

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Marcos Casasola Soldera**

**RESERVATÓRIO ELEVADO DE ÁGUA DO TIPO INTZE:  
VERIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE  
EXECUÇÃO**

Porto Alegre  
julho 2011

**MARCOS CASASOLA SOLDERA**

**RESERVATÓRIO ELEVADO DE ÁGUA DO TIPO INTZE:  
VERIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE  
EXECUÇÃO**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Ruy Alberto Cremonini**

Porto Alegre  
julho 2011

**MARCOS CASASOLA SOLDERA**

**RESERVATÓRIO ELEVADO DE ÁGUA DO TIPO INTZE:  
VERIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE  
EXECUÇÃO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2011

Prof. Ruy Alberto Cremonini  
Dr. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Engº Daniel Tregnago Pagnussat**  
Msc. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Roberto Domingo Rios (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)**  
Dr. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho a meus pais, Osvaldo e Beatriz, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Ruy Alberto Cremonini, orientador deste trabalho, pelo apoio e disposição em me orientar na elaboração do mesmo.

Agradeço também a Prof. Carin Maria Schmitt, que também esteve sempre disposta a me ajudar com as dúvidas relacionadas ao trabalho.

Há muitas maneiras de avançar, mas só uma maneira de  
ficar parado.

*Franklin D. Roosevelt*

## RESUMO

SOLDERA, M. C. **Reservatório elevado de água do tipo Intze:** verificação e descrição dos procedimentos de execução. 2011. 60 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Elemento essencial no sistema de abastecimento público de água, o reservatório é usado para o acúmulo da água, visando atender a variação do consumo, manter uma pressão mínima ou constante na rede e atender demandas de emergências. Dentre os diferentes tipos de reservatórios, segundo os diferentes critérios de classificação, estão os reservatórios elevados, que geralmente são usados para o abastecimento de pequenas populações, visto que apresentam um formato que não permite o acúmulo de grande volume de água. Entre os diversos tipos de reservatórios elevados de água, está o do tipo Intze, em concreto armado, o qual geralmente é adotado pela Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan) nas ocasiões em que o uso de reservatório elevado é o mais recomendado. A execução deste tipo de reservatório, assim como de outros tipos de obras da Companhia, é baseada nas normas técnicas relacionadas ao assunto e no seu Caderno de Encargos (CEC), documento este que apresenta o conhecimento técnico acumulado pela Corsan, sobre especificações básicas, critérios e procedimentos adotados na execução das obras e serviços de Engenharia. Entretanto, para algumas obras, como no caso dos reservatórios, as normas técnicas e o Caderno de Encargos não apresentam uma descrição de todos os procedimentos de execução, o que acarreta em dificuldades para as empresas contratadas para a execução da obra. Por isso, este trabalho descreve os procedimentos de execução de reservatório elevado de água do tipo Intze, verificando a convergência dos mesmos com a normalização vigente ao assunto, assim como às determinações do CEC. O estudo do CEC e das normas técnicas relacionadas a este tipo de obra permitiu o acompanhamento dos serviços realizados, e conseqüentemente, a descrição e verificação dos mesmos, assim como constatar algumas situações em que as regulamentações foram ou não atendidas, e diagnosticar eventuais problemas ocorridos durante a execução da obra. Finalizando, pode-se perceber a necessidade de atualização do CEC ao conteúdo das normas vigentes, em virtude de muitas das regulamentações deste documento serem de normas que já apresentam versões revisadas.

Palavras-chave: reservatório do tipo Intze; caderno de encargos; procedimentos de execução.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: diagrama do delineamento .....	15
Figura 2: vista frontal do reservatório, conforme projeto estrutural .....	21
Figura 3: corte transversal do reservatório, conforme projeto hidráulico .....	22
Figura 4: vista em corte da estrutura de apoio e acesso, conforme projeto hidráulico ....	23
Figura 5: corte transversal do reservatório, conforme projeto estrutural .....	24
Figura 6: corte das paredes do reservatório, conforme projeto estrutural .....	25
Figura 7: representação do escoramento do reservatório .....	29
Figura 8: travamento do escoramento do reservatório .....	29
Figura 9: representação do molde curvo usado na montagem da caixa da viga circular..	31
Figura 10: representação do fundo da viga circular .....	31
Figura 11: detalhe construtivo da viga circular e do fundo esférico .....	32
Figura 12: representação do escoramento e detalhe construtivo do fundo esférico .....	32
Figura 13: escoramento e detalhe construtivo do fundo esférico .....	33
Figura 14: representação do molde curvo do fundo esférico .....	33
Figura 15: escoramento do fundo inclinado e fôrma do fundo esférico .....	35
Figura 16: escoramento do fundo inclinado .....	35
Figura 17: fôrmas do fundo esférico e fundo inclinado .....	36
Figura 18: fôrmas do lado interno do fundo inclinado .....	37
Figura 19: sistema de travamento das fôrmas do fundo inclinado .....	37
Figura 20: detalhe dos espaçadores tipo núcleo perdido e cone .....	38
Figura 21: representação do anel da viga da parede do cilindro externo .....	38
Figura 22: fôrmas externas da parede do reservatório .....	39
Figura 23: escoramento da parede do reservatório .....	41
Figura 24: escoras da parede do reservatório .....	41
Figura 25: escoras e fôrmas internas da parede do reservatório .....	42
Figura 26: fôrma da parede do cilindro interno .....	42
Figura 27: sistema para nivelamento da superfície do fundo esférico e inclinado .....	48
Figura 28: início da concretagem do fundo e complementação do topo da viga circular	48
Figura 29: lançamento e vibração do concreto no fundo inclinado .....	49
Figura 30: nivelamento da superfície do fundo inclinado .....	49
Figura 31: lança do caminhão-bomba usada na concretagem da parede do reservatório	51
Figura 32: lançamento do concreto na parede do reservatório .....	52



Figura 33: apoios de neoprene usados no topo da parede do reservatório, conforme projeto estrutural .....	53
Figura 34: abertura do cilindro interno e isopor usado na junta de concretagem .....	53
Figura 35: caranguejo e espaçadores do tipo cadeira .....	55
Figura 36: espaçadores do tipo roseta .....	55
Figura 37: parede do reservatório com o reparo de argamassa estrutural .....	57

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>13</b>
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	13
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	13
<b>2.2.1 Objetivo Principal .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2 Objetivos Secundários .....</b>	<b>13</b>
2.3 DELIMITAÇÕES .....	14
2.4 LIMITAÇÕES .....	14
2.5 DELINEAMENTO .....	14
<b>3 SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA .....</b>	<b>17</b>
3.1 DESCRIÇÃO E COMPONENTES .....	17
3.2 RESERVATÓRIO ELEVADO DE ÁGUA DO TIPO INTZE .....	19
<b>4 DESCRIÇÃO E VERIFICAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DE FÔRMAS, CONCRETO E ARMADURAS PARA RESERVATÓRIOS ELEVADOS DE ÁGUA .....</b>	<b>26</b>
4.1 DESCRIÇÃO E VERIFICAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO .....	27
<b>4.1.1 Fôrmas e escoramentos .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1.2 Concreto .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1.3 Armaduras .....</b>	<b>54</b>
4.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	56
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>58</b>
REFERÊNCIAS .....	60



## 1 INTRODUÇÃO

Em toda e qualquer obra de Engenharia, os procedimentos adotados para os diversos serviços, sejam eles em termos de projeto ou execução, geralmente estão baseados em normas técnicas que regulamentam e definem a maneira como estes devem ser desenvolvidos. Porém, em determinadas situações, as normas referem-se aos seus componentes de forma ampla e generalizada, não fazendo referência ou estabelecendo critérios para as diferentes peculiaridades que possam surgir dentro de variações do mesmo. Inseridos nesse contexto estão os reservatórios de água.

Os reservatórios de água são elementos componentes do sistema de abastecimento público de água, o qual visa atender as necessidades básicas das comunidades, para que as mesmas tenham uma condição de vida confortável e, principalmente, segura, em relação ao próprio abastecimento de água. Com esta ótica e passar dos anos, os órgãos governamentais perceberam a importância da ampliação e do aprimoramento deste sistema de abastecimento e começaram a realizar investimentos cada vez maiores para sanar as deficiências do mesmo. Estes investimentos são realizados em diversos componentes, como na exploração de fontes para captação de água, adutoras, estações de tratamento de água, redes de distribuição e reservatórios de água.

Os reservatórios de água podem ser classificados, de acordo com sua posição em relação ao terreno, em: enterrado, semi-enterrado ou semi-apoiado, apoiado e elevado. Os reservatórios enterrados e apoiados são usados para o abastecimento de grandes populações, visto que os mesmos podem apresentar uma grande capacidade volumétrica. Já o reservatório elevado é usado para o abastecimento de pequenas populações, em virtude do seu formato não permitir o armazenamento de grandes volumes de água. Dentre os diferentes tipos de reservatórios elevados, executados com diferentes tipos de materiais, está o do tipo Intze, o qual é formado por uma estrutura em concreto armado e é objeto de estudo deste trabalho.

Por se tratar de um elemento em concreto armado no qual haverá água reservada, a estrutura deverá ser impermeável, pois do contrário o reservatório poderá apresentar vazamentos. Por isso, para garantir esta impermeabilidade, três aspectos são de extrema importância: a

execução das fôrmas, o planejamento e a montagem adequada das armaduras, e o tipo de concreto a ser usado. Com relação ao concreto, são consideradas suas características, técnicas de lançamento, adensamento e cura.

Para a realização da concretagem, as fôrmas deverão estar totalmente estanques, e para isso são levados em conta aspectos como escoramento, amarração e fixação, bem como juntas entre as chapas de compensado, que é o material usado para as fôrmas. Já o concreto utilizado é impermeável e também chamado de concreto hidráulico, nome adotado coloquialmente, recebendo esta denominação pelo uso desse material em obras nas quais ficará exposto ao contato com a água.

A obra abordada neste trabalho é da Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan), tratando especificamente da execução de reservatório elevado de água do tipo Intze, com capacidade volumétrica de 500 metros cúbicos, na cidade de Santa Cruz do Sul, RS. As etapas de serviço são regulamentadas pelo Caderno de Encargos da Corsan (CEC), documento este que descreve as recomendações de execução para os vários tipos de obras da Companhia. Este documento segue principalmente as especificações das normas técnicas da ABNT, além de padronizar algumas medidas e formatos de estruturas, peças e materiais.

Entretanto, em muitas situações, como no caso dos reservatórios, o CEC e as normas técnicas não detalham a maneira como alguns serviços devem ser desenvolvidos. Não há uma padronização para todas as etapas dos procedimentos de execução do reservatório. Por isso, em algumas ocasiões, empresas que constroem este tipo de estrutura enfrentam problemas semelhantes, porém acabam adotando soluções particulares, baseadas na experiência e no conhecimento de seus respectivos profissionais.

Neste trabalho são descritos os procedimentos de execução de um reservatório elevado de água do tipo Intze. Estes procedimentos são verificados junto ao conteúdo do CEC e às normas vigentes relacionadas ao assunto, com a abordagem de etapas e aspectos importantes, bem como dificuldades encontradas ao longo da obra.

Este trabalho apresenta inicialmente o método de pesquisa, seguido da revisão bibliográfica, composta de uma introdução sobre o sistema de abastecimento público de água e seus componentes, na qual serão tratados, principalmente, os tipos de reservatórios e suas respectivas finalidades, com destaque para os reservatórios elevados do tipo Intze. Para estes,

será feita uma descrição e caracterização baseada no projeto estrutural e hidráulico do reservatório o qual é objeto de estudo deste trabalho. Posteriormente, será realizada a descrição dos procedimentos de execução adotados na obra, juntamente com a verificação dos mesmos à normalização vigente, e com isso, serão definidas e abordadas as conclusões e considerações finais, nas quais serão salientados os aspectos positivos e negativos da execução da obra em questão.

## **2 MÉTODO DE PESQUISA**

O presente capítulo trata das diretrizes de pesquisa utilizada neste trabalho.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa deste trabalho é: quais as etapas e aspectos importantes a serem considerados na execução de reservatórios elevados de água?

### **2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é a descrição dos procedimentos de execução de reservatório elevado de água do tipo Intze e a verificação da adequação dos mesmos com a normalização vigente ao assunto.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- a) descrição e análise,
  - da execução de fôrmas e escoramentos para reservatórios elevados de água;

- das propriedades do concreto usado na estrutura de reservatórios elevados de água;
- dos procedimentos de montagem de armaduras de reservatórios elevados de água;
- b) descrição e verificação de procedimentos e soluções empregadas na execução de reservatórios elevados de água do tipo Intze;
- c) descrição de dificuldades encontradas na execução de reservatórios elevados de água do tipo Intze.

### 2.3 DELIMITAÇÃO

O trabalho delimita-se à descrição da execução de reservatório elevado de água do tipo Intze, com volume de 500 metros cúbicos, da Corsan. Cabe salientar que se entende por reservatório apenas a estrutura superior destinada ao armazenamento de água.

### 2.4 LIMITAÇÕES

A descrição da execução está limitada aos procedimentos e materiais adotados para a execução das fôrmas, armaduras e ao concreto usado no reservatório.

### 2.5 DELINEAMENTO

O trabalho foi desenvolvido através das etapas indicadas que são apresentadas no diagrama da figura 1 e descritas a seguir:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) acompanhamento da execução dos serviços realizados na obra;
- c) descrição dos serviços realizados na obra;
- d) verificação da adequação dos serviços com a normatização vigente;
- e) conclusões e considerações finais.



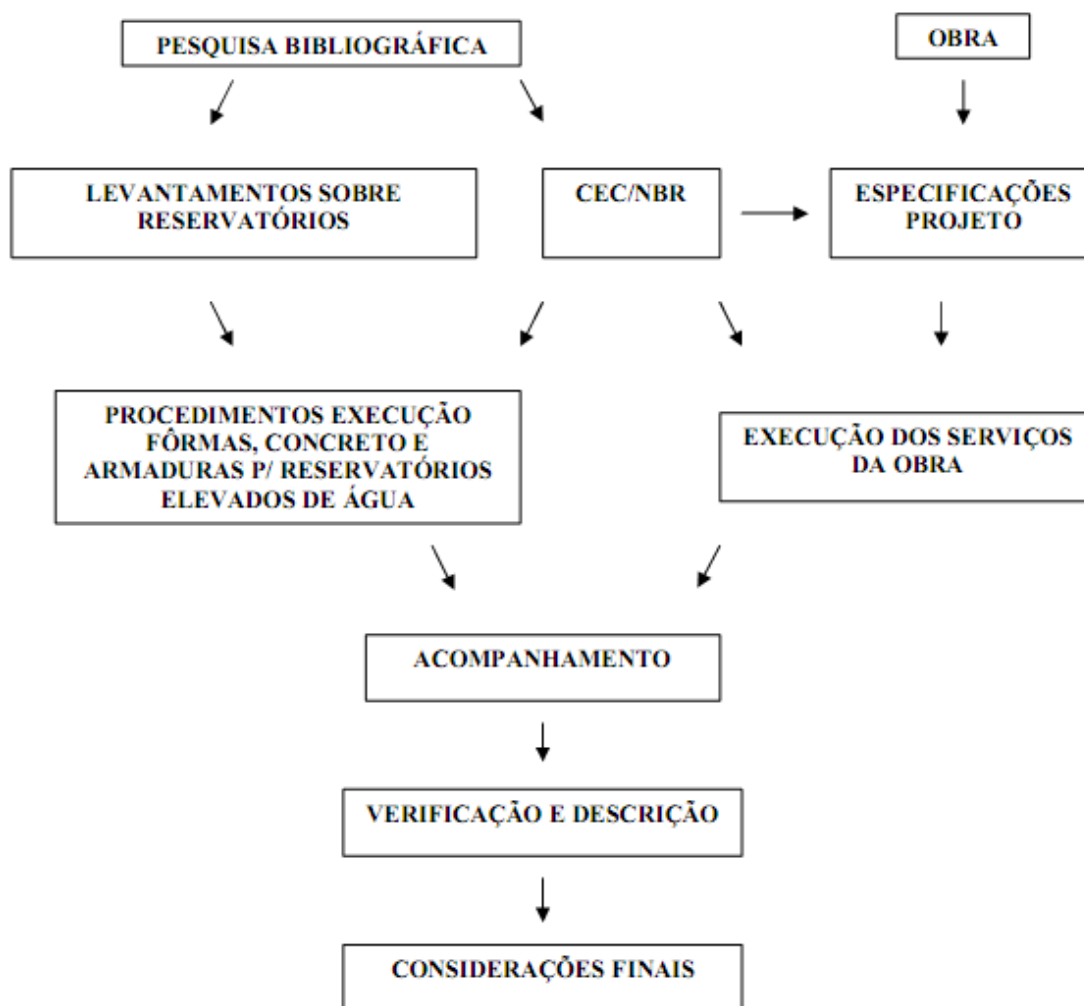


Figura 1: diagrama do delineamento

O desenvolvimento deste trabalho iniciou com a pesquisa bibliográfica, que consistiu no estudo dos procedimentos de execução de fôrmas, concreto e armaduras usadas em reservatórios elevados de água do tipo Intze. O estudo está baseado nas regulamentações do CEC e normas técnicas, em levantamentos de artigos e publicações relacionadas ao assunto.

Esta pesquisa bibliográfica servirá de embasamento para o acompanhamento da execução dos serviços, anteriormente citados, na obra, os quais seguem os padrões estabelecidos nos projetos previamente realizados e devem atender as regulamentações do CEC e normas técnicas. A partir deste acompanhamento, é possível fazer uma descrição dos serviços realizados, verificando se os mesmos seguiram as exigências e regulamentações, citando os aspectos positivos e negativos, assim como também situações em que outras medidas de melhor resultado poderiam ser adotadas, principalmente para etapas nas quais os projetos,

CEC e normas técnicas não apresentem instruções detalhadas para os procedimentos de execução dos serviços em questão.

### 3 SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA

Este capítulo apresenta uma descrição do sistema de abastecimento público de água e seus principais componentes, dos quais serão tratados com maior ênfase os reservatórios de distribuição de água, e posteriormente, o reservatório elevado de água do tipo Intze, objeto de estudo deste trabalho.

#### 3.1 DESCRIÇÃO E COMPONENTES

Medeiros Filho e Feitosa (2010a) afirmam que o sistema de abastecimento público de água é a solução coletiva mais econômica e definitiva para o abastecimento de água de uma comunidade, o qual visa fundamentalmente o controle e prevenção de doenças, a implantação de hábitos higiênicos na população, a facilidade da limpeza pública, bem como propiciar conforto e bem estar. Este sistema é composto basicamente por:

- a) manancial: fonte de onde se tira a água;
- b) captação: é o conjunto de equipamentos e instalações usados para retirar a água do manancial e lançá-lo no sistema de abastecimento;
- c) adução: tubulação normalmente sem derivações, que liga a captação ao tratamento ou o tratamento à rede de distribuição;
- d) tratamento: pode existir ou não, de acordo com a qualidade d'água obtida no manancial;
- e) reservatório: é empregado para o acúmulo da água, com propósitos de atender a variação do consumo, manter uma pressão mínima ou constante na rede e atender demandas de emergências, como casos de incêndio e rupturas de redes;
- f) rede de distribuição: leva a água do reservatório ou da adutora para os locais de consumo;
- g) ramal domiciliar: ligação feita das tubulações assentadas nas ruas para os domicílios.

Com relação aos reservatórios, estes são divididos em reservatórios de acumulação e reservatórios de distribuição (MEDEIROS FILHO; FEITOSA, 2010a). Segundo esses autores, os reservatórios de acumulação, como as barragens e açudes, são construídos em um curso de água no qual se deseja aproveitá-lo como fonte de abastecimento, só ocorrendo quando a vazão média desse curso de água é superior à vazão média do consumo que se deseja para uma população. Nos tempos de vazão máxima desse curso, o excesso de água é descarregado e acumulado no reservatório, a fim de atender as deficiências de abastecimento em épocas durante as quais a vazão do curso de água não é suficiente para suprir as necessidades de consumo da população. Por isso, caso a vazão mínima do curso de água for maior que a vazão máxima de consumo que a comunidade utiliza, não será necessária a construção do reservatório de acumulação sobre este curso de água. Já os reservatórios de distribuição são construídos para possibilitar uma retirada relativamente uniforme de água dos reservatórios de acumulação, mesmo com as necessidades de consumo sendo variáveis.

Na construção dos reservatórios, também são levados em conta o impacto ambiental e os altos custos de implantação dos mesmos, visto que, dependendo da localização, a obtenção das condições ideais para o funcionamento dos reservatórios poderá acarretar excessivos custos e danos ao meio ambiente. Para Medeiros Filho e Feitosa (2010a), os reservatórios de distribuição são construídos com os seguintes objetivos:

- a) uniformizar o fornecimento d'água no consumo;
- b) uniformizar a adução para o sistema de abastecimento;
- c) em casos de emergência, no caso de haver uma interrupção na adução de água, aquela acumulada no reservatório abastece a cidade, até que a dificuldade seja sanada;
- d) economia na rede de distribuição de um sistema de abastecimento de água, com a construção de reservatórios mais baixos;
- e) maior auxílio no combate à incêndios.

Dentre as diferentes formas de classificação de reservatórios de distribuição, está a com relação ao nível do terreno, que os separa como (MEDEIROS FILHO; FEITOSA, 2010b):

- a) enterrado: completamente embutido no terreno;
- b) semi-enterrado ou semi-apoiado: com uma parte abaixo do nível do terreno;

- c) apoiado: com a laje de fundo apoiada no terreno;
- d) elevado: reservatório apoiado em estruturas de elevação.

As razões que determinam a escolha destes tipos de reservatórios são normalmente pressões, vazões, volumes a armazenar e econômicas (MEDEIROS FILHO; FEITOSA, 2010a). Para Medeiros Filho e Feitosa (2010b), os tipos mais comuns de reservatório são os semi-enterrados e os elevados, sendo que os elevados são projetados para quando há necessidade de se garantir uma pressão mínima na rede e as cotas do terreno disponíveis não oferecem condições para que os mesmos sejam apoiados ou semi-enterrados, ou seja, necessita-se de uma cota piezométrica de montante superior a cota de apoio do reservatório no terreno local.

Se as cotas do terreno são favoráveis, a preferência se dá a construção de reservatórios semi-enterrados, dependendo dos custos de escavação e de elevação, bem como da estabilidade permanente da construção, principalmente quando a reserva de água for superior a 500 m<sup>3</sup>, visto que reservatórios elevados com volumes superiores a este implicam em custos significativamente mais altos, notadamente os de construção, e preocupações adicionais com a estabilidade estrutural (MEDEIROS FILHO; FEITOSA, 2010b).

Medeiros Filho e Feitosa (2010b) salientam que para o caso em que os volumes a armazenar são grandes, principalmente acima dos 800 m<sup>3</sup>, e houver necessidade de cotas piezométricas superiores a do terreno na saída do reservatório, a opção mais comum é a construção de um reservatório elevado conjugado com um semi-enterrado, visto que toda a água distribuída pela rede a jusante será bombeada do reservatório inferior para o superior a medida que a demanda for solicitando, mantendo-se sempre um volume mínimo no reservatório superior de modo a manter a continuidade do abastecimento em caso de interrupção neste bombeamento.

### 3.2 RESERVATÓRIO ELEVADO DE ÁGUA DO TIPO INTZE

Os reservatórios elevados podem ser executados em diferentes formatos e materiais, sendo que um deles é o reservatório elevado em concreto armado. A Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan), órgão responsável pela distribuição de água na maior parte dos municípios do estado do Rio Grande do Sul, quando necessita construir um reservatório elevado de água, geralmente adota o elevado do tipo Intze. O nome **Intze** é oriundo de Otto

Adolf Ludwing Intze, engenheiro civil alemão nascido na metade do século XIX, o qual desenvolveu torres e barragens para a reserva de água, sendo que os reservatórios elevados que levam o seu nome são muito semelhantes as torres de água desenvolvidas pelo mesmo na época<sup>1</sup>.

Objeto de estudo deste trabalho, o reservatório elevado do tipo Intze, da Corsan, com capacidade de armazenamento para 500 m<sup>3</sup>, foi projetado para a cidade de Santa Cruz do Sul (RS). A obra iniciou no mês de julho do ano de 2009, com término no mês de março do ano de 2011, não estando considerados os serviços de pintura, instalações de tubulações e conexões, dispositivos de proteção e acesso, bem como a urbanização no entorno do reservatório.

Conforme projeto previamente realizado, bem como a vista frontal representada na figura 2, o reservatório tem sua infraestrutura e estrutura de apoio formada por:

- a) estaqueamento e cravação de estacas metálicas TR 45;
- b) blocos de fundação locados sobre o terreno, dispostos em um formato semelhante ao de um decágono;
- c) vigas de fundação as quais se intercalam entre cada par dos blocos de fundação;
- d) pilares de seção quadrangular, dispostos em três níveis;
- e) vigas de amarração dos pilares, de formato reto e com seção retangular, também apresentando a disposição de um decágono, compostas de dois níveis.

Além disso, são executados patamar e passarela, um em cada nível das vigas de amarração, os quais permitem o acesso ao reservatório, juntamente com as escadas e guarda-corpos.

Conforme ilustração da figura 3, o reservatório, estrutura superior na qual a água fica armazenada, apresenta seção circular. É formado por uma viga circular localizada no topo dos pilares, fundos inclinado e esférico, ambos começando a partir da viga circular e indo em direção às paredes cilíndricas externa e interna, respectivamente. A parede cilíndrica interna forma um cilindro central que permite o acesso para conferência do nível de água e realização de outros serviços no interior do reservatório. Por fim, tem-se a cúpula, que funciona como uma espécie de **tampa** do reservatório.

---

<sup>1</sup> Informação obtida através de pesquisa realizada na internet.

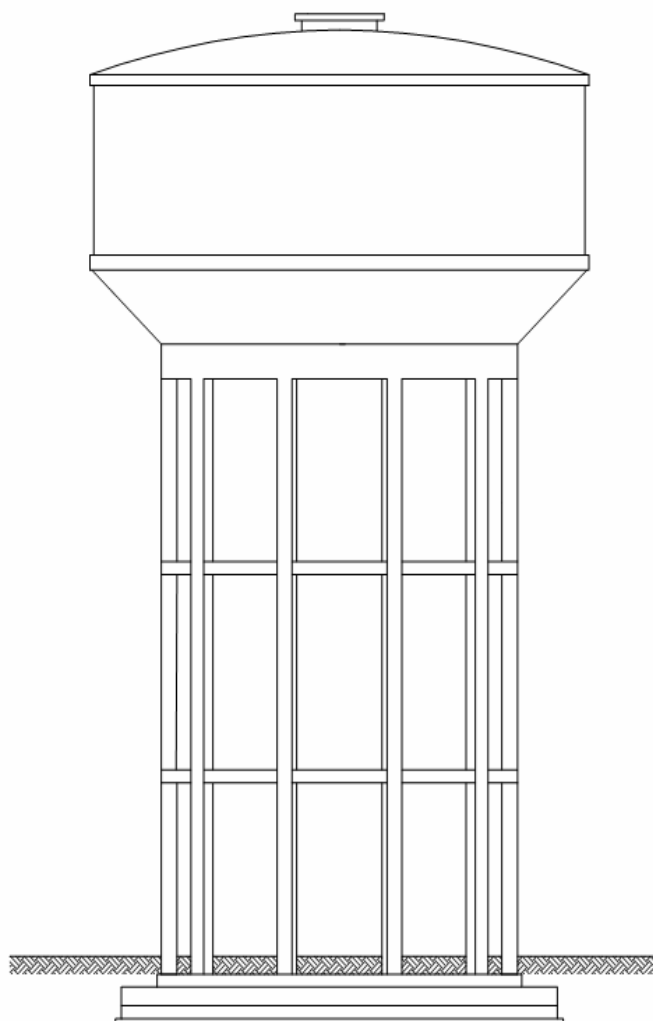


Figura 2: vista frontal do reservatório, conforme projeto estrutural (trabalho não publicado<sup>2</sup>)

---

<sup>2</sup> Projeto estrutural elaborado por profissional habilitado e usado para a execução do reservatório.

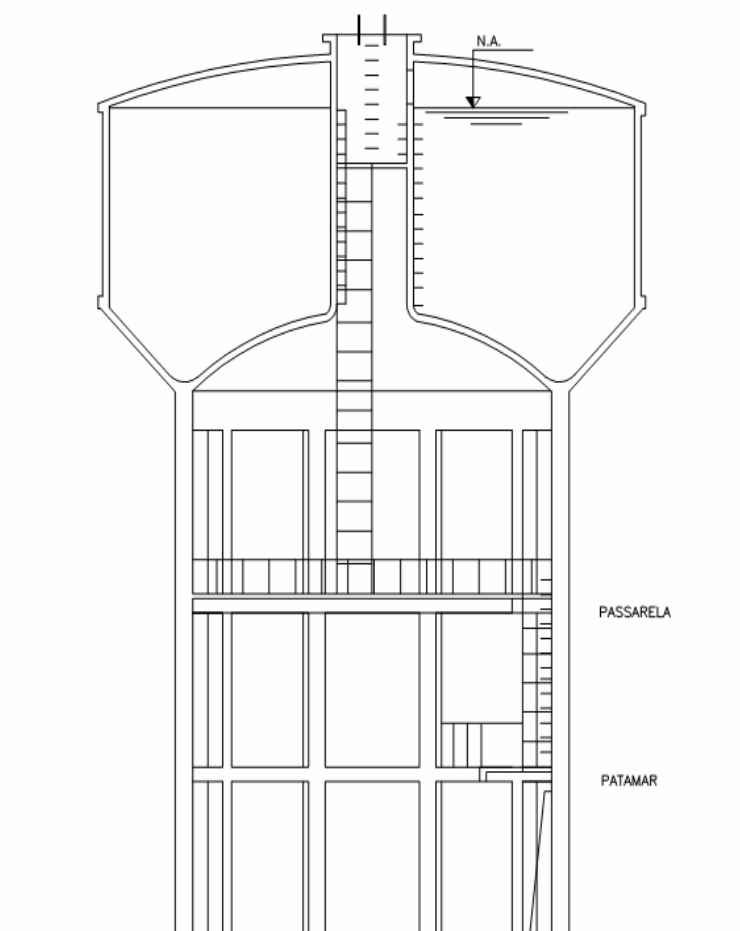


Figura 3: corte transversal do reservatório, conforme projeto hidráulico (trabalho não publicado<sup>3</sup>)

A figura 4 mostra a vista em corte da disposição dos pilares, vigas de amarração, patamar e passarela, que somada às demais figuras expostas, possibilitam um melhor entendimento da estrutura. Cabe destacar que o formato das vigas de amarração está impreciso, visto que elas são retas e formam um decágono. O erro vem do projeto hidráulico, do qual foi retirado o desenho. Não há no projeto estrutural uma vista de corte que propicie ver juntos os pilares, vigas de amarração, patamar e passarela.

<sup>3</sup> Projeto hidráulico elaborado por profissional habilitado e usado para a execução do reservatório.



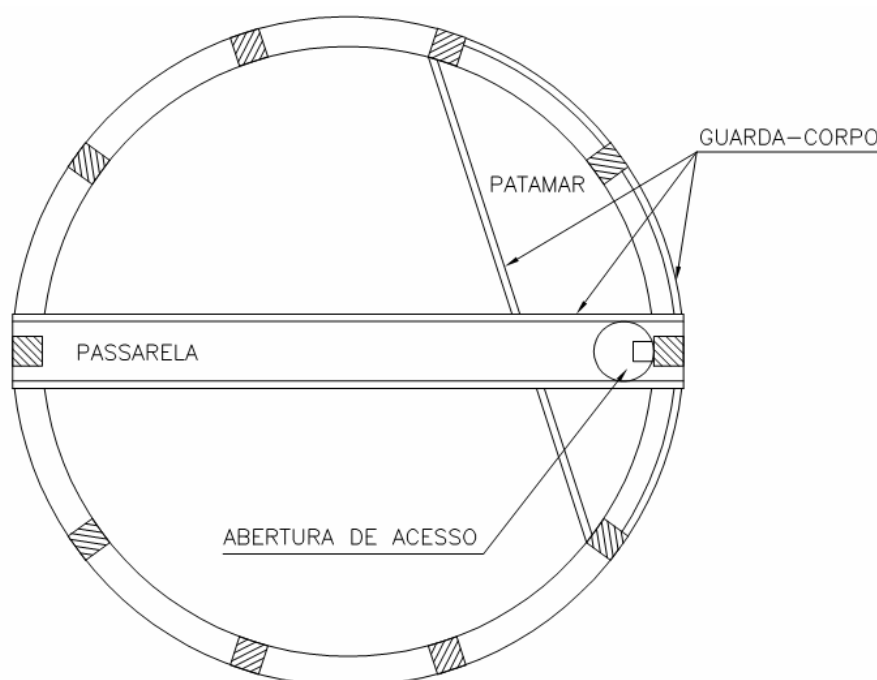


Figura 4: vista em corte da estrutura de apoio e acesso, conforme projeto hidráulico (trabalho não publicado<sup>4</sup>)

O reservatório possui uma altura estimada em 18,77 metros, considerando desde o nível do terreno até o ponto mais alto da cúpula, e um diâmetro das paredes do cilindro externo de 12,40 metros. Para se ter uma melhor noção do tamanho desta estrutura, as figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, as medidas dos elementos do reservatório, todas em centímetros, e a vista em corte das paredes do cilindro externo e interno. A abertura ilustrada na figura 5 é usada para conferência do nível de água, assim como possibilitar a realização de qualquer serviço que se faça necessário no interior do reservatório. O acesso à abertura é facilitado também em virtude da presença de um pequeno patamar no centro do cilindro.

Embora não citado no começo deste capítulo, é importante o registro de que os reservatórios elevados de água do tipo Intze, adotados em obras da Corsan, seguem sempre o mesmo formato. As diferenças entre um reservatório e outro estão, somente:

- a) no tipo de estaqueamento a ser realizado, dependente das cargas atuantes e das condições do terreno em que o reservatório será realizado;
- b) na locação dos blocos de fundação e pilares, que pode apresentar forma de octágono (no caso de oito blocos e pilares) ou decágono (no caso de dez blocos e pilares);

<sup>4</sup> Projeto hidráulico elaborado por profissional habilitado e usado na execução do reservatório.

- c) no número de níveis ou vãos de pilares, que dependem da altura que se pretende adotar para o reservatório. No caso do descrito neste trabalho, tem-se três níveis;
- d) dimensões dos elementos de concreto armado, bem como das dimensões e tipo das armaduras usadas, dependentes das cargas atuantes;
- e) dimensões da abertura do cilindro central para conferência do nível de água no reservatório.

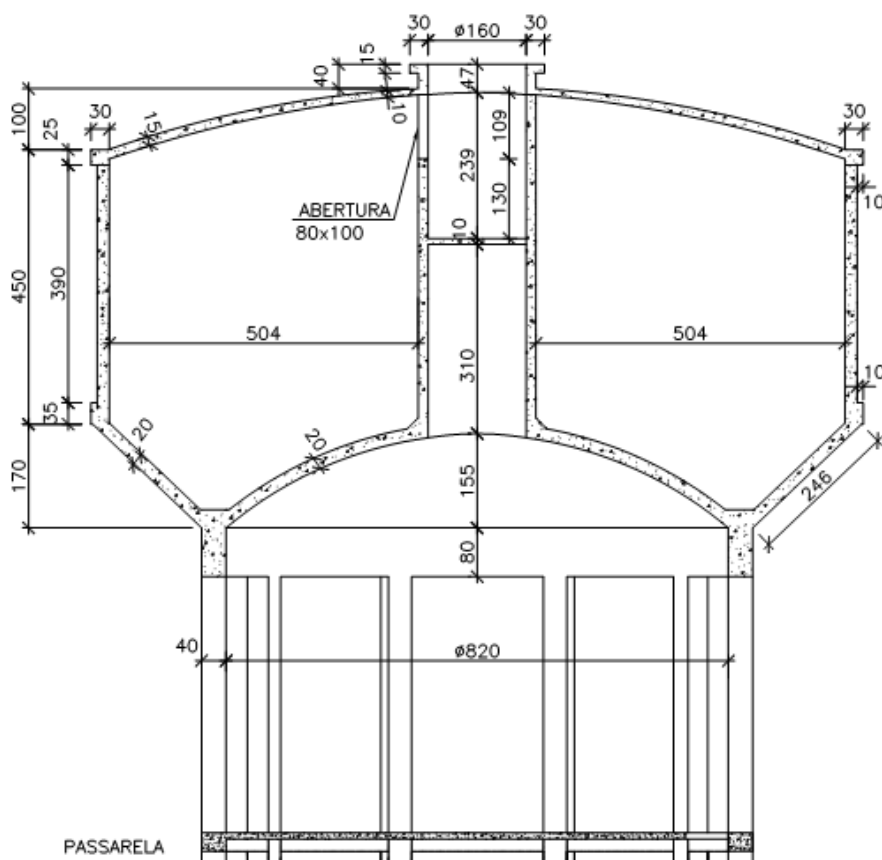


Figura 5: corte transversal do reservatório, conforme projeto estrutural (trabalho não publicado<sup>5</sup>)

<sup>5</sup> Projeto estrutural elaborado por profissional habilitado e usado na execução do reservatório.

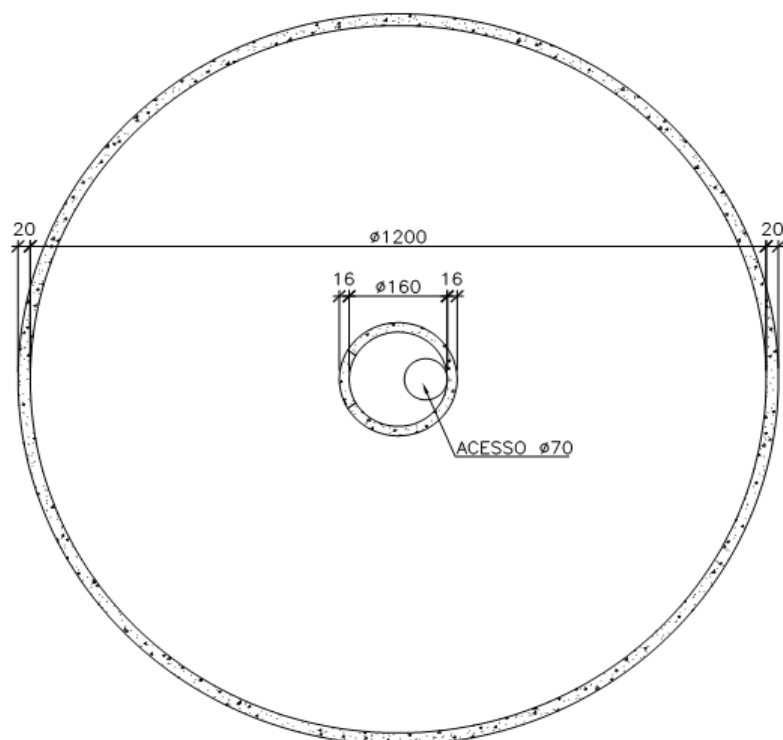


Figura 6: corte das paredes do reservatório, conforme projeto estrutural (trabalho não publicado<sup>6</sup>)

---

<sup>6</sup> Projeto estrutural elaborado por profissional habilitado e usado na execução do reservatório.

## **4 DESCRIÇÃO E VERIFICAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DE FÔRMAS, CONCRETO E ARMADURAS PARA RESERVATÓRIOS ELEVADOS DE ÁGUA**

O presente capítulo trata da descrição dos procedimentos de execução de fôrmas, concreto e armaduras para reservatórios elevados de água, e sua respectiva verificação com as regulamentações das normas técnicas relacionados ao assunto e do Caderno de Encargos da Corsan (CEC), do qual é feito uma breve apresentação.

O Caderno de Encargos (CEC) é o somatório do conhecimento técnico acumulado pela Corsan, sobre especificações básicas, critérios e procedimentos adotados na execução das obras e serviços de Engenharia (RIO GRANDE DO SUL, 1999a). A versão atualmente em uso e adotada neste trabalho é a Revisão 01, Volume 2, ano de 1999. Os diversos procedimentos estão separados por capítulos, na forma de códigos, para cada diferente tipo de serviço descrito.

O CEC é parte integrante de todo e qualquer contrato para execução de obras e serviços de Engenharia e sua aplicação fica subordinada às orientações das especificações das obras e serviços, bem como às orientações da fiscalização no caso de haver divergências, dúvidas ou omissão de procedimentos. Não são aceitos procedimentos indevidos ou negligentes ou mesmo omissão em razão de alguma interpretação, orientação ou vazio técnico deste Caderno, visto que este instrumento é elemento necessário, mas não suficiente para as aplicações de qualquer procedimento de engenharia, razão pela qual sua complementação obrigatória e fundamental é a especificação da obra e as orientações da fiscalização (RIO GRANDE DO SUL, 1999a).

Entretanto, algumas vezes a versão atual do CEC faz referência ao conteúdo de versões mais antigas das normas técnicas da ABNT, pois muitas já foram revisadas e apresentadas novas versões. Por isso, a verificação dos procedimentos de execução será baseada tanto nas novas versões das normas técnicas, para os casos em que houve uma atualização, quanto no conteúdo do CEC.

Complementando este capítulo, após a descrição e verificação dos procedimentos de execução, são abordadas algumas situações nas quais ocorreram transtornos, com o emprego de outras soluções que poderiam propiciar melhores resultados.

## 4.1 DESCRIÇÃO E VERIFICAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO

Este item apresenta a descrição e verificação dos procedimentos de execução de fôrmas, concreto e armaduras para o reservatório o qual é objeto de estudo deste trabalho.

Antes disto, é importante destacar, com relação ao projeto estrutural, que existe um projeto padrão para os reservatórios Intzes de 500 m<sup>3</sup> da Corsan, com sua primeira versão criada durante a década de 1970, e atualizada em 2004 através de uma adaptação da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Evidentemente que o projeto necessitará de uma revisão e adequação ao local onde o reservatório será executado, visto que diferentes regiões propiciam diferentes ações do ambiente sobre a estrutura (informação verbal)<sup>7</sup>. Este procedimento foi adotado pela empresa responsável pela obra, com a contratação de um profissional habilitado para a execução do projeto estrutural do reservatório analisado neste trabalho.

### 4.1.1 FÔRMAS E ESCORAMENTOS

De acordo com a NBR 15696, escoramento é uma estrutura provisória capaz de resistir e transmitir às bases de apoio da estrutura do escoramento todas as ações oriundas das cargas permanentes e variáveis resultantes do lançamento do concreto fresco sobre as fôrmas horizontais e verticais, até que o concreto se torne autoportante (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009). Já as fôrmas são um conjunto de elementos de uso temporário cuja função é moldar as estruturas de concreto, garantindo a obtenção das dimensões desejadas, bem como sustentar o concreto fresco até que o mesmo atinja resistência suficiente para ser autoportante (CALIL JUNIOR; LAHR, 2007). Entende-se por

---

<sup>7</sup> Informação obtida com o autor do projeto estrutural do reservatório.

**fôrma** não apenas a madeira em contato com o concreto, mas também toda aquela que for necessária à transferência das cargas para as cabeças das peças verticais de escoramento (RIO GRANDE DO SUL, 1999b). Cabe ressaltar que nas obras de Engenharia, não são usadas apenas fôrmas de madeira, mas também em outros materiais, como os painéis e escoras metálicas.

No que se refere ao projeto de fôrmas e escoramentos, o item 6.3 da NBR 15696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, p. 9) estabelece que “[...] toda a montagem da estrutura de fôrmas e escoramento deve ser executada mediante a utilização de um projeto específico de fôrmas e escoramentos [...]”. Entretanto, não existia um projeto de fôrmas e escoramentos para o reservatório, visto que na época de elaboração do projeto estrutural, a norma citada ainda não se fazia vigente (informação verbal)<sup>8</sup>. Por isso, e somado ao fato do responsável da empresa contratada nunca ter **executado** uma obra deste tipo, foi realizada uma adaptação de obra já executada, através de visita feita à outro reservatório localizado em um outro município deste estado, o qual também encontrava-se na etapa de execução (informação verbal)<sup>9</sup>. Cabe salientar que mesmo não havendo um projeto de fôrmas e escoramentos, o CEC (RIO GRANDE DO SUL, 1999b) determina que a execução dos mesmos deverá obedecer aos itens 9 e 11 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980) que tratam respectivamente, da execução de fôrmas e escoramentos e das tolerâncias. Neste caso, a versão citada da NBR 6118 não é mais atualizada, mas sim a do ano de 1980, que era a versão vigente na época de elaboração do CEC.

O escoramento do reservatório, conforme ilustrado na figura 7, é formado por:

- a) escoras verticais, representadas na cor marrom: estão dispostas no entorno dos pilares, apresentando aproximadamente 12 metros de comprimento, o que corresponde à medida do nível do terreno até o fundo inclinado, visto que essas serviam para o escoramento e montagem do andaime no entorno deste fundo. Para garantir o equilíbrio da estrutura, essas escoras são travadas entre si, assim como escoradas na própria estrutura do reservatório, como mostra na figura 8. Além da disposição citada, as escoras verticais encontram-se também no perímetro interno dos pilares;

---

<sup>8</sup> Informação obtida com o autor do projeto estrutural do reservatório.

<sup>9</sup> Informação obtida com o responsável pela execução da obra.

- b) escoras horizontais, representadas na cor azul: são fixadas nas escoras verticais e usadas para o apoio das vigas, assim como dos **tablados** e andaimes que permitiam à mão de obra realizar os serviços necessários.

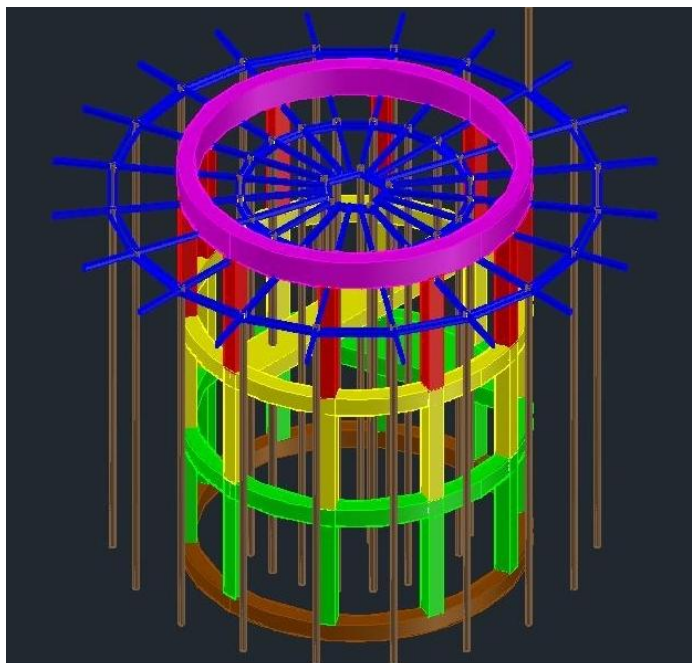


Figura 7: representação do escoramento do reservatório (trabalho não publicado<sup>10</sup>)



Figura 8: travamento do escoramento do reservatório

<sup>10</sup> Desenho criado em programa computacional.

Apesar da verificação da execução das fôrmas e escoramentos do reservatório estar baseada na NBR 15696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) e nas determinações do CEC, alguns tópicos do item 9 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980) podem ser inclusos nesta verificação, conforme segue:

- a) as fôrmas devem adaptar-se às formas e dimensões das peças da estrutura projetada;
- b) o dimensionamento e construção das fôrmas e dos escoramentos devem obedecer às prescrições das NBR 7190 e NBR 8800, respectivamente para Estruturas de Madeira e para Estruturas Metálicas;
- c) para os pontaletes de madeira usados no escoramento,
  - não se admitem pontaletes com diâmetro ou menor lado da seção retangular inferior a 5 centímetros;
  - os pontaletes com mais de 3 metros de comprimento deverão ser contraventados.

Já o item 11 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980) salienta que a execução das obras deverá ser da maneira mais cuidadosa possível, a fim de que as dimensões, a forma e a posição das peças e as dimensões e posição da armadura obedeam às indicações do projeto com a maior precisão possível. Esta consideração também é destacada pela NBR 14931 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), através do item 9.2, o qual estabelece os cuidados preliminares para a montagem das fôrmas, escoramentos e armaduras, assim como as tolerâncias para a execução das estruturas de concreto armado.

Para as fôrmas da viga circular, as figuras 9 e 10 mostram os elementos utilizados nos painéis internos e externos, usados na montagem da **caixa** da mesma. A figura 9 mostra o molde curvo dos painéis internos, a maneira de recorte e as medidas do mesmo. Já a figura 10 ilustra o modelo de recorte para o fundo da viga circular. As medidas estão em centímetros. Os moldes curvos são fixados na parte superior e inferior da caixa, e travados com o auxílio de sarrafos dispostos verticalmente, conforme mostra a figura 11. Um procedimento muito semelhante a este foi usado na montagem dos painéis da parede do cilindro externo e interno do reservatório, sendo as diferenças relativas às quantidades e medidas dos painéis, moldes



curvos, sarrafos. Com relação às chapas de compensado, foram usadas as plastificadas com 14 milímetros de espessura.

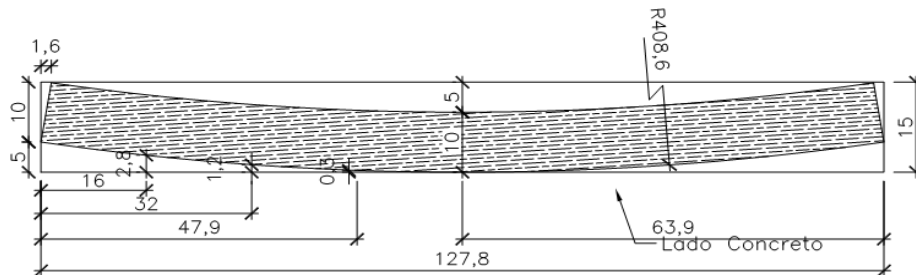


Figura 9: representação do molde curvo usado na montagem da caixa da viga circular (trabalho não publicado<sup>11</sup>)

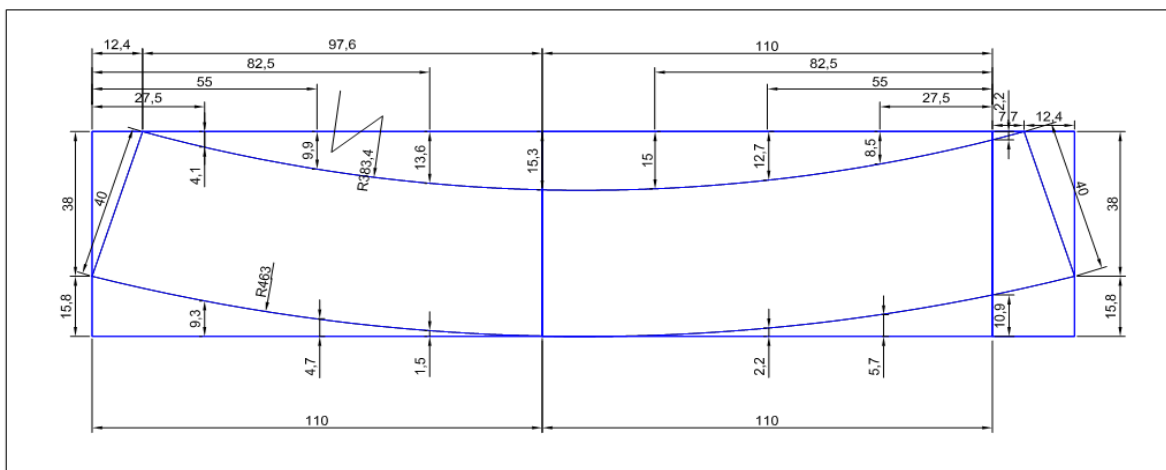


Figura 10: representação do fundo da viga circular (trabalho não publicado<sup>12</sup>)

As figuras 11 à 13 mostram o sistema de escoramento do fundo esférico, bem como o detalhe construtivo das fôrmas do mesmo, o qual é formado por:

- molde curvo: peça usada para dar a curvatura necessária ao fundo. Suas medidas, em centímetros, e a maneira de recorte da peça estão representadas na figura 14;
- caibros dispostos em diversas **linhas de distribuição**, perpendicularmente aos moldes curvos. O comprimento do caibro é igual a distância entre 3 moldes

<sup>11</sup> Desenho criado em programa computacional.

<sup>12</sup> Idem.

curvos, e sua fixação nos moldes é realizada de forma alternada entre uma **linha** e a outra subsequente, para melhor distribuição dos esforços.

O escoramento do fundo esférico é formado por pontaletes de madeira, fixados nos moldes curvos do fundo e apoiados sobre um **tablado** de madeira, criado sobre um nível de escoras na horizontal existentes um pouco abaixo da base da viga circular.



Figura 11: detalhe construtivo da viga circular e do fundo esférico

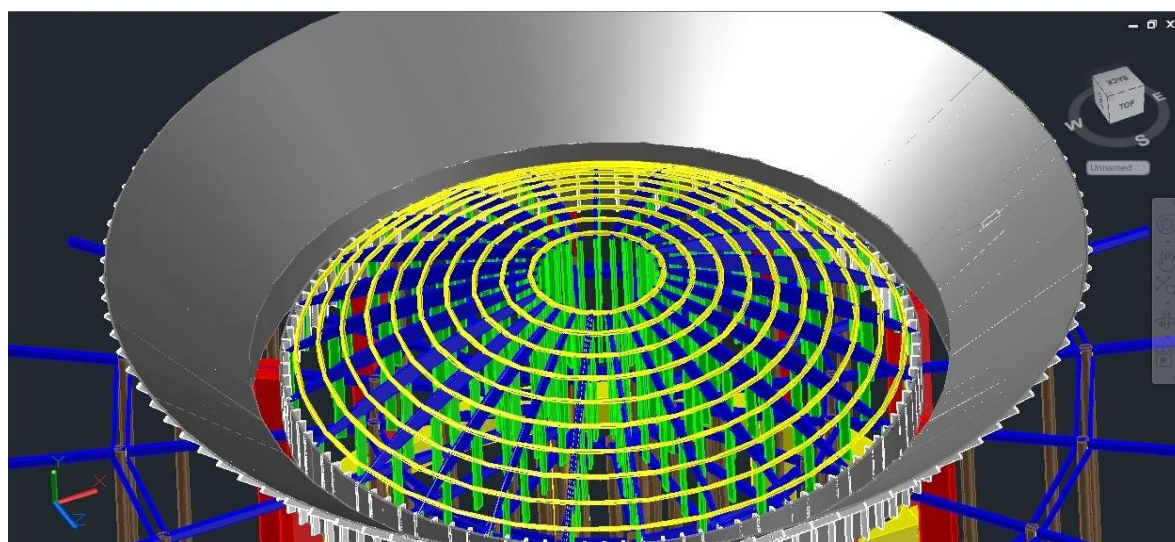


Figura 12: representação do escoramento e detalhe construtivo do fundo esférico (trabalho não publicado<sup>13</sup>)

<sup>13</sup> Desenho criado em programa computacional.



Figura 13: escoramento e detalhe construtivo do fundo esférico

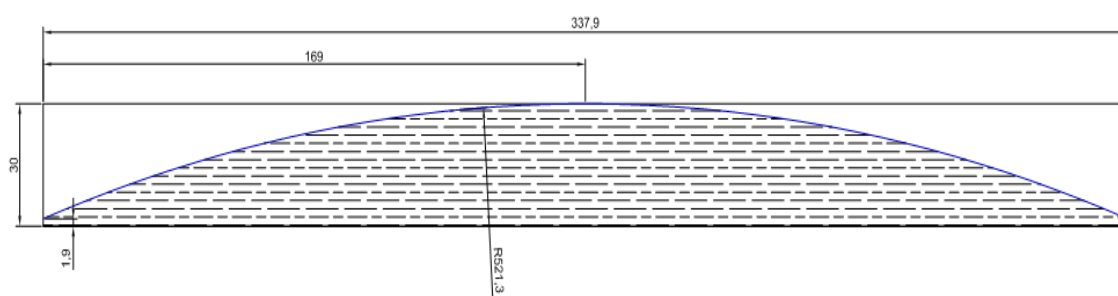


Figura 14: representação do molde curvo do fundo esférico  
(trabalho não publicado<sup>14</sup>)

Com relação às chapas de compensado, devido à maior facilidade para dobra e consequente adequação das fôrmas ao formato do fundo esférico, foram usadas chapas resinadas de 10 milímetros de espessura, com 2,20 metros de comprimento e 1,10 de largura, contrariando uma determinação do CEC (RIO GRANDE DO SUL, 1999b), a qual estabelece que a espessura mínima das chapas de compensado a serem usadas nas fôrmas é de 12 milímetros. O uso destas chapas resinadas resultou em alguns inconvenientes, visto que, com a exposição às chuvas, as chapas ficaram úmidas e com a posterior ação do sol, as camadas que as formam **descascaram**, gerando algumas dificuldades no momento de retirada das fôrmas, que somadas a uma má vibração do concreto, possibilitaram o surgimento de **bicheiras** na superfície. É importante registrar que mesmo com o uso de agente desmoldante nas fôrmas do

<sup>14</sup> Desenho criado em programa computacional.

fundo do reservatório, para facilitar a retirada das mesmas e evitar danos à superfície do concreto, este problema acabou ocorrendo no fundo esférico. A NBR 15696 determina que quando for necessário o uso de desmoldantes, os mesmos devem ser aplicados na fôrma antes da colocação da armadura, assim como seguir as especificações do fabricante do produto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009). Tanto no fundo esférico quanto no fundo inclinado do reservatório, o produto foi colocado de modo a não entrar em contato com as armaduras e aplicado antes da colocação das mesmas. Entretanto, apesar de estar seguindo a recomendação da norma, as fôrmas ficaram alguns dias expostas ao ar livre com o desmoldante aplicado sobre a sua superfície, devido ao tempo necessário para a colocação de todas elas, o que contraria as especificações do fabricante, que determina que as fôrmas devem ser protegidas após a aplicação do produto<sup>15</sup>. O CEC (RIO GRANDE DO SUL, 1999b) faz referência ao uso de desmoldantes apenas salientando que as fôrmas devem ser “[...] untadas com produto que facilite a desfôrma e não manche a superfície do concreto.”.

As chapas do fundo esférico estão representadas na figura 15, e o método de fixação consiste em chapas inteiras intercaladas com pedaços triangulares recortados das chapas, com o arremate do topo do fundo feito com pedaços menores, seguindo o mesmo sistema. Cabe salientar que o lado interno do fundo esférico não foi revestido com as chapas de compensado, devido ao procedimento de concretagem adotado, que será abordado posteriormente neste trabalho. Nas figuras 15 e 16, pode-se ver o escoramento do fundo inclinado, bem como o detalhe construtivo para montagem das fôrmas, sendo este formado por:

- a) guias de 10 centímetros de largura por 2,50 de espessura, as quais estão apoiadas no escoramento do andaime montado no entorno do fundo, espaçadas por aproximadamente 60 centímetros e com comprimento e posição atendendo a inclinação desejada para o fundo;
- b) caibros que circundam o fundo, de 7,5 centímetros de largura por 2,50 de espessura, dispostas em seis níveis e apoiadas nas guias de 10 centímetros. São de comprimento menor, com aproximadamente a mesma medida da largura das chapas plastificadas usadas, que apresentam 1,10 metros.

A figura 16 mostra, além das guias e caibros citados anteriormente, os sarrafos usados para o escoramento da viga circular, apoiados sobre um pequeno tablado criado sobre as escoras

---

<sup>15</sup> Especificação do fabricante citada no manual técnico, obtido através de pesquisa na internet.



horizontais da mesma. Embora não esteja visível nessa figura, foram usados também pontaletes para o escoramento do fundo inclinado, também apoiados sobre o tablado citado.



Figura 15: escoramento do fundo inclinado e fôrma do fundo esférico



Figura 16: escoramento do fundo inclinado

Para a execução das fôrmas do fundo inclinado, foram usadas chapas de madeira compensada plastificada de 14 milímetros de espessura, com 2,20 metros de comprimento e 1,10 de largura, ilustradas na figura 17. O método de montagem segue o mesmo procedimento adotado para o fundo esférico, com a fixação de chapas inteiras intercaladas com pedaços

triangulares. Na retirada das fôrmas, não houve problemas, e a superfície do fundo inclinado ficou com uma boa aparência.

O lado interno do fundo inclinado foi **fechado** com as chapas de compensado apenas na sua parte central, com módulos das chapas distribuídos conforme mostra a figura 18, devido ao procedimento de concretagem adotado, que será abordado posteriormente. A figura 18 também mostra o uso de tirantes e porcas para a fixação das fôrmas, auxiliados pelo uso de espaçadores do tipo núcleo perdido e espaçadores do tipo cone no interior destas, conforme ilustração das figuras 19 e 20. Com relação aos tirantes, o anexo A da NBR 15696, relacionado aos critérios para equipamentos industrializados, salienta que estes são de grande importância para a absorção dos esforços resultantes da pressão do concreto nas fôrmas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009). Para o CEC, o uso de tirantes e espaçadores do tipo núcleo perdido é obrigatório para a fixação de fôrmas em estruturas hidráulicas (RIO GRANDE DO SUL, 1999b).

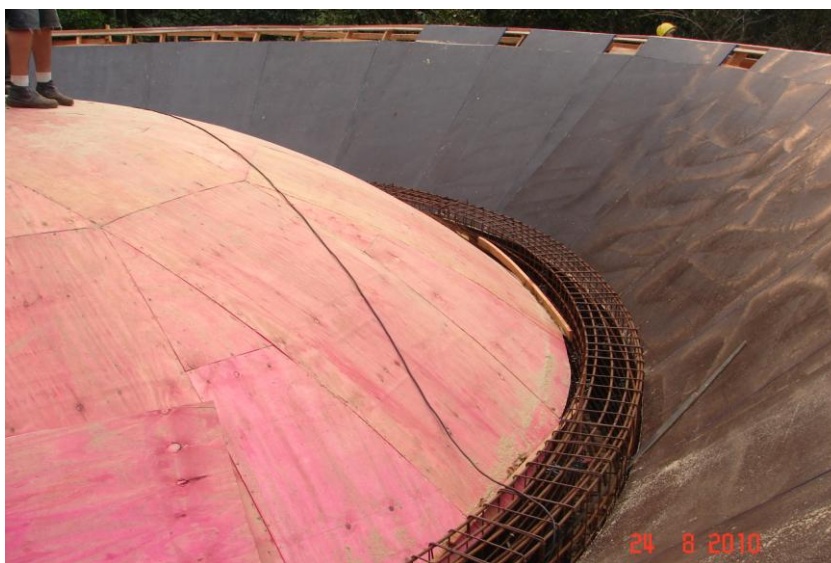


Figura 17: fôrmas do fundo esférico e fundo inclinado



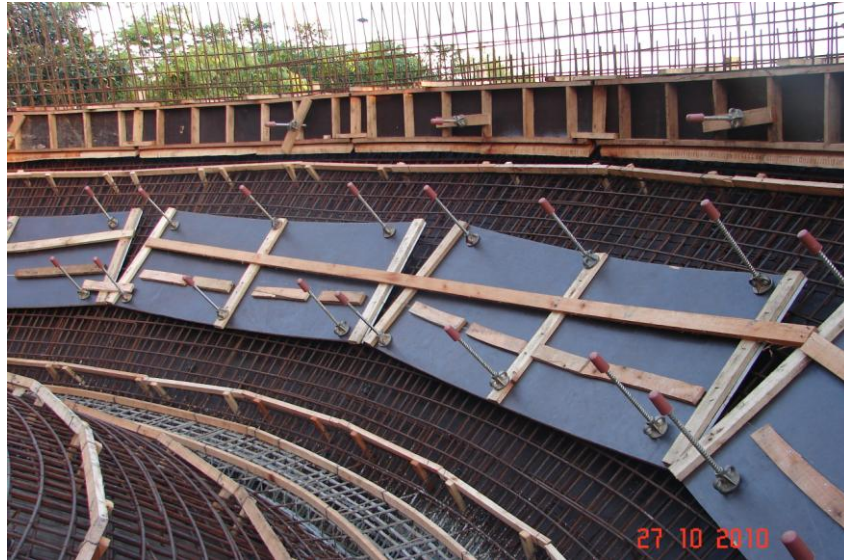


Figura 18: fôrmas do lado interno do fundo inclinado



Figura 19: sistema de travamento das fôrmas do fundo inclinado



Figura 20: detalhe dos espaçadores tipo núcleo perdido e cone

Com relação à parede do cilindro externo do reservatório, esta é composta na sua base de uma viga, a qual apresenta processo construtivo é semelhante ao da viga circular, com a montagem de painéis internos e externas para a fixação das chapas de compensado. A figura 21 ilustra os apoios do anel, moldes curvos fixados no perímetro externo da base da viga, usados para facilitar o apoio da viga nas guias do fundo inclinado. Possuem formato semelhante aos moldes usados na montagem dos painéis da viga circular, mas com medidas diferentes.

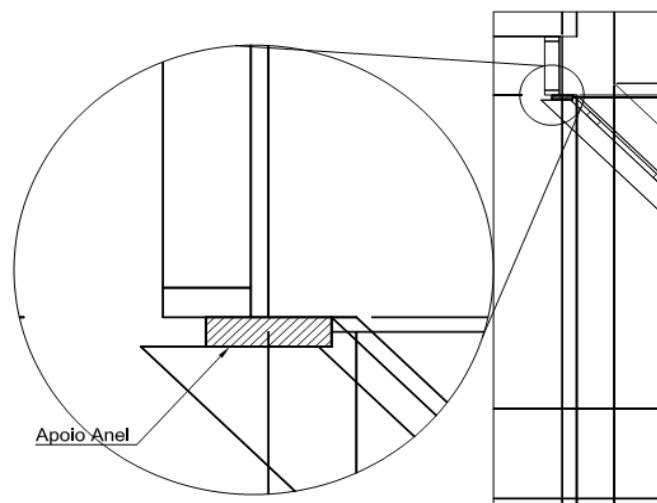


Figura 21: representação do anel da viga da parede do cilindro externo (trabalho não publicado<sup>16</sup>)

<sup>16</sup> Desenho criado em programa computacional.



Nas paredes, foram usadas chapas de compensado plastificado com 14 milímetros de espessura. A montagem das fôrmas, conforme ilustra a figura 22, foi dividida em duas etapas, as quais são necessárias para facilitar a montagem das armaduras e a concretagem da parede, conforme será visto mais adiante neste trabalho. As duas etapas consistem em:

- a) primeiro nível da parede: formado por painéis compostos de uma chapa inteira de compensado, com 2,20 metros de altura e 1,10 metros de largura;
- b) segundo nível da parede: formado por painéis menores, os quais apresentam uma altura com a medida necessária para completar a altura total da parede do reservatório, de 4,50 metros. Na figura 22, pode-se ver que são os painéis que estão com os tirantes.

Na montagem das fôrmas, para um determinado segmento de circunferência da parede, a armadura era montada, e posteriormente era colocado o painel, assim até **fechar** o primeiro nível dos painéis, seguindo o mesmo procedimento para o segundo.

Para a fixação das fôrmas, foram usados tirantes e porcas, assim como espaçadores do tipo núcleo perdido e cone, no interior da parede, seguindo o mesmo procedimento adotado para as fôrmas do fundo inclinado do reservatório. Além disto, também foram amarrados cabos de aço no perímetro externo da parede, junto às **fiadas** de distribuição dos tirantes e indicados com as setas em cor vermelha na figura 22. Já no lado interno da parede foram usados arames recozidos para a amarração de alguns tirantes na estrutura do escoramento metálico.



Figura 22: fôrmas externas da parede do reservatório

No interior das fôrmas da parede, assim como nas fôrmas do fundo do reservatório, foi aplicado agente desmoldante para facilitar a retirada das mesmas. Para a parede, o desmoldante foi aplicado nas fôrmas antes das mesmas serem fixadas na estrutura, com a armadura já montada.

Para o escoramento da parede, foram usadas no interior do reservatório escoras do tipo torre metálica, as quais também serviram para a formação de andaime usado pela mão de obra para realizar todos os serviços necessários, como a montagem das fôrmas, o lançamento do concreto e escoramento da cúpula do reservatório. As figuras 23 à 25 ilustram, respectivamente, a disposição das escoras no reservatório, o modo de fixação nas paredes e a formação do andaime. Nelas pode-se ver também que as escoras estão apoiadas no fundo esférico com o auxílio de cunhas de madeira e travadas no fundo inclinado com o uso de tábuas entre a base da escora apoiada no mesmo e a escora apoiada no topo da viga circular.

No cilindro interno, foram usadas chapas resinadas de 10 milímetros de espessura tanto no lado interno quanto para o externo. No lado externo, para fins de vedação e regularização da superfície, foi aplicada uma massa plástica de cor cinza entre as juntas das chapas, conforme mostra a figura 26. É importante salientar que nas demais juntas das fôrmas do reservatório, não foi usado nenhum produto para a vedação das mesmas. Entretanto, isto não deixou de atender uma das exigências do item 6.2 da NBR 15696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, p. 8), o qual trata dos requisitos para fôrmas e estabelece que as mesmas devem “[...] ser suficientemente estanques, de modo a impedir a perda de pasta de cimento, admitindo-se como limite o surgimento do agregado miúdo da superfície de concreto.”. No lado interno do cilindro, os painéis foram fixados através da amarração dos mesmos, com o uso de arames recozidos, na estrutura do escoramento metálico.



Figura 23: escoramento da parede do reservatório e cilindro interno



Figura 24: escoras da parede do reservatório





Figura 25: escoras e fôrmas internas da parede do reservatório



Figura 26: fôrma da parede do cilindro interno

Para o escoramento da **cúpula**, a partir do último nível do escoramento metálico da parede, usado também como andaime para a circulação da equipe da obra, foi criado um **tablado** de madeira, apoiado sobre o escoramento metálico, onde a partir deste tablado foram colocados pontaletes de madeira para o escoramento da cúpula, seguindo um procedimento de escoramento e montagem das fôrmas semelhante ao do fundo esférico. As chapas de madeira

compensada usadas no interior da cúpula também foram resinadas de 10 milímetros de espessura, e mesmo sem o uso de agente desmoldante, não foram diagnosticados os mesmos problemas ocorridos na retirada das fôrmas do fundo esférico. Um fator que contribuiu para isto foi um menor tempo de exposição das fôrmas às condições adversas do clima, visto que os serviços executados na cúpula acarretaram em um menor número de dias até a sua finalização.

Para a retirada das fôrmas e escoramentos, o item 6.5 da NBR 15696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, p. 10) afirma que “Fôrmas e escoramentos devem ser removidos de acordo com o plano de desforma previamente estabelecido pelo responsável pela obra e de maneira a não comprometer a segurança e o desempenho em serviço da estrutura.”. A remoção dos escoramentos e fôrmas começou após 14 dias da concretagem da cúpula, iniciando com a retirada da estrutura da cúpula, realizada através da abertura do cilindro interno, já citada neste trabalho. Posteriormente, esta abertura também permitiu a retirada do escoramento metálico da parede, assim como das fôrmas internas da parede e do cilindro interno, as quais precisaram ser quebradas em pedaços menores, visto que a abertura apresenta tamanho reduzido. Posteriormente foram retiradas, seguindo em ordem cronológica, as fôrmas externas da parede, fundos inclinado e esférico, e viga circular, assim como seus respectivos escoramentos. Para as remoções citadas, não foi seguido nenhum plano de desforma, já que as paredes do cilindro interno e externo, os fundos e a viga circular, ficaram todas elas sujeitas a ação do escoramento e das fôrmas, por no mínimo 28 dias.

#### **4.1.2 CONCRETO**

Fazendo uma breve introdução ao assunto, denomina-se concreto um material constituído por uma mistura de água, cimento e agregados, em partículas de diversos tamanhos. A água e o cimento, quando misturados, formam uma pasta que com o tempo endurece, adquirindo resistência mecânica, e adere às partículas dos agregados, formando um material monolítico com características de pedra. A resistência do concreto depende basicamente da resistência do agregado, da coesão da pasta, e da aderência entre estes dois. Para a coesão e aderência, e consequentemente a resistência do concreto, alguns dos fatores mais importantes são a relação água/cimento, assim como o tipo de cimento a ser usado (GIAMMUSSO, 1992).

O concreto usado no reservatório foi dosado na central da concreteira. Para cada concretagem que era realizada, o produto era submetido pela fiscalização da Corsan, ao abatimento do tronco de cone, conhecido como *slump test*, para verificação da consistência, sendo sempre realizado na obra, após a chegada de cada um dos caminhões betoneira. Além deste procedimento, também houve a moldagem dos corpos de prova do concreto oriundo dos caminhões, onde estes moldes foram submetidos aos ensaios de compressão elaborados por empresa especializada.

A dosagem do concreto usado nas diferentes concretagens dos elementos do reservatório, para o volume de 1 m<sup>3</sup>, foi obtida com a concreteira responsável pela execução do mesmo, e juntamente com a resistência à compressão estabelecida no projeto estrutural, segue abaixo:

- a) resistência característica do concreto à compressão: 30 MPa;
- b) cimento CP II-F-32: 347 kg;
- c) pozolana cinza volante leve: 61 kg;
- d) areia seca: 867 kg;
- e) brita 0, com diâmetro médio de 9,50 milímetros: 209 kg;
- f) brita 1, com diâmetro médio de 19,00 milímetros: 835 kg;
- g) água: 176 L;
- h) aditivo plastificante multifuncional de pega normal: 2,45 kg;
- i) aditivo superplastificante: 0,816 kg.

No que se refere à dosagem do concreto, pode-se destacar duas exigências do CEC, que são o consumo mínimo de 370 kg de cimento por metro cúbico de concreto, e o valor máximo de 0,5 para a relação água/cimento (RIO GRANDE DO SUL, 1999b). Por isso, o acréscimo de pozolana na mistura do concreto, somada à quantidade de cimento empregado, totalizou 408 kg e resultou no valor de 0,43 para a relação água/aglomerante, garantindo o atendimento das duas determinações citadas, as quais também eram exigidas no projeto estrutural do reservatório. O valor máximo de 0,5 para a relação água/cimento também é determinado na NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006), através da tabela 3, que estabelece requisitos para o concreto em condições especiais de exposição, sendo neste caso o concreto de baixa permeabilidade à água. Outro aspecto que deve ser

mencionado é que a dosagem foi estabelecida pela concreteira, que apresenta um padrão para o concreto usado em estruturas de fins hidráulicos, e não sofreu interferência da fiscalização da Corsan.

O aditivo plastificante é adicionado no início do processo de mistura dos componentes do concreto, na central da concreteira, enquanto que o superplastificante é adicionado após o final da mistura. Neste caso, foi adicionado pelo responsável da concreteira no caminhão, quando o mesmo já se encontrava na obra, e minutos antes do lançamento do concreto. Em estruturas para fins hidráulicos, o uso de aditivos superplastificantes é obrigatório (RIO GRANDE DO SUL, 1999b). Não foram usados aditivos retardadores de pega.

Além da dosagem do concreto, a concreteira forneceu também o resultado para o abatimento do tronco de cone, mais conhecido como *slump test*, realizado na central antes do transporte do concreto para a obra. A média dos resultados ficou em 120 milímetros. O CEC (RIO GRANDE DO SUL, 1999b) não faz nenhuma referência à valores máximos para o abatimento do tronco de cone em estruturas para fins hidráulicos.

Entretanto, com relação ao *slump test*, é importante destacar um procedimento que foi adotado na obra. Na primeira etapa de concretagem, que consistiu no preenchimento da viga circular, o concreto foi fornecido exatamente com a dosagem fornecida pela concreteira e descrita anteriormente. Com a chegada do caminhão betoneira na obra, confirmou-se o abatimento do tronco de cone em 120 milímetros. Todavia, a posterior adição do aditivo superplastificante à mistura acabou resultando em um aumento demasiado da plasticidade do concreto. Em virtude disto, nas etapas de concretagem ocorridas posteriormente à da viga circular, o responsável da empresa na obra solicitou a concreteira que mantivesse a dosagem do concreto, mas com a redução da quantidade de água adicionada na central, o que propiciou ao concreto transportado à obra um valor do abatimento do tronco de cone de cerca de 80 milímetros. A partir disto, com a chegada dos caminhões na obra, ocorria a verificação do abatimento do concreto e com isso, realizava-se a adição de água e do aditivo superplastificante, até ser atingido o valor de abatimento e plasticidade do concreto que se desejava para o determinado local em que o mesmo seria lançado. Conseqüentemente, não ocorreram rejeições da fiscalização da Corsan ocasionadas por um possível valor elevado, acima dos limites acordados entre o responsável pela obra, concreteira e a própria fiscalização da Corsan, do abatimento do tronco de cone para os concretos transportados até a obra.

O transporte do concreto da central para a obra foi realizado por caminhões betoneira com capacidade volumétrica do tambor de 8 m<sup>3</sup>, mas que sempre transportavam no máximo uma carga de 5 m<sup>3</sup>, atendendo o limite de 80 % da capacidade do tambor determinado pelo CEC. Na maioria dos casos, o tempo de 90 minutos estipulado pelo CEC entre a saída do caminhão da central e o final do lançamento na obra foi atendido. Porém, devido a falhas de comunicação entre a equipe na obra e a concreteira, ocorreram situações em que foram mandados para obra dois, e até três caminhões, em um intervalo de tempo muito pequeno. Isso fez com que os caminhões ficassem muito tempo na espera para o lançamento do concreto, fazendo com que a fiscalização da Corsan, com a concordância do responsável da empresa, solicitasse o retorno destes para a central. O fato de não ter nenhum representante da empresa responsável pela obra ou da Corsan na central, conforme especificado pelo CEC (RIO GRANDE DO SUL, 1999b), também facilitou este tipo de acontecimento. O item 4.5 da NBR 7212 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984), a qual trata da execução de concreto dosado em central, estabelece o tempo máximo de 90 minutos para o transporte do concreto desde o início da mistura na central até a entrega na obra, no caso do emprego de veículo dotado de equipamento de agitação. Esta condição foi sempre atendida e pode ser verificada através da documentação fornecida pela concreteira, que apresentava o horário do início da mistura e da saída de cada veículo da central.

Com relação ao lançamento do concreto, o CEC afirma que a fiscalização da Corsan deve ser notificada com antecedência, para poder realizar todos os serviços de vistoria necessários para a autorização do lançamento do concreto na estrutura (RIO GRANDE DO SUL, 1999b). A vistoria era realizada sempre um dia antes da data marcada para a concretagem, e cabe ressaltar que nunca houve cancelamento de concretagem por parte da fiscalização da obra. Entretanto, uma das considerações do item 6.4 da NBR 15696, que trata de cuidados na concretagem, não foi atendida, a qual estabelece que nas fôrmas de paredes, pilares e vigas estreitas e altas, devem ser deixadas aberturas provisórias próximas ao fundo, para limpeza da superfície interna (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009). Isso se verificou com mais atenção na parede do reservatório, visto que no fundo dela às vezes ficavam alguns espaçadores plásticos e pregos. A outra consideração não atendida deste item da Norma segue no próximo parágrafo.

Para o lançamento do concreto na viga circular e no fundo do reservatório, foi usado um caminhão bomba estacionária BPL, auxiliado pela tubulação instalada do mesmo até o



cilindro interno, a partir do qual era fixado o mangote. Para chegar ao cilindro interno, a tubulação precisou subir pelo eixo central do reservatório, ou seja, pelo centro da locação dos pilares. Entretanto, como não havia nenhuma estrutura concretada neste local, a tubulação precisou ser **amarrada** a uma das escoras do reservatório, o que acabou contrariando outra consideração do item 6.4 da NBR 15696, que ressalta que “[...] as tubulações de bombeamento do concreto nunca devem ser fixadas ao escoramento ou às fôrmas e sim aos pilares concretados.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, p. 10). Apesar disto, não ocorreu nenhum fato que colocasse em risco a segurança da obra e dos profissionais.

Conforme já citado anteriormente, o interior do fundo esférico não foi revestido com fôrmas, e por isso, foram amarradas às armaduras ripas de madeira, auxiliadas por pequenos tacos que propiciaram a estas ficarem niveladas em uma altura suficiente para garantir o cobrimento da armadura exigido no projeto estrutural. Estas ripas também foram usadas na parte superior e inferior do fundo inclinado, permitindo o nivelamento da superfície junto com os painéis fixados na parte central do mesmo, assim como para o nivelamento do topo da viga circular, a qual foi concretada separadamente, em uma etapa anterior ao fundo. A retirada das ripas só era realizada quando um determinado local do fundo já estivesse com o concreto lançado e com a superfície nivelada, apenas sendo feito novamente um ajuste no acabamento no local do qual foram retiradas as ripas. Os painéis fixados no centro do fundo inclinado também auxiliavam a mão de obra para o lançamento e vibração do concreto no topo deste fundo, assim como na viga da base da parede, a qual complementou a etapa da concretagem do fundo do reservatório. As figuras 27 à 30 propiciam uma melhor compreensão da descrição deste parágrafo.

Antes do lançamento do concreto no fundo do reservatório, a superfície das fôrmas do fundo esférico foi devidamente molhada até a mesma ficar úmida, visto que as chapas usadas eram resinadas, atendendo uma exigência tanto do CEC (RIO GRANDE DO SUL, 1999b) quanto da NBR 15696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009). Este procedimento também foi adotado antes do lançamento do concreto na cúpula, que também apresentava suas fôrmas compostas por chapas resinadas.

Após o término da concretagem do fundo, a cura do concreto foi seguida conforme a determinação do CEC, que afirma que a mesma deve ser cuidadosa, com a aspersão de água

prolongando-se por sete dias, e nas superfícies das lajes deverá ser previsto o represamento de uma delgada lâmina-d'água, assim que se verifique o início de pega do concreto (RIO GRANDE DO SUL, 1999b). Este represamento foi realizado sobre o topo da viga circular.



Figura 27: sistema para nivelamento da superfície do fundo esférico e inclinado



Figura 28: início da concretagem do fundo e complementação do topo da viga circular



Figura 29: lançamento e vibração do concreto no fundo inclinado



Figura 30: nivelamento da superfície do fundo inclinado

Já no lançamento do concreto na parede, cilindro interno e cúpula foi usado o caminhão bomba lança, o qual pode ser visto na figura 31, com o mangote sendo fixado na ponta da lança. Para a parede, o uso deste tipo de caminhão permitia a mão de obra realizar o lançamento do concreto, conforme mostra a figura 32, e deslocar-se por toda a circunferência da parede, sobre a estrutura do andaime montado para o escoramento da mesma. O

lançamento do concreto na parede foi dividido em duas etapas, uma para cada nível dos painéis montados. Consequentemente, essa divisão propiciou o surgimento de uma junta de concretagem a qual não estava prevista no projeto estrutural do reservatório. Por isso, antes da segunda etapa da concretagem foi aplicada uma resina sintética de alto desempenho no topo do primeiro lance da parede, já concretado, para propiciar uma melhor aderência entre as duas camadas de concreto. A NBR 14931 salienta a necessidade de serem tomados todos os cuidados para garantir a suficiente ligação do concreto já endurecido com o do novo trecho, sendo que das medidas preventivas descritas na norma estão o uso da resina, assim como deixar arranques da armadura ou barras cravadas no concreto mais velho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Esta última também foi adotada na obra, através das armaduras verticais da parede, com barras dispostas e com comprimento correspondente à altura do elemento. Com a divisão do lançamento do concreto em duas etapas, estas barras acabaram desempenhando este tipo de função.

Na segunda etapa, durante o lançamento do concreto, ocorreram extravasamentos do mesmo nos painéis do lado externo do primeiro nível da parede, visto que o concreto lançado exerceu pressão e fez com que surgissem pequenas aberturas nestas fôrmas. A principal causa deste ocorrido foi a retirada dos tirantes e das espigas que faziam o travamento das fôrmas deste nível, para o mesmo uso no segundo nível. Este transtorno gerou interrupções na concretagem, e com isso, o tempo de permanência do concreto no caminhão começou a se prolongar de tal forma que o lançamento teve que ser paralisado e agendado para continuar outro dia, após a correção destas falhas. O CEC determina que para evitar possíveis segregações, o prazo de 45 minutos entre o início e o fim do lançamento da carga completa de um caminhão-betoneira não pode ser excedido, exceto para o concreto com utilização de aditivo retardador de pega (RIO GRANDE DO SUL, 1999b). Conforme citado anteriormente, não foi aplicado no concreto este tipo de aditivo.

Os extravasamentos citados, somado a uma má vibração do concreto lançado nos níveis da parede e a uma fixação deficiente dos tirantes, que consequentemente geram um travamento insuficiente das fôrmas, ocasionaram imperfeições na superfície do lado externo da parede. Com relação à vibração do concreto, o item 9.6.2 da NBR 14931 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 21) determina alguns cuidados a serem tomados durante o adensamento com vibradores de imersão, com destaque para o que segue abaixo:



[...] não permitir que o vibrador entre em contato com a parede da fôrma, para evitar a formação de bolhas de ar na superfície da peça, mas promover um adensamento uniforme e adequado de toda a massa de concreto, observando cantos e arestas, de maneira que não se formem vazios.

Este cuidado não foi rigorosamente seguido durante o adensamento do concreto na parede do reservatório, o que contribuiu para o surgimento das imperfeições e ondulações na parede do reservatório. Entretanto, é importante citar que no lado interno da parede não ocorreram os extravasamentos citados, e a superfície ficou em boas condições.



Figura 31: lança do caminhão-bomba usada na concretagem da parede do reservatório



Figura 32: lançamento do concreto na parede do reservatório

Após a concretagem da parede, foram distribuídos no topo da mesma, a cada 70 centímetros, apoios de neoprene de formato quadrangular com 10 centímetros de largura e 10 milímetros de espessura, fixados sobre uma camada de 10 milímetros de **groute**, também quadrangular, seguindo as especificações do projeto estrutural, e conforme ilustra a figura 33. O uso dos apoios é necessário visto que a parede e a cúpula são elementos **isolados**, e portanto, não participam de uma mesma etapa de concretagem, o que propicia o surgimento de uma junta que percorre toda a circunferência do topo da parede do reservatório. O espaço restante da junta foi complementado com isopor. Cabe salientar que esta foi a única junta de concretagem prevista no projeto estrutural.

Antes da concretagem da cúpula, foi realizada a do cilindro interno do reservatório, dividida em duas etapas, com a primeira atingindo o patamar do cilindro, e a segunda chegando até o topo da abertura do mesmo. A borda do cilindro, representada pela estrutura acima dessa abertura, foi concretada junto com a cúpula. Por isso, devido à formação de uma junta de concretagem, também não prevista no projeto estrutural, foi colocado isopor em todo o perímetro desta, conforme grifado em cor vermelha o segmento visível na figura 34. Esta camada de isopor não abrangia apenas a espessura da parede do cilindro interno, mas também avançava cerca de 10 centímetros na superfície da cúpula. Para a concretagem desta, foi adotado o mesmo procedimento do fundo esférico, com o uso das ripas amarradas a armadura para garantir o cobrimento exigido no projeto estrutural.

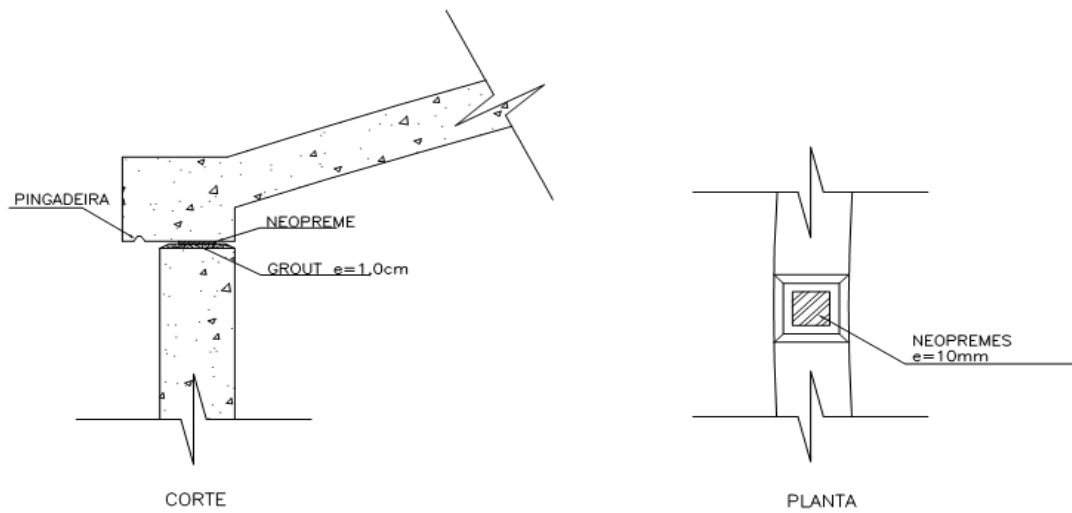


Figura 33: apoios de neoprene usados no topo da parede do reservatório, conforme projeto estrutural (trabalho não publicado<sup>17</sup>)



Figura 34: abertura do cilindro interno e isopor usado na junta de concretagem

<sup>17</sup> Projeto estrutural elaborado por profissional habilitado e usado na execução do reservatório.

### 4.1.3 ARMADURAS

O aço usado nas armaduras do reservatório, comprado de siderúrgica pelo sistema de corte e dobra, atendeu as definições do projeto estrutural, assim como os requisitos básicos estabelecidos no CEC (RIO GRANDE DO SUL, 1999b), como:

- a) as armaduras destinadas às estruturas de concreto armado devem obedecer ao cálculo estrutural;
- b) os diâmetros de dobramento das armaduras e suas emendas devem seguir o previsto em projeto;
- c) para a montagem, as armaduras devem ser montadas nas posições indicadas no projeto e de modo que fiquem firmes durante o lançamento do concreto;
- d) na instalação, para manter o afastamento entre armaduras e fôrmas, não devem ser usados espaçadores de metal.

No que se refere ao **item b**, todas as emendas previstas no projeto eram por traspasse. Para o atendimento do **item c**, foram amarradas entre as malhas das armaduras do fundo, da parede, do cilindro interno e de parte da cúpula, peças conhecidas como caranguejos, os quais são formados através da dobra de pequenos pedaços de barras de aço, com diâmetro semelhante ou um pouco menor ao das barras das armaduras. O uso do caranguejo ou de outros dispositivos é previsto pelo CEC (RIO GRANDE DO SUL, 1999b). Já o **item d** foi atendido através do uso de espaçadores plásticos, do tipo cadeira para as armaduras do fundo, patamar do cilindro interno e cúpula, e do tipo roseta para as armaduras das vigas e parede do cilindro externo e interno, garantindo o cobrimento das armaduras exigido no projeto estrutural, de 40 milímetros. Cabe o registro do CEC (RIO GRANDE DO SUL, 1999b) de que o cobrimento da armadura é o estabelecido em projeto, sendo que na falta deste, é adotado o mínimo exigido pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980), a qual determina através do item 6.3.3.1 que o cobrimento para ambiente fortemente agressivo também é de 40 milímetros.

Com relação às determinações do projeto estrutural, não se verificou no mesmo um detalhamento dos espaçamentos nas regiões de grande densidade de armadura, para facilitar a execução da concretagem, conforme cita o item 9.2.3 da NBR 14931 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), que trata dos cuidados preliminares nas armaduras antes da execução da concretagem. As armaduras usadas na estrutura do



reservatório totalizam cerca de 14 toneladas de aço, com as bitolas das barras variando de 6,3 à 10 milímetros, sendo esta última a mais utilizada, com cerca de 10 toneladas.

Conforme segue, a figura 35 ilustra um dos caranguejos usados nas armaduras do fundo esférico, com seu contorno grifado em vermelho, assim como os espaçadores do tipo cadeira, enquanto a figura 36 mostra os espaçadores do tipo roseta.

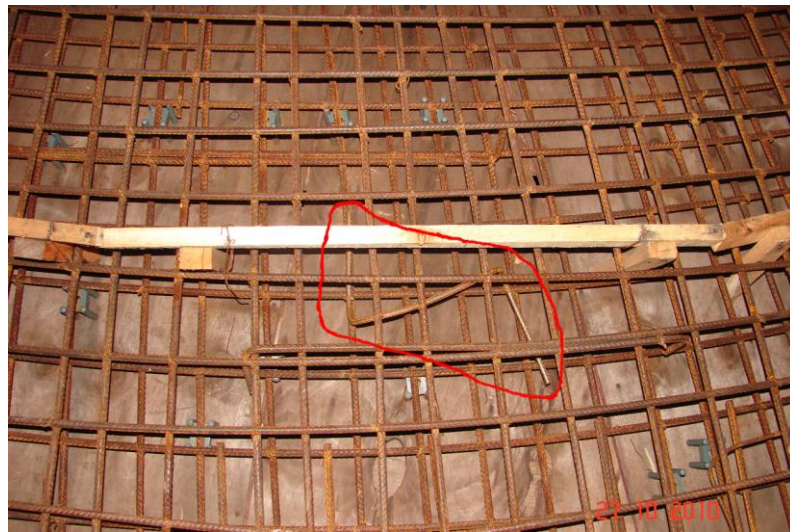


Figura 35: caranguejo e espaçadores tipo cadeira

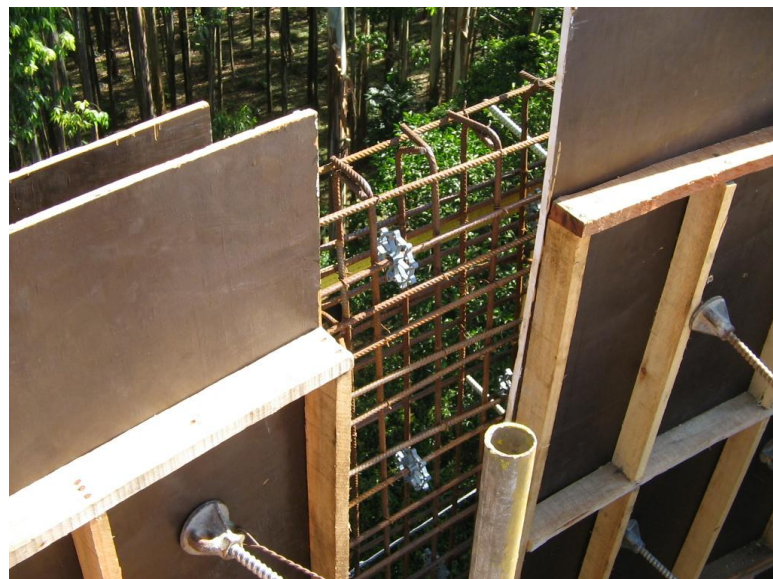


Figura 36: espaçadores do tipo roseta

## 4.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Após a descrição e verificação dos procedimentos de execução do reservatório abordado neste trabalho, podem-se destacar alguns aspectos referentes aos diferentes serviços envolvidos na construção desta estrutura, principalmente no que se refere às dificuldades encontradas na obra.

O escoramento do reservatório, em um âmbito geral, atendeu às expectativas. Um procedimento que poderia ser acrescido na sua execução seria a distribuição de mais escoras verticais em um maior raio no entorno da locação dos pilares, propiciando a montagem de um andaime em volta do fundo inclinado com maiores dimensões, facilitando a realização dos serviços e garantindo também uma maior condição de segurança à mão de obra. Cabe destacar que em toda a duração da obra, não houve nenhum acidente de trabalho por nenhum dos envolvidos na mesma.

Com relação às fôrmas do fundo esférico do reservatório, devido aos problemas ocorridos com o uso das chapas de madeira compensada resinada, a utilização de chapas de compensado plastificado propiciaria um melhor acabamento da superfície, fato ocorrido no fundo inclinado. Entretanto, é importante mencionar que o uso das chapas plastificadas acarretaria em uma maior dificuldade de dobragem das mesmas para a adequação ao formato curvo do fundo esférico.

Outro aspecto relacionado ao fundo do reservatório é a montagem das fôrmas do fundo inclinado. Conforme já citado, no método de montagem utilizado não se fez um total **fechamento** da superfície interna deste fundo, devido ao procedimento de concretagem estabelecido. Com relação ao acabamento da superfície, o método forneceu um bom resultado. Todavia, quando era realizado o lançamento do concreto no fundo esférico, a mão de obra precisava ter cuidado para não se deslocar sobre as partes do fundo inclinado com o concreto já lançado, adensado e com a superfície devidamente nivelada, o que em muitas vezes acabava não ocorrendo, comprometendo o acabamento já realizado. Um diferente método que foi empregado em um outro reservatório elevado do tipo Intze executado posteriormente pela mesma empresa, foi o fechamento da superfície interna do fundo inclinado, com diversos **recortes** circulares nas chapas, distribuídos ao longo de todo o comprimento do fundo, através dos quais era possível fazer o lançamento e vibração do concreto. Este método facilitou o deslocamento da mão de obra durante o lançamento do

concreto no fundo do reservatório e evitou em **retrabalho** no acabamento da superfície do fundo inclinado.

Na parede do reservatório, após a retirada das fôrmas, verificou-se no lado externo a presença de inúmeras imperfeições ao longo da superfície da mesma, ocasionadas pelos transtornos já relatados. Um fato que poderia evitar o surgimento deste problema seria a não retirada dos tirantes e cabos de aço que faziam o travamento das fôrmas do primeiro nível da parede, com a adição de mais unidades dos mesmos no segundo nível da parede.

Para a correção das imperfeições, foi aplicada nos locais de ocorrência das mesmas, uma argamassa moldável de alta resistência mecânica, intitulada coloquialmente como argamassa estrutural, conforme pode ser visto na figura 37, no local grifado em cor vermelha. O CEC (RIO GRANDE DO SUL, 1999b) apenas determina que os serviços de reparo estrutural são apenas permitidos com a autorização da fiscalização da Corsan.



Figura 37: parede do reservatório com o reparo de argamassa estrutural

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do conteúdo apresentado neste trabalho, pode-se fazer uma análise da verificação dos procedimentos de execução do reservatório elevado do tipo Intze em estudo. No que tange à parte técnica da execução dos serviços, tanto o CEC quanto as normas são desprovidas de um conteúdo mais abrangente e detalhado. Porém, a constatação mais importante a fazer é a necessidade de atualização das regulamentações do CEC e do projeto estrutural padrão da Corsan ao conteúdo das normas vigentes. Podem ser citadas duas situações que reforçam esta necessidade.

A primeira se refere ao cobrimento mínimo da armadura estipulado no projeto estrutural. Conforme já citado no trabalho, o projeto determinava um cobrimento da armadura de 4,0 centímetros, estando de acordo com a exigência da versão antiga da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980), norma a qual se fazia vigente na época de elaboração do CEC. Entretanto, esta norma já sofreu duas revisões, e na versão do ano de 2003 houve uma alteração, estabelecida através da tabela 7.2, que determina a correspondência entre cobrimento e a classe de agressividade ambiental, sendo que o cobrimento mínimo da armadura em reservatórios é de 45 milímetros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 19).

O segundo fato é que a própria Corsan está estudando a possibilidade da realização da impermeabilização no interior do reservatório, baseada no aumento dos casos de necessidade de reparo estrutural em reservatórios da Companhia no estado. Isto conseqüentemente leva à reflexão, para os diversos reservatórios que estão sendo executados pela Corsan, se a dosagem do concreto estabelecida pela Companhia tem sido respeitada, principalmente no que se refere à duas exigências básicas do CEC: o consumo mínimo de cimento de 370 kg/m<sup>3</sup> de concreto e o valor máximo de 0,5 para a relação água/cimento. Recena (2007) cita que concretos com estas características tem sido utilizados para a construção de reservatórios com sucesso. No caso de estar sendo respeitada, é preciso verificar se realmente esta dosagem ainda está adequada para o concreto que é usado em estruturas hidráulicas, tendo em vista as alterações das características dos materiais, notadamente, o cimento, ocorridas ao longo do tempo, bem como a oferta de determinados tipos de cimento, que também apresenta variações. Outra

condição que também se faz necessária para análise é se os procedimentos envolvidos na execução dos reservatórios realmente estão corretos, visto que a necessidade de reparo estrutural nestas estruturas possa não ser em virtude da dosagem do concreto empregado ou da falta de um sistema de impermeabilização no interior delas, mas sim ocasionada por falhas técnicas na execução dos reservatórios.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto e execução de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. **NBR 7212**: execução de concreto dosado em central - ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655**: concreto de cimento portland - preparo, controle e recebimento – procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 15696**: fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto - projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro, 2009.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R. Madeiras para Fôrmas e Escoramentos de Estruturas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 1231-1262. v. 2.

GIAMMUSSO, S. E. **Manual do Concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

MEDEIROS FILHO, C. F.; FEITOSA, N. B. Abastecimento de Água no Meio Rural: sistema de abastecimento público de água. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2010a. Disponível em: < <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/A61.html>>. Acesso em: 30 set. 2010.

\_\_\_\_\_. Abastecimento de Água: reservatórios de água. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2010b. Disponível em: < <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Reserv01.html>>. Acesso em: 30 set. 2010.

RECENA, F. A. P. **Dosagem Empírica e Controle da Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Planejamento Territorial e Obras. Companhia Riograndense de Saneamento. Caderno de Encargos: Capítulo de Apresentação. Porto Alegre, 1999a.

\_\_\_\_\_. Secretaria do Planejamento Territorial e Obras. Companhia Riograndense de Saneamento. Caderno de Encargos: Fundação e Estrutura. Porto Alegre, 1999b.

