

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

PROJETOS ESPECIAIS DE FUNDAÇÕES SUBMERSAS TIPO OFFSHORE PARA ESTRUTURAS METÁLICAS DE TORRES À JUSANTE DO VERTEDOURO DA USINA HIDRELÉTRICA DE ILHA SOLTEIRA - TRAVESSIA DO RIO PARANÁ

ALEX DE BARROS(1);ALESSANDRO MARQUES DAS NEVES(2);GABRIELA DE SOUZA RODRIGUES(3)
TURING ENGENHARIA(1);I.G. TRANSMISSAO E DISTRIBUICAO DE ENERGIA S/A(2);ISA CTEEP(3)

RESUMO

No ano de 2020 uma demanda por projetos de fundações de LTs foi estabelecida com a necessidade de travessia do Rio Paraná pelas torres da LT 440 KV Ilha Solteira - Três Irmãos. 4 torres foram empregadas, sendo todas à jusante da UHE ILHA SOLTEIRA, internas ao rio. Este trabalho apresenta as diretrizes de análise e dimensionamento estrutural e geotécnico para os projetos desta travessia. A condição das fundações estarem localizadas no leito do rio e submetidas, portanto, às condições adversas da correnteza, assim como a altura destas fundações (média de 12m), determinaram dificuldades e cuidados especiais de análise e dimensionamento.

PALAVRAS-CHAVE

Fundações submersas, correnteza, hidrelétrica de ilha solteira, travessia interna ao rio Paraná

1. INTRODUÇÃO

Em função da necessidade de se transpor o vão do Rio Paraná com as torres de transmissão da LT 440 KV Ilha Solteira - Três Irmãos (em execução quando da elaboração deste artigo) houve a necessidade de se elaborar projetos especiais de fundações localizados internamente ao rio.

Quatro torres autoportantes (3 torres tipo ITPS e 1 torre ITAT) foram empregadas, sendo todas localizadas no leito do rio e à jusante da UHE ILHA SOLTEIRA.

Ao todo, a travessia do rio Paraná perfaz uma distância de aproximadamente 2650 m.

Este trabalho tem como objetivo apresentar as diretrizes técnicas básicas de análise e dimensionamento estrutural e geotécnico adotadas para os projetos de fundações desta travessia, além de indicar cuidados especiais que foram adotados no projeto (em especial em relação à interação com as torres).

A execução das fundações teve início em setembro de 2021.

Os projetos de fundações gerados para a travessia foram “PROJETO DE FUNDAÇÃO TORRE ITAT (OFFSHORE)-LT440-ILSTRI-L0219-FUD-18” e “PROJETO DE FUNDAÇÃO TORRE ITAT (OFFSHORE - LT440-ILSTRI-L0219-FUD-13”.

A FIGURA 1 apresenta a localização das estruturas que serão construídas.



FIGURA 1 – Localização na travessia do rio Paraná das fundações que serão construídas.

2. SOLUÇÃO DE ENGENHARIA

A solução adotada para cada uma das fundações foi concebida com quatro colunas em concreto armado (classe C40) de seção circular de 1,50m de diâmetro onde os montantes das torres se apoiam. Estas colunas foram engastadas em suas bases em maciço rochoso (entre 3,50m e 4,0m de profundidade de engastamento), sendo intertravadas no topo com dois níveis de vigas em concreto armado também da classe C40 (para ITPS vigas de seção de 50cm x 100cm e para ITAT 60cm x 130cm).

Quanto às vigas de travamento de topo (em dois níveis), estas foram inicialmente projetadas para serem moldadas no local, mas por questões logísticas identificadas pela equipe de campo posteriormente à elaboração dos projetos de fundações optou-se por executá-las como pré-fabricadas, transportando-as até a posição das torres (transporte via balsa).

Nesta condição a concretagem das colunas se dará em etapas conforme o nível de instalação das vigas, verificando-se o surgimento de juntas de concretagem que serão especialmente tratadas, de forma que seja possível introduzir as vigas pré-moldadas nas estruturas, sendo necessário que estas estejam engastadas em suas extremidades (engaste nas colunas) conforme modelo considerado na fase de projeto.

Com base nas informações cedidas pela UHE ILHA SOLTEIRA quanto ao nível de jusante da usina para N.A de máximo maximum (+286,05m) e levando-se também em consideração os requisitos eletromecânicos de distância cabo-água foi possível estabelecer o nível do topo das fundações (nível da interface stub-concreto), sendo este igual à +287,05m. Como diretriz, além de contemplar adequadamente a distância cabo-água, o topo da fundação foi estabelecido a uma altura que garantisse que os componentes da estrutura da torre (stubs) não estejam susceptíveis à condição submersa durante a vida útil do empreendimento (topo da fundação à 100cm do N.A máximo maximum).

Em complemento aos dados de níveis do N.A de máximo maximum, N.A mínimo e nível de distância cabo-água já disponíveis, foi realizada campanha de batimetria na posição de cada torre a ser implantada, de forma a se identificar no momento da realização deste procedimento a espessura da camada de água do rio.

A FIGURA 2 apresenta um relatório de batimetria realizado:

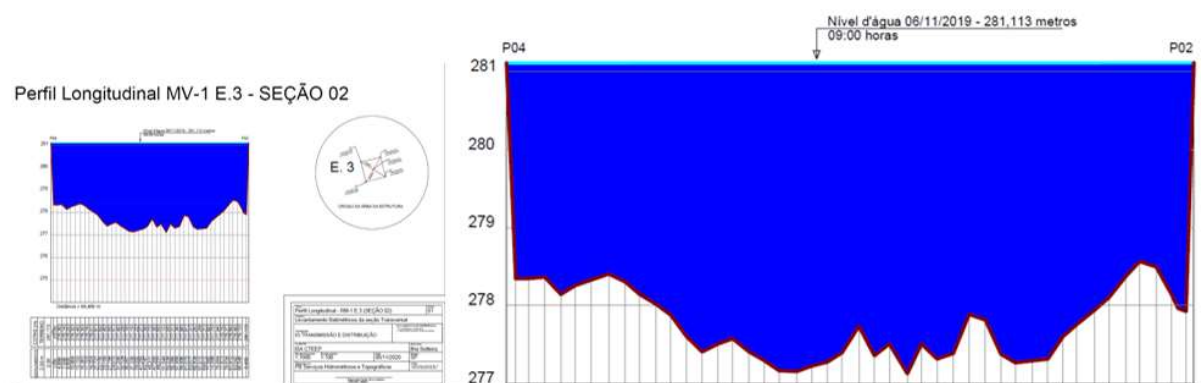


FIGURA 2 –Relatório de batimetria realizado em uma torre da travessia.

A estimativa de altura das colunas das fundações foi então obtida com base na análise de nível mínimo do fundo do leito do rio no local de cada torre, nível da batimetria, nível do N.A máximo da água (máximo maximum) e requisitos de distância cabo-água, além da consulta aos boletins de sondagens para a identificação do nível do topo de rocha sã.

Como resultado foram definidas as alturas das fundações (distância em o nível do engastamento nas rochas e nível do topo da fundação), com a torre ITSP tendo 14,05m de altura de projeto e a torre ITAT com 11,50m de altura de projeto.

As distâncias entre eixos das colunas nas direções transversal e longitudinal foram definidas a partir dos requisitos de distâncias entre stubs apresentados nos projetos de estruturas metálicas das torres considerando-se a composição de montagem das extensões em cada posição da travessia.

Tendo em vista a solução adotada, os trechos das fundações ancoradas na rocha são extensões naturais das colunas.

Como já informado, o projeto também contou com informações providas de sondagens mistas já disponíveis previamente à elaboração dos projetos de travessia que foram realizadas no leito do rio. Estas sondagens identificaram topos rochosos e, em alguns casos, verificou-se uma camada de solo aluvionar e fragmentos de rocha.

Por fim, conforme já indicado, sendo dois tipos de estruturas (ITPS e ITAT), foram gerados dois projetos distintos para contemplar as particularidades de cada tipo de torre. A FIGURA 3 apresenta as imagens relativas aos projetos:

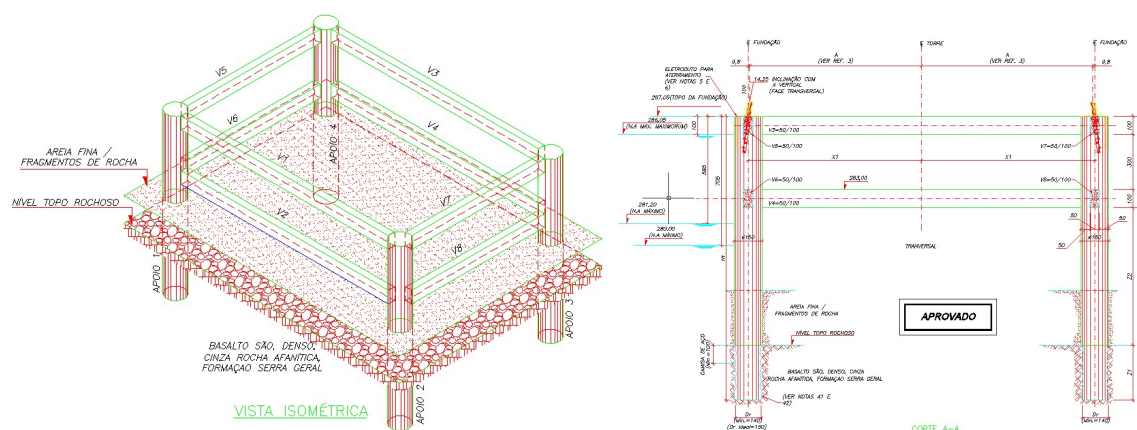


FIGURA 3 – Concepção do projeto de fundações para travessia do rio Paraná

3. PRESENÇA DE SOLUÇÕES SIMILARES NO LOCAL

A solução de engenharia de fundações adotada nos projetos ora tratados já possui condição similar nesta mesma região de travessia (LTs existentes). A FIGURA 4 apresenta fundações também da travessia do rio Paraná, pertencente à uma LT próxima:



FIGURA 4 –Fundação existente no local (LT próxima).

4. CARREGAMENTOS, COMBINAÇÕES DE AÇÕES

Para o desenvolvimento dos projetos de fundações os carregamentos considerados nas combinações de ações foram o peso-próprio da estrutura (avaliado pelo software utilizado), as cargas críticas providas das torres (obtidas nas memórias de cálculo das torres), os efeitos de empuxo de água, as forças de vento nas fundações e as forças de arrasto nas fundações decorrentes da correnteza do rio.

4.1. Cargas das torres

As cargas nas torres foram dimensionadas conforme IEC 60826 para um período de retorno de $T=500$ anos. Conforme esta norma estas cargas são de natureza última (cargas já majoradas), sendo fornecidas pelo projetista da estrutura metálica.

O projeto da torre disponibilizou a velocidade de referência do vento para $T=500$ anos e $T=50$ anos.

Admitindo-se que a pressão de vento gerada pela velocidade de referência associada a $T=50$ anos tem natureza em termos de valores característicos e tendo em vista que a pressão de vento para $T=500$ anos é em termos de valores últimos, foi possível inferir a relação entre estas pressões (considerando a mesma rugosidade do terreno para as duas determinações).

O resultado final desta relação (que tem impacto direto nos esforços nas fundações) foi da ordem de 1,70.

Neste contexto, foram apresentadas nos projetos das torres as cargas nos quatro apoios para todas as hipóteses consideradas para o dimensionamento das estruturas metálicas (ações decorrentes da análise dos ventos máximo e de alta intensidade).

Para fins de modelagem estrutural, cargas atuando transversalmente ao eixo da LT foram acopladas ao eixo X-X, cargas longitudinais consideradas sobre o eixo Y-Y e cargas verticais ascendentes ou descendentes atuando segundo o eixo Z-Z.

De forma a garantir uma análise estrutural mais realista e visando também questões associadas à economia, para as condições críticas de carregamentos as cargas das torres foram introduzidas no modelo de elementos finitos conforme presentes em cada apoio (e não com o mesmo carregamento máximo em todos os apoios de forma simultânea).

Desta forma, identificada a condição de ação máxima associada à compressão, o carregamento do modelo em elementos finitos se deu com o conjunto de forças no apoio que detém a condição crítica (incluindo as cargas transversais) e com as cargas nos demais apoios atuando simultaneamente.

Esta condição de análise conduz, portanto, à um apoio com o estado de compressão máximo, um apoio com compressão intermediária e outros dois apoios submetidos às trações.

Este protocolo também foi aplicado para tração crítica.

A Figura 5 apresenta a modelagem em elementos finitos com as cargas providas da torre (compressão crítica e tração crítica), respectivamente. Nesta figura são apresentadas as cargas extremas da ITAT.

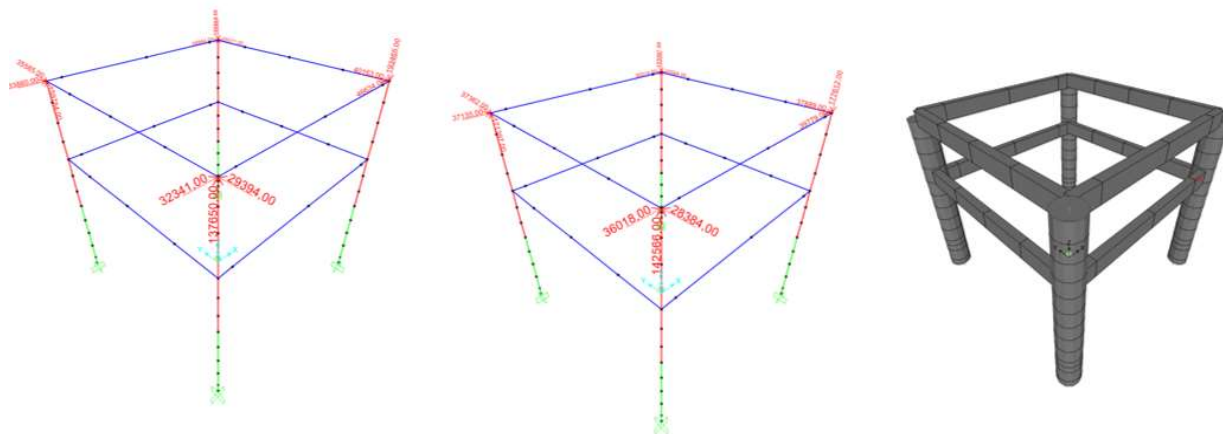


FIGURA 5 –Modelo em elementos finitos com cargas máximas da torre ITAT na compressão e tração, respectivamente

Para cada uma das torres o projeto da estrutura metálica analisou 11 hipóteses distintas de ações, observando-se que cada hipótese admite variações na magnitude de cargas (condição máxima, reduzida, alternância de ruptura de cabo, etc.), promovendo ao final uma quantidade substancial de hipóteses distintas estudadas.

Para ITAT as condições de máxima compressão e máxima tração nas fundações foram identificadas na hipótese de cabos intactos com vento transversal máximo à 90 graus.

Já para ITPS as condições de máxima compressão e máxima tração nas fundações foram identificadas na hipótese de cabos intactos com vento máximo à 60 graus.

4.2. Cargas da correnteza – transversal e ascendente (empuxo)

Para as cargas de fluxo do rio foram considerados os efeitos de empuxo de água (carga vertical ascendente) e as forças de pressão e arrasto decorrentes da correnteza do rio em colunas e vigas (quando aplicável). Em termos de acurácia da magnitude das ações, as definições de valores das cargas laterais decorrentes da correnteza à jusante da usina encerraram maiores incertezas que os demais carregamentos. Admitiu-se inicialmente que a velocidade de referência do fluxo da correnteza era de 2,0m/s (dado de entrada para definição das forças solicitantes decorrentes desta ação).

Esta estimativa inicial de velocidade da correnteza foi obtida através do acesso à projetos já existentes e similares na região.

O estudo de batimetria realizado posteriormente à esta estimativa validou esta premissa (velocidade obtida na batimetria de 1,93 m/s), não sendo necessário portanto revisão do projeto.

Em termos de esforços decorrentes desta solicitação, foram consideradas duas condições básicas:

- Condição em que o fluxo de água se encontra no N.A +286,05(máximo), resultando na situação extrema de esforço lateral nas colunas e esforço de empuxo de água tanto em colunas quanto em vigas. Neste cenário as ações decorrentes de vento em vigas e colunas são mínimas (menor trecho de atuação do esforço).
- Condição em que o fluxo de água se encontra no N.A +280,00(mínimo), resultando na condição mínima de esforço lateral e esforço de empuxo nas colunas e sem esforço de empuxo nas vigas. Nesta situação as ações decorrentes de vento em vigas e colunas são máximas.

Para a avaliação dos efeitos do esforço da correnteza foram analisadas as condições de fluxo à 90 graus, 45 graus e 0 graus em relação ao eixo da LT.

4.3. Cargas de vento nas fundações

As pressões de vento consideradas para as torres (vento máximo e vento de alta intensidade) foram também consideradas atuando dos trechos de fundação acima no N.A das hipóteses analisadas (pressões conforme IEC 60826).

Para este caso coeficientes de arrasto foram considerados para fins de estimativa das forças de vento.

Conceitos da ABNT NBR 6123 também foram empregados para a definição das ações finais atuantes (conceito desta norma relativo ao fator baseado em conceitos probabilísticos).

Conforme anteriormente apresentado, a altura do N.A do rio define as condições de ação de vento em trecho máximo exposto e trecho mínimo exposto das fundações.

Também para a avaliação dos efeitos do esforço de vento nas fundações foram analisadas as condições de fluxo à 90 graus, 45 graus e 0 graus em relação ao eixo da LT.

4.4. Combinações de ações

Para os projetos de fundações foram geradas 80 hipóteses de cargas contemplando as condições críticas para flexo-tração e flexo-compressão considerando-se as situações de vento máximo e vento de alta intensidade atuando tanto na torre quanto na região exposta das fundações (acima no nível do rio) para níveis de água N.A máximo e N.A mínimo. Foram consideradas as forças nas direções de vento na estrutura e de correnteza à 90 graus, 45 graus e 0 graus (em relação ao eixo da LT). A partir dos resultados de ações obtidas das hipóteses avaliadas foi possível analisar a envoltória de esforços com vistas a identificação das condições críticas para cada estado limite atuante nas estruturas.

Na FIGURA 6 são apresentadas todas as cargas consideradas na análise, tendo estas sido combinadas adequadamente nas hipóteses a partir da análise de probabilidade de simultaneidade de ocorrência.

DESCRIÇÃO	DESIGNAÇÃO
PESO-PRÓPRIO	PP
COMPRESSÃO HIP. CRÍTICA VENTO MÁXIMO	COMPR-MAX-3-60
TRAÇÃO HIP. CRÍTICA VENTO MÁXIMO	TRACAO-MAX-3-60R
Empuxo-NA cond. MAX MAX	Empuxo-NA MAX MAX
Força de vento na viga dir X	F1 n viga X
Força de vento na coluna dir X	F1 n coluna X
Força de vento na viga dir Y	F1 n viga Y
Força de vento na coluna dir Y	F1 n coluna Y
Força da correnteza direção-X-abaxo do NA. MIN	Fc-X-INF
Força da correnteza direção-Y-abaxo do NA. MIN	Fc-Y-INF
Componente de corenteza na coluna dir. X -45 graus - N.A MIN.	Fc-45X-INF
Componente de corenteza na coluna dir. Y -45 graus - N.A MIN.	Fc-45Y-INF
Empuxo de água N.A MIN	Empuxo-NA MIN
Força da correnteza dir. Y na viga- N.A MAX MAX	FcvigaX
Força da correnteza dir. X na viga- N.A MAX MAX	FcvigaY
Força da correnteza dir-X em colunas - n.a MAX MAX	Fc-X-SUP
Força da correnteza dir-Y em colunas - n.a MAX MAX	Fc-Y-SUP
Componente de corenteza na coluna dir. X -45 graus - N.A MAX. MAX	Fc-45X-SUP
Componente de corenteza na coluna dir. Y -45 graus - N.A MAX. MAX	Fc-45Y-SUP
Empuxo nas vigas inferiores para NA. MAX. MAX.	Empuxo VIGA NA MAX. MAX.
COMPRESSÃO HIP. CRÍTICA VENTO DE ALTA INTENSIDADE	COMPR-INT-9
TRAÇÃO HIP. CRÍTICA VENTO DE ALTA INTENSIDADE	TRACAO-INT-9R

FIGURA 6 – Carregamentos considerados atuantes nas fundações, combinados adequadamente nas hipóteses.

4.5. Fator de sequência preferencial de falha.

No dimensionamento das fundações para estados limites últimos foi considerado um fator de sequência preferencial de falha (“fator adicional”) sobre cargas atuantes desfavoráveis à segurança no valor de 1,20(exceto para as cargas laterais da correnteza, onde se considerou um fator de 2,0). Para ações de natureza permanente favoráveis à segurança aplicou-se um fator de 0,90 e ações de natureza variável favoráveis à segurança não entraram nas combinações de ações. Além os estados limites últimos, estados de serviço associados aos deslocamentos também foram avaliados.

4.6. análise estrutural

Para cada um dos tipos fundações de torres foi desenvolvida uma modelagem em elementos finitos. Foram realizados estudos distintos de análise estrutural para as fundações das torres ITPS e ITAT, sendo avaliadas ações para o dimensionamento dos estados limites últimos, associados à ruína da estrutura, e para estados limites de serviço, associados aos deslocamentos da estrutura.

A análise estrutural considerou que as estruturas se comportam com linearidade geométrica, sendo que para a linearidade física considerou-se uma rigidez final do sistema de 80% da rigidez plena (admitindo estágio de fissuração do concreto).

Apesar da não realização de análise dos efeitos da não-linearidade geométrica (incrementos de deslocamentos em 2ª ordem), foi desenvolvida análise em primeira ordem para identificação dos deslocamentos de cada uma das colunas e deslocamentos diferenciais entre apoios (deslocamentos relativos).

No âmbito dos deslocamentos diferenciais entre apoios, a avaliação teve por finalidade identificar se estes deslocamentos poderiam introduzir esforços não previstos nas estruturas metálicas das torres e/ou poderiam violar a condição de contorno básica de análise estrutural destas torres onde os apoios são admitidos indelocáveis.

Já a avaliação dos deslocamentos de cada uma das colunas buscou identificar se estes deslocamentos poderiam gerar efeitos secundários (momentos e esforços não previstos) cuja magnitude pudesse prejudicar ou interferir no desempenho das fundações. Os deslocamentos obtidos ao final das análises foram de pequena magnitude em todos os casos analisados, mesmo estando estes baseados em ações de combinações últimas.

Os pequenos resultados de deslocamentos validam o procedimento de análise em 1ª ordem geométrica.

Como exemplo, para a fundação da ITSP o máximo deslocamento lateral de topo foi de 1,89cm na condição crítica de esforço em estado limite último.

Além da análise aplicada às fundações, foi realizada consulta ao projetista das torres que também considerou os deslocamentos como sendo de relativa baixa magnitude.

Mesmo tendo sido identificados deslocamentos relativamente pequenos, no projeto de fundações optou-se por considerar tais deslocamentos no dimensionamento das fundações, conforme sugere o esquema da FIGURA 7:

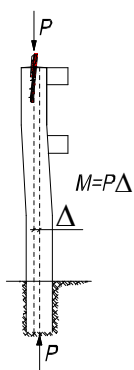


FIGURA 7 – Efeito de amplificação de momentos na estrutura em função dos deslocamentos de 1ª ordem considerados no dimensionamento das fundações.

5. DIMENSIONAMENTO DAS FUNDAÇÕES

Uma vez obtidas as condições críticas de esforços para as fundações tanto na flexo-compressão quanto na flexo-tração procedeu-se o dimensionamento das estruturas em concreto armado conforme conceitos da engenharia de estruturas e orientações da ABNT NBR 6118.

6. SONDAGENS

Sondagens pré-existentis do leito do rio indicavam a presença de maciço rochoso competente (basalto são). Sobrejacente a este basalto, em alguns casos (resultado dos boletins), verificou-se a presença de uma camada de solo aluvionar e fragmentos de rocha. Os trechos sem a presença de rocha são foram desconsiderados para fins de dimensionamento das ancoragens das fundações. A FIGURA 8 apresenta uma sondagem típica local e um afloramento rochoso na margem do rio:

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM MISTA									
Cliente: ISA CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista									
Local: LT 440kV Três Irmãos - Ilha Solteira C2									
Folha: 1/00									
Data: 20/10/2019									
Folha: 1/1									
Escala: 1:100									
Sondagem nº: SP - SM - 01									
VERTICAL		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	
FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA		FOLHA	

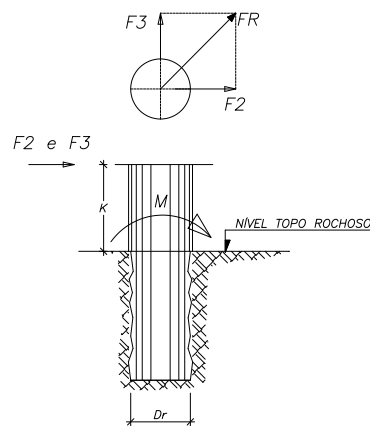


FIGURA 10 –Dimensionamento do engastamento na rocha

8. INÍCIO DAS ATIVIDADES DE CAMPO

Em setembro de 2021 iniciou-se os trabalhos de execução das fundações, sendo que a mobilização das atividades teve início cerca de dois meses antes.

Os trabalhos de execução em campo são de alta complexidade logística e técnica conforme sugere a figura 11:



FIGURA 11 –Fotos do início das atividades de campo.

9. CONCLUSÕES

Os projetos de fundações de travessia do rio Paraná possuem condições de contorno que os tornam de caráter especial, agregando maior complexidade de projeto e execução.

Além das condições já usuais de projetos de fundações para LTs, o fato das fundações das torres ITPS e ITAT estarem localizadas no leito do rio, à jusante da HIDRELÉTRICA DE ILHA SOLTEIRA e, portanto, submetidas às condições adversas impostas pela correnteza, assim como a altura destas fundações, impõem dificuldades e cuidados especiais de análise e dimensionamento.

As atividades de execução, também de elevada complexidade, tiveram início em setembro de 2021.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) IEC 60826:2017 - DESIGN CRITERIA OF OVERHEAD TRANSMISSION LINES;
- 2) ABNT NBR 6122 - PROJETO E EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES;
- 3) ABNT NBR 6118 - PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO – PROCEDIMENTO;
- 4) ABNT NBR 14931 - EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO – PROCEDIMENTO;
- 5) ABNT NBR 6123 - FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES;

- 6) ANALYSIS OF LATERALLY LOADED SHAFTS IN ROCK- CARTER E HULHAMY – 1992;
- 7) ANALYSIS OF LATERALLY LOADED DRILLED SHAFTS IN ROCK - KE YANG - MAY, 2006;
- 8) ROCK-SOCKETED SHAFTS FOR HIGHWAY STRUCTURE FOUNDATIONS - WASHINGTON, D.C. – 2006;
- 9) NUMERICAL ANALYSIS OF LATERALLY LOADED PILES AFFECTED BY BEDROCK DEPTH – 26 SEPTEMBER 2018.

DADOS BIOGRÁFICOS



Alex de Barros é engenheiro civil pela UFMG/2000, mestre em engenharia de estruturas pela UFMG/2010. É diretor da TURING ENGENHARIA, empresa especializada em projetos de fundações para LTs. Acumula mais de 11.000 km em projetos. Trabalha com projetos na área de energia há mais de 20 anos. Participou da COMISSÃO de revisão da norma da NBR 6122 como representante/líder da força tarefa do Grupo de Fundações do CIGRÉ-Brasil. Participou do XVI ERIAC (Argentina/2014) e do XXIII SNPTTE (Brasil / 2015) na condição de palestrante. Foi professor universitário da PUC – Minas e outras.

11. (2) ALESSANDRO MARQUES DAS NEVES

Alessandro Marques das Neves. Graduação em Eng. Civil - UEM, Brasil. (2001-2007); Mestrado em Pós-graduação em Engenharia Civil - Área de Estruturas - UEM, Brasil. (2013-2015); Coordenador técnico nas áreas de projetos Cíveis pela - I.G.-TD com abrangente experiência na área de projetos executivos de fundações para estruturas metálicas de LTs. aéreas e subterrâneas com classes de 69kV a 500kV e projetos civis para SEs. Artigos publicados: 1. MARQUES DAS NEVES; REIS,. Failure probability of helical foundation piles of transmission towers. GEOTECNIA (LISBOA), v. 139, 2017. 2. REIS; NEVES, 2. Previsão de Capacidade de Carga de Estacas Helicoidais. REVISTA TECNOLÓGICA, v. 1, 2015.

(3) GABRIELA DE SOUZA RODRIGUES

Nascida em 1992 em Andradina, SP. Engenheira Civil pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB) em 2016, Especialista em Geotecnia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG) em 2019 e mestranda em Geotecnia pela Universidade de São Paulo (USP). Atualmente trabalha como Engenheira Civil de Linhas de Transmissão na ISA CTEEP.