?

Normalmente, uma concessionária de energia pública que solicita ajuda paga outras concessionárias que enviam ajuda. As taxas são determinadas através de acordos estabelecidos bem antes de um desastre. Como unidades do governo estadual e local, as concessionárias de energia pública são geralmente elegíveis para reembolso parcial de despesas de restauração pela FEMA¹ – Federal Emergency Management Agency (Agência Federal de Gestão de Emergências), se todas as condições e requisitos relevantes forem atendidos.

As empresas em suas previsões orçamentárias todos os anos, já destinam recursos para serem empregados na reconstrução da rede por eventos extremos.



*Furacão Idalia (categoria 3): redes de assistência mútua ativadas e prontas para responder
Mais de 25.000 trabalhadores de pelo menos 19 estados e D.C. foram mobilizados para apoiar a restauração da energia.*

Figura 18

3.6 - CONCLUINDO

Como visto de forma rápida, são muitos detalhes que devem ser levados em conta quando falamos de um programa nacional de mútua ajuda, mas a prática continuamente aprimorada de várias décadas deste trabalho conjunto entre as empresas do setor elétrico (concessionárias e contratados), tem se mostrado uma estratégia vencedora permitindo um reestabelecimento mais rápido do fornecimento de energia elétrica para comunidades afetadas pelas rigorosas variações climáticas que temos observado.

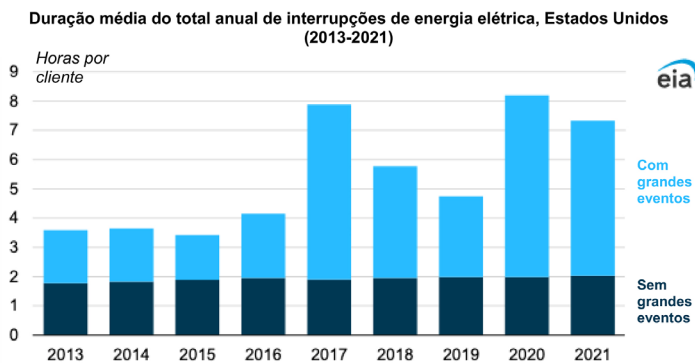
No Brasil, associações que representam as distribuidoras de energia elétrica seriam maestros interessantes para implantar metodologias como estas observadas no EUA, colocando as empresas em discussão

sobre o tema vencendo barreiras técnicas, legais e regulatórias para termos um setor elétrico como um todo, preparado para atender aos picos de ocorrências que catástrofes naturais têm causado no nosso sistema de distribuição de energia elétrica.

Referência: 1 - FEMA é uma agência do governo dos Estados Unidos da América, subordinada ao Departamento de Segurança Interna. O objetivo principal da FEMA é coordenar as respostas a desastres que ocorram nos Estados Unidos e que superem os recursos das autoridades locais e do estado.

CAPÍTULO IV - REDES SUBTERRÂNEAS NO FOCO DAS EMPRESAS NORTE-AMERICANAS

O tema de redes subterrâneas de energia elétrica é um dos principais destaques quando o assunto é melhora de performance de sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica. Atualmente, nos Estados Unidos, o SAIDI (System Average Interruption Duration Index – equivalente ao DEC no Brasil) e o SAIFI (System Average Interruption Frequency Index – equivalente ao FEC no Brasil) variam aproximadamente 5-8 horas e 1,5 vezes por cliente, respectivamente, o que resulta em um custo econômico para os consumidores de eletricidade dos EUA de 79 mil milhões de dólares/ano (fonte: “Cost of Power Interruptions to Electricity Consumers in the United States (U.S.)” LBNL-58164 (2006)).



Fonte: U.S. Energy Information Administration, Annual Electric Power Industry Report

Figura 19

Qualidade de fornecimento de energia elétrica medida pelo SAIDI com o percentual de redes subterrâneas de diversos Países. Embora saibamos que existem particularidades regulatórias na apuração dos indicadores de qualidade, para efeitos deste artigo técnico, o valor do Brasil foi inserido para mostrar nosso posicionamento nesta análise e, notamos que, a exemplo do mercado de distribuição de energia norte-americano, temos muito ainda a evoluir se comparado com o mercado europeu.

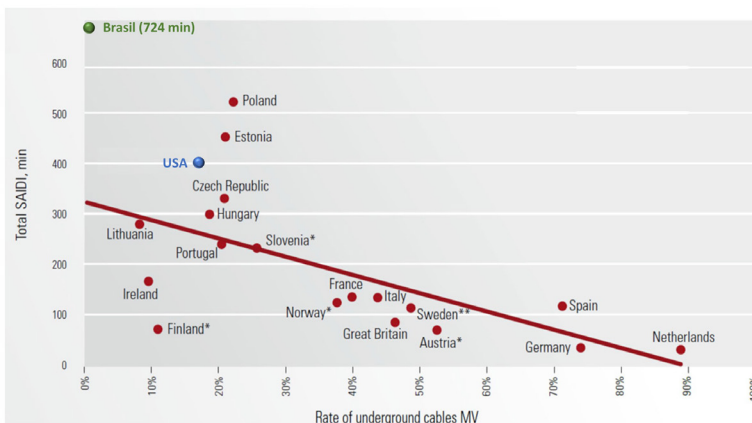


Figura 20

O recente aumento na frequência e gravidade de eventos climáticos extremos está deteriorando os indicadores técnicos de qualidade de fornecimento de energia elétrica nos Estados Unidos.

O sistema de distribuição de energia elétrica nos Estados Unidos tem mais de 5,5 milhões de milhas de linhas, dos quais, cerca de 18% são subterrâneos.

O gráfico abaixo é uma excelente contribuição extraída do relatório de uma das Agências do Departamento de Energia Norte-Americano e traz uma reflexão muito objetiva comparando a qualidade de fornecimento de energia elétrica medida pelo SAIDI com o percentual de redes subterrâneas de diversos Países.

Fontes: i) adaptação do gráfico existente no documento da Advanced Research Projects Agency - Energy (ARPA-E) - U.S. Department of Energy: Grid Overhaul with Proactive, High-Speed Underground for Reliability, Resilience, and Security (GOPHURRS) construído com base na performance média do SAIDI dos anos de 2019-2021; ii) DEC Brasil (www.gov.br/aneel/). Base de performance de 2019-2021 em horas e convertido para minutos.

Com base nos dados expostos anteriormente, as empresas de energia elétrica nos EUA têm se mobilizado para gerar programas de conversão de redes aéreas para subterrâneas demonstrando a preocupação nacional sobre o tema. Abaixo, destacamos somente algumas iniciativas que estão sendo geradas motivadas por diferentes fatores como respostas as mudanças climáticas que o nosso Planeta vem observando:

Empresa	Informações extraídas do website das empresas
	<p>“Converter redes elétricas sujeitas a interrupções para o subsolo pode reduzir significativamente quedas de energia e interrupções momentâneas de serviço, além de reduzir custos e acelerar o tempo de restauração após um grande evento para todos os clientes.”</p> <p>https://www.duke-energy.com/our-company/future/targeted-undergrounding</p>
 Florida Power & Light	<p>“As linhas elétricas subterrâneas são mais confiáveis do que as linhas aéreas particularmente durante furacões e condições meteorológicas severas, quando as árvores, a vegetação e os detritos levados pelo vento podem causar interrupções nas linhas aéreas. Nos últimos anos, tem havido um interesse crescente por parte de clientes individuais e comunidades em ter as suas linhas aéreas substituídas por linhas subterrâneas para melhorar a confiabilidade ou por razões estéticas.”</p> <p>https://www.fpl.com/reliability/underground-conversions.html</p>
	<p>“Programa Subterrâneo Estratégico - Esta iniciativa da Virgínia e da Carolina do Norte visa reduzir os tempos de restauração de energia após grandes tempestades. Fazemos isso encontrando e identificando as redes de energia aéreas mais propensas a interrupções e convertendo para proteção do subsolo.”</p> <p>https://www.dominionenergy.com/projects-and-facilities/electric-projects/strategic-underground-program</p>
 Pacific Gas and Electric Company	<p>“Enfrentar os desafios climáticos do nosso estado requer ações ousadas. É por isso que planejamos enterrar 10.000 milhas, ou aproximadamente um terço das nossas linhas elétricas aéreas, em áreas de alto risco de incêndios florestais. Este é o maior programa desse tipo nos EUA.”</p> <p>https://www.pge.com/en_US/residential/customer-service/other-services/electric-undergrounding-program/electric-undergrounding-program.page</p>
	<p>“Com um investimento total de aproximadamente US\$ 430 milhões, a WPS instalou mais de 3.200 quilômetros de circuitos subterrâneos no lugar de linhas aéreas e adicionou equipamentos de automação de distribuição em 400 quilômetros de linhas”</p> <p>https://www.wecenergygroup.com/csr/climate-report2022.pdf</p>
	<p>“Como parte de nossos esforços contínuos para reduzir o risco de incêndios florestais e o impacto dos cortes de energia na segurança pública durante condições climáticas extremas, a San Diego Gas & Electric (SDG&E) realizará vários projetos em linhas de energia subterrâneas.”</p> <p>https://www.sdge.com/undergrounding-overhead-powerlines</p>

Em que pese a questão de redes subterrâneas não serem as únicas respostas para melhora de performance de sistemas elétricos, elas figuram entre os planejamentos de longo prazo da maioria das concessionárias de energia elétrica nos EUA para garantir a boa prestação de serviços para as comunidades que servem.

4.1 - MODELO REGULATÓRIO AMERICANO - Fonte: Advanced Research Projects Agency - Energy (ARPA-E) - U.S. Department of Energy: Grid Overhaul with Proactive, High-Speed Undergrounding for Reliability, Resilience, and Security (GOPHURRS)

Assim como no Brasil, o serviço de distribuição de energia elétrica é um “monopólio natural” e, por isto, a tomada de decisão de investimento na rede é feito através de um processo altamente regulamentado.

O modelo regulatório é um diferencial motivador para estes trabalhos pois, embora os custos de redes subterrâneas sejam conhecidamente elevados, o reconhecimento na tarifa é garantido para a concessionária através de um processo de aprovação dos investimentos pelas comissões de serviços públicos ou “PUCs” (Public Utility Commissions). Isto é conhecido como “processo de cálculo de taxas” porque quaisquer novos investimentos feitos pelas concessionárias de energia ou “IOUs” (Investor-Owned Utilities) – responsáveis por 71% dos clientes de eletricidade nos EUA - teriam um impacto nas tarifas que os clientes pagam nas suas contas de serviços públicos. As PUCs avaliam as propostas de serviços públicos quanto ao seu impacto no custo, na confiabilidade, na segurança e, cada vez mais, na sua sustentabilidade ambiental e na equidade pública, e esforçam-se por encontrar um equilíbrio entre todos estes fatores.

Conforme conversa que tive com um especialista do setor, em alguns casos, o ajuste tarifário é baseado no cronograma da obra apresentado e alinhado entre a concessionária e as agências regulatórias garantindo o equilíbrio econômico da concessionária.

Somente após a aprovação da PUC – que normalmente ocorre após extensa documentação e negociação com as concessionárias, bem como testemunho público de defensores dos consumidores, grupos ambientalistas e outras partes interessadas – é iniciada a cadeia de valor de investimento de capital expresso resumidamente na figura abaixo:

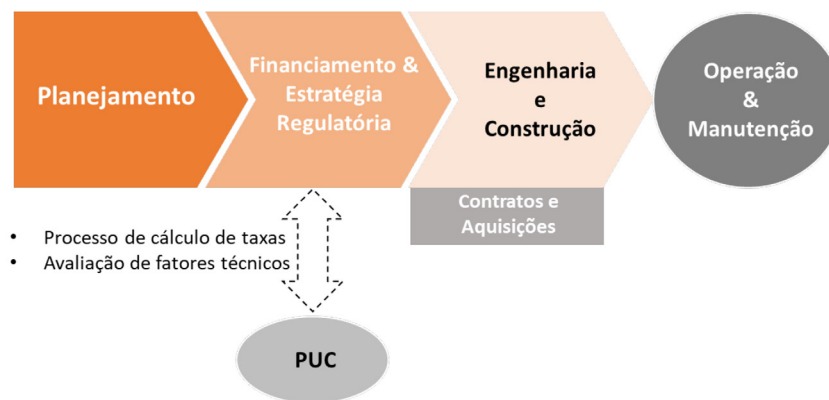


Figura 21

Para as empresas municipais (16% dos clientes dos EUA) e as cooperativas elétricas (13% dos clientes do EUA), as decisões de investimentos também são feitas anteriores a aplicação dos recursos, porém avaliado localmente pelo citizen board.

4.2 - CONCLUINDO

Olhando para “dentro de casa”, hoje no Brasil, um dos temas não pacificados e que vem à tona quando falamos de redes subterrâneas de energia elétrica é o conceito de reconhecimento do investimento prudente: as concessionárias têm receio de que investimentos em redes subterrâneas não sejam reconhecidos pela ANEEL quando da revisão tarifária sendo estes potencialmente caracterizados como investimentos não prudentes e, portanto, devendo ser transformado em despesa e não em investimento impactando o resultado operacional da Organização. Pelo modelo utilizado nos EUA, os investimentos são aprovados antes de serem aplicados o que elimina qualquer preocupação da concessionária de não reconhecimento do investimento.

Outro ponto que ajuda a suportar programas de conversão de redes aéreas para subterrâneas nos EUA é o reconhecimento dos investimentos na tarifa através de repasse conforme cronograma de obras. Este é um ponto crucial para manter o equilíbrio econômico-financeiro da empresa de energia e permite que os investimentos sejam mais contínuos e perenes pois não se aguarda todo um ciclo tarifário para análise e repasse dos investimentos para a concessionária via tarifa.

Em que pese sabermos que a tarifa não pode ser a única forma de cobrir os custos de um plano estruturado de conversão de redes aéreas para subterrâneo, os modelos regulatórios aplicados em países como os EUA têm trazido incentivo para as concessionárias em construir programas como estes sem que a agência reguladora abra mão de um de seus mais importantes papéis que é garantir tarifas justas para todos os clientes de nossas comunidades.

CAPÍTULO V - ÍNDICE DE QUALIDADE DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA SUBTERRÂNEAS

Redes subterrâneas têm uma performance muito melhor que a rede aérea. Isto é até muito simples de entender, pois redes de distribuição de energia elétrica subterrâneas são menos susceptíveis a falhas por fatores de ordem externa, como árvores em contato com a rede ou que caem sobre ela, poste abalroado por veículos ou até mesmo objetos que caem sobre a rede levados por ventos fortes.



Figura 22

Dois pontos devem complementar esta resposta acima que são fundamentais para o leitor entender:

i. Mesmo sendo uma rede menos sujeita a agentes externos, assim como pode ser observado em qualquer sistema elétrico, ela pode falhar. Motivos que podem levar uma rede elétrica subterrânea falhar são basicamente 5:

- a. Cabos atingidos em escavação por outras empresas que compartilham o subsolo. Estão entre elas água, gás, empresas de telecomunicação etc.;
- b. Aceleração da degradação de equipamentos, cabos e acessórios por infiltração de água e efluentes em câmaras subterrâneas. Nota: em Países que são afetados por nevascas, há também a componente do sal que é jogado nas ruas para acelerar o processo de degelo das vias. Este sal, com seu efeito corrosivo, penetra nos ativos subterrâneos acelerando o processo de degradação principalmente de emendas de cabos;



Figura 23

- c. Experiência dos instaladores na confecção de emendas / terminais e instalação de cabos: por serem redes subterrâneas algo ainda pouco utilizado no Brasil, encontrar profissionais experientes e, portanto, de elevada qualidade, é um desafio para as empresas que constroem redes de

energia elétrica subterrâneas. As falhas que, potencialmente são geradas pela confecção do componente ou instalação dos cabos, podem ser mitigadas com um processo de comissionamento de elevado padrão de exigência, porém, algumas destas deficiências de mão de obra vão se manifestar somente com o tempo em forma de desligamento acidental do sistema;



Figura 24

d. Qualidade dos componentes e equipamentos adquiridos pelas empresas: visto que estamos falando basicamente de emendas e terminais que são hoje importados, a grande maioria dos problemas estão na não observância das condições técnicas das instalações subterrâneas no Brasil que são, por vezes, mais agressivas do que as observadas em outros países. Importante notar também que, quando se trata de redes subterrâneas, preço e qualidade são algo que andam juntos. Em outras palavras, se você é um tomador de decisão técnica em sua empresa, desconfie de preços baratos no processo de aquisições;

e. Por fim, acessos indesejados para furto de cabos nas redes de distribuição de energia elétrica é algo que acontece em diferentes escalas em todos os lugares de Mundo levando, por vezes, a pessoa que está cometendo o delito a óbito. Isto gera problemas desde o desligamento de um disjuntor em uma subestação até o desbalanço de tensão e sobre carga em equipamentos em alguns casos.

ii. O tempo de reestabelecimento de uma rede de distribuição de energia elétrica subterrânea é muito maior que uma rede aérea. Isto se deve ao fato das falhas não estarem visíveis a olho nu como a rede aérea sendo necessário, portanto, adentrar aos ativos subterrâneos e/ou realizar testes de tensão aplicada até que a falha seja confinada e localizada. O tempo de reparo também é uma das grandes desvantagens das redes subterrâneas por muitas vezes necessitar até de escavações para troca de cabo ou equipamento. Em outras palavras e de forma mais simples: redes subterrâneas são muito boas até o momento em que falham ...

Pontuados os aspectos acima, a pergunta então é quanto as redes subterrâneas são mais eficientes que as redes de distribuição aérea?

- ✘ De acordo com a Florida Power & Light (FPL) no seminário “Resilient Power Grids: Strategically Undergrounding Powerlines” (March 22, 2022) a performance das redes subterrâneas foi **85% melhor** que as redes aéreas durante o furacão Irma (2017);
- ✘ Um dos estudos mais completos e referenciados sobre redes subterrâneas foi elaborado pelo conceituado Edson Electric Institute (Out of Sight, Out of Mind – 2012 - An Updated Study on the Undergrounding Of Overhead Power Lines), que traz uma série histórica das empresas americanas de 2004 a 2010 e a diferença medida de performance para redes de distribuição de energia elétrica é cerca de **93% melhor** comparando sistemas subterrâneos com aéreos;
- ✘ Trazendo o exemplo do Brasil, informações capturadas pela ABRADÉE (Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica) em uma série história de 2001 a 2009, mostrou que a performance dos conjuntos elétricos com redes subterrâneas era na média de 1,26 horas. Embora o dado tenha alguns anos, não há razões que nos levem a acreditar que haja variações significativas nestes dados. Capturando os dados um pouco mais recentes (2020 – 2022) da performance do DEC Brasil no site da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), notamos que a média é de 11,42 horas - impacto este de predominância absoluta das redes aéreas pois hoje somente 0,38% dos alimentadores brasileiros

são subterrâneos. A relação entre estes dois números nos remete a uma performance da rede de energia elétrica subterrânea **89% melhor** que redes aéreas.

5.1 - BREVE CONCLUSÃO

Em que pese as considerações inicialmente expostas com relação as fragilidades das redes subterrâneas, podemos afirmar com pequenas margens de erro que as redes de distribuição de energia elétrica subterrâneas são cerca de **90% mais eficientes** em performance se comparadas com as redes de distribuição de energia elétrica aérea.



Nossos próximos 3 capítulos ajudarão a trazer uma uniformidade na resposta do leitor do porquê algo tão eficiente como redes subterrâneas não ser utilizado em larga escala na distribuição de energia elétrica.

CAPÍTULO VI - QUAL O CUSTO UNITÁRIO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA SUBTERRÂNEA?

Este capítulo trata de um dos temas mais polêmicos envolvendo redes de distribuição de energia elétrica que são os custos modulares. No capítulo V deste livro, falamos sobre os aspectos de qualidade das redes subterrâneas e, com o elevado grau de confiabilidade demonstrado no citado capítulo a pergunta é: “por que não temos uma forte aplicação neste tipo de sistema de distribuição de energia elétrica?” A resposta é simples: PREÇO.

Nota: não vamos tratar neste capítulo dos impedimentos regulatórios de reconhecimento dos investimentos na tarifa sendo que vamos nos ater apenas aos aspectos técnicos dos custos das redes subterrâneas.

Que redes subterrâneas são mais caras que redes aéreas todos sabem e, para fazer esta afirmação, não é necessário ser um especialista. O equívoco se encontra quando se declaram números que não fazem sentido para o propósito com que estão sendo expostos. Exemplo: “redes subterrâneas são de 5 a 10 vezes mais caras que redes aéreas”. Embora esta afirmação seja verdadeira (em alguns casos podendo chegar até 14 vezes), ela não soma muito para o propósito que normalmente está em pauta que é a conversão da rede aérea para subterrânea. Neste caso, a rede aérea já é existente e o que se deve buscar na verdade é o custo de uma rede subterrânea e não comparar com a rede aérea.

A pergunta de ouro que todo gestor público e privado faz é: “qual o custo do km de uma rede subterrânea?” Esta é uma pergunta simples com uma resposta absolutamente complexa. Os gestores fazem legitimamente esta pergunta pois, de uma forma simples, enxergam o seu budget e projetam quantos quilômetros conseguirão realizar em seu planejamento. Na minha trajetória profissional já tive que responder esta pergunta algumas dezenas de vezes, e, após ter passado por várias situações em que números realizados eram muito superiores aos planejados, cheguei à óbvia conclusão de que a melhor resposta para esta pergunta é: **DEPENDE**.

Neste capítulo vamos nivelar conhecimentos sobre: i) quais são os principais fatores de diferenças de preço da rede aérea e subterrânea, ii) porque valores de redes subterrâneas variam tanto e, iii) alguns números encontrados em artigos técnicos e estudos nos EUA.

6.1- POR QUE A REDE SUBTERRÂNEA É MAIS CARA QUE UMA REDE AÉREA?

A tabela 01 traz de forma objetiva e simplificada alguns aspectos comparativos dos dois sistemas de distribuição sendo que, para redes subterrâneas, estamos comparando com sistemas convencionais e urbanos:

Sistema Aéreo	Sistema Subterrâneo
Sustentação de cabos e equipamentos são postes sem dependência de grandes obras civis	Instalação de cabos e acessórios são em banco de dutos e câmaras subterrâneas com necessidade de grandes obras civis
Equipamentos sem necessidade de estanqueidade (expostos ao ar livre)	Equipamentos submersíveis (podem trabalhar mesmo de baixo da água sem comprometimento do seu funcionamento)
Uso do ar como isolante elétrico (cabos distanciados)	Necessidade de completa isolamento elétrica
Produtos com tecnologia predominantemente antiga e dominada pelo mercado nacional	Produtos e equipamentos com tecnologia avançada e, em grande parte, importada
Larga escala de produção no mercado nacional	Baixa escala de produção no mercado nacional
Mão de obra especializada é abundante	Mão de obra especializada é escassa



Tabela 01

Como pode ser observado, a menor complexidade do sistema aéreo somado a sua velocidade de implantação tem levado ele a ser o sistema padrão adotado não somente no Brasil, mas quase que na totalidade dos outros países como uma forma rápida a um custo razoável para universalizar o acesso às comunidades a um bem essencial para vida moderna que é a energia elétrica. Sistemas subterrâneos, via de regra, são idealizados e implantados em regiões onde as redes aéreas já chegaram no seu limite técnico de atendimento de carga e/ou qualidade requerida.

Um outro fator não tão evidente na tabela acima é a questão da elevada dependência de obras civis para implantação de redes subterrâneas de energia elétrica. Estes custos, para redes convencionais urbanas, podem chegar a 70% (material + mão de obra) dos custos totais da obra. No próximo capítulo desta série trataremos de forma específica sobre as opções de obras civis.

6.2 - POR QUE OS VALORES DO KM DA REDE SUBTERRÂNEA PODEM VARIAR TANTO?

Como disse na introdução deste capítulo, DEPENDE é a resposta mais responsável que pode ser dada quando se pergunta o custo modular de uma rede de distribuição de energia subterrânea. DEPENDE, portanto, do que? Vejamos abaixo algumas questões que podem influenciar nos custos de uma rede subterrânea de energia elétrica:

- a. Topologia:** este é o caminho pelo qual a rede subterrânea irá percorrer nas vias públicas. Isto pode envolver uma série de derivações necessitando elevar o número de caixas de passagem (por exemplo).

Por mais que o projetista seja experiente, a previsão destas caixas de passagem é, por vezes, inevitável, incrementando o custo total da obra;

b. Densidade de Carga: este é o fator que pode trazer maior variação de custos em uma obra se comparado a um custo modular padrão. Vamos ver esta variação em 3 casos práticos e reais que desenvolvi há alguns anos:

	Case 01	Condomínio Residencial	Case 02	Avenida Comercial	Case 03	Grande Avenida Comercial
Premissas	Região predominantemente residencial		Região predominantemente comercial		Região predominantemente comercial	
	Rede Subterrânea de MT somente de um dos lados da via		Rede Subterrânea de MT somente de um dos lados da via		Rede Subterrânea de MT dos dois lados da via	
	Baixa densidade de carga 120 kVA / km		Alta densidade de carga 4,1 MVA / km		Altíssima densidade de carga 9,3 MVA /km	

Tabela 02

A variação de custos encontrados no case 01 se comparado ao case 02 é 7,3 vezes maior. Se comparado o case 01 com o case 03, a variação é de 10,9 vezes. Notem, todos os casos são de conversão de rede de aéreo para subterrâneo. Os custos têm elevada disparidade basicamente pelo fator carga, sendo que, no case 03, pela característica concentrada de carga, se fez necessária a adoção de duas redes de média tensão (MT) – uma de cada lado da via pública e um volume maior de transformadores e equipamentos.

Nota: variação sem incremento de custos de adequação de entrada de cliente e ocupantes dos postes.

Mesmo sem valores propositadamente não expressos em R\$, isto nos ajuda a evidenciar o quanto é temerário trabalharmos com critérios de custos modulares para planejamento de obras de conversão de redes subterrâneas. O planejamento deve começar pelo Plano Diretor da Organização que identifique quais são as áreas estrategicamente elegíveis para receber investimentos de conversão de redes aéreas para subterrâneas. Somente após isto podemos customizar a solução que poderá custar “x” ou 10,9 vezes “x”.

c. Dificuldades construtivas: estamos falando basicamente em um impacto na produtividade das equipes. Exemplos:

- ✗ Que tipo de terreno precisamos escavar? Se é um terreno rochoso, a produtividade das equipes é fortemente impactada, elevando os custos da obra.
- ✗ Outro fator que pode ser classificado como “dificuldade construtiva” é a liberação da via pública para obras. Cases de sucesso como o observado na cidade de Barcelona (Espanha), onde houve fechamento total das vias públicas no local onde seria feita a conversão da rede, elevando a produtividade das equipes com trabalhos em 3 turnos por dia não é a regra. Comumente, os trabalhos em via pública iniciam com o horário da diminuição do trânsito de veículos e pedestres, ou seja, por volta das 23:00 horas e são finalizados por volta das 5:00 da manhã, não permitindo que os trabalhos avancem de forma fluida (baixa produção por dia). Outro agravante de custos porém, o observado é que isto é que trabalhos noturnos são, pela legislação trabalhista brasileira, acrescidos 20% no salário dos trabalhadores, com impacto direto no custo da obra;

d. Padrão possível de ser utilizado: Dependendo da região que terá redes convertidas de aéreo para subterrâneo, os padrões a serem adotados de rede podem ter grandes variações. Conheço um caso de uma “ilha” de sistemas aéreos que se encontrava no meio de uma região atendida por um sistema reticulado e, para garantir a confiabilidade e segurança operativa, mesmo sendo este o sistema subterrâneo mais caro, a solução a ser adotada foi expandir o sistema reticulado. Outros casos envolvem o atendimento a cargas críticas como hospitais e centros financeiros onde um sistema radial com primário em anel, por mais que seja um sistema robusto e flexível, não traz a confiabilidade de um sistema com primário seletivo. Mais uma vez, embora soluções menos custosas estejam disponíveis para os projetistas, elas não trazem a confiabilidade que o cliente necessita para sua operação.

Para um nivelamento de conhecimento do leitor, a tabela 03 traz, de uma forma simplificada, uma “foto” dos sistemas mais usuais de distribuição de energia elétrica subterrânea:

Sistema	Custo	Confiabilidade	Flexibilidade Operativa	Breve Descrição
RADIAL SIMPLES	↓	Ruim	Não há	Não possui alternativa de socorro em situações de contingência
RADIAL COM PRIMÁRIO EM ANEL	→	Média	Boa	Possui socorro por transferência de blocos de carga entre circuitos em situações de contingência
RADIAL COM PRIMÁRIO SELETIVO	↗	Alta	Ótima	Possui sistema duplicado para socorro e chave de transferência automática na perda do alimentador titular
RETICULADO (ou NETWORK)	↑	Altíssima	Excelente	Múltiplos alimentadores primários com as saídas dos secundários dos transformadores interconectadas em malha reticulada com proteção unidirecional que atua automaticamente devido à inversão do fluxo de potência

Tabela 03

e. Objetivo da obra: Muitos serviços de conversão de rede são realizados para garantir um padrão paisagístico diferenciado (fatores estéticos). Embora a demanda seja legítima e, um dos diferenciais que só pode ser obtido com redes subterrâneas, é imprudência técnica simplesmente enterrar cabos e equipamentos sem uma contingência técnica. Isto pode levar a algumas alterações nas redes da região não inicialmente previstas no projeto paisagístico inicial, porém, obras em trechos curtos de rede, via de regra atendem a necessidade da solicitação com custos menores que uma obra de intervenção em uma região inteira. *Nota: normalmente, demandas como estas são custeadas integralmente pelo solicitante (cliente individual, poder público, associações comerciais etc.).*



Figura 25

Já quando o objetivo da obra é buscar um salto de qualidade de fornecimento de energia elétrica e/ou atendimento de elevação de carga em uma determinada região, obras sistêmicas e de maior abrangência são geralmente necessárias elevando expressivamente os custos da solução a ser adotada.

6.3 - ALGUNS EXEMPLOS DE VALORES EXPRESSOS EM ARTIGOS TÉCNICOS

Feitas todas as considerações anteriores, fica mais simples entender as variações nos números que são expressos em escassos artigos técnicos que tratam do tema de conversão de redes aéreas para subterrâneas. Infelizmente, no Brasil não existem muitos “Papers” que tratam do tema sendo limitado somente a alguns projetos de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento). De qualquer forma, é interessante observar principalmente valores expressos em trabalhos feitos nos EUA, pois eles trazem os montantes em dólar, sendo esta uma moeda forte e estável (menor sujeição a variações históricas causadas por impactos econômicos) e pela larga aplicação de redes subterrâneas neste País. Apesar disto, vamos notar variações interessantes nos valores apresentados reforçando que DEPENDE será sempre a melhor resposta de forma imediata para a pergunta.

- ✘ No webinar “Undergrounding Powerlines” realizado no dia 22 março de 2022 e organizado pelo departamento de energia do governo norte-americano (U.S. Department of Energy), a vice-presidente da PG&E (Pacific Gas and Electric Company), Jamie Martin, informou que o valor praticado pela empresa para conversão de redes aéreas para subterrâneas para mitigar problemas de queimadas (wildfire) era de aproximadamente USD 3,75 milhões / milha. *Nota: o projeto de longo prazo da PG&E é um dos maiores dos EUA e prevê a conversão de 10.000 milhas de redes aéreas para subterrâneas;*
- ✘ Um estudo intitulado “Overhead Feeder Conversion Study” elaborado pela Clough Harbour & Associates LLP em maio/2013 para a ConEdison (concessionária de energia elétrica de Nova York), traz uma tabela com valores comparativos de conversão de redes em diversos estados norte-americanos. *Nota: a tabela original está resumida abaixo (Tabela 04) com os valores atualizados para base 2022 pelo índice de inflação norte-americano:*

Estado	Ano do Estudo	Informação do Projeto	Custo por milha (USD base 2022)
Virgínia	2005	Custo Médio	1.790.000
Oklahoma	2008	Custo Médio	2.093.000
Flórida	2007	Pensacola Beach	2.380.000
Maryland	1999	Custo Máximo	3.590.000
Carolina do Norte	2003	Custo Máximo	4.772.000
Distrito de Columbia (DC)	2012	Custo Máximo	4.460.000

Tabela 04

- ✘ Se tratando de base numérica para planejamento das empresas norte-americanas para projetos de conversão de redes aéreas para subterrâneas, a referência mais utilizada ainda é o estudo “Out of Sight, Out of Mind – 2012 - An Updated Study on the Undergrounding Of Overhead Power” elaborado pelo conceituado Edson Electric Institute (EEI). Eles utilizam uma divisão interessante e inteli-

gente a meu ver, separando os custos de novas construções em urbano, suburbano e rural (mínimo e máximo). O resultado está mostrado na Tabela 05. *Nota: a tabela está resumida com os valores atualizados para base 2022 pelo índice de inflação norte-americano:*

	Rede Subterrânea (USD / milha – base 2022)		
	Urbano	Suburbano	Rural
Mínimo	1.455.000	673.000	379.000
Máximo	5.735.000	2.931.000	2.345.000

Tabela 05

✖ Quando falamos de grandes centros urbanos com elevadíssima densidade de carga e, onde a única alternativa são equipamentos submersíveis, os custos podem se elevar, bem como pode ser visto em um relatório intitulado “Utilization of Underground and Overhead Power Lines in the City of New York” elaborado pelo escritório de planejamento de longo prazo e sustentabilidade de Prefeitura de Nova York em dezembro/2013. Os valores demonstrados pelos técnicos são de USD 8,29 milhões / milha para os bairros de Westchester County / Bronx e de USD 7,81M / milha para Staten Island.

6.4 – BREVE CONCLUSÃO

Como pode ser observado nas considerações deste capítulo, os valores unitários de conversão de redes aéreas para subterrâneas podem ter grandes variações o que inspira sempre muito cuidado quando se trata de planejamento de investimentos para este tipo de ação. De forma resumida, as citações dos arquivos técnicos mencionados, excluindo o estudo realizado pela Cidade de Nova York (outlier), trazem valores médios por milha com base de 2022 conforme tabela abaixo:

Valores de implantação de redes de distribuição subterrâneas Dólares / milha Base: 2022		
Mínimo	Médio	Máximo
835.408	3.425.741	5.735.065

Tabela 06

O range de variação do valor mínimo para o máximo neste resultado é de 6,8 mostrando mais uma vez a enorme discrepância que custos modulares podem trazer dependendo de inúmeros fatores conforme observado.

Concluindo, responder DEPENDE para um gestor ansioso por ter uma resposta simples para um custo modular não é definitivamente uma resposta covarde e sim, uma resposta RESPONSÁVEL.

CAPÍTULO VII - INFRAESTRUTURA CIVIL DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA SUBTERRÂNEAS

Como visto no capítulo anterior, o desafio do custo de implantação de redes subterrâneas está afeto ao preço – assunto este tocado em vários artigos técnicos. A pergunta que tem que ser respondida é: como transformar as redes subterrâneas em algo mais barato? Objetivando continuar o nivelamento de conhecimento do leitor, neste capítulo meu objetivo é pensar em como tratar não só o tema do preço, mas da velocidade de implantação, pois o gargalo de ambos está no caminho crítico da implantação destas redes que é a infraestrutura civil. Para construção deste material, conto com a contribuição de um dos maiores especialistas no setor com que já tive o prazer de trabalhar, que é o Eng. Civil Moacir Fernandes.

7.1 – CONCEITUAÇÃO

NOTA: Para efeito de melhor compreensão do leitor, estamos trazendo este tema da infraestrutura civil pela ótica de projetos de conversão de sistema aéreo para subterrâneo e, como projetos como estes são questionáveis se não for adotado o critério de concentração de carga, trataremos nesta conceituação o uso de sistemas de distribuições subterrâneas tradicionais de grandes metrópoles.

É um consenso entre os gestores de projetos e obras de infraestruturas subterrâneas para serviços de saneamento, drenagem, gás, telefonia/telecom, energia elétrica e outros, tanto de Concessionárias/Utilities e quanto do Poder Público, que um dos maiores desafios para implantação de novas redes nas cidades são os impostos pelas estruturas civis projetadas para esses serviços, quer seja pelos elevados custos e prazos de implantação, como também pela dificuldade de instalação de novas redes devido à disponibilidade de espaço livre no subsolo principalmente em áreas mais urbanizadas e adensadas nas grandes metrópoles, em função da alta ocupação de redes de serviços pré-existentes ativas e/ou desativadas que foram instaladas sem critérios de ocupação e sem visibilidade para convivência com futuras redes, somando-se muitas vezes com a deficiência nos dados de cadastramento das posições de instalação.



Figura 26



Figura 27

Em certas regiões de grandes metrópoles como São Paulo e Rio de Janeiro, além de estar ficando inviável a implantação de novas redes subterrâneas devido à falta de espaço no subsolo, existem diversas restrições impostas na execução de obras para instalação de novas redes como caixas e dutos, devido ao impacto que é gerado em vias e cruzamentos com grande circulação de pessoas, veículos e meios de transporte, bem como em obstáculos como travessias de vias férreas e córregos.

Projetos de infraestrutura subterrânea de grande porte, tais como enterramentos de redes com fiações aéreas, requerem grande incidência de ativos civis a serem instalados para comportar as instalações projetadas (cabecamentos, equipamentos etc.) para atendimento das demandas (cargas)

existentes e futuras dos serviços aos respectivos consumidores.

Outro aspecto desejável e bem como necessário na implantação de sistemas subterrâneos em grandes metrópoles é considerar no dimensionamento das redes uma “folga técnica” para futuro crescimento de consumo ou novas conexões, também no que se refere os ativos civis, pois uma vez ocupado o subsolo pode haver a posterior a implantação de diversas outras redes de serviços ao longo do tempo, diminuindo-se desta forma cada vez mais a disponibilidade de espaço.

A abertura constante de valas para implantação de novas redes onde os sistemas já se encontram subterrâneos traz grandes impactos de custo e de manutenção da qualidade dos pavimentos das vias bem como gera insatisfação na comunidade e no poder público devido às obras, muitas vezes interpretado como falta de planejamento das Concessionárias/Utilities.

Para sistemas de rede de distribuição subterrânea de energia elétrica, por exemplo, é recomendado que as caixas sejam preferencialmente projetadas, em relação ao seu espaço útil de utilização, para possibilitar a possível substituição por equipamentos com maior porte e capacidade quando necessário e os dutos para passagem de cabos é desejável ser implantados em quantidades sobressalentes para futuras expansões.

Outro fator relevante a ser considerado em projetos de enterramentos de redes com fiações aéreas é a grande incidência de empresas de prestação de serviços de Telecom devido à competitividade de mercado, acarretando a necessidade de implantação considerável de caixas e dutos exclusivos para cada empresa que não compartilham espaços entre si, agravando-se assim a disputa do escasso espaço no subsolo com as redes de energia e semafóricas, além das redes pré-existent de saneamento, drenagem e gás.



Figura 28

Os métodos construtivos mais comuns e usuais na implantação de redes subterrâneas de serviços envolvem a abertura de valas com serviços de escavação, os chamados métodos destrutivos (MD) ou valas a céu aberto (VCA) tanto para instalação de caixas quanto para tubulações e os métodos chamados não destrutivos (MND), mais aplicados para instalação de tubulações, onde nessa modalidade a abertura de valas é diminuída consideravelmente, reduzindo impactos que são gerados pelas valas, tais como geração de ruídos e resíduos e necessidade de grandes áreas de reposição de pavimentos.

Diante dos desafios para gestão de projetos e obras de infraestruturas subterrâneas torna-se cada vez mais necessário ter em mão, diversas soluções de engenharia e métodos construtivos que se adequem para cada tipo de rede em cada projeto, não havendo solução técnica única para implantação de novos ativos civis.



Figura 29

Neste momento, gostaria de dar um destaque a afirmativa que muito trazem que o MND é a solução exclusiva para implantação de novas infraestruturas para Distribuição de Energia Elétrica Subterrânea. O método não destrutivo mais usual para implantação de infraestrutura subterrânea em centros urbanos é o através de Perfuração Direcional Horizontal (HDD – Horizontal Directional Drilling) para instalação de tubulações. Em redes de Distribuição de Energia Elétrica Subterrânea, diferentemente de redes para saneamento e gás, onde predomina a instalação de dutos únicos para distribuição dos serviços, para redes de distribuição de energia elétrica subterrânea são empregados diversos dutos para atendimento das demandas

constantes nos projetos, o que requer desta forma uma maior ocupação do subsolo.

No processo construtivo com emprego de método não destrutivo HDD é necessária a execução de perfurações do solo com diâmetros de médio e grande portes para instalação dos dutos, o que requer grande estudo de mapeamento e identificação de interferências existentes no subsolo para se definir o espaço a ser ocupado e para evitar danos em ativos de terceiros durante o processo construtivo.

Este cenário por vezes implica no aprofundamento das perfurações em busca de espaço e segurança da execução, porém é necessária a compatibilização do itinerário dos dutos a serem implantados com os pontos de interligação da rede, tais como nas caixas e em outros pontos de conexões.

O método construtivo para implantação de dutos em HDD é mais indicado para redes primárias de energia (média tensão) situadas na projeção do leito viário onde a probabilidade de espaço disponível é maior e com possibilidade de aprofundamento dos dutos entre os vãos de interligação da rede.

Para redes de distribuição secundária de energia (baixa tensão) situadas nos passeios em regiões já consolidadas este método não é recomendável pois normalmente há incidência de redes existentes mais rasas, principalmente de ramais de serviços de outras Utilities (saneamento e gás predominantemente), sendo que para a rede elétrica também existe a necessidade de instalação dos dutos em baixas profundidades para viabilizar a interligação com as unidades consumidoras, o que eleva consideravelmente o risco de danos em ativos existentes de terceiros. A configuração de instalação da rede secundária também dificulta a execução das perfurações e emprego dos maquinários requeridos.

Um fator importante no emprego deste método construtivo é a especificação e aquisição dos respectivos serviços, onde o contratante deve efetuar com grande critério a escolha no mercado de empresas altamente

capacitadas para execução das perfurações devido à criticidade para instalação de novas redes em áreas densamente ocupadas no subsolo, sendo um dos objetivos principais a prevenção de danos em ativos de terceiros.



Figura 30

7.2 – BREVE CONCLUSÃO

O processo construtivo de infraestrutura subterrânea para distribuição de energia elétrica com emprego de método não destrutivo é uma solução para aplicação em locais onde é possível a instalação dos dutos em profundidades adequadas e de forma segura, principalmente em vias de grande fluxo de veículos e pedestres e onde não é possível a abertura de valas.

Possui grandes ganhos como a velocidade de implantação, diminuição de áreas de reposição de pavimentos, baixa geração de ruídos e resíduos, porém pelos motivos descritos não é possível ser aplicado na totalidade em projetos e obras de infraestrutura para redes de distribuição de energia elétrica, e sim deve ser considerado como método complementar aos processos convencionais associados a abertura de valas.

O fato é, que a exemplo do que acontece em grandes metrópoles de alguns países, um projeto organizado pelo Poder Público (por exemplo) onde uma rua é fechada e, em uma vala única, são instalados todos os ocupantes do solo de forma harmonizada, ainda é a metodologia mais desejável do ponto de vista de produtividade que traz dois conceitos juntos: menor custo e maior velocidade de implantação. Como sempre temos reforçado em nossos artigos e webinar, não existem uma solução única e o planejador de uma obra de redes subterrâneas deve ter uma cesta de soluções para aplicar caso-a-caso, porém, existem aquelas que são mais desejáveis por uma série de questões técnicas, estratégicas e orçamentárias.



Figura 31

CAPÍTULO VIII - RELAÇÃO CUSTO vs. BENEFÍCIO DE IMPLANTAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA SUBTERRÂNEAS

A narrativa popular repetida exaustivamente por muito “especialistas” do setor de que presumidos custos de O&M (Operação e Manutenção) menores da rede subterrânea pagam sua implantação com o tempo infelizmente não se observa na prática como vamos mostrar neste capítulo. Infelizmente o que parece intuitivo não é uma realidade a luz dos fatos e de outros estudos do tema. Se levarmos em consideração somente os custos da manutenção corretiva, esta afirmação é absolutamente verdadeira, porém, alguns aspectos envolvendo redes de distribuição subterrâneas principalmente voltados a manutenção preventiva, não são levados em consideração se comparados com as redes de distribuição aérea. Vamos então para alguns destes aspectos de forma bastante objetiva na descrição da Tabela 07 comparando redes de distribuição subterrânea (RDS) com redes de distribuição aérea (RDA).

Nota: cabe aqui destacar que estamos nos referindo a redes de distribuição de energia subterrâneas em um modelo urbano tradicional envolvendo câmaras subterrâneas, dutos e poços de inspeções.

DESCRIÇÃO		RDS	RDA
 <i>Coleta de Óleo e Análise Laboratorial</i>	Esta é uma das principais ações de segurança e gerenciamento de riscos em equipamentos isolados a óleo em sistemas subterrâneos. Esta ação é indispensável nas empresas que possuem ativos subterrâneos como forma de se antecipar a uma falha em equipamentos que podem levar a uma explosão do mesmo no interior de um espaço confinado. Custos de equipes dedicadas e especializadas além de custos de análise laboratorial devem ser pontos a se considerar no budget do O&M destas empresas além de investimentos iniciais em veículos adaptados para transporte e tratamento de óleo em campo. As empresas não têm ações como estas para redes de distribuição aérea em seus planos de manutenção.	✓	✗
 <i>Acompanhamento de carga</i>	A exemplo do item acima, conhecer o estado de carregamento dos equipamentos é algo absolutamente necessário para ativos subterrâneos. Falamos aqui mais uma vez de gerenciamento de riscos e buscar se antecipar a uma eventual falha com implicações catastróficas por sobrecarga em um equipamento que eventualmente se encontra em espaço confinado. Equipamentos específicos além de pessoal especializado é mais uma vez uma necessidade a ser prevista nos custos de uma rede subterrânea.	✓	✗
 <i>Troca preventiva de transformadores</i>	A agressividade do ambiente onde os equipamentos estão instalados (alta temperatura, presença de água e efluentes) acelera o processo de corrosão destes equipamentos em que pese todo o trabalho feito pelos fabricantes. Um equipamento isolado a óleo (como encontrado na maioria dos ativos), com elevado nível de corrosão, pode gerar vazamentos levando o equipamento a uma falha. Por isto, empresas que possuem ativos subterrâneos, necessitam ter em seu programa de investimentos, a troca preventiva destes transformadores que em muitos casos, é feita antes do término do seu período de depreciação. Ações de troca preventiva de transformadores em redes de distribuição aérea são raras ou inexistentes entre as empresas.	✓	✗
 <i>Espaço Confinado</i>	A questão da caracterização de espaço confinado identificado na grande maioria das redes subterrâneas urbanas traz uma série de procedimentos necessários para garantir a segurança dos profissionais que acessam esta rede, Cito: i) trabalho de no mínimo com 3 profissionais (2 dentro de espaço confinado + 1 vigia fora do ambiente); ii) medição de gases tóxicos antes e durante as atividades. Todos estes procedimentos são absolutamente legítimos e bem pacificados, a meu ver, na Norma Regulamentadora (NR) 33 do Ministério do Trabalho e Emprego do governo brasileiro e observado em outras empresas inclusive fora do Brasil. Apesar de reforçar sua legitimidade, estas obrigações imputam custos a operação de uma rede subterrâneas que não são observados em redes aéreas.	✓	✗
 <i>Preservação dos ativos civis</i>	Tamponamento de dutos, tratamento de trincas nas paredes de uma câmara subterrânea, limpeza de sistemas de ventilação são apenas algumas ações que são necessárias para preservação dos ativos civis. Mais uma vez falamos de especialização e equipamentos diferenciados para atender este fim. Visto que o ativo civil de uma rede aérea é o poste, as empresas têm por ação muitas vezes substituí-lo em caso de dano com raras exceções de algumas empresas que possuem algumas iniciativas de tratamento e reconstrução do poste.	✓	✗

Tabela 07

A tabela anterior poderia ser mais extensa trazendo aspectos de estoque de componentes específicos ou equipamentos para escavação, porém, a ideia não é tratar de todas as diferenças entre uma RDS e uma RDA e sim trazer entendimento ao leitor que, uma rede de energia elétrica subterrânea, uma vez implantada, traz algumas obrigações adicionais a uma concessionária que até então não existiam em seus budgets de operações.

Como temos buscado incentivar em nossos artigos e palestras sobre o tema, a busca de soluções técnicas são obrigações das equipes de engenharia de projetos e não do departamento financeiro ou do órgão regulador. Neste sentido, lembro que soluções de automação (tele supervisão e telecomando) não são luxos para as redes subterrâneas e sim necessidades que devem nascer junto com a Capex de implantação da obra. Com previsão de ações de automação, já poderíamos eliminar alguns dispêndios de Opex para acompanhamento de carga (por exemplo) ou algumas visitas a campo das equipes para manobra e verificação de estado ligado ou desligado da rede.

Somo a previsão de automação na concepção do projeto, a eliminação do espaço confinado com equipamentos tipo pad-mounted e pontos de manobra a nível de solo. Mitigamos com isto mais alguns pontos da tabela anterior como a necessidade de trabalho de 3 profissionais, medição de gases tóxicos e ações de manutenção em grandes estruturas civis. Lembro que soluções como estas não são 100% replicáveis, mas devem ser sempre a primeira alternativa de um projetista que está preocupado não somente com seu projeto, mas, que tipo de rede subterrânea vai entregar para a operação ao término da obra.

Destaco mais uma vez a iniciativa implantada na década de 60, os EUA e já abordada no capítulo I deste livro, que são as URD. Soluções simples e de custos muito reduzidos em vários aspectos.

Todas as considerações acima listadas, infelizmente ainda não serão o suficiente para fazer com que uma rede subterrânea se pague no decorrer de sua vida, porém, podem trazer esta relação mais próxima de 1 para 1 além de transformar nossas operações mais eficientes e seguras.

8.1 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA

De forma legítima, os investidores querem sempre saber quanto cada moeda que eles investem podem trazer de benefício. Buscando responder este tema com algumas escassas referências internacionais sobre custo x benefício de implantação de redes subterrâneas, trazemos as conclusões de 3 artigos técnicos nos EUA que estão listados abaixo (*nota: textos traduzidos do original com algumas adaptações para facilitar o entendimento*):

- ✘ Para os EUA, não existe uma análise de custo-benefício comparável. Contudo, com base nos elevados custos da instalação subterrânea, parece que a conversão de redes aéreas existentes para subterrâneas é difícil de justificar economicamente. Hoje, a maioria dos custos de enterramento de redes parecem ser justificados por considerações estéticas e de políticas. (Out of Site, Out of Mind? – A study on the costs and benefits of undergrounding overhead power lines - By: Brad Johnson Independent Energy Advisor For: Edison Electric Institute – Jan/2004)
- ✘ Análises e investigações constata consistentemente que a conversão de sistemas de distribuição elétricos aéreos para subterrâneos é dispendiosa, e esses custos excedem largamente os benefícios quantificáveis dos danos causados por tempestades, exceto em casos raros em que as instalações proporcionam ganhos de confiabilidade particularmente elevados ou têm um valor superior à média de impacto nos objetivos da comunidade. Esta conclusão é alcançada de forma consistente em muitos relatórios, que comparam quase universalmente o custo inicial do enterramento com

os benefícios quantificáveis esperados. Nenhum estudo anterior de custo-benefício recomenda um enterramento amplo, mas vários recomendam um enterramento direcionado para atingir objetivos comunitários específicos. (Cost-Benefit Analysis of the Deployment of Utility Infrastructure Upgrades and Storm Hardening Programs - Prepared for: Public Utility Commission of Texas Project No. 36375 / Prepared by: Quanta Technology – Mar/2009)

- ✘ A conversão de instalações aéreas de distribuição de energia elétrica para subterrâneas tem sido um tema de discussão na Flórida há mais de vinte anos. O tema tem sido estudado, discutido e debatido diversas vezes nos níveis estadual, municipal e local. A construção aérea é o padrão na Flórida, mas todas as concessionárias são obrigadas a ter um processo em que os clientes possam optar pelo serviço subterrâneo existente, pagando o custo incremental. Para os municípios e cooperativas, a decisão passa pelos boards de conselhos de cidadãos locais. É bem sabido que a conversão de sistemas de distribuição elétrica aéreos para subterrâneos é dispendiosa e estes custos quase sempre excedem os benefícios quantificáveis. Esta conclusão é alcançada de forma consistente em muitos relatórios que vão desde estudos estaduais até projetos muito pequenos. No entanto, nenhuma abordagem consistente tem sido utilizada para calcular os custos e benefícios dos projetos propostos de enterramento de redes, tornando os estudos difíceis de interpretar e usar para a tomada de decisões. (Undergrounding Assessment Phase 3 Report - Ex Ante Cost and Benefit Modeling - Prepared for: Florida Electric Utilities Prepared by: Quanta Technology – Mar/2008)

Se por um lado os 3 estudos citados acima trazem um “balde de água fria” na expectativa de justificar economicamente uma rede de distribuição subterrânea, algumas conclusões podem ser tiradas, principalmente que redes subterrâneas em larga escala não são a solução para os problemas de confiabilidade do nosso sistema elétrico como um todo, mas algo que deve ser escolhido de forma estratégica pela Organização. Neste sentido, áreas com elevada concentração de carga ou com cargas estratégicas se tornam fortemente elegíveis para receberem um programa de conversão de redes aéreas para subterrâneas.

8.2 BREVE CONCLUSÃO

Estudos mostram que tentar justificar a implantação de uma rede de energia elétrica subterrânea através de modelos matemáticos e/ou indicadores financeiros clássicos não tem consistência.

Por outro lado, as empresas responsáveis que têm uma visão clara do seu papel, precisam constantemente revisar sua missão em entregar um serviço de qualidade para as comunidades por elas servidas e, de forma estratégica, prudente e de forma localizada, redes subterrâneas são a única forma de atingir estes objetivos.

Buscar soluções de menor custo de implantação é uma responsabilidade da engenharia de projetos e conhecer soluções de automação e instalação que garantam estes menores custos e melhor condições de operação destas redes após o término da obra, são obrigações destes profissionais.



Figura 32

CAPÍTULO IX - CONCLUSÃO

Neste livro, exploramos a complexidade e a importância das redes subterrâneas de energia elétrica, destacando sua relevância crescente em um mundo onde a sustentabilidade, a resiliência e a eficiência são fundamentais. A implementação e a gestão dessas redes exigem uma visão estratégica que integra considerações técnicas, ambientais, econômicas e sociais.

PRINCIPAIS APRENDIZADOS

- 1. Benefícios das Redes Subterrâneas de Energia Elétrica:** As redes subterrâneas oferecem vantagens significativas, incluindo maior confiabilidade, menor impacto visual e resistência a intempéries. Elas representam uma solução robusta para os desafios modernos de distribuição de energia;
- 2. Planejamento Estratégico:** O planejamento de redes subterrâneas requer uma análise criteriosa de longo prazo das necessidades urbanas, das demandas energéticas futuras e das condições climáticas. Não deve ser considerada como a única solução para os desafios que as concessionárias têm enfrentado por uma melhora no fornecimento de energia elétrica;
- 3. Tecnologia e Inovação:** A integração de tecnologias avançadas, como sensores inteligentes e sistemas de monitoramento em tempo real, permite a otimização das operações e a rápida resposta a falhas. A inovação contínua é essencial para manter a eficiência e a segurança das redes subterrâneas de energia elétrica;
- 4. Desafios Econômicos:** Os custos das redes subterrâneas são sem dúvida um dos maiores impeditivos para sua aplicação em larga escala e o equacionamento desta questão passa por 2 pontos básicos:
 - a. Técnico:**
 - ✗ busca de soluções técnicas de menor custo de implantação e manutenção;
 - ✗ sinergia dos esforços dos futuros ocupantes de subsolo.
 - b. Gestão Pública:**
 - ✗ fontes de financiamento público e incentivos fiscais;
 - ✗ regras regulatórias mais claras;
 - ✗ Permissões de trabalhos em via pública mais flexíveis.

INSPIRAÇÃO PARA O FUTURO

A visão estratégica para redes subterrâneas de energia elétrica deve ser dinâmica e adaptável, refletindo as mudanças nas tecnologias, nas políticas e nas necessidades da sociedade. A colaboração entre governos, empresas de energia, engenheiros e a comunidade é vital para desenvolver soluções que atendam às necessidades de todos os stakeholders.



À medida que avançamos, é fundamental que continuemos a investir em pesquisa e desenvolvimento, promovendo a inovação e a educação contínua na área de redes subterrâneas. Devemos também estar atentos às tendências globais e às melhores práticas internacionais, adaptando-as às nossas realidades locais.

REFLEXÃO FINAL

As redes subterrâneas de energia elétrica representam o futuro da infraestrutura urbana. Elas são essenciais para o desenvolvimento de cidades inteligentes, resilientes e sustentáveis. A visão estratégica e conceitos práticos trazidos por este livro, são o alicerce que permitirá a concretização desse futuro, garantindo que as redes subterrâneas não apenas atendam às necessidades atuais, mas também estejam preparadas para os desafios e oportunidades que virão.

Obrigado por acompanhar esta jornada. Esperamos que os conhecimentos compartilhados aqui sirvam como um guia e uma inspiração para a construção de redes subterrâneas de energia elétrica que beneficiarão as gerações presentes e futuras.



REFERÊNCIAS

- ✓ FEMA – Federal Emergency Management Agency
- ✓ American Public Power Association (APPA)
- ✓ ABRADÉE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
- ✓ ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- ✓ Advanced Research Projects Agency - Energy (ARPA-E) - U.S. Department of Energy: Grid Overhaul with Proactive, High-Speed Undergrounding for Reliability, Resilience, and Security (GOPHURRS)
- ✓ A History of Underground Secondary AC Networks - Robert J. Landman, H&L Instruments, L.L.C., IEEE PES, Life Senior Member
- ✓ Secondary Network Distribution Systems Background and Issues Related to the Interconnection of Distributed Resources - Technical Report - NREL/TP-560-38079 - July 2005 - M. Behnke, W. Erdman, S. Horgan, D. Dawson, W. Feero, F. Soudi, D. Smith, C. Whitaker, B. Kroposki - National Renewable Energy Laboratory (Operated for the U.S. Department of Energy)
- ✓ Underground Secondary AC Networks, A Brief History - Robert J. Landman H&L Instruments, LLC IEEE PES, Senior Member
- ✓ Resilient Power Grids: Strategically Undergrounding Powerlines” (March 22, 2022) – Florida Power & Light)
- ✓ Out of Sight, Out of Mind – 2012 - An Updated Study on the Undergrounding Of Overhead Power Lines) - Edson Electric Institute
- ✓ *Undergrounding Powerlines” – 22/03/2022 Sponserd by e U.S. Departament of Energy – presentation by (Pacific Gas and Electric Company)*
- ✓ *“Overhead Feeder Conversion Study” by Clough Harbour & Associates LLP em maio/2013. Sponserd by ConEdison*
- ✓ *“Utilization of Underground and Overhead Power Lines in the City of New York” elaborado pelo escritório de planejamento de longo prazo e sustentabilidade de Prefeitura de Nova York em dezembro/2013*
- ✓ *Cost-Benefit Analysis of the Deployment of Utility Infrastructure Upgrades and Storm Hardening Programs - Prepared for: Public Utility Commission of Texas Project No. 36375 / Prepared by: Quanta Technology – Mar/2009*
- ✓ *(Undergrounding Assessment Phase 3 Report - Ex Ante Cost and Benefit Modeling - Prepared for: Florida Electric Utilities Prepared by: Quanta Technology – Mar/2008)*

BIOGRAFIA

- ✓ 32 anos de experiência em engenharia, operação e manutenção de redes elétricas de alta, média e baixa tensão nos segmentos aéreos e subterrâneos em posições de liderança em concessionária de energia elétrica;
- ✓ Fundador da BARONI – Electrical Engineering Consulting, uma empresa constituída sob as leis do Estado da Flórida – EUA com a missão de compartilhar as melhores práticas empresariais em gerenciamento de ativos e riscos em sistemas elétricos de potência e em especial redes de distribuição subterrânea;
- ✓ Coordenador do P&D: *“Alternativas para viabilização da implementação de redes subterrâneas no Brasil”*;
- ✓ Experiência como palestrante Nacional e Internacional sobre temas voltados as concessionárias de energia especialmente sobre Redes Subterrâneas;
- ✓ Colunista da Revista Potência no caderno de Redes Subterrâneas de Energia Elétrica;
- ✓ Graduado em Engenharia Elétrica (turma de 1996) pela Universidade São Judas Tadeu. MBA em Administração de Empresas pela Universidade Mauá e MBA em Economia de empresas pela FIPE/USP;
- ✓ Project Manager Professional (PMP®) certificado pelo PMI® desde out/2020.

