



**XXIII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GLT/31
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

SOLUÇÕES DE FUNDAÇÕES PARA LINHAS DE TRANSMISSÃO 500KV DE TELES PIRES

**Alex de Barros
LEME ENGENHARIA**

RESUMO

O estudo tem por objetivo apresentar procedimentos de dimensionamento das fundações da linha de transmissão (LT) para aproveitamentos hidrelétricos da bacia do rio Teles Pires, localizado no Mato Grosso, Brasil. Esta LT em 500 kV é constituída fundamentalmente por três circuitos, ligando a SE Paranaíta (MT) até a SE Marimbondo II (MG), com uma extensão de aproximadamente 1.600 km.

Para a LT foi necessário gerar projetos de fundações que visaram conciliar a presença de cargas elevadas nas estruturas, solos predominantemente fracos ao longo da LT e a necessidade inerente à busca pela economia.

Todos estes aspectos associados à segurança, integridade e funcionabilidade do sistema.

PALAVRAS-CHAVE

Linha de Transmissão, Fundações, Dimensionamento, Carregamento, Solo-cimento

1.0 - INTRODUÇÃO

O estado de Mato Grosso caracteriza-se como um exportador de energia, tendo elevado excedente de geração que deverá ser direcionado majoritariamente para a região Sudeste do Brasil, onde se concentra o mercado consumidor de energia elétrica.

A linha de TPT foi dividida em cinco trechos, definidos como LT 500 kV Paranaíta – Cláudia, com extensão aproximada de 300 km, LT 500 kV Cláudia - Paranatinga, com extensão aproximada de 350 km, LT 500 kV Paranatinga – Ribeirãozinho, com extensão aproximada de 355 km, LT 500 kV Ribeirãozinho – Rio Verde Norte, com extensão aproximada de 250 km e finalmente a LT 500 kV Rio Verde Norte – Marimbondo II, com extensão aproximada de 350 km.

O empreendimento foi subdividido em dois lotes principais, definidos como Lotes A e B. Os três primeiros trechos anteriormente citados pertencem ao lote A e os dois últimos trechos pertencem ao lote B desta LT.

Este trabalho visa contribuir com a experiência adquirida neste empreendimento com a prática da engenharia de fundações de LTs, frente as dificuldades inerentes ao processo.

Existem alternativas de soluções estruturais e metodologias aplicadas para cada situação vigente. Cada solução e procedimento possuem vantagens, desvantagens e limitações em representar de forma razoável o comportamento real das estruturas.

Os procedimentos e formulações empregados nesse empreendimento estão consistentes com a prática de engenharia de fundações de linhas de transmissão, tendo-se buscado agregar valor a esta prática através de novas pesquisas e resultados de ensaios, sendo portando soluções que podem ser consideradas como adequadas ao processo de projeto de linhas.

A linha de transmissão 500 kV de Teles Pires será designada simplesmente por TPT nesse trabalho.

2.0 - DESCRIÇÃO DAS CONSIDERAÇÕES

2.1 Fator adicional preferencial de falha

Para o dimensionamento de uma fundação basicamente duas condições limites precisam ser verificadas:

- a. O dimensionamento estrutural da fundação, que remete à avaliação das resistências dos elementos estruturais componentes do sistema.
- b. O dimensionamento da interação solo-estrutura, que avalia e gera garantias quanto à estabilidade global das fundações.

Uma prática comum adotada no Brasil é o emprego do “fator adicional de segurança” de 1,10 aplicado às cargas providas das torres para fins de avaliação da interação solo-estrutura, observando-se que a estrutura metálica da torre já possui seus fatores de ponderação específicos.

Já para o dimensionamento estrutural das fundações o “fator de segurança” adicional utilizado para os projetos de TPT também foi de 1,10.

De fato, qualquer que seja o estado limite último que acometa a fundação, seja ele associado a perda de capacidade resistente na interação fundação com o solo ou devido à superação da resistência interna estrutural da peça, uma vez que um estado limite seja ultrapassado este evento será suficiente para caracterizar o colapso, independente da natureza da falha.

Este fator tem como objetivo estabelecer uma sequência preferencial de falha, caracterizada pela diretriz em que, em uma condição de ruína, a torre irá colapsar antes da fundação.

Para ações favoráveis à segurança aplicou-se o fator de 0,90.

Desta forma o emprego de um único fator de ponderação das cargas para todos os estados limites últimos analisados foi adotado para TPT.

2.2 Parâmetros e classificação dos solos

A correta avaliação dos parâmetros do solo é importante para a elaboração de um projeto de fundações consistente.

Os parâmetros dos solos mais relevantes para fins de projeto são a tensão admissível do solo à compressão, a coesão, o ângulo de atrito interno do solo, o peso específico do solo, ângulo do cone e o atrito lateral do solo.

Para fundações rasas, por uma questão de padronização os solos foram agrupados em categorias, designados por solos I, II, III e IV e a cada tipo foram associados valores de parâmetros de solos, sendo o solo I aquele que possui parâmetros que conduzem às resistências geotécnicas maiores e o solo IV às resistências menores, como pode ser verificado na Tabela 1.

TABELA 1 – Parâmetros dos Solos

TIPO DE SOLO	TENSÃO À COMPRESSÃO (σ_{adm})	COESÃO (c_e)	ÂNGULO DE ATRITO INTERNO DO SOLO (ϕ)	ÂNGULO DE ATRITO FICTÍCIO TEÓRICO (ϕ)	PESO ESPECÍFICO DO SOLO (γ_t)	ÂNGULO DO CONE (α)	PESO ESPECÍFICO DO SOLO-CIMENTO (γ_{ct})
I	3,00 kg/cm ²	0,30 kg/cm ²	25°	23°	1600 kg/m ³	25°	1850 kg/m ³
II	2,00 kg/cm ²	0,25kg/cm ²	20°	18°	1500 kg/m ³	20°	1850 kg/m ³
III	1,00 kg/cm ²	0,20kg/cm ²	15°	13°	1200 kg/m ³	15°	1850 kg/m ³
IV	1,00 kg/cm ²	0,15kg/cm ²	15°	13°	1000 kg/m ³	15°	1850 kg/m ³

Para o solo tipo IV considera-se o efeito da presença de água (subpressão) nos cálculos.

Em termos práticos, a classificação dos solos é feita com base nos resultados das sondagens tipo SPT realizadas em uma fração da totalidade das torres da LT e em informações presentes em documentos como o perfil e planta da LT.

Um levantamento realizado em maio de 2014 identificou para os solos avaliados até aquele momento que no lote B cerca de 65% das torres estaiadas encontravam-se em solo IV ("fraco com água") e 63% das autoportantes se encontravam em solo III ("fraco sem água"). Para o lote A verificou-se também incidência de solos fracos em mais de 50% do trecho.

Desta forma, no cômputo geral a LT de TPT apresentou predominância de solos de baixa capacidade portante.

2.3 Cargas nas estruturas das torres

O lote A do empreendimento foi desmembrado em trechos LA1, LA2 e LA3, sendo que nos trechos LA1 e LA2 foram aplicadas as séries de estruturas de torres autoportantes D1SM, D1SP, D1AA, D1AT, D2TR e D1SE.

Já o lote B foi dividido nos trechos LB1 e LB2.

Nos trechos LA3 e LB2 foram aplicadas as torres D2TR, D2SM, D2SP, D2AA, D2AT e D2SE.

Já no trecho LB1 aplicou-se as torres S2SL, S2SP, S2AA, S2AT e S2TR.

Os carregamentos máximos provindos das estruturas metálicas, tanto de tração quanto compressão são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – Cargas Máximas Nominais das Torres Estaiadas Conforme Projetista da Estrutura Metálica

TORRE	COMPRESSÃO MÁX. NOMINAL NO MASTRO CENTRAL	TRAÇÃO MÁX. NOMINAL NO ESTAI
D2AA	2479 kN	2225 kN
D2SE	2156 kN	1823 kN
D2TR	1715 kN	1450 kN
D2SP	1725 kN	1450 kN
D2AT	3381 kN	3077 kN
D2SM	1784 kN	1539 kN
D1SM	1460 kN	1235 kN
D1AA	1960 kN	1715 kN
D1SE	1735 kN	1421 kN
D1AT	2793 kN	2509 kN
D1SP	1597 kN	1323 kN

No caso das torres estaiadas, foram aplicadas em LA1 e LA2 as torres D1EL e D1EM. Já nos trechos LA3 e LB2 foram aplicadas D2EL e D2EM e, por fim, em LB1 foi utilizada a S2EL.

Os carregamentos no mastro central e estai são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – Cargas Máximas Nominais das Torres Autoportantes Conforme Projetista da Estrutura Metálica

TORRE	COMPRESSÃO MÁX. NOMINAL	TRAÇÃO MÁX. NOMINAL
D1EL	617 kN	1392 kN
D2EL	706kN	1627 kN
D2EL	764 kN	1597 kN
D2EM	892 kN	1901 kN
S2EL	451 kN	951 kN

Como é possível constatar, os carregamentos nas fundações das torres de TPT são de elevado valor, tanto na tração quanto na compressão, para torres estaiadas e autoportantes.

Esta condição exigiu o emprego de técnicas que ao mesmo tempo concatenassem segurança estrutural com a busca de projetos que fossem econômicos e logisticamente viáveis.

2.4 Emprego do solo-cimento

Os altos carregamentos de TPT associados, em muitos casos, à presença de solo de baixa capacidade portante conduziu a necessidade de pesquisar e explorar de forma racional o emprego do solo-cimento como componente estrutural da fundação.

Para tanto, foi elaborado um procedimento específico de ensaios para serem realizados em campo a fim de obter-se informações acerca da massa específica aparente (definida nos projetos como peso específico) e da resistência do solo-cimento como elemento de transferência de carga.

Uma das empresas envolvidas na execução do projeto da LT de TPT se prontificou a realizar os ensaios necessários para a investigação proposta, para o seu trecho.

Desta forma, buscando dados consistentes para a elaboração de projetos com maior otimização possível, dentro dos critérios de segurança necessários, os corpos de prova de solo-cimento foram avaliados com idades de confecção diferentes e com traços em volume diferentes.

Como resultados diretos da realização dos ensaios foram obtidos importantes benefícios para o empreendimento como a redução dos quantitativos envolvidos na execução de fundações através do melhor aproveitamento das características de resistência e da massa específica do solo-cimento, a obtenção de informações mais precisas acerca do comportamento dos parâmetros investigados (“peso” e resistência) e uma maior confiabilidade no processo de dimensionamento através do emprego de valores de parâmetros que melhor se aproximam da realidade.

Foram elaborados corpos de prova para avaliação da massa específica aparente do solo-cimento e corpos de prova para a avaliação da resistência desse material, tendo sido investigados os seguintes traços:

- 1 parte em cimento para 10 partes de solo, em volume;
- 1 parte em cimento para 15 partes de solo, em volume;
- 1 parte em cimento para 20 partes de solo, em volume.

Buscando informações acerca da evolução dos parâmetros pesquisados no tempo, foram realizadas medições com as datas de 3 dias, 7 dias e 15 dias a partir da confecção do corpo de prova. Foram, portanto, 3 corpos de prova para cada traço.

Foram também estabelecidos uma série de cuidados necessários aos corpos-de-prova de forma a corroborar com a acurácia dos resultados dos ensaios (processo de cura, cuidados com transporte, etc.).

A avaliação da massa específica aparente foi necessária para a finalidade de emprego do solo-cimento no processo de estabilização das torres. Para obtenção deste valor foi empregada a seguinte fórmula:

$$\gamma_{\text{solo-cimento}} = \frac{M_t - M_c}{V_c}, \text{ onde:}$$

M_t representa a massa do cilindro com solo-cimento, expressa em gramas;

M_c representa a massa do cilindro, equivalente à 1725 gramas;

V_c representa o volume interno do cilindro, equivalente à 989,6017cm³.

A Figura 1 - (a) sugere o emprego de solo-cimento para a finalidade ora citada (região superior à base da sapata).

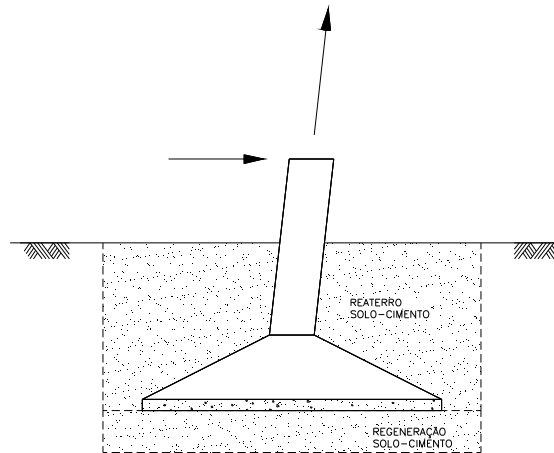


FIGURA 1 - (a)

Para este ensaio foi promovida uma escavação em região próxima à locação de uma futura torre. Nesta escavação foi realizado o lançamento e compactação do solo-cimento.

Depois de realizado o processo de compactação foi retirada amostra para medição da massa específica aparente conforme procedimentos usuais de campo. A Figura 1 - (b) sugere o procedimento realizado e apresenta o registro fotográfico em campo do procedimento:

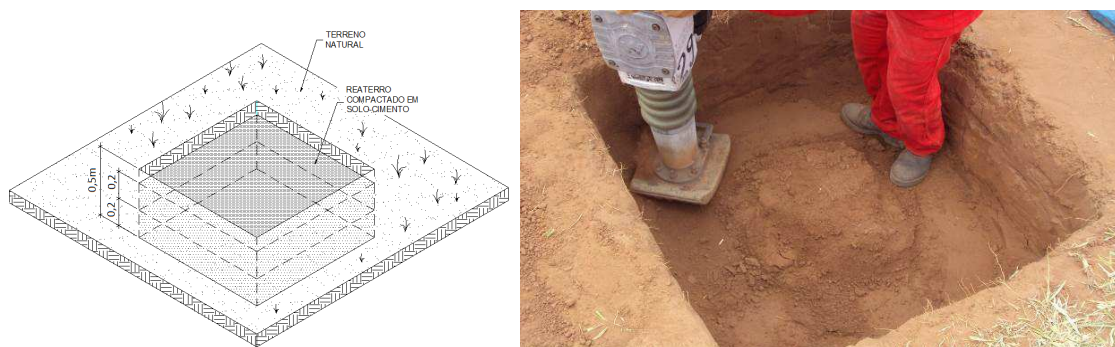


FIGURA1 - (b)

Outra função muito adequada que pode ser direcionada para o solo-cimento é a transferência de carga da torre ao solo natural, considerando-se a fundação como elemento intermediário. Para obter-se estimativas desta capacidade de transferência de carga sem a ocorrência de ruptura do solo-cimento foram gerados protótipos de vigas em solo-cimento que foram submetidos à flexão simples.

Corpos-de-prova de vigas foram bi apoiadas, com carregamento centrado aplicado no ponto médio do vão que foi inserido de forma incremental até a ruptura da viga.

Todos os ensaios foram realizados e os resultados foram tabulados em planilhas específicas.

A partir da reunião das informações foi possível obter-se os resultados requeridos de forma a aplicá-los nos projetos da LT.

A Tabela 4 expressa os resultados obtidos nos ensaios.

TABELA 4 – Resultados dos Ensaios com Solo-Cimento

IDENTIFICAÇÃO DO CORPO DE PROVA	TEMPO DE CONFEÇÃO DO CORPO DE PROVA	M_t	TRAÇO DO SOLO-CIMENTO	MASSA ESPECÍFICA APARENTE	CARGA DE RUPTURA
1-10-3	3 dias	3795 g	10 (Solo) x 1 (Cimento)	2,0918 g/cm ³	Não ensaiou
1-10-7	7 dias	3795 g	10 (Solo) x 1 (Cimento)	1,9200 g/cm ³	17,5Kg (29min45seg)
1-10-15	15 dias	3795 g	10 (Solo) x 1 (Cimento)	2,0412 g/cm ³	25Kg (44min46seg)
1-15-3	3 dias	3725 g	15 (Solo) x 1 (Cimento)	2,0210 g/cm ³	Não ensaiou
1-15-7	7 dias	3725 g	15 (Solo) x 1 (Cimento)	2,0715 g/cm ³	3Kg (2min37seg)
1-15-15	15 dias	3725 g	15 (Solo) x 1 (Cimento)	1,9958 g/cm ³	7Kg (8min07seg)
1-20-3	3 dias	3715 g	20 (Solo) x 1 (Cimento)	2,0109 g/cm ³	Não ensaiou
1-20-7	7 dias	3715 g	20 (Solo) x 1 (Cimento)	2,0160 g/cm ³	Não ensaiou
1-20-15	15 dias	3715 g	20 (Solo) x 1 (Cimento)	2,0513 g/cm ³	Não ensaiou

A Figura 1 - (c) apresenta relatórios fotográficos dos ensaios ora tratados:



FIGURA 1 - (c)

Após realização dos ensaios, o traço em volume que se apresentou como mais adequado foi a composição 1:15.

2.5 Projetos de fundações para torres autoportantes e estaiadas

2.5.1 Projetos de fundações em sapata para autoportantes e estaiadas

Projetos de sapatas foram aplicados em torres estaiadas e autoportantes.

Para os projetos de sapatas são verificados os estados limites associados à resistência interna da estrutura, os estados limites associados à capacidade portante do solo e os estados limites associados ao movimento de corpo rígido da fundação.

No caso de torres autoportantes as condições críticas para a estabilidade acontecem em situações onde há tração na fundação. Já para fundações do mastro central de torres estaiadas a ação presente é sempre de flexo-compressão.

Para fins de dimensionamento, uma primeira providência é garantir que a estrutura se comporte como rígida, sendo esta condição alcançada se o ângulo da biela comprimida do concreto for igual ou superior à 30 graus.

Garantido este ângulo da biela, é possível iniciar o projeto da fundação estabelecendo-se mecanismos que impeçam que a estrutura realize movimento de corpo-rígido, seja de translação ou rotação.

Em torres autoportantes, para os estados limites associados ao tombamento gerado pela tração simultânea à ação de cargas laterais e para o estado limite associado ao arrancamento da fundação, as cargas de gravidade passam a ter importância central na estabilidade do sistema estrutural.

Buscando-se gerar economia associada à eficiência estrutural, em muitos casos foi empregado reaterro sobre sapatas em solo-cimento, que possui um peso específico significativamente superior ao solo natural compactado.

Além de gerar uma carga de gravidade maior, um importante efeito associado à presença do solo-cimento sobre a sapata é o de mobilizar o empuxo passivo do solo natural como elemento estabilizante de forças transversais (sendo permitido, conforme normalização específica, o emprego de até 50% do empuxo passivo teoricamente mobilizado).

Já para o dimensionamento da fundação associado à avaliação das tensões no solo, o emprego do solo-cimento também foi largamente utilizado através da previsão em projeto de uma camada deste produto abaixo do nível da sapata com projeção em planta superior à gerada pela base da sapata, de forma que a área final para dissipação das cargas de compressão fosse maior.

Para avaliação da resistência da sapata ao efeito do arrancamento foi empregada a metodologia apresentada em "The use of soil mechanics methods for adapting tower foundations to soil conditions" (CIGRÉ-1968).

Esta metodologia, conhecida como Método de Grenoble, admite genericamente que a resistência total do sistema frente à ação de tração nas fundações é devido à uma parcela de atrito, uma parcela de coesão, uma parcela de sobrecarga no terreno, uma parcela devido ao tronco de cone solidário à fundação, além do peso próprio da mesma.

Já para a avaliação ao tombamento na tração com carga lateral foi empregada a formulação conforme proposto em "Concrete Footing Design and Details" do material "United States Department of The Interior – Bureau of Reclamation – Transmission Structures – Concrete Footing Design and Details – DS-10-7 – 1965", que admite que à todas as parcelas de cargas que tendem a estabilizar uma estrutura submetida à ações axiais e laterais soma-se uma parcela relativa à metade do peso de um cone de solo que é também mobilizado.

As Figuras 2 – (a) e 2 – (b) apresentam uma solução em sapata para a torre autoportante D2SM em solo tipo IV.

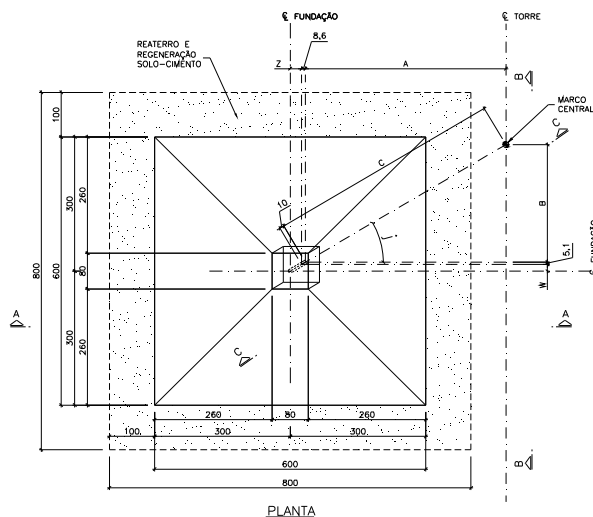


FIGURA 2 - (a)

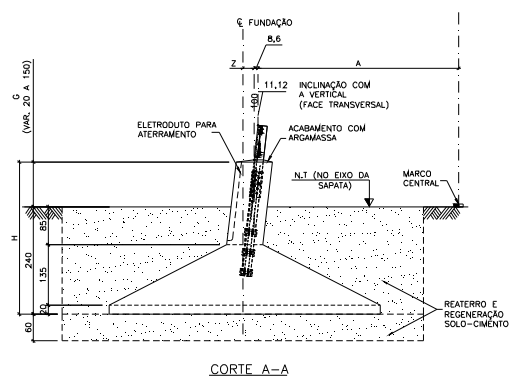


FIGURA 2 - (b)

Para torres estaiadas as considerações anteriormente apresentadas são igualmente válidas, considerando que não há tração, logo a avaliação ao tombamento é realizada na flexo-compressão da fundação e geralmente não é crítica. O efeito crítico se dá na compressão do solo e visando gerar economia ao sistema foram empregadas sapatas de menor magnitude apoiadas sobre lajes em concreto armado e estas lajes, por sua vez, apoiadas em solo-cimento.

A Figura 3 apresenta uma solução em sapata para a torre estaiada D1EM em solo tipo IV bem como o registro fotográfico de uma solução do tipo.

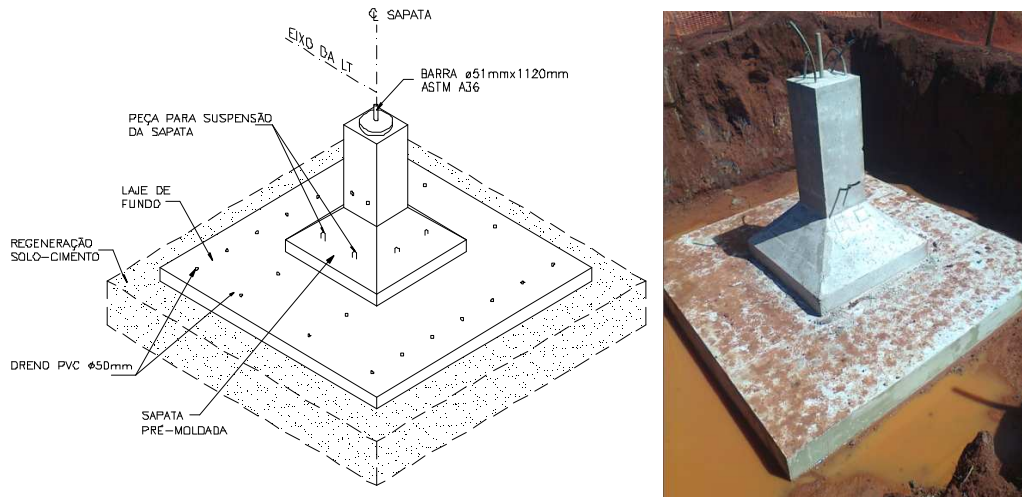


FIGURA 3

2.5.2 Projetos de estaca escavada para autoportantes:

Além dos projetos de sapatas para autoportantes, TPT demandou a geração de projetos em estaca escavada (tubulão sem abertura de base).

Para avaliação da resistência à compressão e tração os cálculos foram baseados em formulações semi-empíricas que permitem o cálculo direto da carga admissível, com base em correlações diversas disponíveis.

Foram empregadas as formulações de Pedro Paulo Costa Velloso, Decourt-Quaresma, Alberto Henriques Teixeira e Urbano Rodrigues Alonso, sendo que para a compressão admite-se que a resistência admissível é representada pela adequada combinação dos resultados das resistências das metodologias, considerando-se o atrito lateral e a resistência de ponta, enquanto para a tração considera-se a resistência somente por atrito lateral, que é multiplicada por 0,75.

Para a avaliação das ações geradas devido às cargas laterais empregou-se o método da base elástica.

As Figuras 4 – (a) e 4 – (b) demonstram um projeto de estaca escavada para a torre autoportante D2AT.

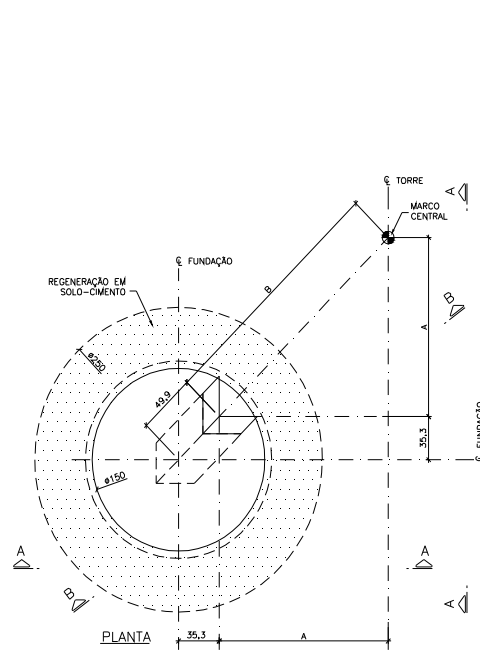


FIGURA 4 - (a)

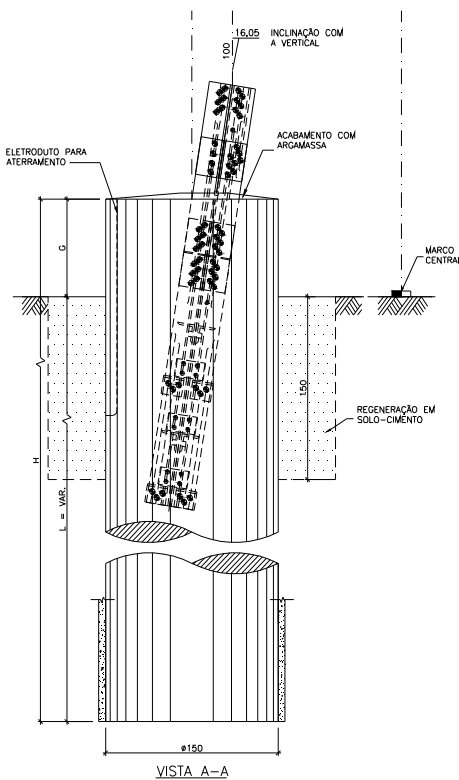


FIGURA 4 - (b)

2.5.3 Projetos de bloco sobre estacas para autoportantes:

Nesse caso houve a aplicação de fundações em bloco sobre estacas metálicas e blocos sobre fundações do tipo “hélice contínua”, notadamente onde fundações rasas seriam inapropriadas.

O cálculo do bloco se fez com o mesmo sendo elaborado de tal forma a ser classificado como rígido.

Nas Figuras 5 – (a) e 5 – (b) tem-se um exemplo do emprego de bloco sobre estacas metálicas para torre D1SM.

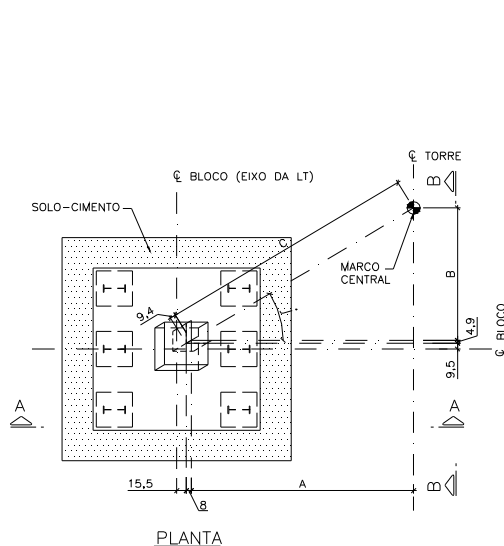


FIGURA 5 - (a)

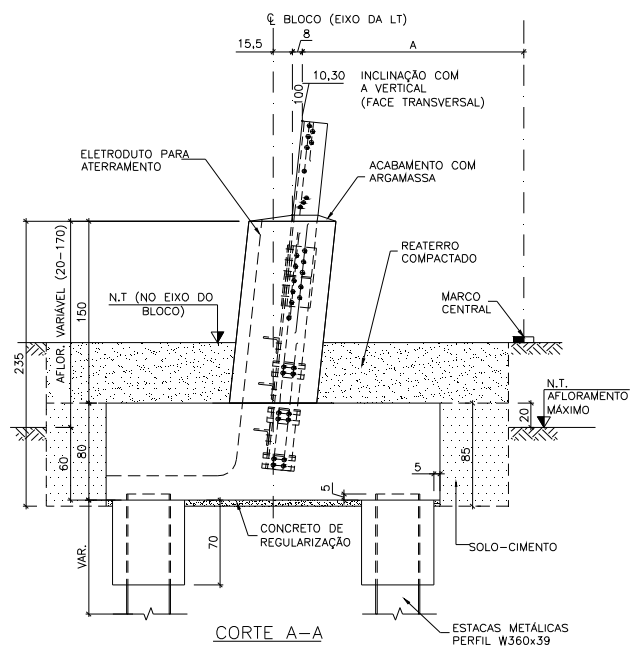


FIGURA 5 - (b)

O emprego da fundação em bloco sobre hélice contínua pode ser visto nas Figuras 6 – (a) e 6 – (b), aplicada na

torre D1SE.

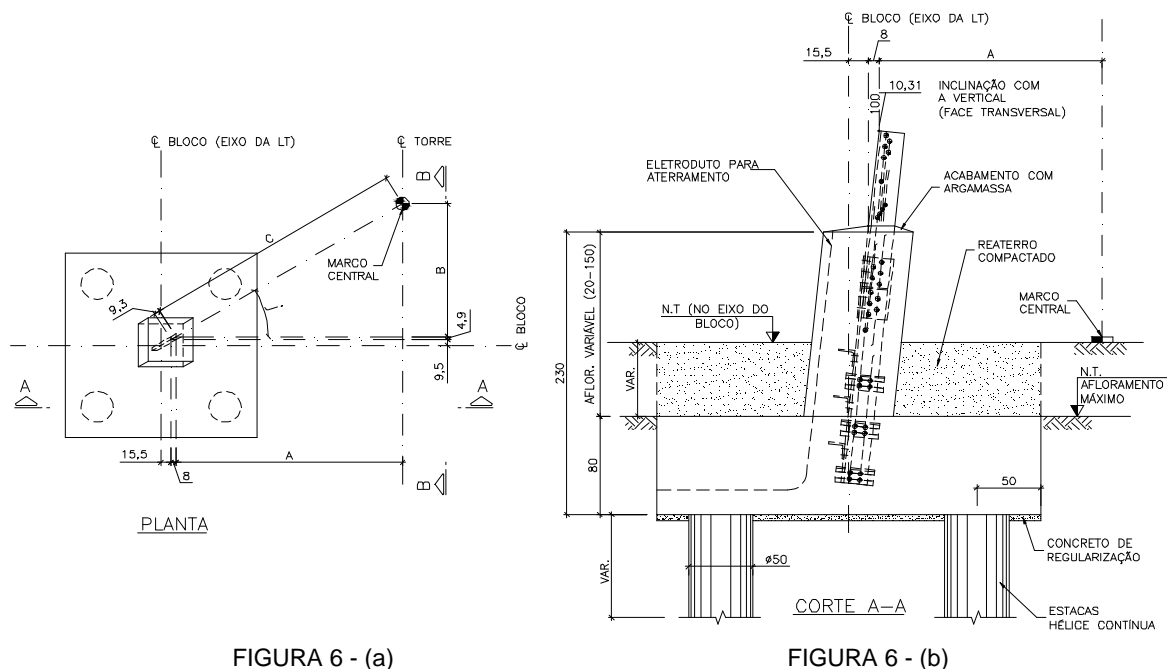


FIGURA 6 - (a)

FIGURA 6 - (b)

2.5.4 Projetos de plataforma enrijecida para autoportantes:

Em situações específicas, com torres com elevadas cargas de compressão e tração atuando em solos com as primeiras camadas de baixa resistência sendo seguidas de camadas de alta rigidez ("impenetrável"), foi necessário elaborar projetos de plataforma enrijecida, cuja concepção estrutural se baseia em um núcleo central de concreto "infinitamente rígido" com a presença de uma laje (plataforma) enrijecida por vigas transversais e de periferia, sendo a região acima desta plataforma preenchida com solo-cimento.

O enrijecimento é necessário para que haja garantias de distribuição mais uniforme das tensões sobre o solo, além de diminuir deslocamentos e rotações da laje.

Esta solução, que é esquematicamente apresentada na Figura 7, embora represente maior esforço para a confecção da fundação (forma, corte de armação, etc), para a condição específica citada conduziu à uma economia de concreto da ordem de 50% em relação à uma fundação convencional em sapata.

Para a análise estrutural empregou-se o método dos elementos finitos para a determinação de esforços e deslocamentos.

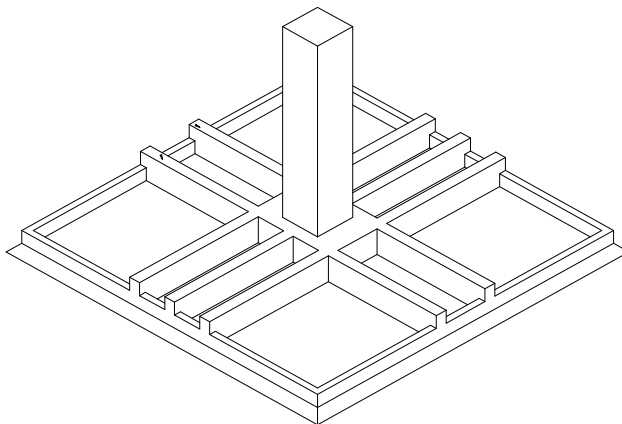


FIGURA 7

2.5.5 Projetos para estais em tubulão com laje e grampo "U" e viga "L".

Os elevados carregamentos presentes nos estais conduziram à necessidade de projetos de aspecto especial. Uma solução empregada foi o tubulão sem base alargada com laje horizontal acoplada ao fuste e grampo “U”, sendo empregado solo-cimento acima da laje para gerar maior efeito estabilizante para as componentes vertical e transversal da tração no estai.

As Figuras 8 – (a) e 8 – (b) demonstram a solução acima descrita, aplicada na torre D2EL em solo tipo I.

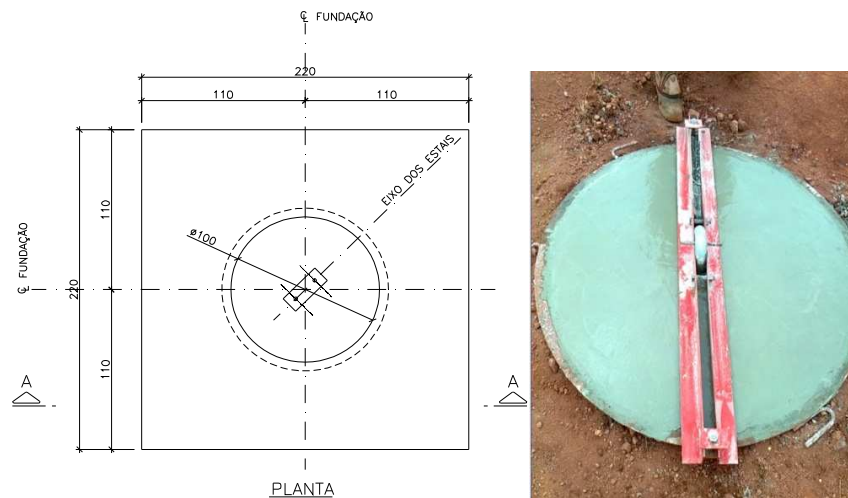


FIGURA 8 - (a)

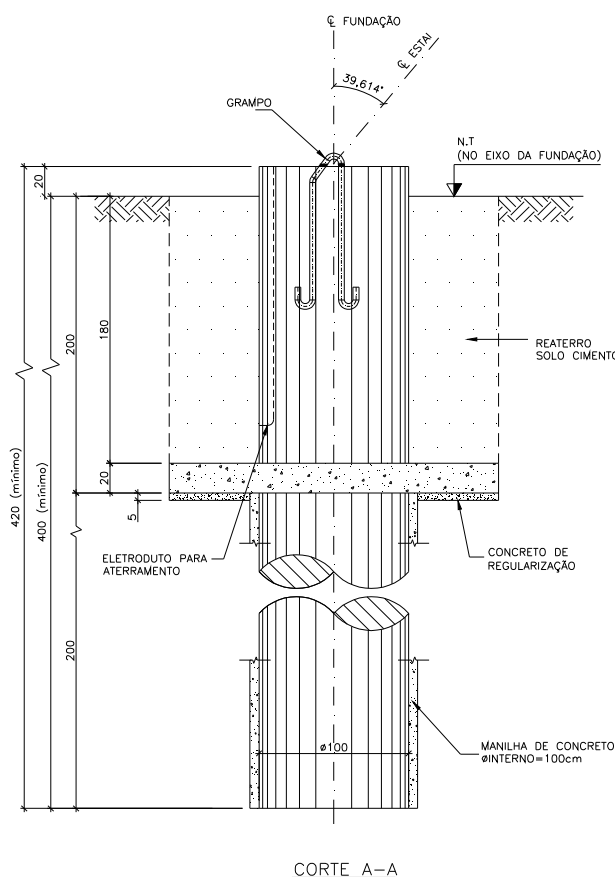


FIGURA 8 - (b)

Para a estabilidade lateral empregou-se o método da base elástica e para a avaliação ao arrancamento utilizou-se o método de Grenoble.

Uma solução também empregada foi a fundação em viga “L” com haste metálica, que pode ser vista nas Figuras 9 – (a) e 9 – (b), em que o principal artifício é a previsão de elevado volume de solo sendo mobilizado para

combater o efeito do arrancamento. O exemplo que segue foi aplicado na torre D1EL em solo tipo I.

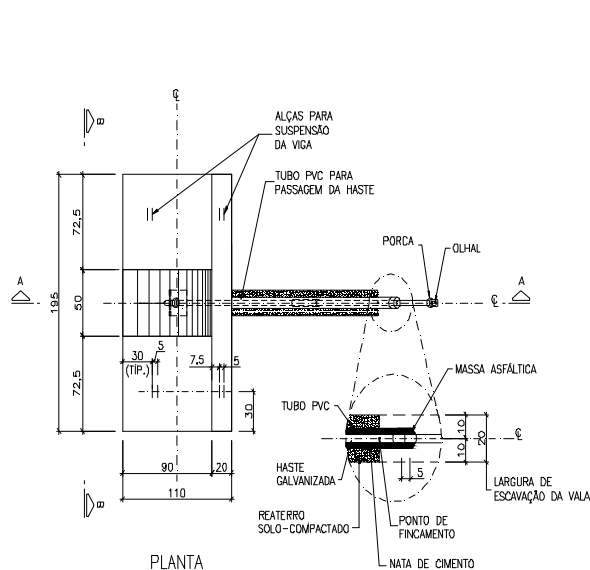


FIGURA 9 - (a)

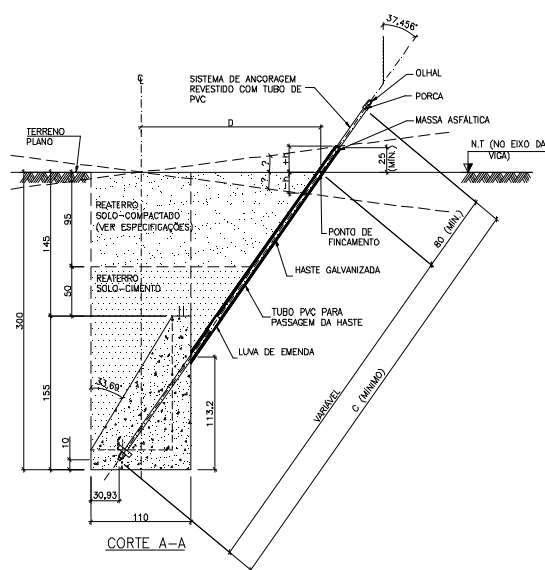


FIGURA 9 - (b)

3.0 - CONCLUSÃO

O empreendimento da LT de TPT trouxe desafios para a elaboração de projetos gerados pela combinação de carregamentos elevados providos das torres e incidência e distribuição de solos fracos em muitos trechos ao longo da LT.

O fato da execução do empreendimento estar a cargo de muitas empresas diferentes, empresas estas com procedimentos, recursos e técnicas para execução de linhas de transmissão distintas também se configurou como um dificultador dos trabalhos.

Visando concatenar segurança estrutural e geotécnica e adequada logística de execução dos projetos em campo, associadas à busca pela maior economia de insumos possível, foram pesquisadas e empregadas soluções, metodologias e produtos cuja combinação objetivou a obtenção de eficiência e otimização dos resultados de engenharia empregados.

Até junho de 2015 haviam sido gerados acima de 200 projetos distintos para TPT, além da elaboração de inúmeros formulários de campo para solução de problemas de naturezas diversas.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Execução de tirantes ancorados no terreno – NBR 5629. Brasil.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estrutura de concreto armado-procedimento – NBR 6118. Brasil.
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de fundações – NBR 6122. Brasil.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio – NBR 6484. Brasil.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios – NBR 8800. Brasil.
- (6) BIAREZ, J., BARRAUD, Y. The use of soil mechanics methods for adapting tower foundations to soil conditions; CIGRÉ-França.

(7) CHAVES, R.A. Fundações de torres de linhas de transmissão e de telecomunicação. Brasil.

(8) Terzaghi, K., Peck, R. B. e Mesri, G. Soil Mechanics in Engineering Practice.

(9) Silveira, José Ernani da Silva. Curso de Estruturas de Fundação – 1a parte – Investigações Geotécnicas – Fundações Diretas – Fundações Profundas – Tubulões

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Alex de Barros. Nascido em Belo Horizonte-MG, na data 08/06/1975. Graduado pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, em 2000. Mestrado em Engenharia de Estruturas no Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG, com conclusão em 2010. Engenheiro Civil Especialista I (1º nível acima do Sênior) da Leme Engenharia. Coordenador da equipe civil de engenharia de projetos de fundações de linhas de transmissão de energia. Trabalha atualmente como calculista estrutural de fundações de LT e de subestações de energia. Trabalhou com projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), com projetos de estruturas metálicas de LT e industriais. Foi professor universitário das engenharias da PUC Minas, Faculdade Izabela Hendrix e Faculdade Pitágoras.

