

	<p>06 a 10 de Outubro de 2008 Olinda - PE</p>
---	---

Implementação de subestações na faixa de passagem de linhas de transmissão		
Francisco André Gonçalves Jr.	Julio César Ramos Lopes	Daniel Duarte
AES Eletropaulo	AES Eletropaulo	Universidade de São Paulo
francisco.goncalves@aes.com	julio.lopes@aes.com	daniel.duarte@pea.usp.br

<p>PALAVRAS CHAVE:</p> <p>Distribuição de energia, Subestações</p>

<p>DADOS DA EMPRESA:</p> <p>Nome: AES Eletropaulo Endereço: Rua do Lavapés, 463. Telefone/fax: (11) 2195-7187 E-mail: francisco.goncalves@aes.com</p>
--

RESUMO

A construção de novas subestações em áreas urbanas enfrenta barreiras significativas devido a fatores como o custo do terreno, restrições ambientais, aceitação da comunidade local ou distância do centro de carga. Uma solução interessante pode ser representada por subestações simplificadas pré-fabricadas, interligadas entre si através da rede de distribuição e projetadas para ocuparem a estreita faixa de passagem de uma linha de transmissão aérea classe 138 kV. Este artigo descreve as principais etapas do projeto de desenvolvimento executado conjuntamente pela AES/Eletropaulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Themag Engenharia. Uma aplicação a um caso estudo e uma estimativa da efetividade econômica desta solução também são apresentadas.

1. INTRODUÇÃO

As concessionárias de distribuição de energia elétrica vêm enfrentando cada vez mais a falta de áreas para a construção de subestações urbanas, que atendam, simultaneamente, a critérios técnicos de proximidade do centro de carga, custo aceitável do terreno, bem como aceitação pela comunidade local e restrições ambientais mínimas.

As soluções conhecidas para a compactação de subestações são as reduções de distâncias entre barramentos isolados a ar [1] ou equipamentos com isolamento a gás comprimido [2]. Contudo, algum terreno ainda é necessário para acomodar os dispositivos de manobra e proteção, transformadores e casa de controle. Os distúrbios nas vizinhanças para a construção também não podem ser desprezados.

Embora não seja totalmente nova, a idéia de utilizar a faixa de passagem de uma linha de transmissão aérea urbana para a implementação de subestações de distribuição teve evoluções pela adoção de novas

tecnologias em trabalhos recentes [3]-[4].

O emprego de um arranjo simplificado, apenas um transformador e, tanto quanto possível, equipamentos pré-fabricados para minimizar as atividades de construção e comissionamento, são fatores chave para uma implementação compacta e rápida.

Por outro lado, para fins de contingência, a subestação deve ser considerada como parte de um conjunto de unidades integradas através da rede de distribuição [5].

Os novos conceitos e tecnologias necessários para uma solução completa fizeram com que a AES/Eletropaulo iniciasse um projeto de desenvolvimento conjunto com o Centro de Estudos em Regulação e Qualidade de Energia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (ENERQ) e a Themag Engenharia.

2. METODOLOGIA E RESULTADOS

A metodologia visou desenvolver uma solução completa, cobrindo todas as etapas do projeto de uma subestação e levando em conta as características da área de concessão da AES/Eletropaulo.

2.1. Preliminares

O planejamento convencional adota o assim chamado critério de contingência N-1. Uma subestação com N transformadores, cada um, respectivamente, com potência nominal e de sobrecarga S_n e S_o , tem uma capacidade firme S_f dada por:

$$S_f = (N-1)S_o = (N-1)(1+k)S_n \quad (1)$$

Onde k é a sobrecarga admissível, usualmente 20 %.

Portanto, o fator de utilização para a potência instalada é

$$f_u = \frac{S_f}{NS_n} = \frac{N-1}{N}(1+k) \quad (2)$$

Em consequência de (2) para uma melhor exploração da potência instalada N deveria ser elevado, requerendo uma grande quantidade de investimentos e área disponível.

Uma alternativa a esta abordagem é a adição de um transformador tendo uma potência S_{na} conectado com a subestação existente por meio da rede de distribuição. Para S_{na} menor que S_n o fator de utilização se torna:

$$f_{u2} = \frac{(N-1)S_n + S_{na}}{NS_n + S_{na}}(1+k) \quad (3)$$

Pode ser facilmente demonstrado que $f_{u2} > f_u$. Contudo, a equação (3) implicitamente considera a rede de distribuição que interliga as subestações como um barramento com meios de seccionamento aptos a assegurar uma transferência de alimentação.

Portanto, além de resolver o problema de disponibilidade de terreno, o projeto pode melhorar aspectos econômicos da concessionária pela melhor exploração dos ativos.

2.2. Obras civis

Para avaliar o impacto do limitado espaço disponível na faixa de passagem, foram realizados alguns estudos preliminares. Para uma aplicação geral, foi considerado o caso no qual o vão pleno entre duas torres não pode ser economicamente utilizado, devido às irregularidades do solo.

Até mesmo a possibilidade de um arranjo vertical foi analisada, para locais com espaço horizontal mínimo.

Para cumprir com o objetivo de construção rápida, estruturas pré-moldadas foram selecionadas.

Uma outra questão está relacionada ao ruído audível. Uma primeira estimativa de acordo com [6] indica que uma redução de 20 dB requer 21 m, ou cerca de duas vezes a largura da faixa de passagem.

Cálculos adicionais indicaram que os muros da subestação podem reduzir o nível de ruído de

aproximadamente 8 dB.

Considerando-se o ruído usual gerado por um transformador, uma intensidade audível tão elevada quanto 65 dB é esperada na fronteira da subestação. Portanto, uma cuidadosa avaliação das distâncias para residências é recomendada, com o intuito de se evitar a especificação de equipamentos especiais (de baixo ruído).

2.3. Aspectos elétricos

Dentre os vários aspectos analisados do ponto de vista elétrico, três devem ser ressaltados: esquema de manobra, sistema de supervisão, controle e proteção e projeto da malha de aterramento.

As linhas de transmissão aéreas classe 138 kV têm dois circuitos, para fins de contingência e manutenção. Nestas condições os dois esquemas de manobra da figura 1 são comuns.

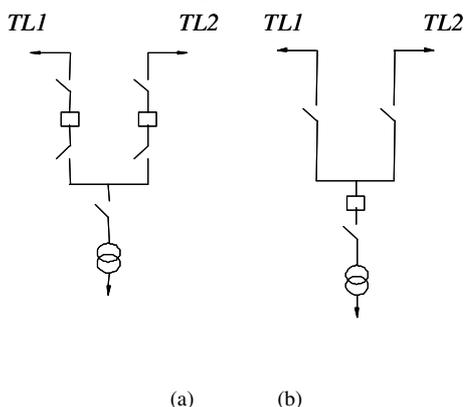


Figura 1 – Esquemas de manobra.

O esquema 1(a) permite transferência automática com paralelismo temporário das linhas, i.e., sem interrupção do suprimento, ao passo que a configuração 1(b) é mais econômica.

Uma vez que ambos os esquemas atendem requisitos regulatórios (transferência de carga em menos de 1 min) o arranjo físico dos terminais do módulo híbrido pré-fabricado comercialmente disponível e que se pretende utilizar deve também ser avaliado antes da decisão final. De fato, algumas configurações criam dificuldades para conectar as linhas ou transformadores (ver o item relativo a eletromecânica).

Para o sistema de supervisão, controle e proteção a principal recomendação é explorar a capacidade dos dispositivos eletrônicos inteligentes (IED) com o intuito de eliminar unidades terminais remotas e reduzir o número e tamanho dos painéis necessários [7].

Projetos preliminares da malha de aterramento foram realizados para verificar o efeito de áreas pequenas no controle da tensão de malha dentro de limites seguros. Para resistividades do solo moderadas (menos que 250 Ω .m) e níveis de curto-circuito usuais, o projeto do aterramento pode ser realizado com sucesso. Situações críticas provavelmente requerem um projeto mais preciso e técnicas de construção tais como a substituição dos cabos guarda das torres adjacentes por outros de mais baixa resistência elétrica ou, ainda, hastes mais profundas.

2.4. Eletromecânica

Uma das questões fundamentais do desenvolvimento eletromecânico foram as soluções para realizar as necessárias derivações de uma linha de transmissão aérea com dois circuitos verticais sem exceder a largura da faixa de passagem (10 m) e com mínima, ou nenhuma, alteração nas torres existentes.

Uma vez que a análise das referências relacionadas ao aumento da classe de tensão de subestações [8] não indicou afastamentos mínimos para barramentos flexíveis (isto é, os cabos da linha de transmissão), uma revisão dos critérios de definição foi necessária ([1] e [9]).

O critério final para definir o afastamento total foi adicionar o afastamento padronizado [10] para o NBI de 650 kV ao assim chamado “envelope de movimento do condutor” [11] para levar em conta o deslocamento devido aos efeitos de expansão térmica e ventos.

Cálculos considerando uma temperatura máxima de 75 °C e velocidade do vento de 100 km/h indicam um movimento do condutor de menos que 0,25 m, caso a derivação seja feita nos primeiros 20 % da extensão do vão (isto é, próxima da torre). Assim, os afastamentos mínimos adotados para barramentos flexíveis neste projeto são de 1,85 m e 1,52 m, respectivamente, entre fases e fase e terra. Tais distâncias são a base dos arranjos propostos.

Pode ser mostrado que tais afastamentos atendem também aos requisitos de segurança [12].

Com o intuito de fornecer ao projetista alguns outros limites, a máxima distância admissível de separação entre os pára-raios e transformadores foi calculada para uma proteção adequada [13]-[14].

As tecnologias de equipamentos pré-fabricados também foram contempladas nesta etapa do projeto.

Equipamentos compactos integrados incluindo dispositivos de seccionamento, disjuntores, transformadores de instrumentação e chaves de aterramento são particularmente adequados para esta aplicação. Ambas tecnologias, híbrida ou com isolamento a ar, se adaptam na maior parte dos arranjos estudados. Equipamentos híbridos têm algumas vantagens relacionadas a manutenção, porém algumas configurações têm acesso difícil aos terminais num arranjo tão compacto como o proposto neste trabalho.

Uma redução importante nos prazos de construção e comissionamento pode ser obtida pela adoção de uma casa de controle pré-construída [15] incorporando painéis, dispositivos de comunicação e proteção, serviços auxiliares e cubículos de média tensão. Isto normalmente utiliza containers padronizados (de 6,1 ou 12,2 m) para permitir transporte fácil ao campo.

Como um resultado dos estudos anteriores vários arranjos de subestações completamente contidas em um vão e dentro dos limites de largura da faixa de passagem foram desenvolvidas.

A figura 2 mostra um exemplo de um arranjo vertical que pode ser utilizado para ocupação mínima do vão ou para substituir uma torre existente.

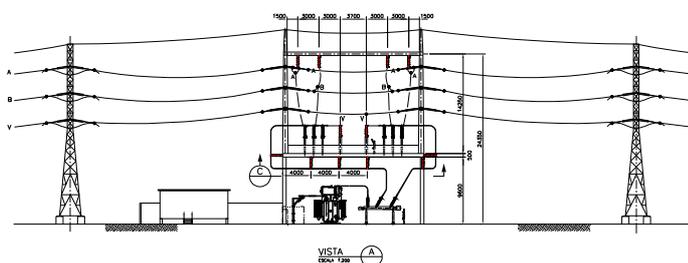


Figura 2 - Arranjo vertical.

O arranjo da figura 3, além de sua alta compactação, não requer qualquer modificação das torres. As derivações são feitas diretamente dos condutores empregando, onde necessário, isoladores poliméricos leves.

Este arranjo também é mais simples e tem conexões facilmente identificáveis, o que aumenta a segurança durante a operação e manutenção.

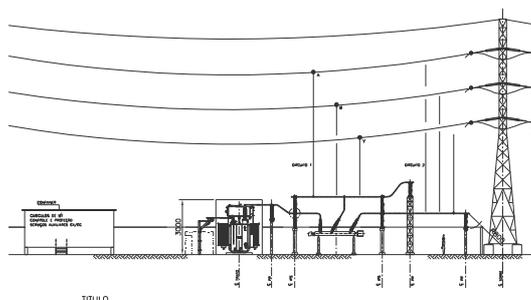


Figura 3 - Arranjo baseado na conexão direta aos condutores da linha.
Uma comparação qualitativa entre as alternativas precedentes está mostrada na tabela I.

A alternativa 1 utiliza torres padronizadas empregadas pela AES/Eletropaulo para derivação de um circuito da linha de transmissão. Ela foi incluída como um caso base, apenas para ressaltar as vantagens obtidas após os estudos conduzidos como parte deste projeto.

As alternativas 2 e 3 correspondem às figuras 2 e 3, respectivamente. A comparação indica a alternativa 3 como a melhor para a maior parte dos casos.

	Alternativa		
	1	2	3
Ocupação do vão	Plena	Parcial	Parcial
Substituição da torre	Sim	Não	Não
Interrupção dos condutores	Sim	Não	Não
Tempo de construção	Longo	Longo	Curto
Compactação	Baixa	Alta	Alta
Impacto visual	Médio	Alto	Baixo
Facilidade de manutenção	Muito alto	Médio	Alto
Custo	Alto	Médio	Baixo

Tabela 1 – Principais características de cada alternativa

2.5. Integração automatizada com o sistema de distribuição

A integração automatizada deve ser estudada tendo-se em conta fatores como o número de subestações envolvidas, quantidade de potência a ser transferida e disponibilidade de sistemas de comunicação na área de implementação.

Os equipamentos envolvidos são normalmente religadores e chaves de transferência automática, os quais podem ser instalados em postes se necessário, economizando espaço dentro da subestação.

Caso várias subestações sejam consideradas, a lógica de chaveamento pode requerer um custo significativo de comunicações.

Para o importante caso particular de duas subestações, uma solução simples para transferência de carga como mostrada na figura 4 pode ser adotada. Tal esquema utiliza em geral religadores normalmente fechados em uma subestação e normalmente abertos na outra fonte.

Este arranjo opera, se necessário, com inteligência local baseada em sensores de tensão ou corrente, ou seja, sem comunicação, o que pode ser vantajoso em muitos casos.

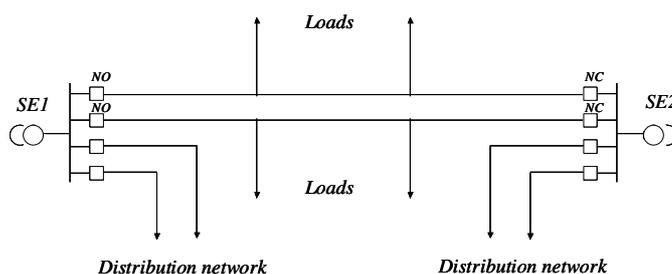


Figura 4 - Esquema de integração com transferência automática de carga.

Adicionalmente, algum seccionamento automático dos alimentadores ou melhorias na tecnologia da linha de distribuição podem ser necessários, para aumentar a confiabilidade da conexão.

Restrições ambientais

As questões ambientais foram analisadas com base na legislação vigente e experiência prévia da AES/Eletropaulo.

Uma vez que a área já é utilizada por uma linha de transmissão aérea são esperados procedimentos mais simples e rápidos para a obtenção de licenças de construção, quando comparados com uma nova subestação convencional.

3. ESTUDO DE CASO

Uma aplicação dos conceitos desenvolvidos neste projeto foi feita numa região envolvendo três subestações: Estiva (EST), Coimbra (COI) e Ribeirão Pires (RPI). O estudo compreendeu a implementação da nova subestação Estiva (NEST) utilizando a faixa de passagem da linha 88 kV BSA-CAP.

Algumas alternativas de integração foram estudadas após analisar as atuais cargas dos circuitos e sua taxa de crescimento até 2015.

A solução proposta é construir a subestação NEST para absorver toda a carga da subestação EST (antiga) e aliviar dois circuitos da subestação RPI (figura 5).

Para melhorar a confiabilidade dos alimentadores de distribuição uma transferência automática de carga entre as subestações NEST e RPI foi proposta como já descrito. Uma vez que tal arranjo envolve somente duas subestações, ele pode ser realizado de forma mais simples que um outro envolvendo três unidades.

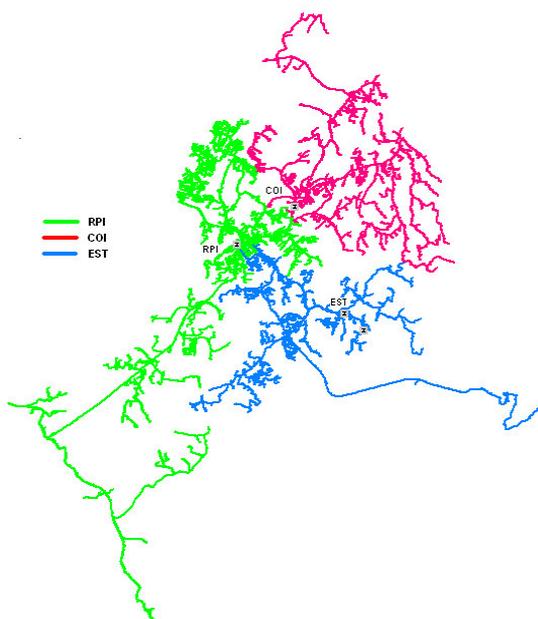


Figura 5 - Topologia do sistema.

4. ANÁLISE DE CUSTOS

A tabela II apresenta um estudo de custos percentuais, baseado em dados reais para subestações convencionais e valores estimados para a alternativa na faixa de passagem.

É importante ressaltar que a redução no custo dos serviços é devida a construção mais rápida, estimada em seis meses e economias devidas a eliminação do ramal de transmissão.

	Subestação convencional (%)	Implementação na faixa de passagem (%)
Terreno	2,1	0,0
Materiais	50,7	17,2
Serviços	20,1	6,1
Ramal de transmissão	27,1	0,0
Integração automatizada	0,0	6,5
Sub-total	100,0	29,8
No. de subestações	1	3
Total	100,0	89,5

5. CONCLUSÃO

Neste projeto uma solução completa foi desenvolvida, abrangendo obras civis, aspectos elétricos, questões eletromecânicas, integração com o sistema de distribuição e restrições ambientais.

A despeito de resolver o problema de disponibilidade de terreno, a implementação de subestações na faixa de passagem de uma linha de transmissão urbana pode ser competitiva em custo com uma solução convencional, bem como melhorar o fator de utilização das instalações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. L. Castro Neto, "Compactação de subestações 145 kV através da redução das distâncias entre fases", tese de doutoramento, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995.
- [2] A. Arora, E. Mikes and G. F. Montillet, "Underground transmission and distribution GIS solutions", IEEE, 2003.
- [3] V. Colloca, G. Como, F. Pozzana, S. Sciarra, F. Iliceto, C. Di Mario, E. Colombo, "Environmentally friendly, low cost HV/MV distribution substations using new compact HV and MV equipment", CIRED, 2001.
- [4] M. Mazzoni, G. Pacini, P. Perna, E. Colombo, "Improvement in the distribution assets management by the exploitation of the innovative component technology and network developing model", CIRED, 2003.
- [5] M. R. Gouvea, D. P. Duarte, J. C. R. Lopes, S. L. Caparroz, I. K. de Lima, A. Suprizzi and L. C. Goulart, "Distributed substations: an innovative low impact solution", IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Latin America, 2004.
- [6] *IEEE Std 1127, Guide for the Design, Construction and Operation of Electric Power*, 1998.
- [7] Substation Automation Tutorial, IEEE 2003.
- [8] H. Elahi, J. Panek, J. R. Stewart, H. R. Puente, "Substation voltage uprating: design and experience", IEEE Transactions on Power Delivery, 1991.
- [9] S. Grzybowski, E. B. Jenkins, G. M. Molen, "Lightning impulse performance of air clearances in HV substations", IEEE, 1993.
- [10] NEMA SG6, *Power Switching Equipment*, 2000.
- [11] ANSI C2, *National Electric Safety Code*, 2002.
- [12] IEEE Substation Committee, *Safety aspects in substation voltage uprating*, IEEE Trans. on Power Delivery, July 1992.
- [13] J. Panek, P. F. Albrecht, H. Elahi, "Design criteria for lightning protection of HV substations", IEEE Transactions on Power Delivery, 1992.
- [14] *IEEE Guide for the application of metal-oxide surge arresters for alternating current systems*, IEEE Std C62.22, 1997.
- [15] B. McDermott, D. Dolezilek, T. P. Tibbals, "Proven drop-in control house turn key solution for total protection, monitoring, automation, and control of T&D substations – A case study in justification and implementation", 2001.