



Benefícios da análise do arranjo de equipamentos das subestações de distribuição de energia: soluções adotadas pela EDP São Paulo

Tema: Subestações de Distribuição

Autores: Fabiana Artuso, Livia De Magistris Martins Andrade

Co-Autores: Alessandro Rogério dos Santos, Eli Silva Cardoso, Pedro Henrique Monteiro De Campos, Marcos Guilherme Camara, Marcelo Costa de Moraes

Empresa: EDP São Paulo Distribuição de Energia S.A

Resumo

A análise do arranjo de equipamentos em subestações de distribuição de energia é essencial para otimizar o uso do espaço, reduzir custos e aumentar a segurança e a confiabilidade do sistema. Um layout bem planejado minimiza riscos de acidentes, facilita expansões futuras e garante conformidade com normas técnicas e ambientais. Este trabalho tem como objetivo comparar os padrões da EDP São Paulo, analisando as soluções técnicas e os custos de instalação e manutenção das alternativas adotadas. A definição de um arranjo bem estruturado pode proporcionar redução de até 5% no custo total de instalação, sendo a aquisição do terreno em áreas altamente valorizadas e os custos de obras civis tem maior impacto nos custos mesmo quando o investimento em equipamentos mais modernos é maior. Conclui-se, portanto, que a análise criteriosa do arranjo de equipamentos não é apenas uma necessidade técnica, mas uma estratégia indispensável para modernizar a infraestrutura elétrica e operação do sistema.

1. Introdução

A análise do arranjo de equipamentos em subestações de distribuição de energia traz uma série de benefícios que impactam diretamente a eficiência, a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico. Um layout bem planejado otimiza o uso do espaço disponível, reduzindo a necessidade de terrenos maiores, especialmente em áreas urbanas. Além disso, facilita futuras expansões, pois permite a integração de novos equipamentos sem grandes intervenções na infraestrutura existente.

A segurança operacional é outro aspecto fundamental beneficiado por um arranjo adequado. Posicionar os equipamentos de forma estratégica reduz riscos de acidentes e falhas em cascata, ao mesmo tempo em que garante o acesso seguro para inspeções e manutenções, além de mitigar problemas de ergonomia dos operadores. Essa organização também contribui para a redução de custos, pois minimiza a necessidade de cabos, condutores e estruturas, além de simplificar as operações de manutenção e reparos, resultando em economia a longo prazo.

Por fim, um layout eficiente melhora a confiabilidade e o desempenho do sistema. A disposição adequada dos equipamentos minimiza interferências e perdas elétricas, além de facilitar a ventilação, evitando problemas de superaquecimento. Além disso, um arranjo bem planejado contribui na conformidade com

normas técnicas e ambientais, reduzindo impactos ao meio ambiente e permitindo maior flexibilidade para a incorporação de novas tecnologias.

Dessa forma, a análise do arranjo de equipamentos é essencial para garantir que as subestações operem de maneira segura, eficiente e sustentável. Ou seja, de forma geral, os fatores que influenciam na definição do arranjo mais adequado são: custos, facilidade de montagem do arranjo, confiabilidade, flexibilidade operacional, facilidade de expansão, segurança e o sistema de proteção e controle. Este artigo, portanto, tem o objetivo de analisar os padrões utilizados na EDP São Paulo comparando as soluções técnicas e os custos de instalação e manutenção das soluções adotadas.

2. Desenvolvimento

O desenvolvimento de padrões para o layout das subestações é essencial para otimizar o uso do espaço, garantir a segurança dos operadores e reduzir custos de instalação e manutenção. Além disso, padrões bem definidos podem facilitar expansões futuras e uniformizar práticas de projeto, contribuindo para uma maior eficiência em escala no setor elétrico.

Desde 2014, a EDP São Paulo vem analisando os padrões adotados no arranjo das subestações. Os principais objetivos para o estudo de viabilidade das soluções é o de aumentar a segurança da implantação e manutenção, reduzir de área para construção de subestação, aumentar vida útil de equipamentos, reduzir tempo de montagem eletromecânica, otimizar os projetos, reduzir o tempo de encerramentos contábeis e técnicos do empreendimento, manter um compromisso socioambiental com o cliente, reduzir custos de manutenção no bay de média tensão, reduzir uso de equipamentos menores (miscelâneas) e reduzir o processo logístico de transporte e armazenamento.

2.1. SOLUÇÕES DESENVOLVIDAS PELA EDP SÃO PAULO

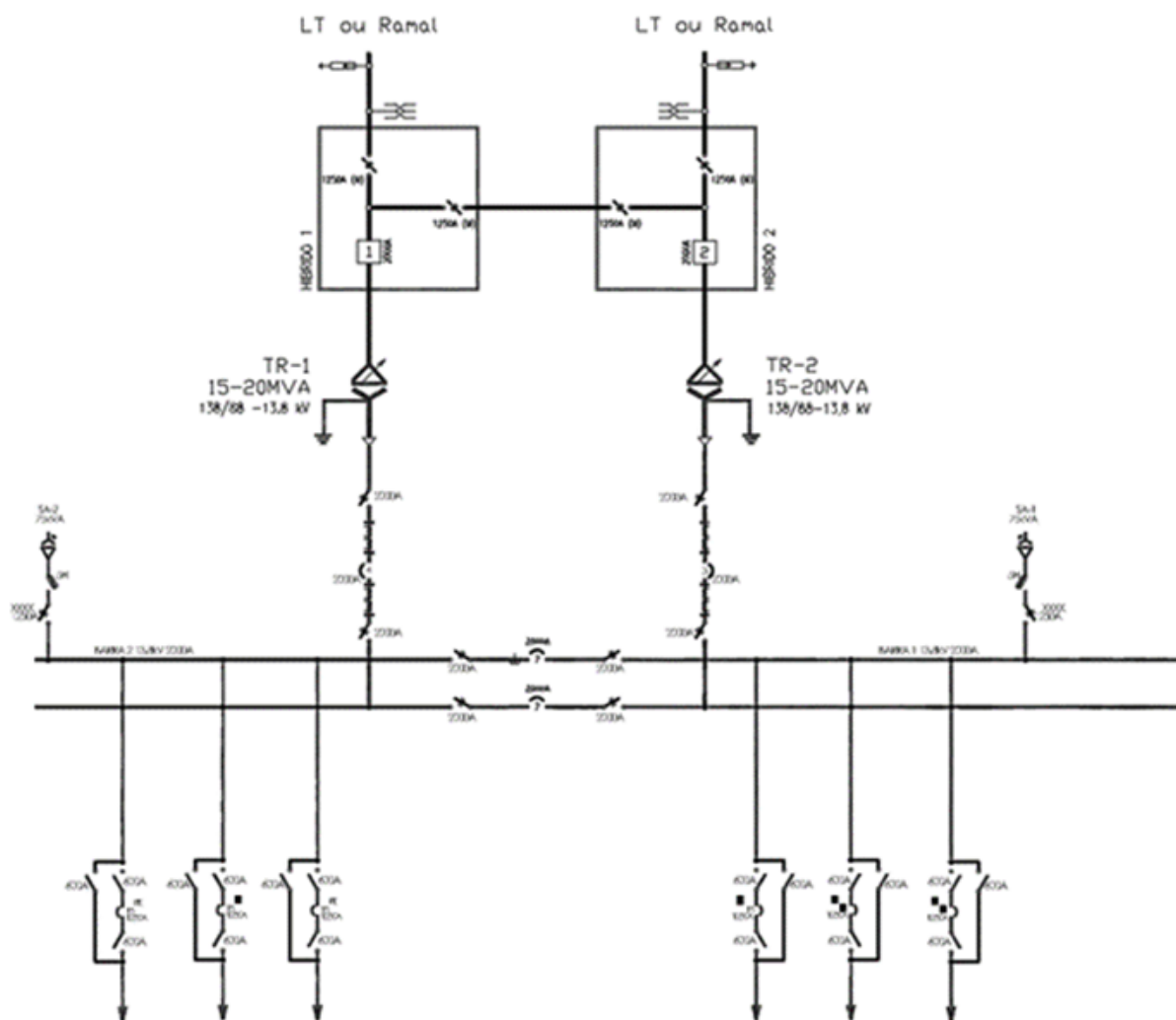
Para avaliar as soluções técnicas aplicadas no mercado, bem como os custos de instalação e manutenção dos padrões desenvolvidos pela EDP São Paulo, foi considerada uma subestação localizada em uma área urbana densamente antropizada, com tensão de alimentação de 138/88 kV, equipada com dois transformadores e seis alimentadores.

A primeira solução (SOLUÇÃO 01) tem a seguinte configuração:

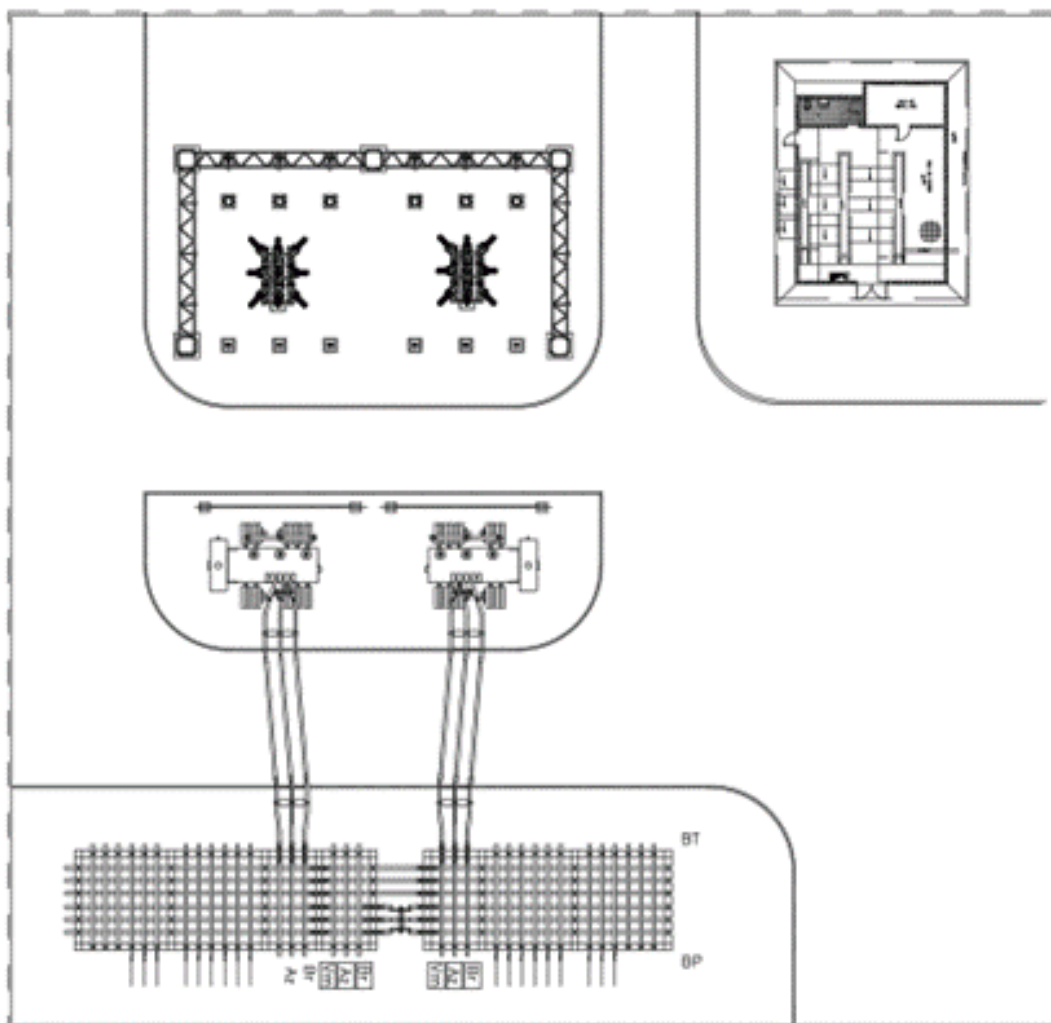
- Bay de Alta Tensão: utilização de 2 módulos híbridos (HIS - Hybrid Insulated Switchgear) de nove buchas;
- Bay de Média Tensão: 2 disjuntores como secundários e um de interligação de barras, uso de religador, barras duplas de socorro e manobra e saída dos alimentadores em cabos aéreos.

A Figura 1 apresenta um unifilar esquemático da solução e a um arranjo físico para esta aplicação.

Figura 1 - Solução 01 - HIS + Religador com Barra Dupla



a) Unifilar



b) Arranjo Físico

A segunda solução (SOLUÇÃO 02) tem a seguinte configuração:

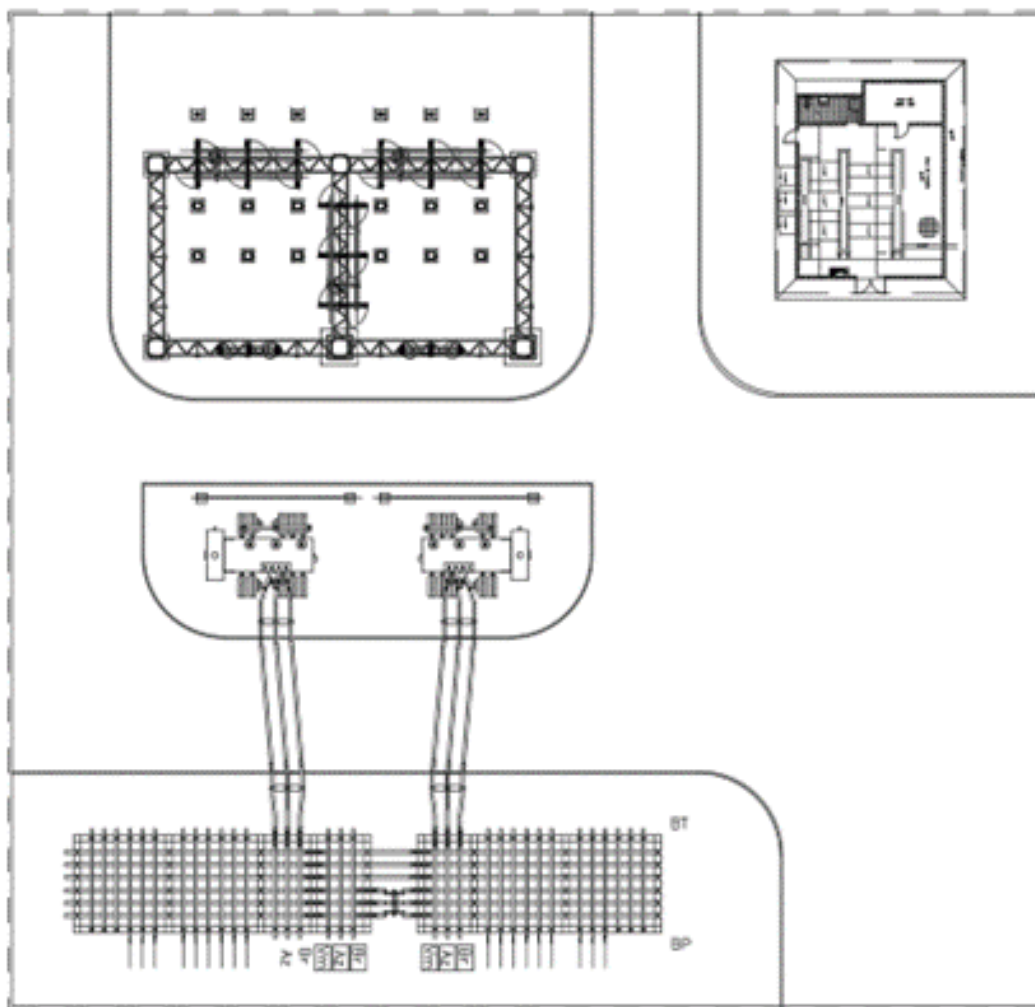
- Bay de Alta Tensão: composto por 2 disjuntores de 145kV e 3 seccionadoras no bay de AT;
- Bay de Média Tensão: 2 disjuntores como secundários e um de interligação de barras, uso de religador, barras duplas de socorro e manobra e saída dos alimentadores em cabos aéreos.

O bay de média tensão permanece o mesmo da solução inicial, sendo ajustada apenas a configuração do arranjo do bay de alta tensão. A Figura 2 ilustra o unifilar esquemático da solução, bem como o arranjo físico proposto para essa aplicação.

Figura 2 - Solução 02 - DJ/CS + Religador com Barra Dupla



a) Unifilar



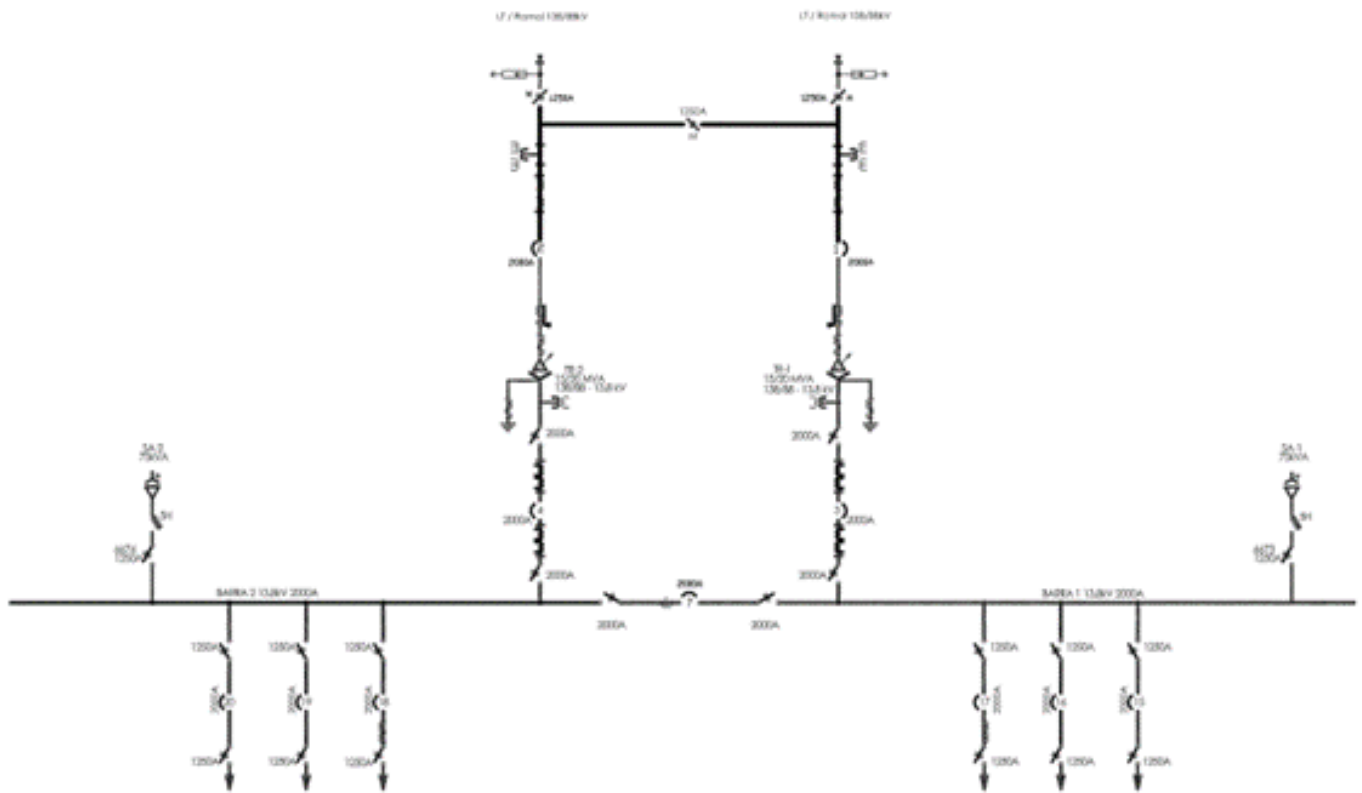
b) Arranjo Físico

A terceira solução (SOLUÇÃO 03) tem a seguinte configuração:

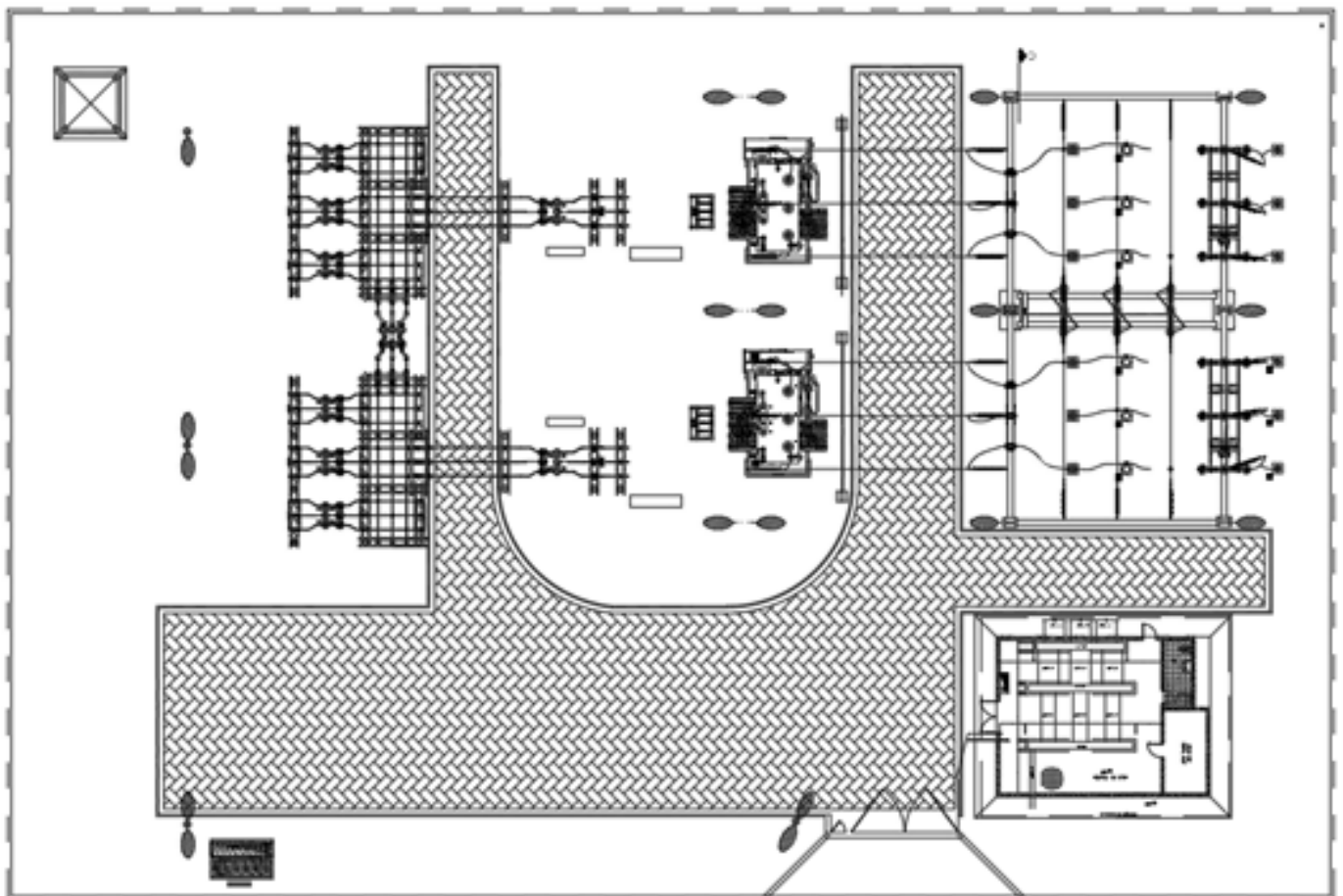
- Bay de Alta Tensão: composto por 2 disjuntores de 145kV e 3 seccionadoras no bay de AT;
- Bay de Média Tensão: 2 disjuntores como secundários e um de interligação de barras, uso de disjuntores externos como alimentadores, equipamento de barra de transferência de socorro e manobra e saída dos alimentadores em cabos subterrâneos.

O bay de alta tensão é o mesmo da segunda solução, alterando, portanto, a configuração do arranjo do bay de média tensão. A Figura 3 apresenta um unifilar esquemático da solução e a um arranjo físico para esta aplicação.

Figura 3 - Solução 03 - DJ/CS + Paliteiro



a) Unifilar



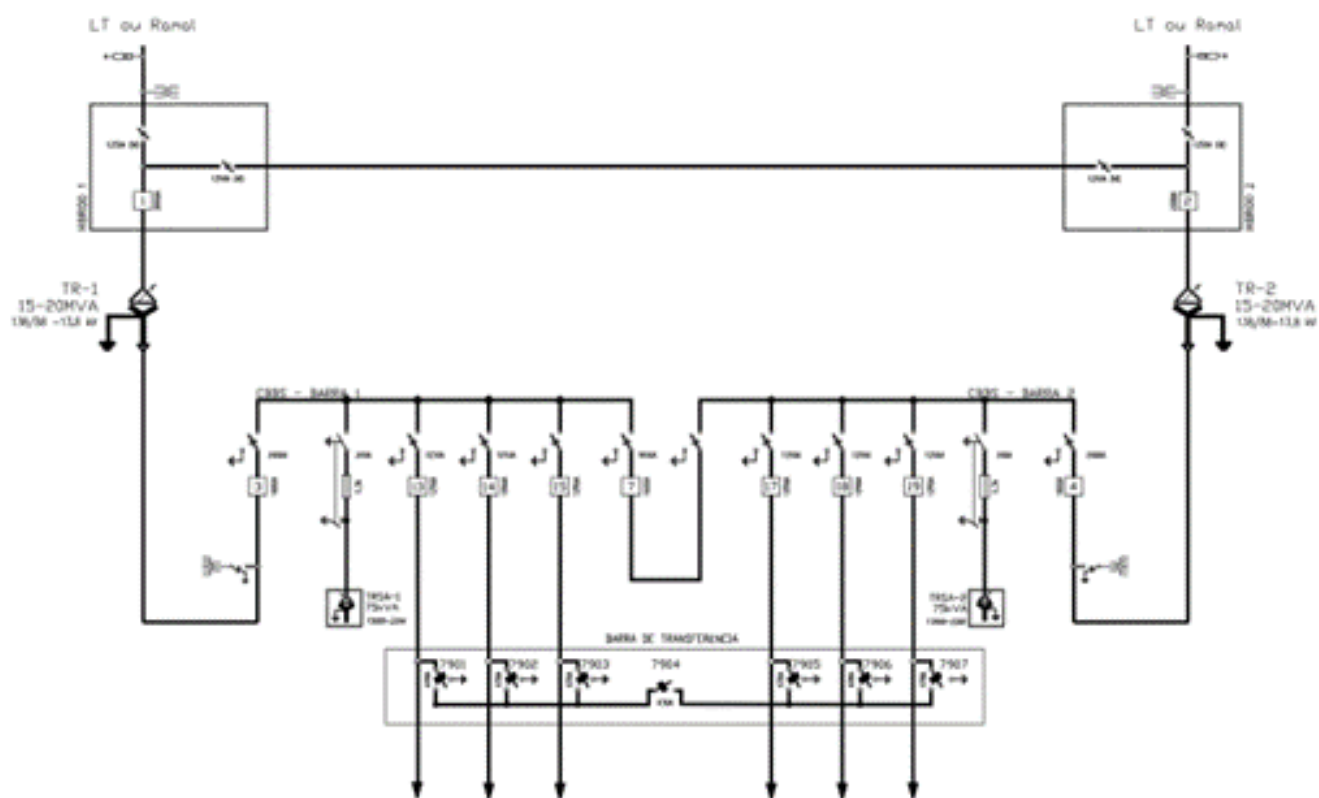
b) Arranjo Físico

A quarta solução (SOLUÇÃO 04) tem a seguinte configuração:

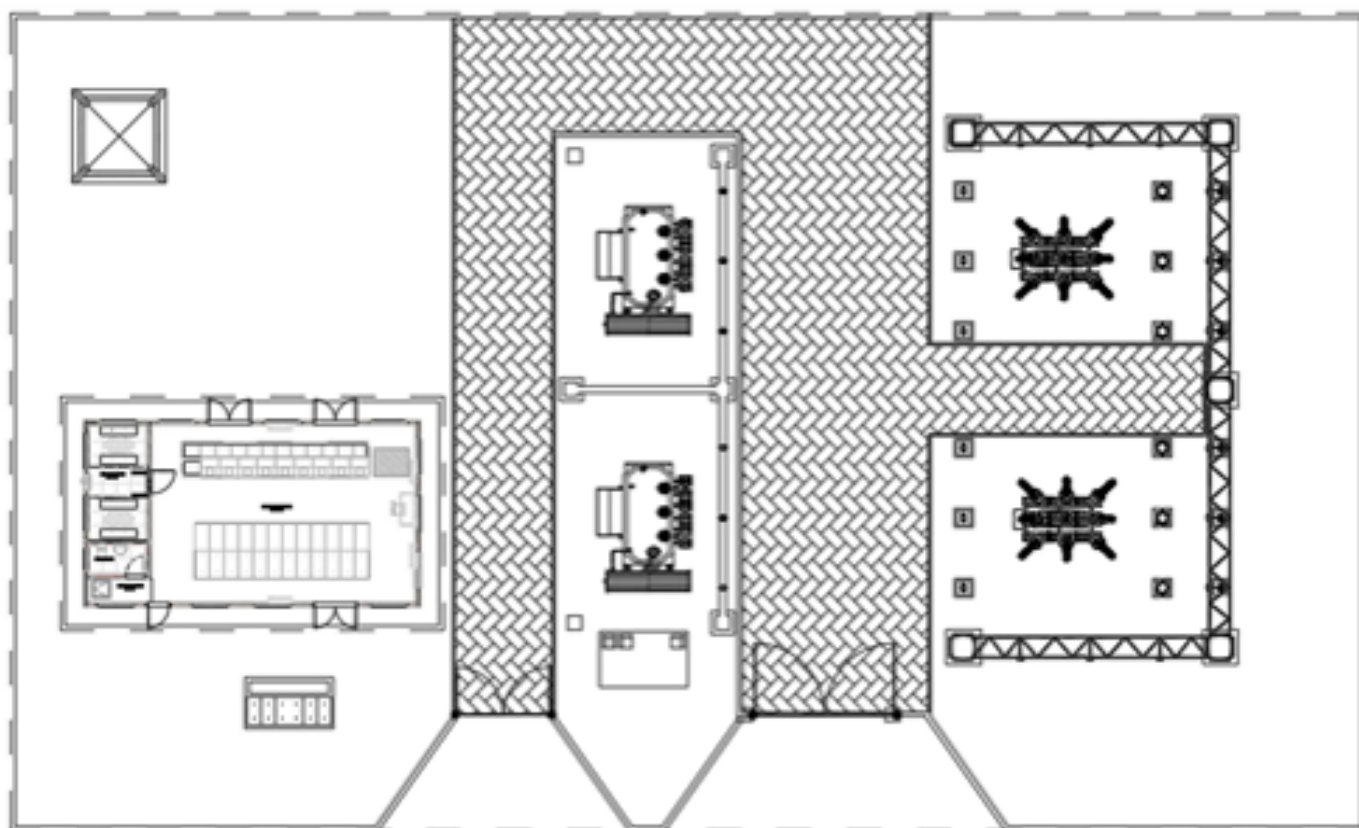
- Bay de Alta Tensão: utilização de 2 módulos híbridos (HIS - Hybrid Insulated Switchgear) de nove buchas;
 - Bay de Média Tensão: conjunto blindado (cubículos) composto por secundários, interligação e alimentadores;
- equipamento de barra de transferência de socorro e manobra e saída dos alimentadores em cabos subterrâneos.

O bay de alta tensão mantém-se igual ao da primeira solução, enquanto o arranjo do bay de média tensão foi ajustado para uma configuração mais compacta. A Figura 4 apresenta o unifilar esquemático da solução, além do arranjo físico proposto para essa aplicação.

Figura 4 - Solução 04 - HIS + Cubículo



a) Unifilar



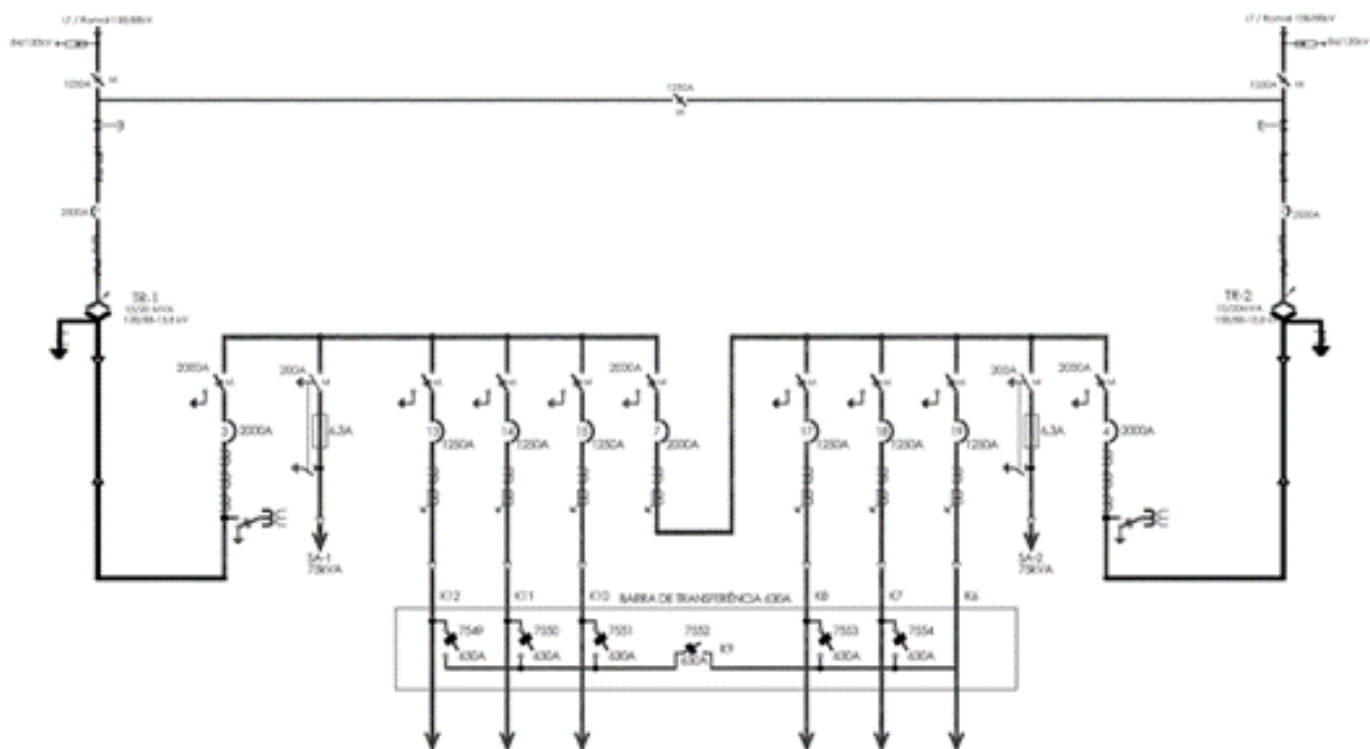
b) Arranjo Físico

A quinta solução (SOLUÇÃO 05) tem a seguinte configuração:

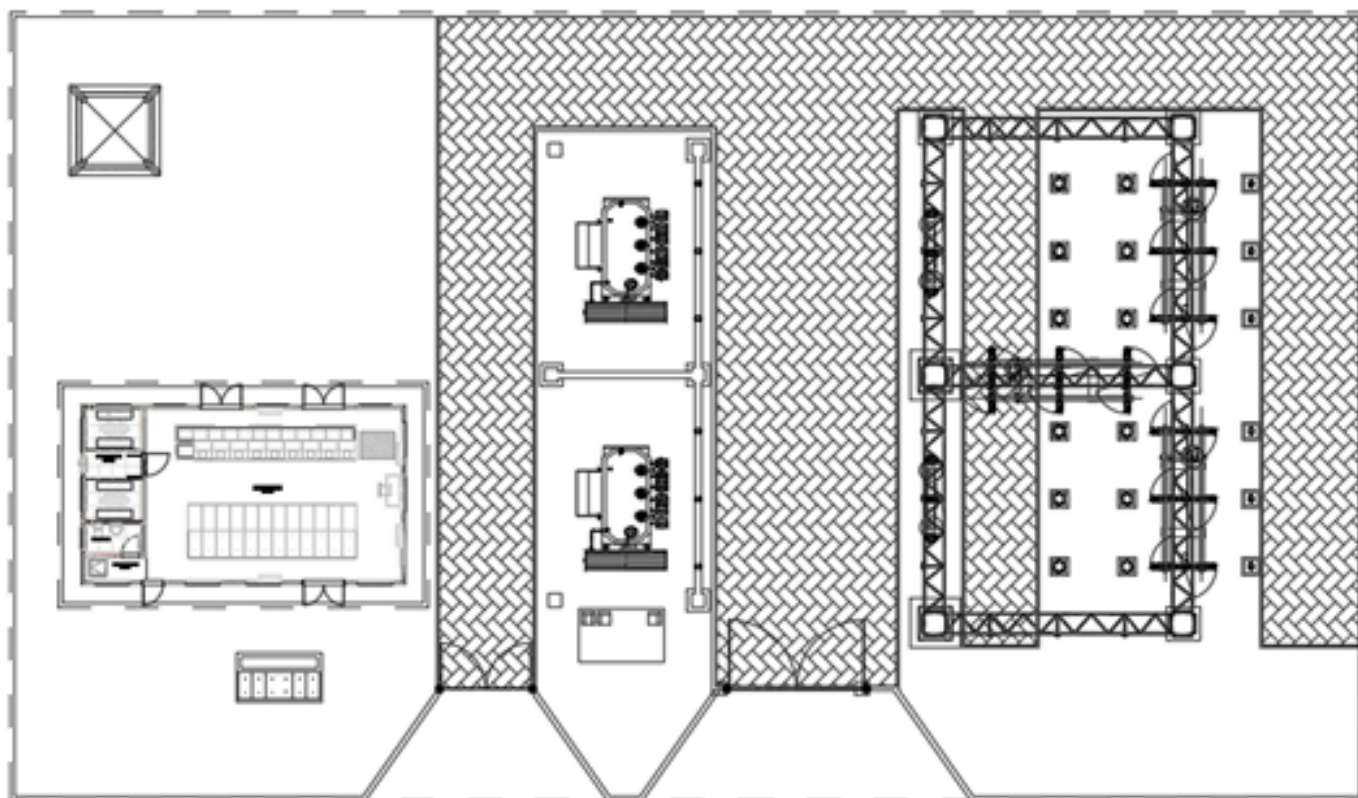
- Bay de Alta Tensão: composto por 2 disjuntores de 145kV e 3 seccionadoras no bay de AT;
- Bay de Média Tensão: conjunto blindado (cubículos) composto por secundários, interligação e alimentadores; equipamento de barra de transferência de socorro e manobra e saída dos alimentadores em cabos subterrâneos.

O bay de alta tensão mantém-se igual ao da segunda solução, enquanto o arranjo do bay de média tensão foi ajustado para uma configuração mais compacta. A Figura 5 apresenta o unifilar esquemático da solução, além do arranjo físico proposto para essa aplicação.

Figura 5 - Solução 05 - DJ/CS + Cubículo



a) Unifilar



b) Arranjo Físico

2.2. ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DAS SOLUÇÕES DESENVOLVIDAS

Para as soluções desenvolvidas, observa-se que o padrão do bay de média tensão está diretamente relacionado com a área do terreno da subestação. A Tabela 1 apresenta a área necessária para que as soluções pudessem ser aplicadas.

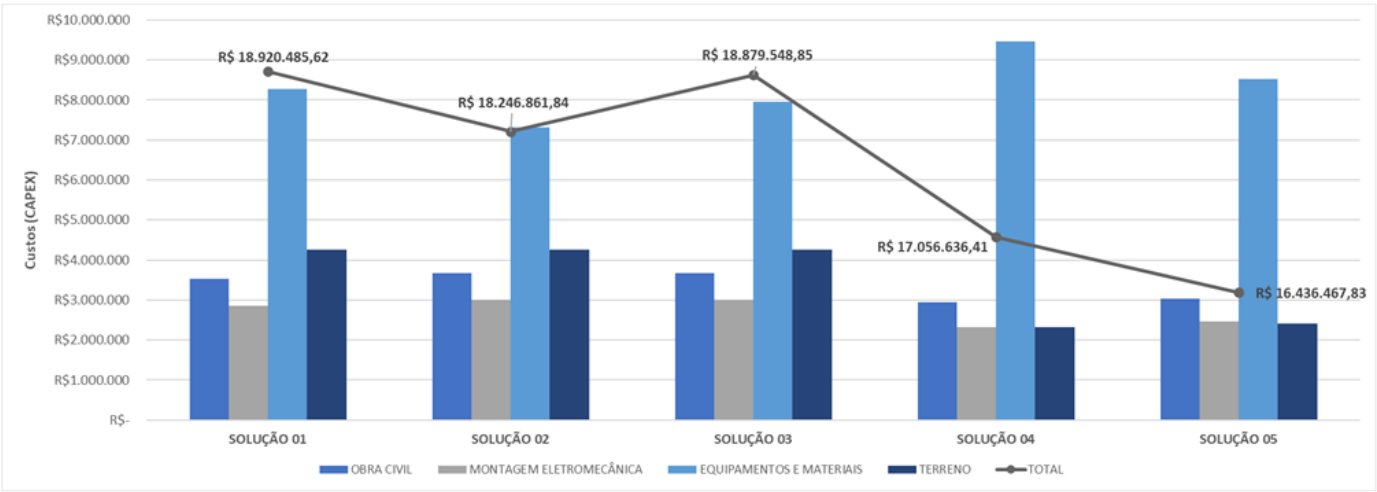
Considerando uma área urbana, em um dos municípios mais populosos da área de concessão da EDP São Paulo, o custo do metro quadrado do terreno pode ser encontrado na ordem de R\$ 1.145,97, sem considerar custos documentais com cartórios entre outros. Além do custo de aquisição do terreno, há a dificuldade de se encontrar áreas livres em regiões altamente antropizadas. Destaca-se a importância de um estudo do arranjo de equipamentos bem definido antes da etapa de prospecção de terreno, visto que, em áreas com custos imobiliários impactantes o custo de aquisição do terreno pode ficar entre 13,0% e 22,5% do custo total do empreendimento.

Tabela 1 - Custos para aquisição do terreno

PADRÃO	SOLUÇÃO 01	SOLUÇÃO 02	SOLUÇÃO 03	SOLUÇÃO 04	SOLUÇÃO 05
ÁREA (m²)	3.720,00	3.720,00	3.720,00	2.030,00	2.100,00
CUSTO DE TERRENO	R\$ 4.263.008,40	R\$ 4.263.008,40	R\$ 4.263.008,40	R\$ 2.326.319,10	R\$ 2.406.537,00

A Figura 6 apresenta os custos de instalação das soluções, considerando o mercado para o estado de São Paulo. Foram verificados os custos de obras civis, serviços de montagem eletromecânica, equipamentos e materiais e custos de aquisição de terreno. Para os custos de obras civis, os custos de terraplenagem foram desconsiderados visto que está diretamente relacionado com o perfil topográfico do terreno, dado não levantado nessa análise. Esta informação foi suprida visto que a variação de declividade que pode ser observada em qualquer aplicação.

Figura 6 - Custos de instalação por solução analisada



Observa-se que, apesar dos custos de equipamentos e materiais serem maiores para as soluções 04 e 05, estas apresentaram custo total de instalação do empreendimento menor. Isto porque o arranjo do bay de

média tensão reduz, em média, 56% da área do terreno e consequentemente contribui para a redução dos custos de obras civis, como drenagem, pavimentação de vias internas, muro de fechamento, entre outros. Fato que comprova que não é somente o preço do equipamento que influencia no custo do empreendimento, mesmo sendo o maior custo analisado (52% do custo para instalação da solução 05 é referente aos equipamentos).

Quando se analisa as três soluções com o mesmo arranjo no bay de alta tensão, a influência do arranjo de média tensão nos custos do empreendimento fica ainda mais nítido. Para as soluções 02, 03 e 05 com disjuntor e chaves seccionadoras na alta tensão, o custo total do empreendimento chega a ficar aproximadamente R\$ 2,4 milhões mais barato com o uso de cubículo e equipamento de barra de transferência no bay de média tensão. Para as soluções 01 e 04 que utilizam HIS no bay de alta, essa variação fica na ordem de R\$ 1,8 milhões.

Os serviços de montagem eletromecânica também são impactados. Isto porque quanto mais complexidade de montagem, por exemplo pela quantidade de equipamentos menores (miscelâneas), maior é o custo deste serviço. Analisando a alteração no bay de alta tensão, o simples uso do HIS (solução 04) quando comparado com disjuntor e chave seccionadora na alta (solução 05), para um mesmo bay de média tensão, provoca uma redução de, aproximadamente, 2% nos custos de montagem eletromecânica.

Os custos com obras civis acabam se destacando, também, na definição da solução em termos financeiros. Diretamente relacionado ao tamanho do terreno, observa-se que, quanto menor o terreno, menor o impacto dos serviços de obras civis. Além disso, a infraestrutura necessária para permitir a montagem dos cubículos e do equipamento de barra de transferência é muito mais simples do que a infraestrutura necessária para permitir a montagem de um bay de média tensão aéreo.

Além da análise econômica, a definição do arranjo das subestações também está relacionada a confiabilidade e segurança operacional do sistema. Por integrar vários componentes em um único módulo, o uso de HIS reduz a quantidade de conexões externas e simplifica a instalação. A isolação a gás, em equipamentos HIS, garante maior resistência às intempéries e às condições ambientais adversas, como poeira, umidade, temperatura e poluição. Isso reduz falhas relacionadas ao ambiente externo e aumenta a vida útil do equipamento. Como o HIS é compacto e utiliza menos condutores e conexões externas, as perdas por resistência elétrica são menores. Isso contribui para um sistema mais eficiente e com maior desempenho operacional. O design compacto e protegido do equipamento minimiza o risco de acidentes relacionados ao contato com partes energizadas.

Por outro lado, a manutenção de equipamentos mais sofisticados também é facilitada, já que os principais componentes são protegidos por invólucros que limitam a exposição às condições externas, como no caso das HIS, dos cubículos e do equipamento de barra de transferência. Isso resulta em menor frequência e custo de intervenções ao longo da vida útil. As Figuras 7, 8 e 9 apresentam a aplicação de cada um desses equipamentos.

Figura 7 – Equipamentos que contribuem para a redução de custos de instalação nas soluções desenvolvidas pela EDP São Paulo - Uso de HIS no bay de alta tensão



Figura 8 – Equipamentos que contribuem para a redução de custos de instalação nas soluções desenvolvidas pela EDP São Paulo – Equipamento de barra de transferência no bay de média tensão



Figura 9 – Equipamentos que contribuem para a redução de custos de instalação nas soluções desenvolvidas pela EDP São Paulo – Equipamento conjunto blindado (cubículos) composto por secundários, interligação e alimentadores



Entre as soluções desenvolvidas, a EDP São Paulo possui em sua área de concessão apenas as soluções 03, 04 e 05. O uso de religadores apenas é analisado como opção de aplicação em áreas rurais, principalmente em locais em que o custo do terreno não é tão valorizado. No entanto, mesmo nessas situações, a distribuidora entende os benefícios operacionais de soluções mais modernas. A Figura 10 apresenta como o arranjo da solução 04 fica após concluída.

Figura 10 - Vista aérea da ETD Germana - localizada no município de Caçapava (solução 04)



Os benefícios operacionais de soluções mais modernas podem ser analisados a partir do histórico de custos de manutenção entre 2019 e 2023, período em que a EDP São Paulo operava 81 subestações. Para a empresa, as soluções 04 e 05 são agrupadas sob o termo "Padrão Novo" e não são tratadas separadamente. Assim, a análise do impacto operacional foca nas subestações do tipo paliteiro (solução 03) e nas subestações de padrão novo (soluções 04 e 05).

Essa análise permite avaliar o impacto do arranjo do bay de média tensão na operação e manutenção das subestações. Das subestações existentes no site da EDP São Paulo, 12 são do tipo paliteiro (solução 03) e 13 seguem o padrão novo (soluções 04 e 05). As demais subestações não foram incluídas neste estudo devido à complexidade de suas soluções ou por não serem aplicáveis atualmente, com previsão de modernização nos próximos anos.

Foram levantados os custos baseados no histórico de todo tipo de manutenção no período entre 2019 e 2023. O custo médio anual aproximado de manutenção, neste período, em todas as subestações foi na ordem de R\$ 6.095.684. O custo médio por subestação, por ano, foi de R\$ 89.497,00 para a solução tipo paliteiro e de R\$ 38.420,00. Observa-se que a alteração no arranjo do bay de média tensão proporciona uma redução significativa no OPEX de aproximadamente, 42%.

Outro benefício verificado é o aumento da segurança na instalação e manutenção dos equipamentos. Isso porque o uso de equipamentos como cubículos e barra de transferência no bay de média proporciona redução em trabalhos em altura, tanto na instalação quanto na operação/manutenção. Além disso, as fundações podem ser simples bases de passagem de cabos, com profundidade máxima de 1,20 m descaracterizando o trabalho em espaço confinado.

3. Conclusão

A análise do arranjo de equipamentos garante aplicações modernas, operando de forma segura e eficiente, bem como contribuindo com a redução de custos de instalação. Observa-se que a análise estruturada do tipo de aplicação dos equipamentos pode aumentar a segurança no momento de instalação e manutenção, reduz a área do terreno da subestação, contribui com uma redução na obtenção de licenças (LP, LI e LO podem ser dispensadas para terrenos menores de 5000 m²), contribui para uma redução em custos de operação (OPEX), implica em manobras automatizadas (redução de deslocamento), reduz riscos de segurança associados a ergonomia (devido a manobras automatizadas), reduz riscos de segurança associados a trabalho em altura (arranjo do bay de média a nível de solo), aumenta a vida útil da subestação (equipamentos modernos), reduz no tempo de construção (obra civil e montagem eletromecânica mais simples) e melhora a relação COM/CA.

Outro aspecto relevante é a contribuição para a sustentabilidade, reduzindo perdas elétricas e os impactos ambientais associados à construção de subestações. A aplicação de boas práticas na organização dos equipamentos também prepara as instalações para futuras expansões e a integração de novas tecnologias, garantindo flexibilidade para atender às demandas do setor elétrico em constante evolução.

Portanto, investir na análise criteriosa do arranjo de equipamentos não é apenas uma necessidade técnica, mas uma estratégia indispensável para modernizar a infraestrutura elétrica, otimizar recursos e assegurar a qualidade do fornecimento de energia à sociedade.

4. Referências bibliográficas

Não aplicado.