

MEMORIAL DESCRITIVO

ENDEREÇO: RUA HENRIQUE LUPO

PROPRIETÁRIO / LOCATÁRIO: DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE ARARAQUARA

IMÓVEL: FUNDAÇÕES PARA RESERVATÓRIO DE ÁGUA METÁLICO

DATA DE REFERÊNCIA: MAIO 2023

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O presente documento é dedicado a descrever o processo de projeto das fundações de um reservatório de água potável com capacidade de 500 m³, localizado à rua Henrique Lupo em Araraquara (SP), de propriedade do Departamento Autônomo de Água e Esgotos de Araraquara.

O reservatório é concebido em estrutura metálica, com peso estimado em 20 toneladas, possuindo raio de 4 metros e altura de 8 metros. Será empregada solução em radier estaqueado para a fundação, em formato circular com raio de 4.3 metros.

Neste Memorial, serão expostos os métodos de cálculo de elementos de fundação, abrangendo-se tanto o cálculo estrutural em si quanto a verificação da resistência do solo, de modo a se compreender a solução final para esta obra.

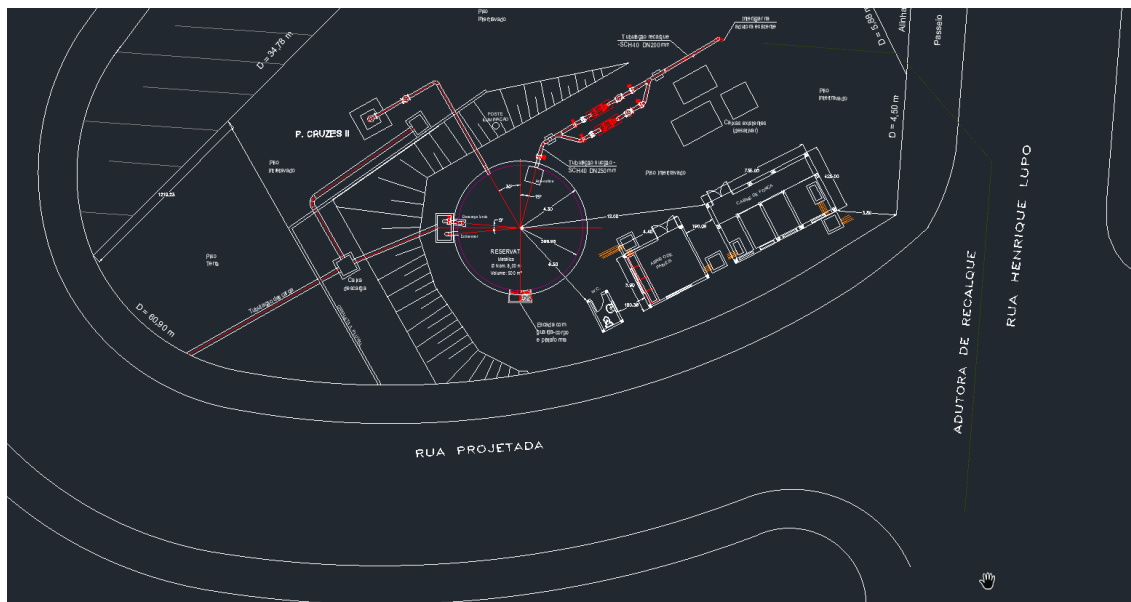


Figura 1. Planta de localização do reservatório.

Os métodos de modelagem e cálculo empregados neste projeto são baseados na literatura afim, com destaque às seguintes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas:

- NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto —Procedimento

- NBR 6122:2019 - Projeto e execução de fundações
- NBR 6120:2019 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações

Demais conteúdos são empregados durante o desenvolvimento, as quais serão citadas ao longo do texto, de modo a se obter um resultado o mais apropriado possível às melhores e mais atuais práticas de projeto e execução.

2. SOLO DE FUNDAÇÃO: INTERPRETAÇÃO DO ENSAIO SPT

Foram realizadas duas perfurações para o ensaio SPT no solo de fundação do reservatório, de modo que foram locados diametralmente opostos um ao outro.

Apresentado valores de N_{SPT} similares de acordo com a cota de profundidade, dos resultados do ensaio realizado são extraídas as seguintes conclusões acerca do solo de fundação do reservatório, tomando-se o furo SP2 como referência a adotar no desenvolvimento deste projeto:

- A primeira camada de solo, com altura de 1.05 metros, é basicamente composta de solo de aterro. Devido à alta compressibilidade deste tipo de solo, não será considerada a resistência de fundação do radier na resistência global do conjunto radier-estaca. Para fins de modelagem estrutural, esta camada é ignorada.
- Da cota 1.05 metros até 11.50 metros, o solo é composto de silte argiloso mole, com N_{SPT} reduzido (em torno de 4).
- A partir da cota de 11.50 metros, a resistência do solo aumenta rapidamente, tendo-se silte argiloso de rijo a duro, partindo nesta cota de $N_{SPT} = 16$ para $N_{SPT} = 48$ na cota 12.50 metros. Na cota 13.50 metros, tem-se $N_{SPT} = 30/10$ e na de 14.50 metros, tem-se $N_{SPT} = 32/11$, sendo então o ensaio encerrado a pedido do cliente, conforme relatório.
- Verificam-se alguns “saltos” do valor de N_{SPT} ao longo da profundidade. Este são ignorados para efeitos de cálculo e substituídos e interpolados com base no valor adjacente e subjacente.

Com base nas informações precedentes, opta-se pela solução de radier estaqueado, de forma que para as estacas a empregar, será considerada essencialmente a resistência de ponta, posto que a resistência do solo só será útil nas suas camadas mais profundas.

Utiliza-se o método de Aoki-Velloso (1975) para cálculo da resistência das estacas a empregar, sendo tal método empregado largamente na literatura afim. Além disto, a escolha se dá pelo método possuir maior precisão na estimativa de resistência de ponta de estacas de fundação.

A estimativa de perda de resistência por efeito de grupo é dada conforme regra de Feld (Poulos & Davis, 1980), método também largamente utilizado na literatura afim.

3. MODELAGEM ESTRUTURAL

A modelagem estrutural é feita pelo *software* de elementos finitos SAP 2000, considerado bastante adequado a esta finalidade, permitindo-se modelando com precisão o comportamento da fundação com o solo no entorno. Ademais, devido à relativa maior complexidade do problema, o emprego do Método dos Elementos Finitos torna-se bastante adequado.

Os resultados preliminares extraídos da modelagem são elencados a seguir:

- Laje do radier: distribuição de momentos principais no elemento de casca para cálculo armadura de flexão, além da distribuição de cortantes máximas para verificação ao cisalhamento. A carga distribuída pelo peso da água é de 100 kN/m². Resultado: as verificações conduzirão à mais adequada espessura da laje, otimizando-se os consumos de aço e concreto.
- Estacas: distribuição de força axial e momento fletor no elemento de barra. Resultado preliminar: como esperado, a resistência de fuste da estaca é totalmente desprezada, utilizando-se para fins de dimensionamento somente a resistência de ponta da estaca. Devido esta configuração, os recalques do radier, além de uniformes, são extremamente reduzidos e podem ser desprezados. São empregadas 16 estacas conforme Figura 2.
- As vigas do radier (cintas em azul, roxo e laranja), conforme planta na Figura 3, são empregadas para conferir maior inércia à flexão da laje maciça, melhorando também a resistência à cortante. Nas vigas perimetrais, é distribuída a carga de 20 toneladas do reservatório metálico. Resultado preliminar: logo, tem-se um radier nervurado. Como verificado, este não interage no modelo com o solo de fundação abaixo, transferindo integralmente suas cargas às estacas.
- Solo: possui seus valores de módulo de deformabilidade e módulo de Poisson extraídos da literatura afim em função do N_{SPT} , de modo a configurar os elementos finitos de volume empregados. Resultado preliminar: os recalques no solo no entorno da estaca são mínimos devido à elevada resistência de ponta, não apresentando deformações relevantes (ao contrário do caso de estacas flutuantes).

As figuras a seguir ilustram o processo de modelagem e seus resultados.

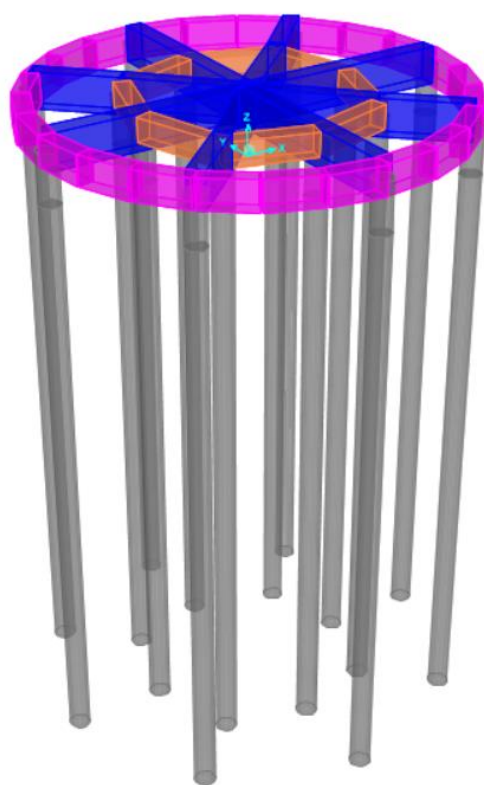


Figura 2. Modelagem em elementos finitos: vista tridimensional

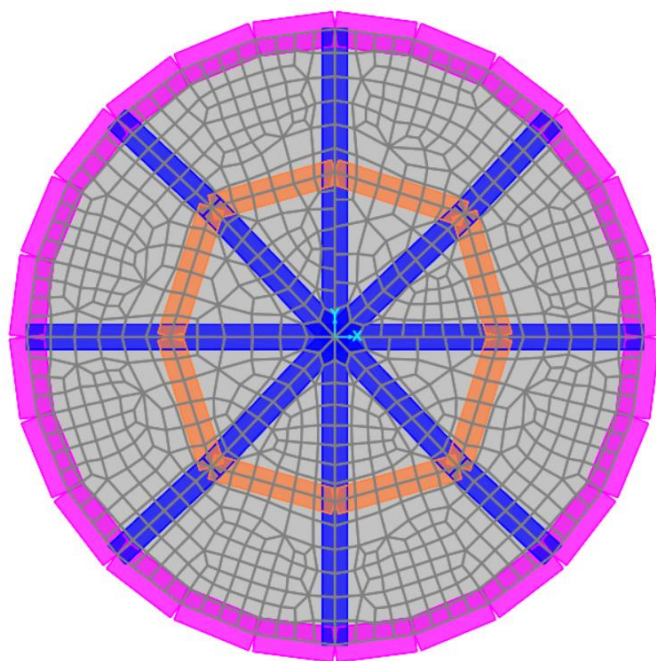


Figura 3. Modelagem em elementos finitos: planta

A
A_c

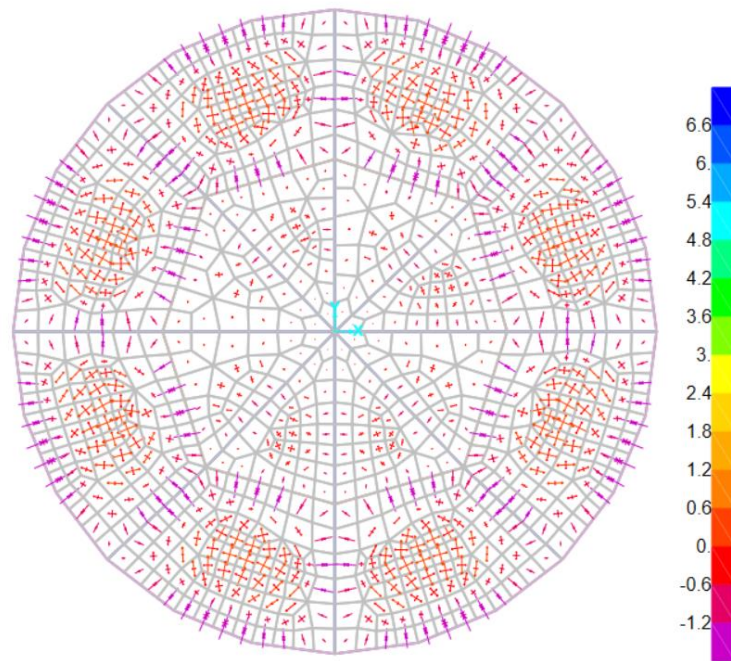


Figura 4. Distribuição de momentos fletores principais.

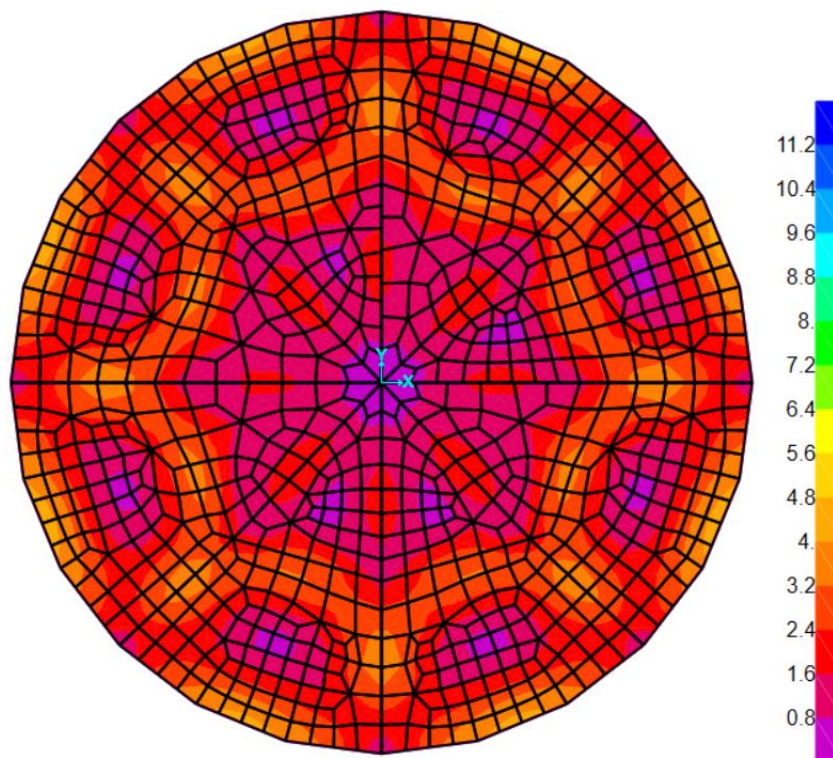


Figura 5. Distribuição de cortante máxima.

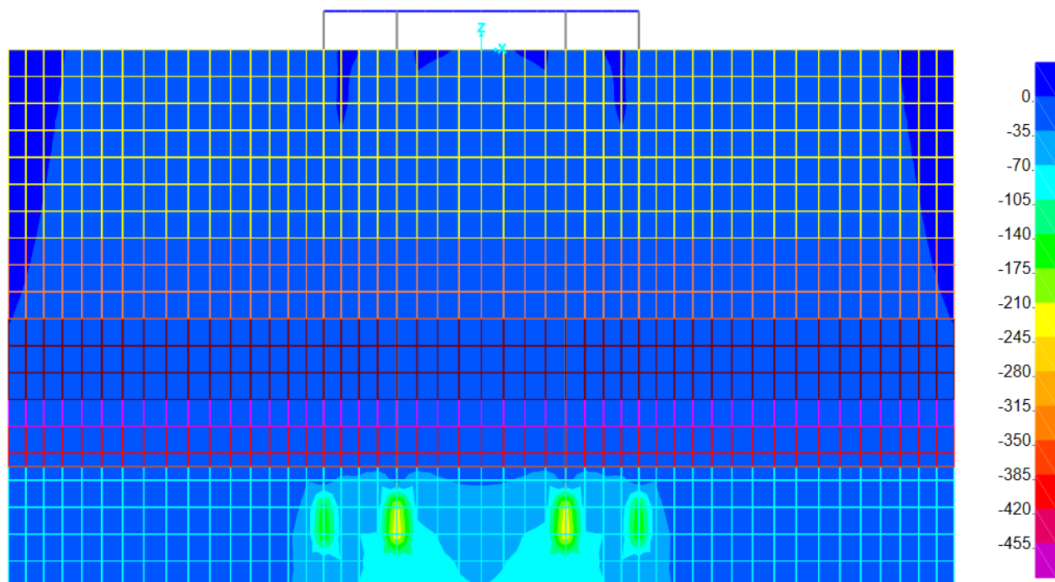


Figura 6. Distribuição de tensões verticais no solo de fundação.

4. RESULTADOS E OBSERVAÇÕES IMPORTANTES À EXECUÇÃO

Neste tópico, serão apresentados os resultados obtidos com base na modelagem em elementos finitos realizada e posterior cálculos de verificação afins ao projeto, com enfoque a observações importantes para o pleno desempenho da estrutura e quanto à sua execução.

4.1 MATERIAIS

Serão empregados exclusivamente os seguintes materiais para a obra:

- Concreto: fck 25 Mpa
- Aço: CA-50

4.2 ESTACAS DE FUNDAÇÃO

Com relação às fundações profundas da obra, a solução adotada é descrita como segue:

- A configuração final é de 16 estacas tipo Hélice Contínua (não aplicar outro método sem consultar o projetista) com 14 metros de profundidade e 45 centímetros de diâmetro. A cota de arrasamento é de no mínimo 150 cm centímetros.
- A distribuição de estacas, conforme planta de formas na Figura 7, é dada de forma radial, com 8 estacas no meio raio do radier e outras 8 no perímetro. Observação: como não é possível contar com a resistência do solo na superfície, é necessário o uso de estacas no perímetro, de modo se evitar um balanço com excessivamente carregado nas estacas ao meio raio.

- Serão instaladas duas armaduras nas estacas: uma correspondente à armadura da estaca propriamente dita para combate à momentos fletores; e outra para solidarizar a ancorar a viga radial (trabalhando como um “pilar oculto”).

Como observações importantes, ressalta-se o seguinte:

- Observação importante: as estacas ao meio raio possuem espaçamentos inferior a 3 diâmetros entre seus eixos, conforme recomenda as práticas de execução. Logo, é recomendado que o executor execute as estacas alternadamente em intervalos de 12 horas, de modo a se evitar desmoronamento do furo.
- É fundamental que a ponta da estaca atinja a camada com $N_{SPT} \geq 60$, devendo-se empregar equipamento apropriado para atingir tal limite.
- **NUNCA deve ser executado aterro ou obra com aumento expressivo da carga distribuída na superfície do solo no entorno do radier.** Isto pode ocasionar atrito negativo nas estacas, aumentando-se sua carga axial e levando à danos estruturais.
- **NUNCA deve ser executado nas proximidades do reservatório obras de movimentação de terra, como aterros e cortes de taludes, sem a análise prévia e anuência de um técnico especialista.** Isto pode levar à ocorrência de efeito Tshebotarioff, levando à ruptura das estacas de fundação por indução de empuxo lateral do solo.

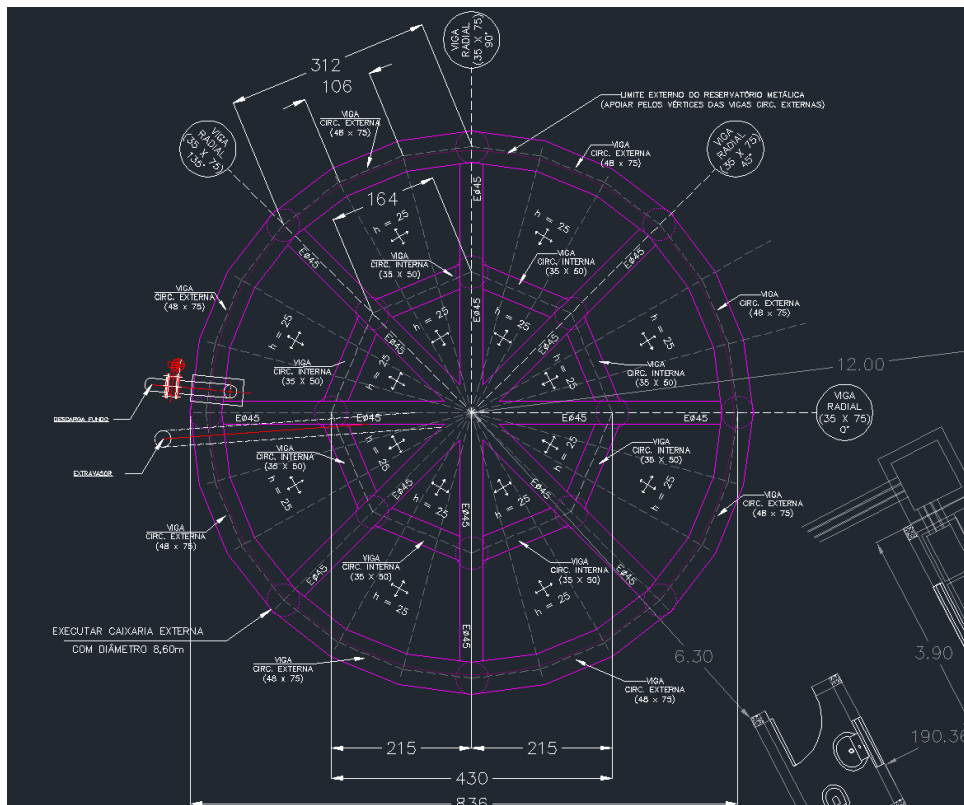


Figura 7. Planta de formas resultante.

4.3 VIGAS (CINTAS) DO RADIER)

As vigas do radier foram dimensionadas de modo a se atender simultaneamente ao Estado Limite Último das peças e ao Estado Limite de Fissuração, sendo este último fundamental ao desempenho da estrutura, visto que se entende que a fundação de um reservatório deva ter fissuração fortemente limitada. Para este projeto, em atendimento à NBR 6118:2014, limita-se a abertura de fissuras a $w \leq 0.15 \text{ mm}$ (ainda inferior a $w \leq 0.20$ recomendado para classe de agressividade IV), valores obtidos para as vigas empregando-se os métodos desta mesma norma.

Em adendo, tem-se uma tendência forte de abertura de fissuras na face superior do radier em contato com a água, acirrando-se a necessidade de controle deste evento.

Devido à elevada inércia das vigas e da laje, as deformações no radier são extremamente reduzidas, dispensadas para efeitos de verificação. Em suma, a solução adotada foi a seguinte:

- Conforme planta de formas, as vigas são detalhadas em 3 tipos: vigas radiais (35 cm x 75 cm), vigas circunferenciais internas (35 cm x 50 cm) e vigas circunferenciais externas (35 cm x 75 cm). A configuração é favorável à produção modulada das peças, aumentando-se a produtividade do canteiro, desenvolvendo-se o detalhamento mais prático e econômico possível.
- É válido destacar que as vigas radiais devem ser executadas com atenção no cruzamento ao centro do radier, amarrando-se as barras adequadamente e provendo dobras se necessário.

4.4 LAJE DO RADIER

No dimensionamento da laje do radier, a princípio, foi verificada a ocorrência de relevantes valores de momentos volventes, os quais se não adequadamente considerados, podem ocasionar subdimensionamento da armadura dos elementos, afetando seu desempenho. Além disto, devido ao formato irregular das lajes, tem-se uma distribuição não uniforme de momentos em comparação com elementos ortogonais.

Assim, lança-se à mão a visualização dos momentos principais que ocorrem nos elementos finitos de casca, de modo que o dimensionamento das armaduras seja orientado à distribuição destes momentos.

De forma geral, a distribuição de momentos principais, positivos e negativos, nas lajes triangulares (interiores) e trapezoidais (exteriores) possuem orientação radial (ou seja, na direção do raio) e orientação circunferencial (ou seja, na direção perpendicular ao raio) ao longo do radier. Logo, a armadura é calculada nestas direções. A espessura final da laje é de 25 centímetros.

A resistência à força cortante também é verificada, atendendo-se aos limites de segurança estipulados pela NBR 6118:2014 sem o emprego de armadura para este fim.

Seguem algumas observações importantes:

- É fundamental prover impermeabilização da laje na face superior. Recomenda-se que a mesma seja do tipo flexível.

- Para execução, aplicar obrigatoriamente lastro de brita de 5 centímetros de espessura sobre lona plástica dedicada a este fim.
- Respeitar o cobrimento da laje com espaçadores.
- Recomenda-se utilizar espaçadores do tipo caranguejo, dobrados *in loco*, ou treliça metálica, para fins de se disporem as armaduras superiores e inferiores.
- Amarrar armaduras com arame durante montagem, de modo que as barras não se movimentem durante a concretagem. Devido à elevada carga sobre a laje, não são admitidos grandes desvios com relação ao detalhamento.
- Recomenda-se utilizar fibra no concreto, de modo a se atenuar fissuração por cura ou retração. Outrossim, os cuidados com a cura da laje devem seguir as melhores práticas possíveis na construção civil.
- **Adequar cota de 10 cm acima da superfície do radier, conforme projeto preliminar. Empregar caixaria para este fim durante a concretagem.**
- **NUNCA percorrer tubulações de água dentro da laje do radier.** As mesmas devem atravessar abaixo do radier, interceptando a viga circunferencial externa a 20 cm da sua face inferior obrigatoriamente ao centro da viga. **De preferência, atravessar abaixo desta viga.**
- Instalar nichos de concreto para ancoragem do reservatório concêntricos às estacas de fundação.

5. CONCLUSÃO

Conforme fora deixado claro ao longo do texto, o processo de projeto da estrutura buscou o mais adequado possível equilíbrio entre verificação à segurança dos elementos, o seu desempenho em serviço, o consumo de materiais e praticidade em canteiro para execução. Para isto, o conhecimento técnico, seja este bibliográfico ou de modelagem computacional, é de fundamental importância, de modo a não se desenvolverem resultados além ou aquém da solução ideal.

É fundamental que o projeto seja executado com as melhores práticas construtivas disponíveis e fielmente ao projeto dado. Eventuais desvios significativos do projeto acarretarão perdão de desempenho e até mesmo ruptura de elementos da estrutura.

Enfim, surgindo-se necessidades eventuais de alteração do projeto, consultar imediatamente o projetista, de modo a se prover as devidas avaliações.

Araraquara, Março de 2023,

Rodolpho Prestes Del Nero Maia

Engenheiro Civil

CREA 5063278074

6. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT ABNT NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:Projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro - RJ, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de fundações. NBR 6122, ABNT, 2010. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sondagem a trado - procedimento. NBR 9603, ABNT, 2015.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118: 2014. 4. Ed. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2014.

CINTRA, J. C. A; AOKI, N. Fundações por estacas: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

POULOS, H G; DAVIS, E H. Pile foundation analysis and design. Sydney: Rainbow-bridge book co., 1980. 397 p.