

Inspeção, diagnóstico, projeto e execução de reforço de fundações da torre de uma igreja com interesse histórico e cultural

Inspection, diagnosis, design and execution of foundation reinforcement for a church tower of historical and cultural significance.

(1) Haroldo de Mayo Bernardes

(2) Rogério Moreno Leal

(3) Paulo Cesar Lapa

(1) Livre Docente pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira UNESP, Engenheiro Civil

(2) Especialista em Estruturas pela Escola de Engenharia de Lins UNILINS, Engenheiro Civil

(3) Especialista em Engenharia de Avaliação e Patologias em Edificações pela UNIP, Engenheiro Civil

Endereço para correspondência - (1) hmayob@gmail.com haroldo.bernardes@unesp.br (14)996516872

Endereço para correspondência - (2) morenorl@terra.com.br

Endereço para correspondência - (3) lapafundacoes@gmail.co

Resumo

Este trabalho relata os trabalhos de inspeção, diagnóstico e reforço de fundações da torre do Santuário Sagrado Coração de Jesus, patrimônio histórico e cultural, com 36 metros de altura e pesando mil toneladas, localizada em Vera Cruz, estado de São Paulo. Inaugurada em 1954, a estrutura foi executada sobre um conjunto de estacas de madeira do tipo guarantã. Com o passar de 30 anos foi identificada uma inclinação, atribuída a infiltração de água, uma vez que o solo da região é colapsível e adotadas medidas para melhorar a impermeabilização. No entanto, inspeções e a instrumentação da torre a partir de 2014 mostraram que a movimentação continuava. Foi diagnosticada deterioração das estacas, elaborado um projeto e executado reforço da fundação, com 20 estacas escavadas com 15 metros de comprimento e um sistema de vigas formando uma grelha de transição, com consumo de aproximadamente 180 metros cúbicos de concreto e 20 toneladas de vergalhões de aço.

Palavra-Chave: Reforço de fundação, Monitoramento estrutural, Vigas de transição

Abstract

This work reports on the inspection, diagnosis, and foundation reinforcement of the tower of the church Santuário Sagrado Coração de Jesus, a historical and cultural landmark, 36 meters high and weighing one thousand tons, located in Vera Cruz, São Paulo state. Inaugurated in 1954, the structure was built on a set of wooden piles. Over 30 years, an inclination was identified, attributed to water infiltration, since the soil in the region is collapsible, and measures were adopted to improve waterproofing. However, inspections and instrumentation of the tower from 2014 onwards showed that the movement continued. Deterioration of the piles was diagnosed, a project was drawn up and foundation reinforcement was carried out, with 20 excavated piles 15 meters long and a system of beams forming a transition grid, consuming approximately 180 cubic meters of concrete and 20 tons of steel rebar.

Keywords: Foundation reinforcement, Structural monitoring, Transition beams

1 Introdução

O presente trabalho refere-se a inspeção, diagnóstico, projeto e execução de reforço de fundações da torre do Santuário do Sagrado Coração de Jesus, em Vera Cruz SP, igreja com interesse histórico e cultural, em processo de tombamento pelo Condephaat, por conter pinturas do escritório do famoso artista Benedito Calixto. O objetivo é apresentar os procedimentos para detecção dos problemas e as premissas adotadas na concepção da solução, consideração de carregamentos, obtenção de resultados dos esforços, deslocamentos e estabilidade da estrutura, bem como dimensionamento, detalhamento e os procedimentos de execução.

1.1 Problema Analisado

Objeto do estudo é a observação e reparo de uma edificação composta de 04 núcleos estruturais de 7,40m² em alvenaria sendo 1 pavimento térreo + 5 pavimentos Laje com 6,0m de altura entre lajes + Escultura de arte no topo com 6,0m de altura, totalizando aproximadamente 340,20m² num total de 41,40m de altura. A estrutura da torre faz parte da nave principal corpo do Santuário, porém construída de forma independente levando a análise e cálculo de forma independente também.

1.1.1 Histórico

O sistema estrutural adotado para na construção, que data da década de 60, foi o sistema paredes de alvenaria em tijolos maciços, vigas em concreto para apoio das lajes maciças apoiadas nos núcleos de alvenaria. Os núcleos são por sua vez apoiadas em uma laje (radier) em concreto de seixos medindo aproximadamente 11,0 x 11,0m e altura de 55cm, apoiada por sua vez em estacas de madeira cravadas no solo.

A estabilidade é garantida pelas lajes e vigas em concreto armado que unem os 4 núcleos estruturais em alvenaria, formando um bloco conciso para absorção das sobrecargas e força do vento.

A fundação como mencionado foram executadas por meio de estacas de madeira cravada no solo e uma laje radier em concreto composto por agregados areia e seixo rolado típicos da época e da região.

A estrutura está dividida em 5 pavimentos de aproximadamente 6,0m e 1 pavimento (último) com 9,15m de altura entre lajes totalizando 41,40m de altura.

Na figura 1 é mostrada uma imagem real da edificação.

Os documentos de engenharia e arquitetura tais como desenhos e croquis disponíveis datam de 1964 conforme mostrado na figura 2.

Não foi disponibilizado o projeto estrutural original ou dados técnicos de engenharia e construção, portanto durante o processo de captação de informações foi necessário a sondagem in loco das condições das fundações conforme também é mostrada a seguir.



Figura 1 – Vista frontal do Santuário Sagrado Coração de Jesus (Acervo próprio)

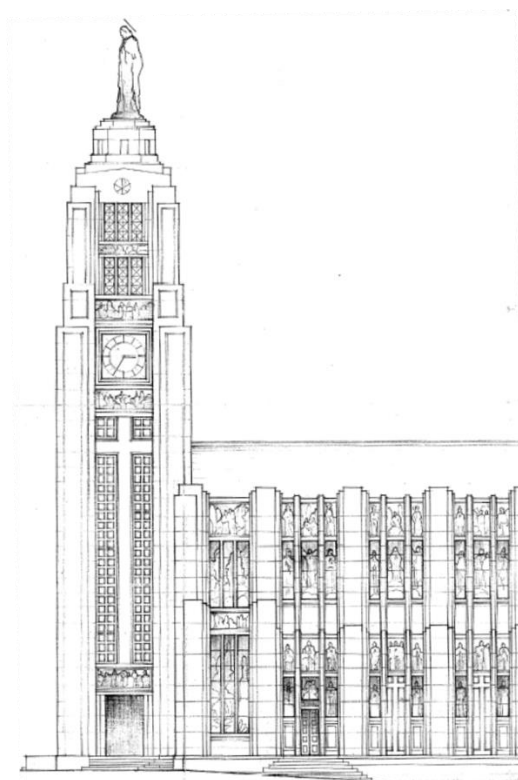


Figura 2 – Croqui arquitetônico original – 1964 (Acervo próprio)



Núcleo Estrutural em Alvenaria



Núcleo Estrutural em Alvenaria

Figura 3 – Vistas frontais (Acervo próprio)

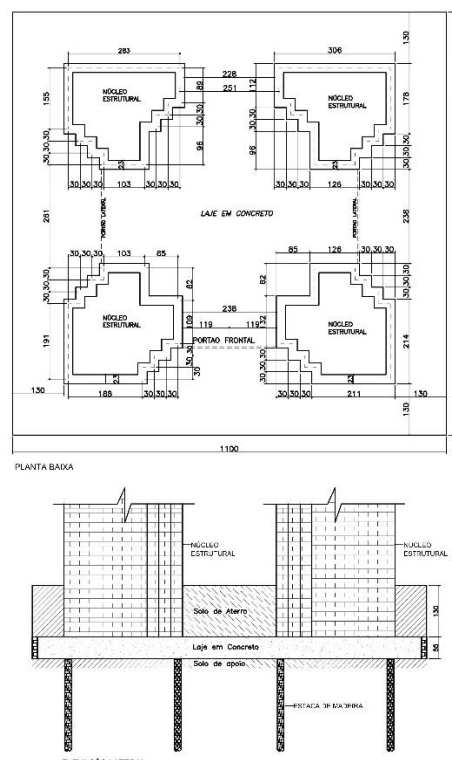


Figura 4 – Croqui esquemático

2 Observação e instrumentação de inclinações na estrutura

O Santuário do Sagrado Coração de Jesus foi construído a partir de 1935. No período de construção a comunidade colaborou de várias formas, principalmente financeiramente. Era um período de fartura devido às exportações de café. A torre, com aproximadamente 42 metros de altura, foi construída no início da década de 1950 e assentada sobre estacas de madeira, que seria do tipo guarantã, de acordo com relatos de antigos moradores. O projeto arquitetônico foi realizado pelo mestre paulista Benedito Calixto de Jesus Netto. O desempenho da estrutura ao longo dos anos apresentou grandes deformações, deslocamentos e recalque diferencial, sendo os responsáveis pelas grandes fissuras nas paredes e deformações da laje internas, como mostrado na figura 5. Por volta do ano 1986, um topógrafo da Prefeitura Municipal de Vera Cruz, utilizando um teodolito, percebeu acidentalmente que a torre apresentava uma inclinação para a frente, aparentando ser de aproximadamente 30,0cm. Nos anos 1990 foram tomadas algumas medidas, como a impermeabilização do terreno no entorno da torre, com a troca do piso, visando reduzir eventuais recalques.

Como a abertura de fissuras persistia, em 2015 um trabalho acadêmico desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira LEON (2015). O projeto realizado teve como objetivo o monitoramento do deslocamento de rotação da torre do Santuário, para acompanhar, dando subsídios para o planejamento de um projeto de recuperação estrutural e mitigação de seus efeitos, como fissuras, infiltrações e danos às gravuras de Benedito Calixto pintadas nas paredes do Santuário. Tais pinturas fazem parte do patrimônio cultural do estado de São Paulo, sendo, inclusive, objeto de tombamento pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico Arqueológico, Artístico e Turístico (CONDEPHAAT) KUHLE (2005); POLETINI (2003).

Com esse objetivo foi instalado na torre um instrumento, inspirado no “Pêndulo Direto”, utilizado em barragens ABMS (2014); BERNARDES (2002); ELETROBRAS (2001); ICOLD (2013); ITAIPU (1992); MEDEIROS (2003); PIRES (2020). É um fio de prumo com uma base fixa para medição. No caso do Santuário, optou-se por realizar leituras anuais e adotar como medidor uma régua com precisão de milímetro.

Na figura 6, se a torre tivesse sido construída numa vertical perfeita, o fio de prumo deveria passar pelo centro da coluna, mas não é o que se observa. A distância do fio de prumo ao centro da coluna era de 27,8cm no ano 2021. Considerando que o comprimento do pêndulo é de 30,88m, o ângulo formado era de 0,0009rad ou uma inclinação de 0,9%. Esta inclinação pode ser a inclinação total efetivamente ocorrida mas, como as medições se iniciaram tardiamente, pode também embutir inclinação de construção.

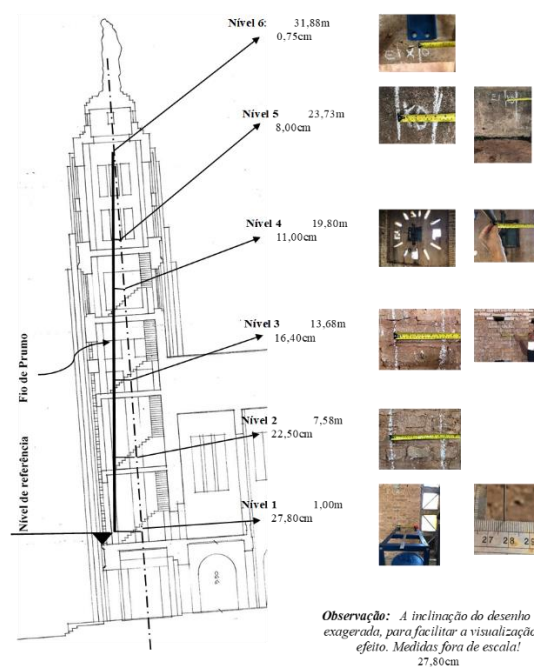
2 Sondagem e vistoria in loco

Conforme mencionado anteriormente a sondagem se fez necessária devido a ausência do projeto estrutural bem como detalhes técnicos da construção.

A sondagem da estrutura se divide em duas etapas: inspeção da superestrutura e infraestrutura (fundação) ALONSO (2011); CAMPOS (2015); HACHICH (1988); MILITITSKY (2015); MINA (2005); VELLOSO (2010).



Figura 5 – Deslocamentos (Deformação) da laje interna e fissura da parede (Acervo próprio)



Corte transversal da Torre

Figura 6 – Corte transversal da torre: inclinação de 27,80cm em 30,88m (Acervo próprio)

A vistoria da superestrutura foi realizada por meio de visitas in loco incluindo conferência das dimensões geométricas e levantamento fotográfico. Para a infraestrutura foi realizado 3 poços de visitas com aproximadamente 1,5x1,0x2,3m, podendo ser observado a face inferior da laje radier, como mostrado nas figuras seguintes.



Figura 7 – Vista interna da superestrutura (Acervo próprio)



Figura 8 – Vista interna da superestrutura no pavimento térreo (Acervo próprio)

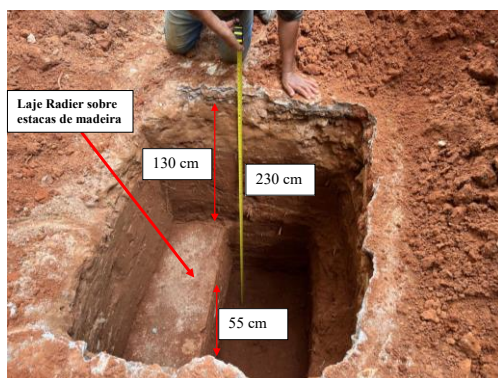


Figura 9 – Poço de visita infraestrutura (Acervo próprio)



Figura 10 – Vista sob a laje radier (Acervo próprio)

A sondagem do solo local da edificação é apresentada a seguir.

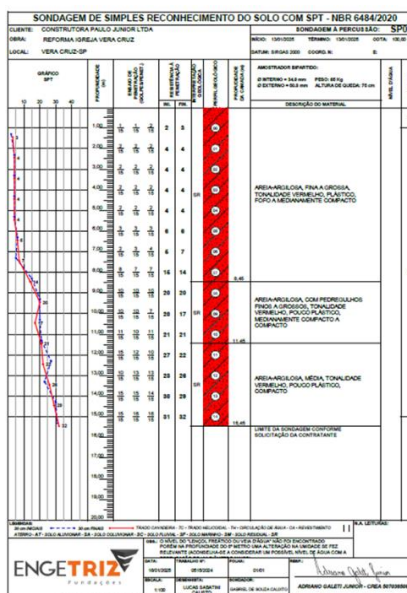


Figura 11 – Sondagem de simples reconhecimento de solo SP01 (Acervo Engetriz Fundações)

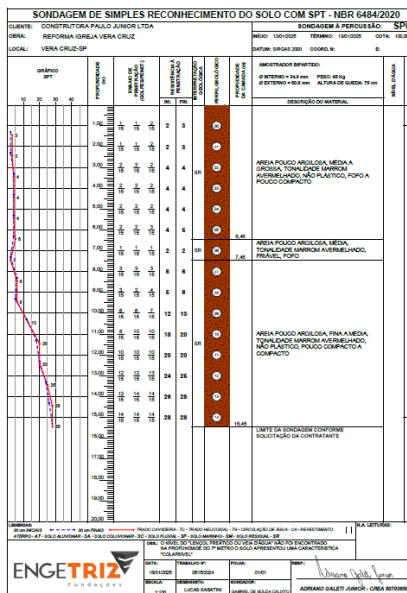


Figura 12 – Sondagem de simples reconhecimento de solo SP02 (Acervo Engetriz Fundações)

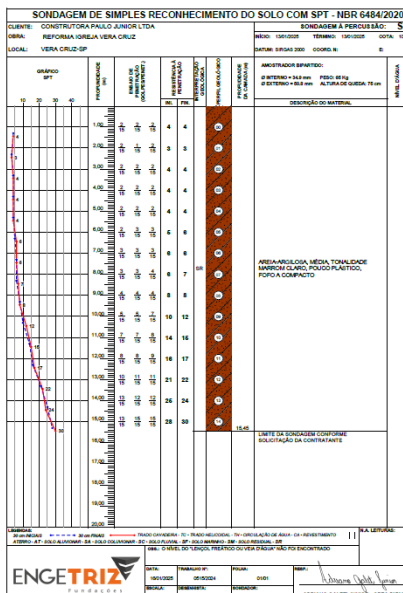


Figura 13 – Sondagem de simples reconhecimento de solo SP03 (Acervo Engetriz Fundações)

3 Solução com grelha de transição sobre estacas

A solução utilizada consiste na adoção de uma grelha de transição assentada sobre estacas mega e estacas escavadas tipo hélice contínua.

4.1 Estacas Mega

A estaca mega é uma ótima opção para reforço de fundação devido a sua relativa facilidade de execução e economia. Porém é necessário um elemento sólido de reação tais como laje, vigas ou blocos em concreto armado.

Na edificação do estudo consta de uma laje de concreto de seixo com altura de 55cm porém de armadura desconhecida.

Devido a pequena rigidez da laje para elemento de reação, grandeza das cargas como mencionado no item 12 e principalmente a grande profundidade da camada resistente essa não se mostra uma boa solução para o reforço do núcleo.

4.2 Novas fundações profundas anexas

A construção de uma nova fundação profunda anexa bem como um novo elemento de transferência de carga e reação se mostra a solução mais viável.

Como pode ser visto no relatório de sondagem o perfil do solo é de areia argilosa fofa a compacta com características de solo colapsível em alguns trechos. Sendo assim a opção para estacas laterais serão do tipo hélice contínua.

4.3.1 Estacas hélice contínua

A estaca hélice contínua monitorada é uma fundação do tipo profunda, de concreto moldado in loco. A sua execução é mediante a introdução de um trado helicoidal em rotação no terreno para posterior injeção de concreto pela haste central do trado simultaneamente à sua retirada.

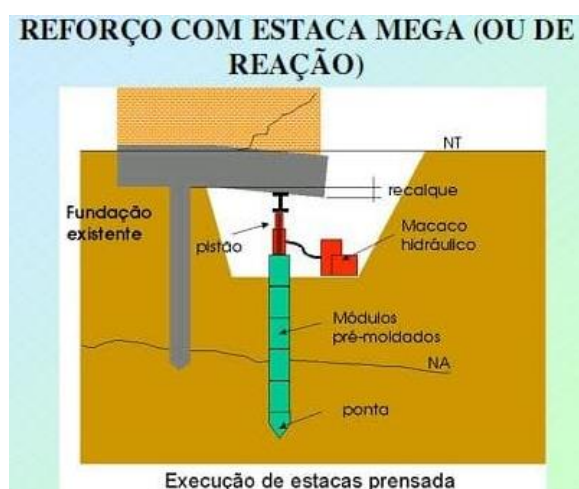


Figura 14 – Reforço de fundação tipo estaca mega (Acervo próprio)

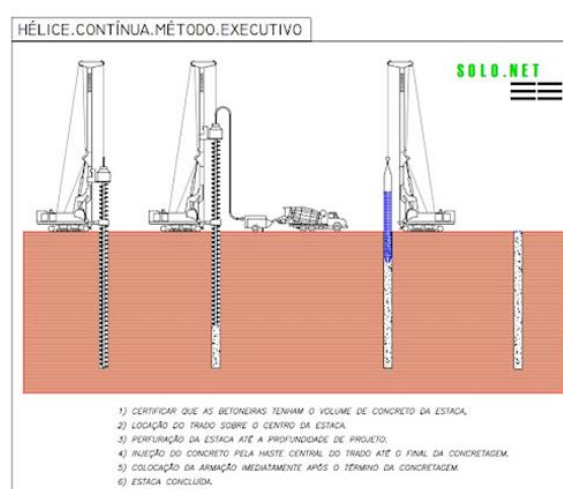


Figura 15 – Método executivo de estaca hélice contínua (SOLO.NET (2026))

4 Arranjo e análise estrutural

5.1 Arranjo estrutural

A solução adotada será a construção de um bloco sólido (laje) ligado a estacas tangentes por meio de vigas corridas e tipo console ABNT (2014) (2019) (1988) (2022), como mostra a figura 16.

Figura 16 – Planta baixa preliminar da estrutura para o reforço (Acervo próprio)

5.2 Modelagem da solução adotada

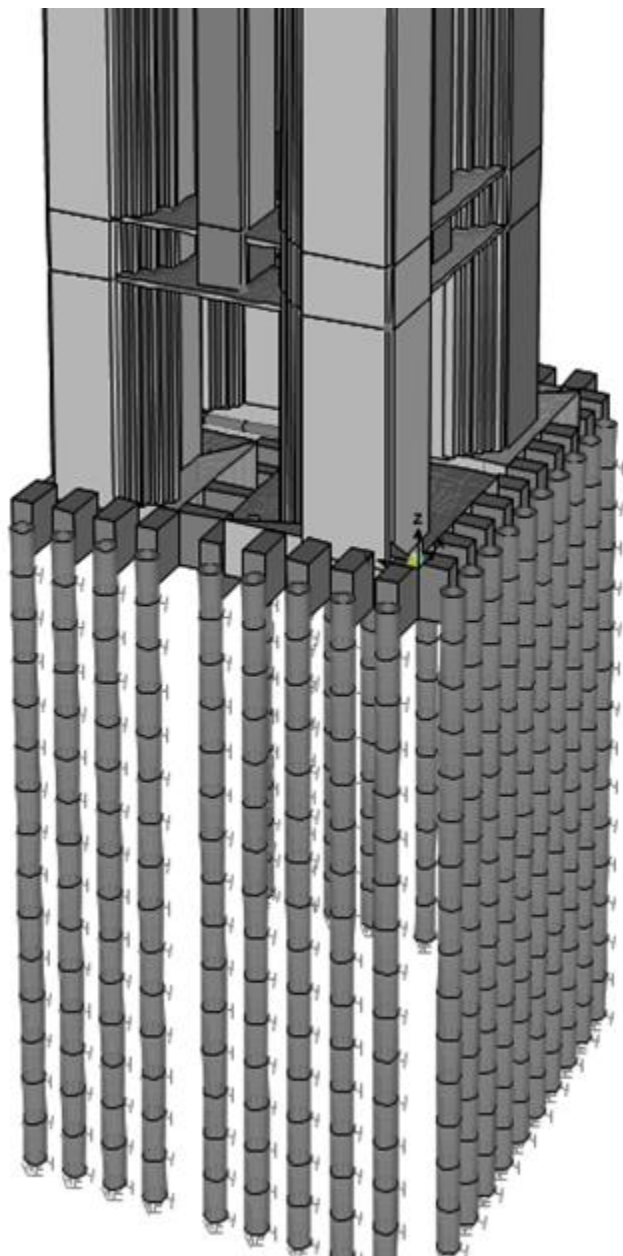


Figura 17 – Modelo teórico para asolução adotada – SAP2000 (Acervo próprio)

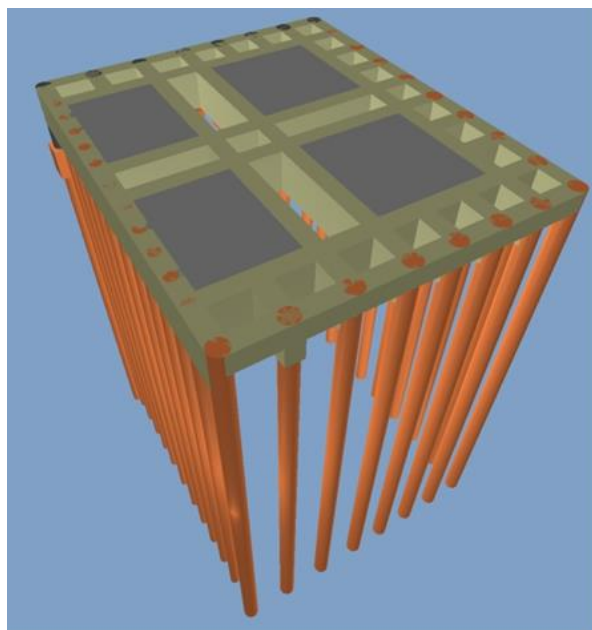


Figura 18 – Modelo teórico para asolução adotada – Eberick v.2020 (Acervo próprio)

5.3 Esforços e deslocamentos

Foram obtidos os esforços tais como momentos fletores e esforço axial nas estacas para os dois modelos já mencionados SAP e EBERICK.

Os valores de deslocamento resultaram abaixo de 6mm nos dois modelos. Os momentos fletores nas vigas são da ordem de 120 a 154tf.m enquanto nas Lajes radier variam de 15tf.m a 180tf.m. As estacas externas tem esforços de compressão variando entre +4,0tf de Tração a -154tf de compressão e momento fletor máximo no topo no engaste com a viga da ordem de 10,0tf.m a 37,0tf.m.

5.4 Dimensionamento preliminar dos elementos estruturais novos

A intenção do pré-dimensionamento ou checagem preliminar visa aferir os resultados de dimensionamento providos automaticamente do software EBERICK, do qual sairá todo o detalhamento executivo.

Para o pré dimensionamento da viga e laje será utilizada as tabelas gerais elaborada por Marcos Vinícius N. Moreira e Libânio M. Pinheiro.

VIGAS DE BORDA

B= 50cm

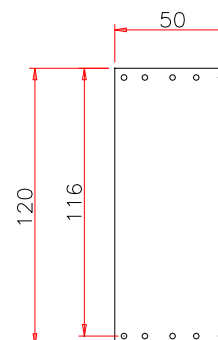
H=120cm

Msd = 154 tf.m = 154.000kN.cm

$K_c = b \cdot d^2 / M_{sd} = 50 \cdot 116^2 / 154000 = 4,36$

$F_{ck} = 40\text{Mpa} > K_s = 0,024 \text{ p/ CA50}$

$A_s = K_s \cdot M_d / d = 0,024 \cdot 154000 / 116 = 31,86\text{cm}^2$ (9Ø22,2mm ou 7Ø25,0mm)



LAJE RADIER

H=120cm

Msd = 50 tf.m = 180.000kN.cm

$K_c = b \cdot d^2 / M_{sd} = 100 \cdot 116^2 / 180000 = 7,47$

$F_{ck} = 40\text{Mpa} > K_s = 0,024 \text{ p/ CA50}$

$A_s = K_s \cdot M_d / d = 0,024 \cdot 180000 / 116 = 37,24\text{cm}^2$ (10Ø22,2mm ou 8Ø25,0mm)

Para o pré dimensionamento a flexão composta da estaca será utilizado os ábacos de Montoya.

ESTACAS

D=50cm

Nsd = -154tf = 1540 kN

Msd = 37 tf.m = 37.000kN.cm

$\gamma_c = 1,6 \mid \gamma_f = 1,4 \mid \gamma_s = 1,15$

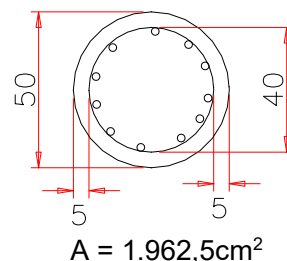
$F_{ck} = 40\text{Mpa}$

$F_{cd} = 0,85 \cdot 40 / 1,6 = 21,25\text{Mpa}$

$F_{yd} = 50 / 1,15 = 43,47 \text{ kN/cm}^2$

$n = N_{sd} / (d \cdot b^2 \cdot F_{cd}) = 1540 / (50^2 \cdot 21,25) = 0,29$

$m = M_{sd} / (d \cdot b^3 \cdot F_{cd}) = 37000 / (50^3 \cdot 21,25) = 0,14 > \rho = 0,40$



$A_s = \rho \cdot A_c \cdot F_{cd} / F_{yd} = 0,40 \cdot 1962,5 \cdot 21,25 / 43,47 = 38,37\text{cm}^2$ (10Ø22,2mm ou 8Ø25,0mm)

5.4 Detalhamento executivo

O projeto estrutural, sob responsabilidade da empresa VEXUS Engenharia, apresenta

detalhamento executivo incluindo cortes, dobras e listas de materiais e foi executado utilizando-se do software EBERICK, onde segue as prerrogativas da NBR 6118.

5.4.1 Transferência de carga dos núcleos para as lajes

A transferência de carga se dará por dois dispositivos: barras de transferências e aderência do concreto a parede do núcleo conforme ilustrado na figura a seguir.

5.4.1.1 Barras de transferência

Será utilizado como barras de transferência vergalhões transpassados na parede do núcleo bem como as barras longitudinais em x e y da laje a ser construída.

A seguir é apresentado um detalhe ilustrativo e também orientações para a execução.

5.4.1.2 Aderência do concreto à parede do núcleo

Será considerado também a parcela de carga devido a aderência (atrito) entre as paredes do núcleo em alvenaria e o concreto da laje.

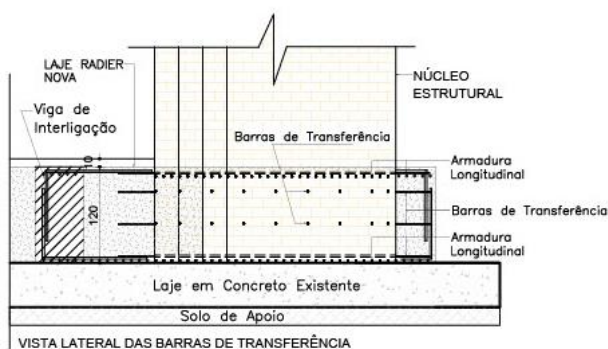


Figura 19 – Vista lateral das barras de transferencia (Acervo próprio)

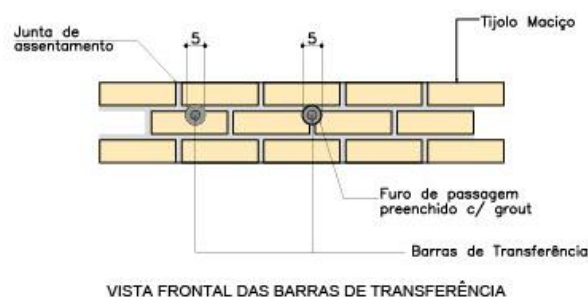


Figura 20 – Vista frontal das barras de transferencia (Acervo próprio)

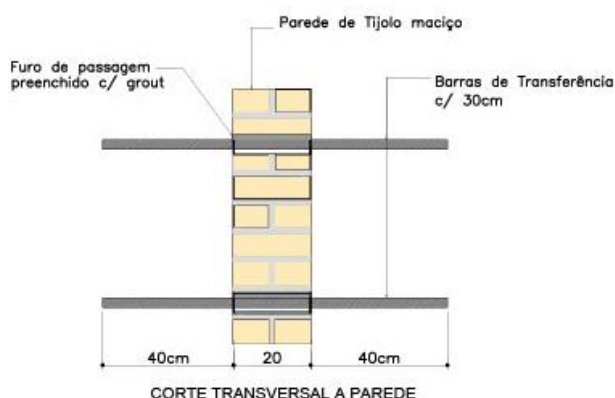


Figura 21 – Corte transversal à parede (Acervo próprio)

5 Execução do reforço estrutural

A seguir será apontada as etapas executivas da obra as quais poderão ser alteradas para melhor produtividade, segurança ou economia conforme a experiência e conhecimento da equipe ou construtora responsável pela execução:

- 1- Tapumes e serviços preliminares
- 2- Demolição do piso existente
- 3- Retirada do aterro sobre a laje
- 4- Limpeza total da superfície da laje radier existente
- 5- Gabarito e locação da obra
- 6- Locação do eixo das estacas
- 7- Escavação das estacas tipo Hélice contínua c/ concretagem simultânea a retirada da hélice até o fundo da laje existente, figura 24.
- 8- Colocação da armação das estacas, figura 25.
- 9- Colocação da armação do console sob a laje existente
- 10- Formas e Armação das vigas de borda, figura 26.
- 11- Furação das paredes do núcleo e introdução das barras de transferência
- 12- Preenchimento imediato do furo com grout
- 13- Armação da Laje Radier nova
- 14- Concretagem das vigas e da laje radier
- 15- Execução das estacas tipo Mega após a cura do concreto

6 Conclusões

A inspeção visual e a posterior instrumentação da torre foram fundamentais para o processo de tomada de decisão para intervir e fazer o reforço das fundações. Conforme se suspeitava, constatou-se após a realização de escavações que as estacas de madeira estavam degradadas e perdendo a capacidade de suporte. A realização de sondagens mostrou, ainda a existência de um solo colapsível com baixas resistências laterais nos primeiros metros a partir da superfície. Durante todo o processo, a falta de documentação técnica adequada, que mostrasse o arranjo exato das estruturas e das fundações, foi um fator complicador. Somente ao longo das escavações e prospecções foi se tornando clara, por exemplo, a existência de pilares de concreto no interior dos núcleos estruturais, ocultos por alvenaria. A forma exata do arranjo das fundações, com sapatas sobre radier acima das estacas de madeira, também só foi desvendada após escavações e desbaste da alvenaria em torno das sapatas. Todo esse trabalho de prospecção precisou ser executado alterando o contorno da fundação que já apresentava insuficiência. Uma proposta de solução que havia sido proposta inicialmente teve que ser atualizada tendo em vista as descobertas obtidas com as escavações. A solução inicial de uma grelha de transição sobre 24 estacas escavadas foi adotada. Posteriormente, tendo em vista as dificuldades de posicionamento do equipamento de escavação, o número de estacas escavadas foi reduzido para 20, sendo as 4 restantes substituídas por estacas de reação. Após a concretagem das grelhas de reação, o trabalho de monitoramento com o Pêndulo continua, com a expectativa de que a movimentação da torre cesse.



Figura 24 – Escavação das estacas tipo hélice (Acervo próprio)



Figura 25 – Colocação da armação das estacas tipo hélice (Acervo próprio)



Figura 26 – Armação das vigas de borda (Acervo próprio)

7 Referências

ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

ABMS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA / ABEF. **Manual de execução de fundações e geotecnia**: práticas recomendadas. São Paulo, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**. Força devido aos ventos em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**. Projeto de estruturas de madeira - Parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro, 2022.

BERNARDES, H. M.; ROCHA FILHO, C. M.; RODRIGUES, R. O. Interpretação de deslocamentos em barragens de concreto utilizando o método da análise quantitativa - Caso do conjunto tomada d'água / casa de força da UHE Três Irmãos. In: JORNADAS

SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 30., Brasília. **Anais...** Brasília: Universidade de Brasília, 2002. v. 1. p. 1-10.

CAMPOS, J. C. **Elementos de fundações de concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

ELETROBRAS. **Diretrizes para instrumentação de barragens**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2001.

HACHICH, W. et al. (Ed.). **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI/ABMS, 1998.

ICOLD - INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Dam surveillance guide**. Paris: ICOLD, 2013. (Boletim 158)

ITAIPU BINACIONAL. **Descrição de funcionamento** – Pêndulo direto/invertido. Foz do Iguaçu: Departamento de Engenharia Civil e Obras Próprias, 1992.

KUHL, B. M. **Arquitetura do Ferro e Arquitetura Eclética / Revivalista: Questões de Preservação**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2005.

LEON, G. R.; BARROS, L. G.; KOBORI, R. H. Preservação do Santuário do Sagrado Coração de Jesus – Projeto Pêndulo Direto. CONGRESSO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA DA UNESP, 8., 2015, Ilha Solteira. **Diálogos da extensão: do saber acadêmico à prática social**. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/52ee252e-dc1b-48f5-b952-bda958bb49ad/content>> Acesso em: 3 jul. 2026.

MEDEIROS, C. H. Segurança e auscultação de barragens. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 25., 2003, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: CBDB, 2003. p. 13–50.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MINA, A. J. S. **Estudo de estacas de madeira para fundações de pontes**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PIRES, T. M. Instrumentação e segurança de barragens. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 05, p. 122-140, 2020.

POLETINI, M. **Um estudo das obras sacras de Benedito Calixto**. 2003. Dissertação (Mestrado em História da Arte) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2003.

SANTAMARIA, F. **A linguagem dos símbolos**. 2. ed. Vera Cruz, SP: Santuário Sagrado Coração de Jesus, 2024.

SOLO.NET - FUNDAÇÕES. **Escavação de tubulão**. Disponível em: <http://www.solonet.eng.br/Duvidas/escava_tub.htm>. Acesso em: 6 jul. 2026.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações profundas**. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2010. v. 2.