



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA – UEPB**  
**CAMPUS VIII - ARARUNA - PB**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE - CCTS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - DEC**

**GUSTAVO FERNANDES DA SILVA**

**ESTUDO DE CASO SOBRE A EXECUÇÃO DE RESERVATÓRIOS DA CIDADE**  
**MADURA EM GUARABIRA/PB**

**ARARUNA**  
**2017**

**GUSTAVO FERNANDES DA SILVA**

**ESTUDO DE CASO SOBRE A EXECUÇÃO DE RESERVATÓRIOS DA CIDADE  
MADURA EM GUARABIRA/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Patologia e Estruturas

**Orientador:** Prof. Me. Leonardo Medeiros da Costa

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

S586e Silva, Gustavo Fernandes da  
Estudo de caso sobre a execução de reservatórios da cidade  
Madura em Guarabira/PB [manuscrito] / Gustavo Fernandes da  
Silva. - 2017.  
58 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em  
ENGENHARIA CIVIL) - Universidade Estadual da Paraíba,  
Centro de Ciências Tecnologia e Saúde, 2017.

"Orientação: Prof. Me. Leonardo Medeiros da Costa,  
Departamento de Engenharia Civil".

1.Reservatório. 2. Execução.3. Patologia. I. Título.

21. ed. CDD 627

**GUSTAVO FERNANDES DA SILVA**

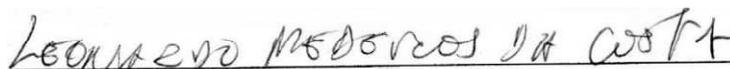
**ESTUDO DE CASO SOBRE A EXECUÇÃO DE RESERVATÓRIOS DA CIDADE  
MADURA EM GUARABIRA/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Civil da Universidade  
Estadual da Paraíba, como requisito  
parcial à obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Civil.

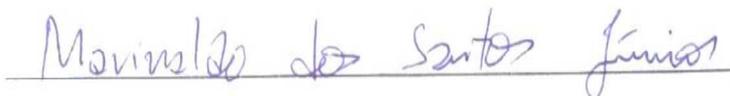
Área de concentração: Patologia e  
Estruturas

Aprovada em: 03/05/2017.

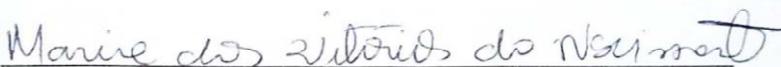
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Me. Leonardo Medeiros da Costa (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Marinaldo dos Santos Júnior  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Ma. Maria das Vitórias do Nascimento  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Ao Deus Todo Poderoso, regente de todo universo, minha família, pela dedicação, meus amigos pelo companheirismo e amizade, DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço ao Deus digno de toda glória, que me encorajou e sustentou durante toda minha graduação e continua abençoando minha vida. Ele me concedeu a oportunidade de lecionar no curso de engenharia civil. “Porque Dele, e por Ele, e para Ele são todas as coisas; glória, pois, a Ele eternamente. Amém” (Rm 11:36).

Aos meus pais, Antônio Fernandes da Silva e Maria José Fernandes da Silva pelo maior apoio que precisei durante toda minha vida, pelos seus ensinamentos que sempre foi visando o melhor caminho para mim, e sempre me deram o melhor para me educar.

Aos professores e funcionários do Campus VIII da UEPB, que contribuíram para minha formação e que ensinaram ética e responsabilidade na área onde estarei atuando, foram longos cinco anos de lutas e vitórias.

Em especial, agradeço aos professores, Leonardo Medeiros da Costa por me orientar neste trabalho, ao professor Marinaldo dos Santos Júnior, pela amizade e pelo apoio.

Aos meus amigos que fizeram parte dessa caminhada, Jandeilson da Silva Oliveira, José Elianderson Gomes de Almeida, que sempre foram como irmãos para mim, durante o curso.

Aos meus amigos que sempre me deram apoio, Eduardo, Edeurlan, Jobson, dentre outros que fazem parte do meu vínculo de amizade.

Aos meus pastores que me deram ajuda espiritual, Marcos Antônio, Samuel Queiroz, e suas respectivas esposas, em especial agradecer a Gilvaneide Clementino que foi como uma mãe para mim.

## RESUMO

Os reservatórios são dispositivos utilizados geralmente para armazenamento de água. Devido à escassez da água, surge a necessidade de evitar a sua falta para atender às necessidades da sociedade nesses períodos. Geralmente são construídos em edifícios dois reservatórios: um enterrado e outro elevado. Com base nisso, este trabalho objetiva o acompanhamento da execução de dois reservatórios em concreto armado e verificar erros de execução e patologias relacionadas, análise das soluções adotadas e propostas para soluções preventivas e corretivas, tendo por ênfase de estudo o condomínio Cidade Madura na cidade de Guarabira/PB. Para este trabalho, foram realizadas pesquisas na literatura técnica referente ao tema, normas técnicas, anotações e projetos relacionados ao condomínio, análise visual de cada etapa de execução e análise dos problemas inerentes ao mesmo. A partir das informações adquiridas foram apresentadas soluções que possibilitam uma melhor execução de reservatórios em concreto armado. Após verificar a resistência através dos ensaios de compressão simples e ensaio esclerométrico, utilizou-se a média das resistências de ambos os ensaios para análise estrutural, com o objetivo de comparar com a estrutura do projeto original. Conclui-se que é necessário um acompanhamento de um profissional especializado durante toda execução, assim, evitando erros. Com relação a estrutura é necessário um aumento das seções de pilares e também das áreas de aço das armaduras devido à resistência do concreto não atender às especificações de projeto, também foi verificada diferenças apresentadas entre projeto e execução, o que muda a configuração de esforços e comportamento estrutural dos elementos.

**Palavras-Chave:** Reservatório. Execução. Patologia.

## **ABSTRACT**

Reservoirs are devices commonly used for water storage. Due to the scarcity of water, there is a need to avoid its lack to meet the needs of society in these periods. Two reservoirs are generally built in buildings: one buried and one raised. Based on this, this work aims to follow the execution of two reservoirs in reinforced concrete and verify execution errors and related pathologies, analysis of solutions adopted and proposals for preventive and corrective solutions, with emphasis on the study of the Cidade Madura condominium in the city of Guarabira / PB. For this work, researches were carried out in the technical literature related to the theme, technical norms, annotations and projects related to the condominium, visual analysis of each stage of execution and analysis of the problems inherent thereto. Based on the information acquired, solutions were presented that allow a better execution of reservoirs in reinforced concrete. After checking the resistance through the simple compression tests and the sclerometric test, the average of the resistance of both tests for structural analysis was used, in order to compare with the original design structure. It is concluded that it is necessary to follow up with a specialized professional during execution, thus avoiding errors. In relation to the structure, it is necessary to increase the sections of pillars and also the steel areas of the reinforcement due to the concrete's resistance not to meet the design specifications, it was also verified differences presented between design and execution, which changes the configuration of efforts and Structural behavior of the elements.

**Key Words:** Reservoirs. Execution. Pathology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de reservatórios em relação ao terreno.....	18
Figura 2 - Seção transversal de um reservatório semienterrado .....	19
Figura 3 - Estrutura de reservatórios em edifícios .....	20
Figura 4 - Máquina de ensaio à compressão .....	28
Figura 5 – Esclerômetro de reflexão .....	29
Figura 6 - Localização do Cidade Madura.....	31
Figura 7 - Projeto da unidade habitacional .....	31
Figura 8 – Planta de situação do Cidade Madura.....	32
Figura 9 – Execução de sapatas do Reservatório Inferior.....	33
Figura 10 - Execução de Alvenaria externa utilizado como fôrma.....	34
Figura 11 – Execução de escoramento e fixação de fôrmas .....	34
Figura 12 – Impermeabilização do Reservatório enterrado .....	35
Figura 13 – Execução da tampa do reservatório enterrado .....	35
Figura 14 - Caixa de areia após a execução do reservatório.....	36
Figura 15 - Estrutura de contraventamento faltando vigas .....	37
Figura 16 – Execução de mísulas do reservatório elevado .....	38
Figura 17 – Escoramento do reservatório elevado.....	38
Figura 18 – Concreto lançado de forma incorreta.....	40
Figura 19 – Juntas de concretagem .....	40
Figura 20 – Falhas de concretagem.....	41
Figura 21 - Aço exposto a corrosão .....	41
Figura 22 - Abertura na parede do reservatório .....	42
Figura 23 - Manta Asfáltica solta na parede .....	42
Figura 24 - Manta Asfáltica solta no fundo.....	41
Figura 25 – Vibração incorreta na execução do fundo do reservatório elevado.....	43
Figura 26 – Fissuras no fundo do reservatório elevado .....	44
Figura 27 – Fôrmas empenadas .....	44
Figura 28 - Paredes desaprumadas.....	43
Figura 29 – Vedação de furos para fixação de fôrmas com argamassa. ....	45

Figura 30 – Correção não recomendada das falhas das paredes de concreto armado .....	46
Figura 31 – Espaçadores fixados de forma incorreta.....	46
Figura 32 - Aço sem armazenamento correto .....	47
Figura 33 - Aço dos pilares do reservatório.....	46
Figura 34 - Ensaio de compressão simples .....	48
Figura 35 - Resultado obtido no ensaio.....	47
Figura 36 - Dificuldade de realizar o ensaio .....	50
Figura 37 - Área escolhida para o ensaio esclerométrico. ....	50
Figura 38 - Reservatório com $f_{ck}$ de 30MPa com o travamento das vigas.....	52
Figura 39 - Reservatório com $f_{ck}$ de 30MPa sem o travamento das vigas. ....	52
Figura 40 - Reservatório com $f_{ck}$ de 15MPa e com vigas de travamento.....	53
Figura 41- Reservatório com $f_{ck}$ de 15MPa e sem vigas de travamento .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental.....	24
Tabela 2 – Relação entre a classe de agressividade e o cobrimento.....	24
Tabela 3 – Resistência de ensaio.....	48
Tabela 4 – Resultado final do ensaio esclerométrico.....	50
Tabela 5 – Dimensionamento das sapatas do projeto original.....	53
Tabela 6 – Dimensionamento das sapatas com concreto de 15 MPa.....	54
Tabela 7 – Dimensionamento dos pilares do projeto original.....	54
Tabela 8 – Dimensionamento dos pilares com concreto de 15MPa.....	55
Tabela 9 – Dimensionamento das vigas do projeto original.....	55
Tabela 10 – Dimensionamento das vigas com concreto de 15MPa.....	56

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC-II Argamassa colante utilizada para revestimento externo de paredes e fachadas, pisos em áreas externas, assentamento de revestimento de piscinas de água fria e pisos cerâmicos industriais ou de área pública.

CEHAP Companhia Estadual de Habitação Popular da Paraíba

NBR Norma Brasileira

PVC Policloreto de Polivinila

## LISTA DE SÍMBOLOS

$f_{ck}$  Resistência característica à compressão do Concreto

$f_{cm}$  Resistência média à compressão do Concreto

MPa megaPascal

m<sup>3</sup> metro cúbico

m<sup>2</sup> metro quadrado

cm centímetro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO DE RESERVATÓRIOS QUANTO À SUA POSIÇÃO.....	18
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS QUANTO AO VOLUME .....	19
3.3 RESERVATÓRIOS PARALELEPIPÉDICOS.....	20
3.4 AÇÕES ATUANTES NOS RESERVATÓRIOS .....	21
3.5 PATOLOGIAS EM CONCRETO ARMADO.....	22
<b>3.5.1 Fissuração.....</b>	<b>22</b>
3.5.1.1 Fissuração do concreto fresco .....	23
3.5.1.2 Fissuração do concreto endurecido .....	23
<b>3.5.2 Concretagem em tempo quente.....</b>	<b>23</b>
3.5.2.1 Efeitos no estado fresco.....	23
3.5.2.2 Efeitos no estado endurecido.....	24
<b>3.5.3 Armaduras aparentes.....</b>	<b>24</b>
<b>3.5.4 Lançamento.....</b>	<b>26</b>
<b>3.5.5 Adensamento.....</b>	<b>26</b>
3.5.5.1 Adensamento manual .....	26
3.5.5.2 Adensamento mecânico.....	26
3.6 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES .....	27
3.7 ENSAIO ESCLEROMÉTRICO.....	28
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>30</b>

<b>5 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>31</b>
5.1 LOCALIZAÇÃO.....	31
5.2 DEFINIÇÕES DE PROJETO .....	31
5.3 EXECUÇÃO DO RESERVATÓRIO ENTERRADO.....	32
5.4 EXECUÇÃO DO RESERVATÓRIO ELEVADO .....	36
5.5 FALHAS NA EXECUÇÃO DO RESERVATÓRIO ENTERRADO .....	39
5.6 FALHAS NA EXECUÇÃO DO RESERVATÓRIO ELEVADO.....	43
5.7 TRATAMENTO DE FALHAS DOS RESERVATÓRIOS .....	45
<b>6 ANÁLISE ESTRUTURAL DOS RESERVATÓRIOS.....</b>	<b>48</b>
6.1 REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES.....	48
6.2 REALIZAÇÃO DO ENSAIO ESCLEROMÉTRICO .....	49
6.3 REALIZAÇÃO DA ANÁLISE ESTRUTURAL.....	51
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de reservatórios para armazenamento de água surge da necessidade de evitar a sua falta para atender às necessidades da sociedade em períodos de escassez, bem como, de proporcionar pressões hidrostáticas suficientes para viabilizar pontos específicos de distribuição e utilização.

Os primeiros reservatórios de que se tem notícia, segundo Kirby *et al* (1956) *apud* Maiola (2004), foram as cisternas construídas em rochas sãs, datadas do século 25 a.C., por uma civilização que posteriormente tornou-se a comunidade Grega. Esses construtores projetaram um sistema de captação de água de chuva que era mantida limpa, armazenada em cisternas, e utilizada em salas de banho.

No Brasil em 1880, segundo Teles (1984) *apud* Maiola (2004) foi inaugurado no Rio de Janeiro o grande reservatório de Pedregulho, com capacidade para 80 milhões de litros, utilizado para o sistema de abastecimento de água da cidade, construído em alvenaria de pedra, com arcadas e tetos abobadados que até hoje causam admiração. Esse reservatório, com mais quatro outros em vários pontos da cidade, concluídos em 1877 e 1878, constituíram o grande sistema de abastecimento de água planejado pelo Eng. Jerônimo de Moraes Jardim.

Os reservatórios usuais dos edifícios conforme Araújo (2014), são formados por um conjunto de placas, podendo ter uma ou mais células. A divisão do reservatório em células tem a finalidade de permitir a limpeza do mesmo sem que ocorra uma interrupção no abastecimento de água do prédio. Geralmente, são projetados dois reservatórios: um inferior, abastecido diretamente pela rede pública, e um reservatório superior, abastecido por bombas de recalque instaladas no próprio edifício.

A partir do acompanhamento da execução e do conhecimento sobre processos executivos e sobre patologias das construções, este trabalho busca contribuir na melhoria da construção de reservatórios enterrados e elevados, destacando as particularidades existentes na responsabilidade de executar estruturas de concreto armado segundo critérios prescritos nas normas NBR6118/2014 e NBR14931/2004, abordando as discrepâncias entre execução e recomendações normativas devido à falta de acompanhamento técnico (ARAÚJO, 2014)

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo do presente trabalho é buscar o aprimoramento da execução de reservatórios enterrados e elevados em concreto armado, com isso, analisando os possíveis problemas que podem acontecer e sua prevenção. No estudo que se segue, serão analisadas todas etapas que compõem a execução dos reservatórios.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Acompanhar procedimentos executivos;
- Controle tecnológico do concreto;
- Identificar possíveis patologias devido à má execução da estrutura de concreto armado;
- Análise e dimensionamento estrutural dos reservatórios com a resistência do concreto utilizada;
- Avaliar medidas corretivas;
- Apresentar soluções para executar com melhor desempenho, afim de evitar patologias relacionadas.

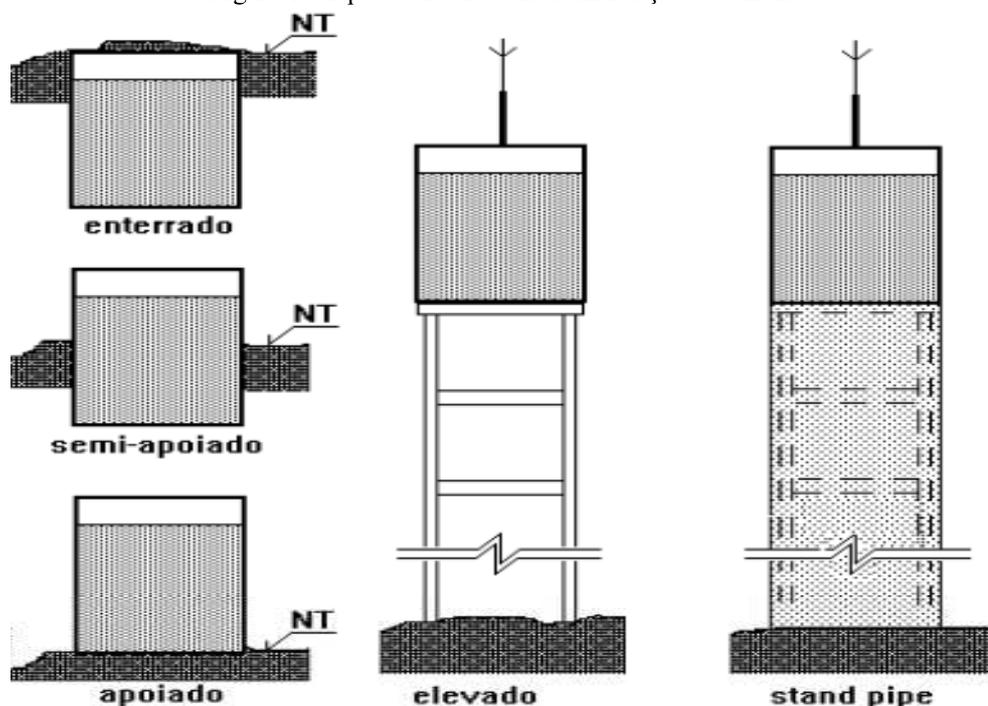
### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os reservatórios podem ser classificados sob vários aspectos. Porém, para não desviar dos objetivos deste trabalho, serão apresentadas aqui apenas as classificações relativas aos aspectos construtivos, de modo resumido.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DE RESERVATÓRIOS QUANTO À SUA POSIÇÃO

Uma das principais classificações dos reservatórios é a que define a sua posição em relação a um plano de referência. Este plano de referência é o plano horizontal de um terreno onde a estrutura é apoiada (MAIOLA, 2004). A partir disto, são definidos os reservatórios elevados e os térreos (ver figura 1).

Figura 1 - Tipos de reservatórios em relação ao terreno



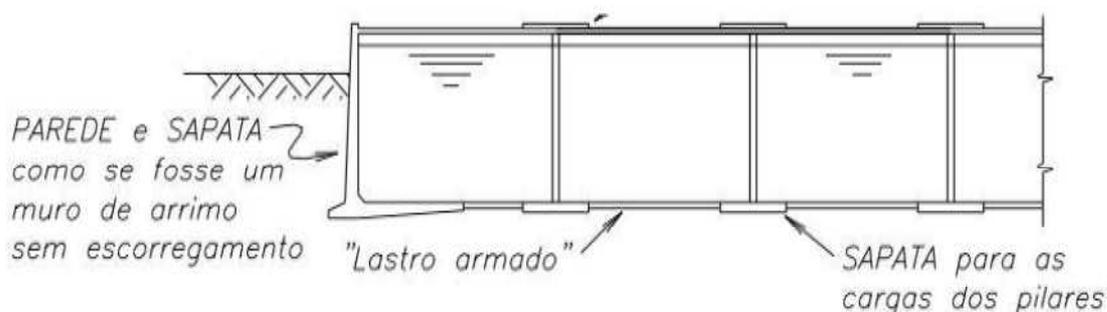
Fonte: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Reserv01.html> Acesso em 08/03/2017

Os reservatórios elevados são utilizados em situações onde seja necessária a atuação de pressão, que seja suficiente para suprir aparelhos hidráulicos e equipamentos. Pode-se separar os reservatórios elevados de acordo com sua estrutura. Os reservatórios apoiados são menos comuns em concreto armado, por ocupar grandes áreas. É mais utilizado para abastecimento público e industrial, e se caracterizam por terem a laje de fundo apoiada diretamente no solo (VASCONCELOS, 1998).

Abrangendo também os semienterrados, os reservatórios enterrados são os que apresentam as estruturas mais econômicas, em face da pequena quantidade de concreto

estrutural por metro cúbico de água reservada; esta característica se torna mais significativa quando projetados em fundação direta, conforme figura 2.

Figura 2 - Seção transversal de um reservatório semienterrado



Fonte: MAIOLA (2004)

Um reservatório enterrado em particular, também conhecido como cisterna, é o adotado em edifícios, quando a pressão disponível na rede de distribuição pública não é suficiente para elevar a água para o reservatório superior. Com isto, reserva-se a água nas cisternas efetuando o recalque com bombas hidráulicas (MAIOLA, 2004).

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS QUANTO AO VOLUME

Será apresentada aqui uma classificação dada por Costa (1998) *apud* Maiola (2004) para os reservatórios elevados, e uma outra para os térreos, uma vez que são dois tipos de estruturas bem diferentes. Por exemplo, as dificuldades para a elaboração de um projeto estrutural bem como para a execução de um reservatório térreo de 5000 m<sup>3</sup>, nem de longe se comparam com as dificuldades correspondentes ao reservatório elevado com essa mesma capacidade. Assim sendo, tem-se:

Para os elevados:

Para os térreos:

Pequenos.....V < 50m<sup>3</sup>

Pequenos..... V < 500m<sup>3</sup>

Médios..... 50m<sup>3</sup> ≤ V < 500m<sup>3</sup>

Médios..... 500m<sup>3</sup> ≤ V < 5000m<sup>3</sup>

Grandes..... V ≥ 500m<sup>3</sup>

Grandes..... V ≥ 5000m<sup>3</sup>

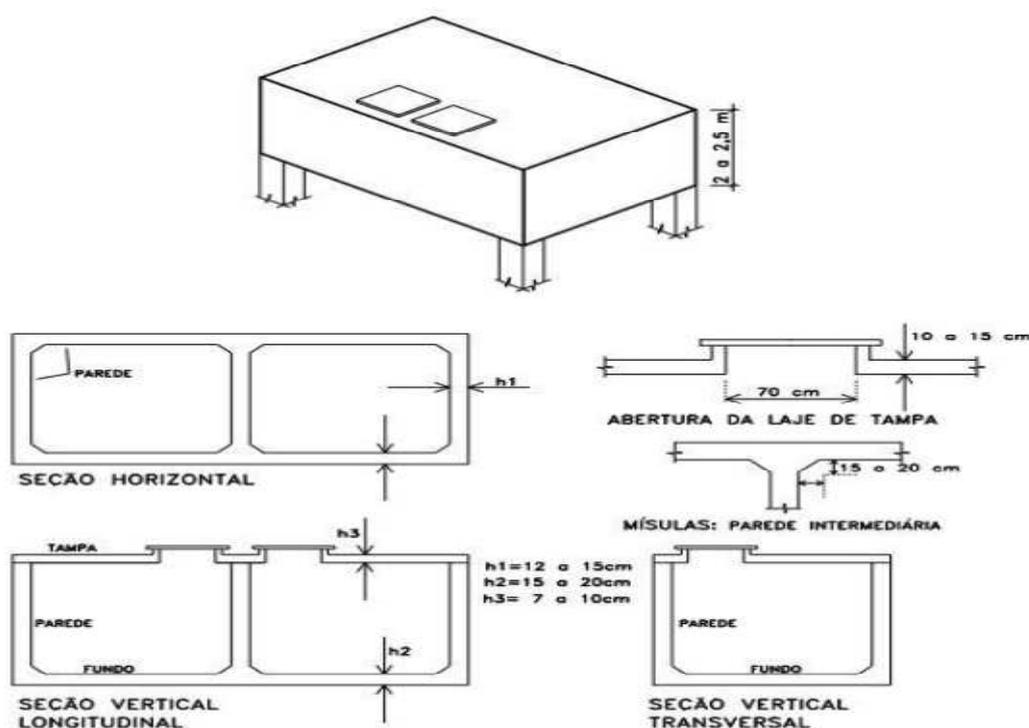
### 3.3 RESERVATÓRIOS PARALELEPIPÉDICOS

Segundo Maiola (2004), as formas em planta mais comuns para os reservatórios são as circulares e as retangulares. Do ponto de vista econômico, alguns pesquisadores atuais chegaram à conclusão de que os reservatórios com paredes cilíndricas são mais econômicos para grandes reservas de água, devido à sua geometria contendo simetrias de revolução, enquanto os paralelepípedos são melhor aproveitados para pequenas reservas, devido à simplicidade de execução.

Em princípio, para edifícios deve existir um reservatório inferior (geralmente enterrado), abastecido diretamente pela rede pública, e um outro superior (elevado), abastecido por bombas de recalque do próprio edifício. Estes em geral são constituídos por pelo menos duas células independentes, para que a limpeza possa ser feita sem prejuízo do abastecimento de água. Segundo Fusco *et al* (1995) *apud* Maiola(2004), os problemas de projeto dos reservatórios elevados e enterrados são análogos, mas os detalhes dos reservatórios superiores são frequentemente sujeitos a restrições mais exigentes. A localização do reservatório elevado na estrutura depende das disponibilidades criadas pelo arranjo dos pilares.

Em geral são utilizados os pilares que formam a caixa de escada, deixando-se os pilares do poço do elevador para a sustentação da casa de máquinas, conforme ilustrado na figura 3

Figura 3 - Estrutura de reservatórios em edifícios



Fonte: (MAIOLA, 2004)

### 3.4 AÇÕES ATUANTES NOS RESERVATÓRIOS

Por ação, entende-se toda e qualquer causa que provoque o aparecimento de esforços e deformações nas estruturas. Podem ser de dois tipos: ações indiretas e diretas.

As ações indiretas não atuam diretamente na estrutura, mas que impõem deformações na mesma e, conseqüentemente, esforços. São elas:

- Fluência;
- Retração;
- Variação de temperatura;
- Deslocamentos de apoio;
- Imperfeições geométricas.

No cálculo estrutural de reservatórios, estas ações não fazem parte dos carregamentos. Na prática alguns cuidados especiais são tomados na elaboração dos projetos estruturais destes, bem como na execução, para se minimizar essas ações que deterioraram este tipo de estrutura.

As ações diretas são esforços externos que atuam nas estruturas, gerando deslocamentos e esforços internos em seus elementos estruturais. Em reservatórios as ações atuantes se apresentam sobre dois aspectos: ações verticais e ações horizontais.

No Brasil, os principais esforços externos que podem atuar nos reservatórios, conforme sejam elevados ou térreos, são apresentados a seguir, juntamente com suas notações simplificadas (MAIOLA, 2004).

Para reservatórios térreos

- Peso próprio + sobrecarga
- Água (peso e empuxo)
- Terra (empuxo nas paredes)
- Lençol freático (sub-pressão)

Para reservatórios elevados:

- Peso próprio + sobrecarga
- Água (peso e empuxo)
- Vento

### 3.5 PATOLOGIAS EM CONCRETO ARMADO

Ao se analisar uma estrutura de concreto "doente" é absolutamente necessário entender-se o porquê do surgimento e do desenvolvimento da "doença", buscando esclarecer as causas, antes da prescrição e conseqüente aplicação do "remédio" necessário. O conhecimento das origens da deterioração é indispensável, não apenas para que se possa proceder aos reparos exigidos, mas também para se garantir que, após reparada a estrutura não volte a se deteriorar. Por isso que existe o campo da Engenharia Civil denominado patologia das estruturas, que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, conseqüências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas (SOUZA E RIPPER, 1998, p.27).

Segundo Helene (1992) *apud* Guimarães (1995), as conseqüências da ocorrência dos mecanismos de deterioração são duas: as que afetam as condições de segurança da estrutura (associadas ao estado limite último) e as que comprometem as condições de higiene, estética, etc., ou seja, as denominadas condições de serviço e funcionamento da construção (associadas aos estados limites de utilização).

A incidência de problemas e/ou manifestações patológicas em edificações pode ter origem em qualquer uma das fases de construção ou de utilização das mesmas. As manifestações patológicas que acometem as estruturas, quando não devidamente tratadas, tem por conseqüência reduzir o tempo de vida útil dessas estruturas, já que comprometem tanto suas resistências como durabilidade. (BORGES, 2008, p.7)

#### 3.5.1 Fissuração

As fissuras são muito comuns nas edificações e podem interferir na estética, na durabilidade e nas características estruturais da obra. Tanto em alvenarias quanto nas estruturas de concreto, a fissura é originada por conta da atuação de tensões nos materiais. Quando a solicitação é maior do que a capacidade de resistência do material, a fissura tem a tendência de aliviar suas tensões.

A fissuração ocorrerá nas estruturas de concreto quando a tensão de tração atuante ultrapassar o valor da máxima tensão de tração suportada pelo concreto GUIMARÃES (1995).

### 3.5.1.1 Fissuração do concreto fresco

De acordo com Geyer (1994) *apud* Guimarães (1995), a rápida fuga da água da massa de concreto pela absorção das fôrmas, dos agregados, mas principalmente por evaporação acentuada, causam as chamadas fissuras de secagem ou por retração plástica.

### 3.5.1.2 Fissuração do concreto endurecido

Após 28 dias, ocorrem fissuras por retração química, em função da contração da massa de concreto devido a continuidade das reações de hidratação do cimento pela utilização da água disponível presente nos poros da pasta, ou aquela adsorvida pelo gel.

As fissuras por retração hidráulica ocorrem em função dos mesmos mecanismos da retração plástica, por ser uma reação exotérmica, a hidratação do cimento é acompanhada de liberação do calor, instalando-se um diferencial de temperatura entre a massa de concreto em hidratação e o meio ambiente. Durante a fase de resfriamento ocorre fissuração, a qual é denominada fissura por retração térmica.

## 3.5.2 Concretagem em tempo quente

Os problemas causados por concretagem sob altas temperaturas podem ocorrer em qualquer época do ano em climas tropicais e áridos, mas geralmente são intensificados durante a temporada de verão.

### 3.5.2.1 Efeitos no estado fresco

A concretagem em tempo quente pode gerar muitos problemas ao concreto em seu estado fresco que podem acarretar em efeitos adversos sobre as suas propriedades e vida útil. Os principais problemas encontrados são:

- Aumento da demanda de água;
- Maior perda de abatimento (trabalhabilidade);
- Redução dos tempos de pega;
- Dificuldades de lançamento, retrabalho, adensamento e acabamento do concreto;
- Aumento da tendência da retração plástica, ocasionando fissuras;
- Maior dificuldade no controle do conteúdo de ar incorporado;
- Necessidade de antecipação da fase de cura.

### 3.5.2.2 Efeitos no estado endurecido

A concretagem em tempo quente pode também gerar problemas ao concreto em seu estado endurecido. Os principais problemas que podem ser potencializados são:

- Maior tendência de retração por secagem e fissuração;
- Maior ocorrência de porosidade;
- Redução da resistência à compressão axial e à tração na flexão, devido ao aumento da demanda de água de amassamento;
- Redução da durabilidade;
- Aumento da permeabilidade;
- Menor uniformidade da aparência superficial.

### 3.5.3 Armaduras aparentes

É de suma importância que o cobrimento nominal das armaduras que compõem o concreto esteja bem fixadas e espaçadas. Caso não haja o cobrimento necessário para cada classe de agressividade, haverá aço exposto na estrutura, provocado assim a corrosão do mesmo.

Com relação a agressividade do ambiente a NBR 6118/2014 comenta:

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas (Item 6.4.1, p. 16).

A seguir veremos a classificação de agressividade para cada tipo de ambiente, indicada na tabela 1.

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
	I	Fraca	Rural Submersa
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup> Industrial <sup>a, b</sup>	Grande
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup> Respingos de maré	Elevado

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (2014), item 6.4.2

A partir das classes definidas, será previsto um cobrimento nominal para cada classe de agressividade, como vemos na tabela 2.

Tabela 2 – Relação entre a classe de agressividade e o cobrimento

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte NBR 6118(2014), item 7.4.6

### **3.5.4 Lançamento**

O lançamento do concreto é outra etapa muito importante na execução de uma estrutura. Alguns cuidados devem ser observados no sentido de garantir o seu melhor desempenho (MARCELLI, 2007, p.73).

Os riscos que podem acontecer quando se lança concreto de alturas acima do recomendado sem os devidos cuidados é de ocorrer na base da concretagem a segregação da brita, resultando em ninhos de pedras que normalmente são chamadas de bicheiras. Isso acarreta sérios prejuízos na resistência do elemento estrutural, uma vez que o concreto nessa região fica formado com muitos vazios devido à grande presença de brita e pouca areia e cimento (MARCELLI, 2007, p.73).

### **3.5.5 Adensamento**

Outro cuidado que se deve observar é com o procedimento de vibração do concreto, cuja finalidade é diminuir o número de vazios de tal forma a se obter um concreto denso e compacto (MARCELLI, 2007, p.74).

#### **3.5.5.1 Adensamento manual**

O adensamento manual deve ser empregado em obras de menor responsabilidade, ou quando é impossível um adensamento mecânico; nestas circunstâncias, a espessura máxima a ser compactada deve ser de 20cm e cessar quando a camada superficial apresentar uma camada lisa (MARCELLI, 2007, p.74).

#### **3.5.5.2 Adensamento mecânico**

De acordo com Marcelli (2007, p.74), sempre que possível deve-se dar preferência a esse processo, uma vez que é mais eficiente e apresenta melhores resultados, principalmente quando se trata de concreto aparente. No entanto, apesar da importância mostrada com relação à vibração do concreto, deve-se ter em mente que um excesso de vibração pode ser pior do que a falta de vibração, pois pode provocar uma segregação dos agregados e afloramento superficial da água de hidratação do cimento. Isso costuma ocorrer quando se trata de concreto aparente e o construtor vibra além do necessário na tentativa de conseguir uma superfície bem lisa.

Para se obter um bom resultado, deve-se observar algumas regras básicas durante a vibração:

- Definir o raio de ação do vibrador;
- Aplicar o vibrador em distâncias de uma vez e meia o raio de vibração;
- Introduzir e retirar a agulha do vibrador com velocidade de 5 a 8cm/s;
- Não deslocar a agulha horizontalmente;
- A espessura da camada deverá ser de 3/4 do comprimento da agulha;
- Vibrar por 5s a 30s, conforme a consistência do concreto;
- Não vibrar muito próximo das formas.

### 3.6 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

Para constatar o valor do  $f_{ck}$  do concreto utilizado nas obras é recomendado fazer o chamado controle tecnológico deste concreto. Quando o caminhão betoneira chega no canteiro de obras, algum funcionário deve retirar os corpos de prova deste caminhão e identificá-los com data, hora, e número da nota fiscal. Este corpo de prova é padronizado e possui uma forma cilíndrica, deve ser preenchido com concreto sobre uma superfície nivelada e armazenado adequadamente conforme indicado na NBR 5738/2008. Feito este procedimento, o Corpo de Prova deve ser encaminhado para o laboratório para ensaio.

O teste de resistência do concreto é feito pelo método do ensaio de compressão axial, conforme prescreve a NBR 5739/2007. Após o laboratório receber o corpo de prova da obra, ele é armazenado em câmara úmida por um tempo de 28 dias, ou seja, até o concreto atingir a sua resistência característica. Vencido este prazo o Corpo de Prova segue para outro setor do laboratório onde ele passa por um nivelamento das superfícies para que encaixe perfeitamente na máquina que irá fazer o ensaio, e finalmente ele é encaminhado para a última fase, chamada de rompimento, conforme Figura 4.

Figura 4 - Máquina de ensaio à compressão



Fonte: O autor

### 3.7 ENSAIO ESCLEROMÉTRICO

A NBR 7584/2012 prescreve a seguinte definição sobre o ensaio esclerométrico:

Método não-destrutivo que mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido (ABNT,2012, p.1).

A área de ensaio deve estar localizada, preferencialmente nas faces verticais de elementos, componentes e peças de concreto, como pilares, paredes, cortinas e vigas. Também deve estar convenientemente afastada das regiões afetadas por segregação, exsudação, concentração excessiva de armadura, juntas de concretagens, cantos, arestas, etc. O ensaio é executado com um esclerômetro de reflexão, que consiste fundamentalmente de uma massa martelo que impulsionada por mola se choca através de uma haste com ponta em forma de calota esférica, com a área de ensaio como mostra a figura 5.

Figura 5 – Esclerômetro de reflexão



Fonte: [http://www.cotecno.cl/site/media/k2/items/cache/c3997142576e6f4d163ead570965368d\\_XL.jpg](http://www.cotecno.cl/site/media/k2/items/cache/c3997142576e6f4d163ead570965368d_XL.jpg)  
Acesso em: 13/04/2017

O método esclerométrico não deve ser considerado substituto de outros métodos, mas um método adicional ou um ensaio complementar. Este método fornece apenas uma boa medida da dureza relativa da superfície do concreto.

#### 4 METODOLOGIA

Inicialmente, para uma boa fundamentação teórica sobre o assunto aqui tratado, foi realizada pesquisa na literatura nacional e normas técnicas (ABNT), sobre o assunto objeto de estudo do trabalho, visando fundamentar argumentos e atualizar procedimentos técnicos a respeito do tema.

Após a base teórica finalizada, foi dado início ao estudo de caso dos reservatórios do condomínio Cidade madura em Guarabira/PB. O trabalho consiste em acompanhamento de cada etapa da execução de dois reservatórios em concreto armado, um enterrado e outro elevado, identificação de erros de execução, análise das patologias provenientes desses erros, descrição de como foi tratado essas patologias. Caso for verificado que foi uma solução incorreta será mostrado como deve ser tratado corretamente.

Para a análise estrutural dos reservatórios de acordo com as características e parâmetros executados foram moldados quatro corpos de prova para ensaio, com o objetivo de verificar a resistência através do ensaio de compressão simples e constatar se a resistência atende às exigências do projeto estrutural. Também foi utilizado o ensaio esclerométrico para verificar a dureza e a resistência do concreto. Com a resistência obtida nos ensaios, foi modelado a estrutura dos reservatórios com *software* estrutural EBERICK V8, e avaliado a segurança estrutural.

## 5 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

### 5.1 LOCALIZAÇÃO

A obra “objeto” de estudo denominada Cidade Madura, é uma obra do governo do Estado da Paraíba em parceria com a CEHAP e tem a finalidade de promover acesso à moradia digna e adequada às necessidades das pessoas com idade igual ou superior a 60 anos. Localizada na rodovia estadual PB 057 no distrito Piripiri, Guarabira/PB, como mostra a figura 6.

Figura 6 - Localização do Cidade Madura

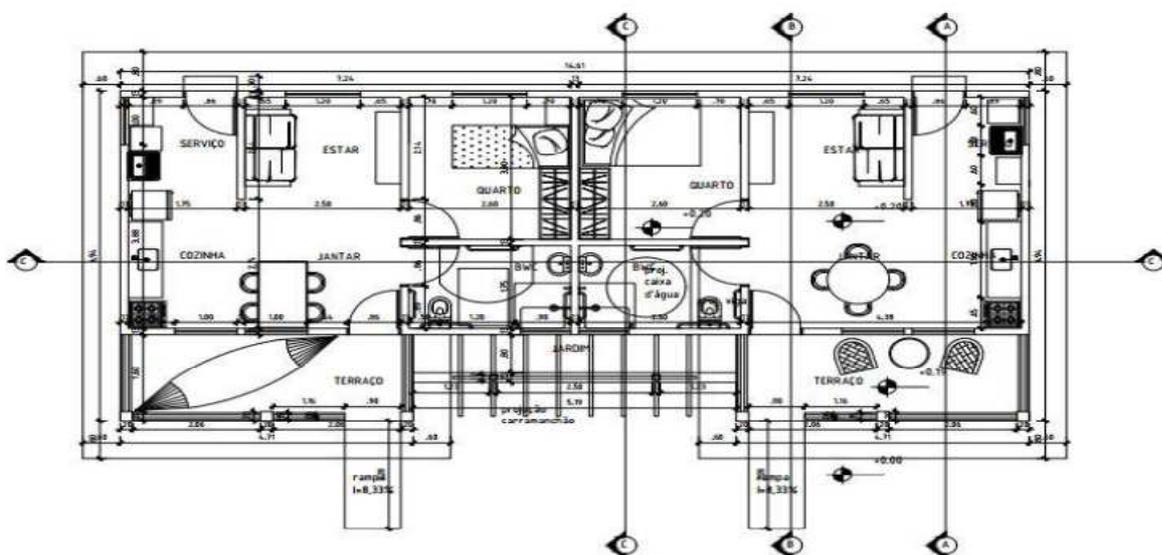


Fonte: Google Maps Acesso em:09/04/2017

### 5.2 DEFINIÇÕES DE PROJETO

O Cidade Madura é um condomínio que possui uma área de aproximadamente 10.000m<sup>2</sup>, composta por quarenta residências com área individual de 46,00m<sup>2</sup>, sendo compostas por terraço, sala, banheiro, cozinha e área de serviço, conforme a figura 7.

Figura 7 - Projeto da unidade habitacional



Fonte: Arquivo de projeto do Cidade Madura.

No Cidade Madura existe toda a infraestrutura básica de saneamento, rede elétrica, rede de abastecimento de água e pavimentação em blocos intertravados, além de centro de vivência, núcleo de assistência à saúde, horta, praça e outras áreas (Figura 8).

O projeto conta com dois reservatórios: um enterrado com capacidade de 95.000 litros (95 m<sup>3</sup>), e outro elevado com capacidade de 40.000 litros (40m<sup>3</sup>), que possuem utilidade para irrigação de jardins e prevenção contra incêndio.

Figura 8 – Planta de situação do Cidade Madura



Fonte: Arquivo de projeto do Cidade Madura.

### 5.3 EXECUÇÃO DO RESERVATÓRIO ENTERRADO

Inicialmente foi executado a escavação do perímetro do reservatório. Depois foi lançado no fundo da escavação uma camada de 10cm de concreto magro para regularizar a superfície, em seguida foram executadas as fundações com sapatas isoladas. O reservatório foi concebido em concreto armado, composto de seis pilares que são responsáveis por absorver os esforços verticais e horizontais do reservatório elevado, e transmitir às sapatas isoladas. Posteriormente foram posicionadas as respectivas armaduras das sapatas. Nessa etapa aconteceu um imprevisto, as armaduras deveriam ser posicionadas nas extremidades, mas o perímetro escavado não era suficiente conforme solicitava no projeto. Portanto, fez-se necessário escavar algumas aberturas para encaixar as armaduras da sapata, conforme a figura 9.

Figura 9 – Execução de sapatas do Reservatório Inferior



Fonte: registro de execução do Cidade Madura.

Após essa etapa, foi lançado uma camada de concreto usinado com espessura de 20cm com a responsabilidade da empresa POLIMIX. Optou-se por utilizar o concreto usinado devido a agilidade e facilidade do serviço, mas não foi possível utilizar nas outras etapas devido não possuir uma lança disponível pela empresa, e também foi economicamente viável utilizar o concreto dosado e misturado no canteiro de obras.

Em seguida foi executado paredes externas com tijolos cerâmicos de uma vez para servir de fôrma para o concreto na parte externa do reservatório (figura 10). Logo após, foi executado toda a armadura do fundo e das paredes do reservatório. As armaduras foram executadas nos respectivos lugares, conforme o projeto estrutural. Vale ressaltar que após armado o reservatório não houve a preocupação de colocar espaçadores nas armaduras, como pode ser observado na figura 10. Após a execução da concretagem do fundo do reservatório, aguardou-se uma semana de cura e foi dado início a concretagem das mísulas do reservatório.

Posteriormente foram colocadas folhas de madeirite resinado utilizados como fôrmas internas, logo em seguida a concretagem das paredes do reservatório. Todas as paredes foram devidamente escoradas com escoras metálicas. Do lado externo não necessitou usar fôrmas, devido a contenção de alvenaria de tijolos cerâmicos de uma vez, como mostra a figura 11.

Figura 10 - Execução de Alvenaria externa utilizado como fôrma



Fonte: registro de execução do Cidade Madura.

Figura 11 – Execução de escoramento e fixação de fôrmas



Fonte: registro de execução do Cidade Madura.

Na execução da concretagem das paredes do reservatório necessitou-se de quatro etapas de concretagem, devido a limitação da altura das fôrmas. Então foi executado uma etapa por vez, aguardando dois dias de cura, retirava-se as folhas de madeirite resinado e aproveitava-se na etapa acima até chegar no topo do reservatório. Foram executados 164 traços de concreto ao todo, o traço utilizado foi na proporção de 1:2:1,5 (Cimento, Areia, Brita), contando com a adição de 250 ml de aditivo plastificante.

Após a desforma, foi tratado as falhas do concreto do reservatório, seguindo depois a impermeabilização do mesmo. Foi utilizado uma solução asfáltica denominada primer, indicado para imprimação de todo reservatório e posteriormente aplicar a manta asfáltica como mostra a figura 12. Aplicou-se acima da manta uma fina camada de 0,5cm de AC-II servindo de proteção para manta e evitando o contato direto com a água.

Figura 12 – Impermeabilização do Reservatório enterrado



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Por último foi executado a tampa do reservatório com laje treliçada. A laje foi executada com tijolos cerâmicos (lajota) e treliças de concreto, armados horizontalmente na menor direção. Não foi utilizado telas soldadas antes de concretar, todavia foi utilizado vergalhões de aço de 10mm (3/8”) e depois foi realizado a concretagem com 5cm de capa (figura 13).

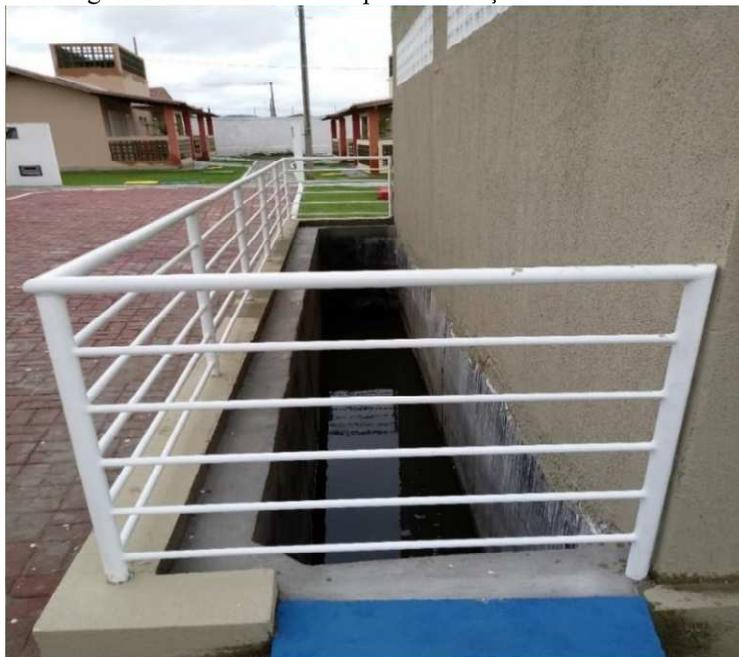
Figura 13 – Execução da tampa do reservatório enterrado



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Lembrando que o reservatório não possui duas câmaras divididas no meio para limpeza, pois o reservatório será ocupado com água de chuva aproveitada das casas do condomínio. Essa água passará por uma pequena câmara (caixa de areia), donde qualquer material pulverulento será decantado ao fundo dessa câmara conforme Figura 14. Logo em seguida, a água será depositada para o reservatório, que por sua vez será recalçada por uma bomba até o reservatório elevado que abastecerá os hidrantes para combate a incêndio e servirá para regar os jardins.

Figura 14 - Caixa de areia após a execução do reservatório



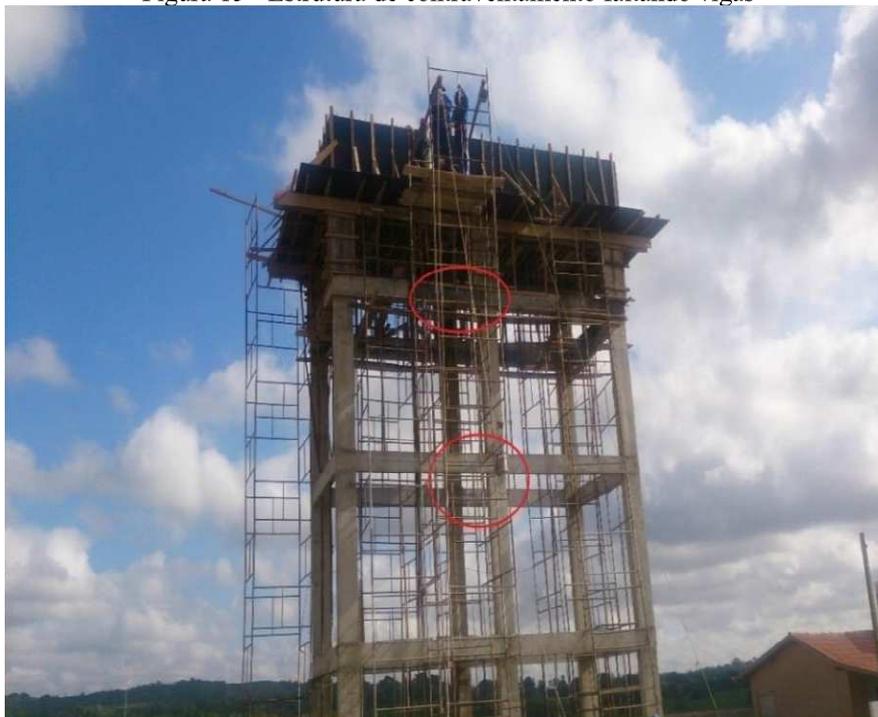
Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

#### 5.4 EXECUÇÃO DO RESERVATÓRIO ELEVADO

Inicialmente para começar a execução do reservatório elevado foi necessário a execução da estrutura de contraventamento formado pelos pilares e vigas. Foram executados quatro prumadas de pilares totalizando uma altura de 11,65m e 13,25 até a tampa do reservatório.

Observou-se que, faltaram duas vigas do centro que travam os pilares da estrutura, infelizmente, por falta de atenção do profissional responsável pela execução, pois previa em projeto todas as vigas na estrutura de contraventamento (Figura15). Após executar toda estrutura de contraventamento, deu-se início a execução do reservatório elevado.

Figura 15 - Estrutura de contraventamento faltando vigas



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Na concretagem foram utilizados traços de 1:1,5:1,5 (Cimento, Areia, Brita) com 250ml de aditivo plastificante, totalizando 95 traços de concreto para a concretagem de todo reservatório. O concreto foi misturado e dosado em betoneira e lançado até o topo do reservatório, o lançamento foi através de polias com cordas para suspender os baldes até o topo.

Primeiramente foi executado o escoramento do fundo do reservatório com escoras metálicas, em seguida foi fixado as fôrmas no fundo e envolvendo a metade das paredes do reservatório. Todas as armaduras necessárias do fundo foram executadas conforme o projeto estrutural, depois foi concretado o fundo do reservatório com uma espessura de 20cm, totalizando um total de 40 traços de concreto.

Vale ressaltar que foi utilizado o vibrador mecânico para o adensamento. Na etapa seguinte foi concretado as mísulas do reservatório com o mesmo traço anterior, totalizando 13 traços do mesmo concreto anterior, como vemos na figura 16.

Figura 16 – Execução de mísulas do reservatório elevado



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Em seguida foi devidamente armado todas as armaduras necessárias das paredes do reservatório conforme o projeto estrutural. Foram utilizados espaçadores improvisados de blocos intertravados para respeitar o cobrimento mínimo do concreto exigido pela norma NBR6118/2014. Logo depois foram escoradas todas as paredes com barrotes parafusados e escoras metálicas conforme figura 17.

Figura 17 – Escoramento do reservatório elevado



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Após a etapa anterior, foi executado completamente a concretagem das paredes do reservatório elevado. Nessa etapa as paredes foram concretadas até o topo sem interrupção da concretagem. Na execução não houve o uso do vibrador, o concreto foi adensado manualmente com um tubo de PVC DN20mm. Depois da concretagem foi executado a laje treliçada para finalizar, assim como no reservatório enterrado. Depois foi aplicado o primer e em seguida a manta asfáltica como sistema de impermeabilização. Por fim aplicou-se uma camada de AC-II para proteger a manta e evitar contato direto com a água.

### 5.5 FALHAS NA EXECUÇÃO DO RESERVATÓRIO ENTERRADO

Na execução do reservatório enterrado foi verificado alguns erros em todas as etapas. Primeiramente não foi respeitado o cobrimento mínimo de 4cm para classe de agressividade prescrita em projeto e indicado na norma NBR 6118/2014 para reservatórios enterrados.

Devido à falta de espaçadores entre as armaduras e as fôrmas, aconteceu que, o aço ficou exposto aos agentes agressivos causando a corrosão do mesmo. O lançamento do concreto não seguiu os padrões normativos e de boas práticas de execução de obras. Pois devido à dificuldade de o concreto ser lançado até o fundo, utilizou-se folhas de madeirite e tábuas inclinadas até o fundo (ver figura 18).

Devido ao material ser áspero o concreto não deslizava totalmente sobre a tábua, todavia, utilizava-se água para deslizar melhor o concreto até chegar no destino final. Gerando um aumento do fator água/cimento. O excesso de água migra para a superfície pelo processo de exudação, assim deixando vazios chamados de porosidade capilar. Esta porosidade prejudica a resistência do concreto, aumenta sua permeabilidade e diminui a durabilidade da peça concretada.

Figura 18 – Concreto lançado de forma incorreta



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Não houve uma concretagem monolítica das paredes do reservatório, este foi concretado em quatro etapas, gerando assim juntas frias (Figura 19). Caso não tratado, nessas juntas podem ocorrer fissuração devido a dilatação térmica nas placas de concreto, gerando futuramente possíveis vazamentos.

Figura 19 – Juntas de concretagem



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Após a concretagem das paredes, foi constatado diversas patologias, como segregação da brita, devido ao mau lançamento, ninhos de concretagem (Figura 20) causado pela ausência do vibrador, barras de aço aparente (Figura 21), devido à falta de espaçadores, e algumas fissuras causadas por retração hidráulica.

Figura 20 – Falhas de concretagem



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Figura 21 - Aço exposto a corrosão



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Depois de pronta toda estrutura do reservatório, percebeu-se que faltava um tubo de PVC DN300mm para passagem de água da caixa de areia para o reservatório. Contudo, foi necessário executar uma abertura para fixar o tubo (ver figura 22).

Figura 22 - Abertura na parede do reservatório



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Devido a essa falta de atenção na execução ocasionou um erro muito comum na construção civil, que é fazer aberturas em elementos estruturais após a execução, causando abalo na estrutura e diminuindo a resistência do mesmo. Outra falha que foi verificada foi um vazamento na parede que divide a caixa de areia e o reservatório, que provocou o desprendimento da manta asfáltica das parede e fundo, conforme figura 23 e 24.

Figura 23 - Manta Asfáltica solta na parede



Figura 24 - Manta Asfáltica solta no fundo



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

## 5.6 FALHAS NA EXECUÇÃO DO RESERVATÓRIO ELEVADO

Na execução do reservatório elevado foi constatado vários problemas e algumas dificuldades como: lançamento do concreto até o topo, o lançamento foi feito através de baldes elevados com auxílio de polia. Na concretagem do piso, o adensamento do concreto foi mal executado, pois o operário que manuseava o vibrador não tinha experiência para esse serviço.

Portanto, o vibrador encostava nas armaduras ocorrendo a vibração de toda estrutura (Figura 25). Também adensava uma parte por longo tempo, deixando outras partes pouco adensados, e deslocava horizontalmente o vibrador. Antes de concretar o fundo não se teve a preocupação de fixar os espaçadores para o cobrimento mínimo exigido pela NBR 6118/2014.

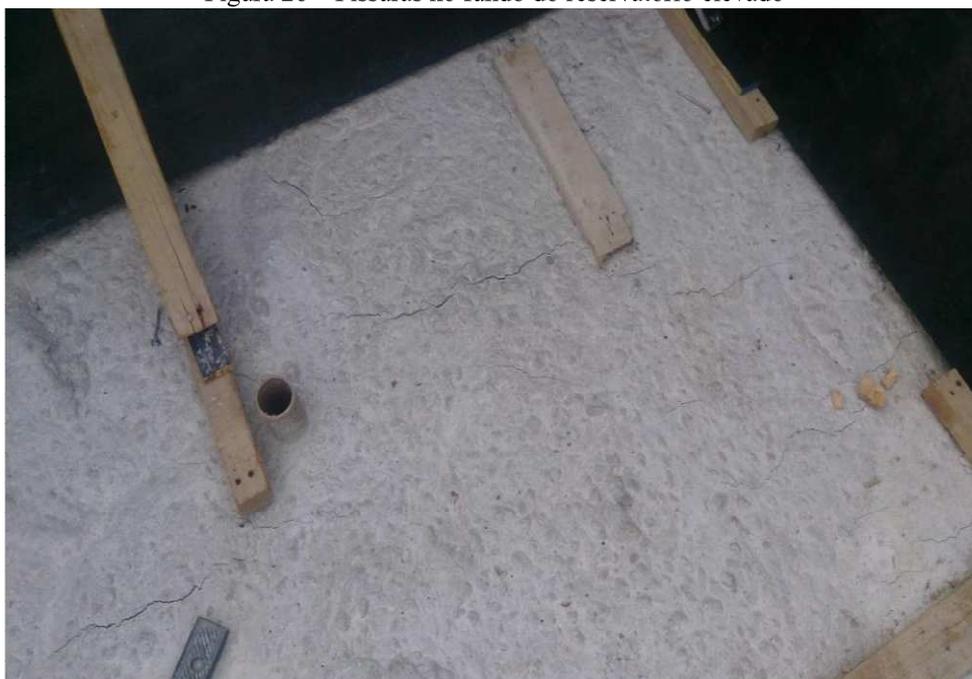
Figura 25 – Vibração incorreta na execução do fundo do reservatório elevado



Fonte: registro de execução do Cidade Madura.

Depois da concretagem do piso, assim nos primeiros dias de cura foi observado várias fissuras possivelmente provocadas por retração hidráulica (Figura 26), devido à falta de água na cura. Posteriormente, essas fissuras podem vir a provocar um vazamento nesse reservatório, caso não sejam tratadas corretamente.

Figura 26 – Fissuras no fundo do reservatório elevado



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Após a execução das mísulas, foi dado início a concretagem das paredes. Antes de concretar fixou-se as fôrmas internas e posicionou-se as escoras metálicas. Também foi utilizado alguns espaçadores improvisados de blocos de intertravado. As fôrmas foram travadas com tirantes e sarrafos, mas por causa dos espaçadores improvisados e mal posicionados, ocorreu um empeno das folhas de madeirite, resultando em paredes desaprumadas após a concretagem, como vemos nas figuras 27 e 28.

Figura 27 – Fôrmas empenadas



Figura 28 - Paredes desaprumadas



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Outra falha observada, foi a vedação dos furos utilizados para fixar e prender as fôrmas com argamassa (Figura 29). Na execução da vedação, não houve a preocupação de retirar os tubos de PVC dentro das aberturas, assim, impossibilitando uma aderência entre o tubo e a argamassa aplicada, podendo futuramente ocorrer um vazamento, e posteriormente, desprender a manta asfáltica, assim como ocorreu no reservatório enterrado.

Figura 29 – Vedação de furos para fixação de fôrmas com argamassa.



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

## 5.7 TRATAMENTO DE FALHAS DOS RESERVATÓRIOS

Como foi exposto no item 5.4 e 5.5 vimos que em boa parte das etapas da construção dos reservatórios ocorreram bastante falhas que provocaram manifestações patológicas logo após da execução. Primeiramente o que ocorre é simplesmente a ausência de um técnico responsável acompanhando a obra (técnico, tecnólogo ou engenheiro), acarretando os possíveis erros de execução das etapas da obra. Assim, prejudicando a estrutura a longo e a curto prazo, diminuindo a durabilidade e resistência da estrutura, ou às vezes na busca de economizar gera-se resultados negativos.

Devido à falta de adensamento necessário, mal lançamento do concreto, e também a falta de espaçadores, ocorreram vários problemas patológicos como ninhos de concretagem, segregação de brita e aço exposto na estrutura. No tratamento desses problemas, o mais indicado é limpar a superfície de concreto e aplicar graute nessas falhas. Quando houver aço aparente aplica-se um tratamento superficial para combater a corrosão e depois faz-se o grauteamento da superfície danificada. No caso dos dois reservatórios em estudo, não foi utilizado essa forma

que seria o mais indicado como solução corretiva. Foi utilizado simplesmente a fixação de argamassa 1:3(Cimento, Areia) que foi aplicada em todas as falhas, conforme figura 30.

Figura 30 – Correção não recomendada das falhas das paredes de concreto armado



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

Outra falha que ocorreu foi o uso de espaçadores improvisados de blocos de intertravados, que foram mal posicionados ocasionando a envergadura das fôrmas, como pode ser visto na figura 31.

Figura 31 – Espaçadores fixados de forma incorreta



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

O correto a se utilizar seria o uso de espaçadores de plástico ou concreto ou argamassa (cocadas).

A NBR14931/2004 comenta sobre espaçadores:

O cobrimento especificado para a armadura no projeto deve ser mantido por dispositivos adequados ou espaçadores e sempre se refere à armadura mais exposta. É permitido o uso de espaçadores de concreto ou argamassa, desde que apresente relação água/cimento menor ou igual a 0,5, e espaçadores plásticos, ou metálicos com as partes em contato com a fôrma revestidas com material plástico ou outro material similar. Não devem ser utilizados calços de aço cujo cobrimento, depois de lançado o concreto, tenha espessura menor do que o especificado no projeto. (ABNT,2004, p.13)

Foram verificadas falhas nas fôrmas, devido ao mal posicionamento causando a fuga da calda de cimento, assim, diminuindo a resistência da estrutura.

A NBR14931/2004 comenta sobre fôrmas:

Antes do lançamento do concreto devem ser devidamente conferidas as dimensões e a posição (nivelamento e prumo) das fôrmas, a fim de assegurar que a geometria dos elementos estruturais e da estrutura como um todo estejam conforme o estabelecido no projeto, com as tolerâncias previstas, além das previstas nas normas de projeto ou nas especificações do projeto. A superfície interna das fôrmas deve ser limpa e deve-se verificar a condição de estanqueidade das juntas, de maneira a evitar a perda de pasta ou argamassa. Nas fôrmas de paredes, pilares e vigas estreitas e altas, devem ser deixadas aberturas provisórias próximas ao fundo, para limpeza. (ABNT, 2004, p.15)

Outro problema que vale ressaltar é o uso de desmoldantes para retirada das fôrmas, que no caso não houve o uso em nenhuma etapa. Outro caso a se tratar seria a falta de estocagem correta do aço, pois o mesmo ficou exposto a céu aberto sujeito à vários agentes agressivos, conforme figura 32 e 33.

Figura 32- Aço sem armazenamento correto



Figura 33- Aço dos pilares do reservatório



Fonte: Registro de execução do Cidade Madura.

## 6 ANÁLISE ESTRUTURAL DOS RESERVATÓRIOS

Após acompanhar cada etapa da execução dos reservatórios fez-se necessário verificar a resistência do concreto através de dois ensaios: compressão simples e esclerometria. Após os resultados obtidos, foi realizada uma análise estrutural no *software* de cálculo estrutural EBERICK V8. Através dos resultados obtidos, fez-se um comparativo da estrutura de projeto e a estrutura modelada no software com a resistência dos ensaios.

### 6.1 REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

A moldagem dos corpos de prova seguiu os procedimentos conforme as normas NBR 5738/08 que prescreve o procedimento de moldagem e cura de corpos de prova, e a NBR 5739/07 que prescreve o método de ensaio à compressão dos corpos de prova cilíndrico.

Devido à falta de moldes metálicos foi utilizado tubos de PVC com 100mm de largura e 200mm de altura. Na moldagem dos corpos-de-prova foi realizado duas camadas de adensamento, com 12 golpes para adensar o concreto corretamente conforme a NBR 5738/08.

Foram moldados quatro corpos-de prova, dois da concretagem do fundo e os outros dois da concretagem das paredes do reservatório elevado. Depois da pega, desmoldou-os no dia seguinte colocando em cura úmida por 28 dias. Realizado o ensaio, verificou-se que as resistências obtidas foram muito inferiores às solicitadas no projeto como podemos ver nas figuras 34 e 35.

Figura 34 - Ensaio de compressão simples



Figura 35 - Resultado obtido no ensaio



Fonte: Registro de dispositivo móvel.

A seguir veremos os resultados obtidos pelo ensaio de cada corpo de prova, assim utilizando o  $f_{cm}$  do concreto das amostras, os resultados estão dispostos na tabela 3.

Tabela 3 – Resistências de ensaio

	$f_{ck}$ das amostras	% de Erro do $f_{ck}$	$f_{cm}$	% de Erro do $f_{cm}$	$f_{ck}$ de Projeto
<b>CP1 – Fundo do Reservatório elevado</b>	12,28 MPa	59,07	13,4 MPa	55,33	30 MPa
<b>CP2 – Fundo do Reservatório elevado</b>	13,71 MPa	54,30			
<b>CP3 – Parede do Reservatório elevado</b>	13,59 MPa	54,70			
<b>CP4 – Parede do Reservatório elevado</b>	14,02 MPa	53,27			

Conforme vemos na tabela 3, o  $f_{cm}$  está abaixo do especificado pelo projeto estrutural. Então decidiu-se fazer um ensaio não destrutivo através do ensaio esclerométrico.

A necessidade surgiu para fins de confirmação da resistência encontrada no ensaio de compressão simples e evitar quaisquer problemas ocorridos na moldagem, transporte e ensaio das amostras.

## 6.2 REALIZAÇÃO DO ENSAIO ESCLEROMÉTRICO

A empresa responsável pelo ensaio foi a TECNCON, com especialidade em ensaios destrutivos e não-destrutivos, projetos e controle tecnológico do concreto. O ensaio esclerométrico foi executado com um esclerômetro de reflexão do tipo Shimit, no ângulo de 0°. Devido ao reservatório possuir textura acrílica na parte externa e na parte interna envolvido com manta asfáltica e AC-II, dificultou-se a realização do ensaio.

Outro problema a ser enfrentado foi a altura do reservatório que não proporcionou um bom manuseio do esclerômetro pelo técnico, conforme a figura 36.

Figura 36 - Dificuldade de realizar o ensaio



Fonte: Registro de dispositivo móvel.

Foram testadas duas áreas do reservatório elevado com nove impactos cada, essas áreas foram escolhidas em frente a escada, devido a facilidade de o técnico realizar o ensaio, pois as outras partes dos reservatórios eram de difícil acesso. Nessa área não necessitou de raspagem da superfície, pois não possuía textura.

Após preparação da superfície, das nove leituras foram descartadas aquelas que se afastavam para mais ou para menos de 10% do valor médio. Com os resultados restantes foi calculada uma nova média. A área escolhida foi demarcada com giz, conforme figura 37.

Figura 37 - Área escolhida para o ensaio esclerométrico.



Fonte: Registro de dispositivo móvel.

Após realizar todos os procedimentos de ensaio foi obtido os seguintes resultados, equivalente as duas áreas conforme vemos na tabela 4. Com os seguintes resultados, foi utilizado a média das duas áreas com uma correção de 15%, devido o equipamento ser de origem europeia.

Tabela 4 - resultado final do ensaio esclerométrico.

Área	$f_{ck}$ de projeto	Resultado obtido	Resultado corrigido
1	30 MPa	20 MPa	17 MPa
2		18 MPa	15,3 MPa
Média		19 MPa	16,2 MPa
Desvio padrão		1,4 MPa	1,2 MPa
Coeficiente de variação		7%	7%

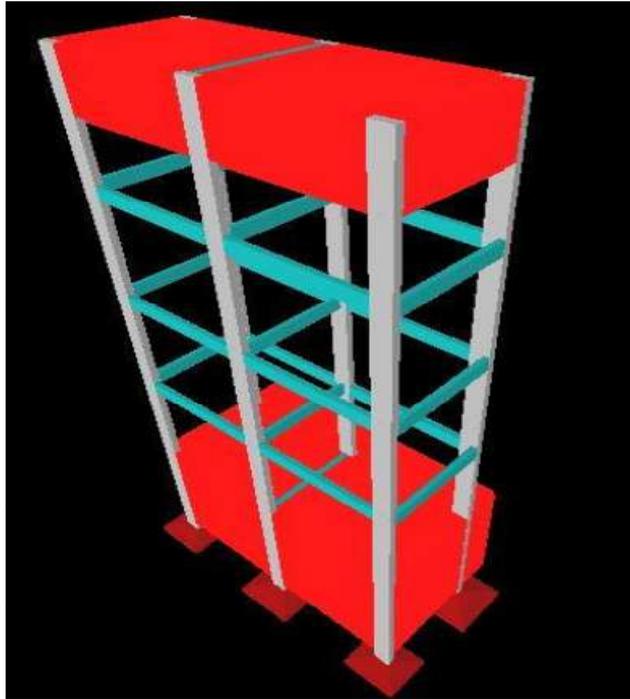
Foi verificado que o resultado obtido no ensaio esclerométrico teve aproximação com o resultado do ensaio de compressão simples, ambos abaixo da resistência de projeto. Todavia foi optado por utilizar a média das resistências de ambos os ensaios, ou seja, o  $f_{cm}$ , que foi de 15 MPa. O resultado é preocupante, visto que a NBR8953/2015 indica que concretos com resistência abaixo de 20 MPa utilizados apenas para fins não estruturais.

### 6.3 REALIZAÇÃO DA ANÁLISE ESTRUTURAL

Na realização da análise estrutural no EBERICK V8, primeiramente foi analisado a estrutura com um  $f_{ck}$  de 30MPa conforme o projeto original. A partir desta análise, observou-se que o projetista, por questão de otimização e margem de segurança do projeto estrutural utilizou a maior dimensão das sapatas isoladas e adotou para outras o mesmo valor. Da mesma forma ocorreu com a prumada de pilares que possuem áreas de aço diferentes dos outros, devido a carga ser maior em alguns pilares, ocasionando pilares com armaduras diferentes.

Sendo assim, utilizou-se o pilar com maior bitola de aço como referência para os outros, possibilitando uma melhor uniformidade das armaduras (figura 38).

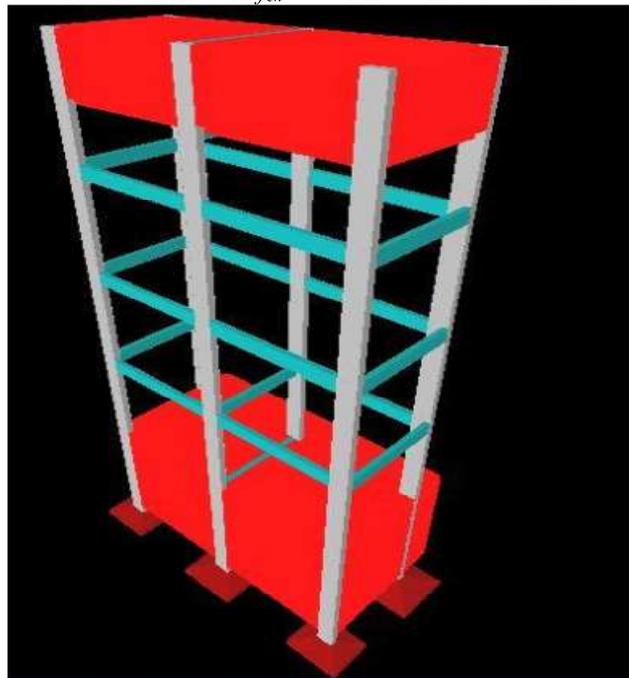
Figura 38 - Reservatório com  $f_{ck}$  de 30MPa com o travamento das vigas



Fonte: software EBERICK V8.

Outra situação simulada no EBERICK V8 foi utilizar o mesmo  $f_{ck}$  de 30MPa sem as vigas de travamento. Ocorreu que a estrutura não suportaria, pois, os pilares sem travamento possuem esbeltez fora de norma (figura 39). A esbeltez de pilares não pode ultrapassar 140, conforme prescreve a NBR6118/2014. Nesse caso a esbeltez estava ultrapassando 200.

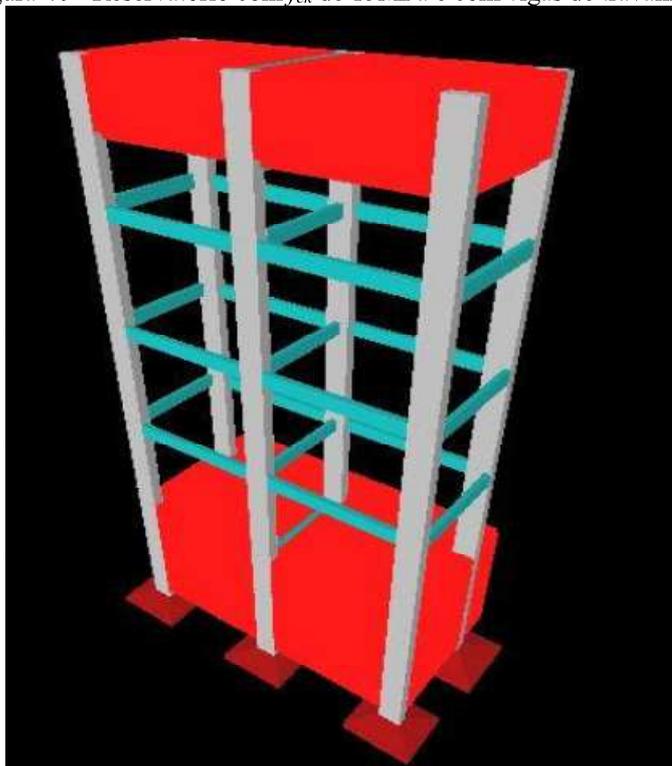
Figura 39 - Reservatório com  $f_{ck}$  de 30MPa sem o travamento das vigas.



Fonte: software EBERICK V8

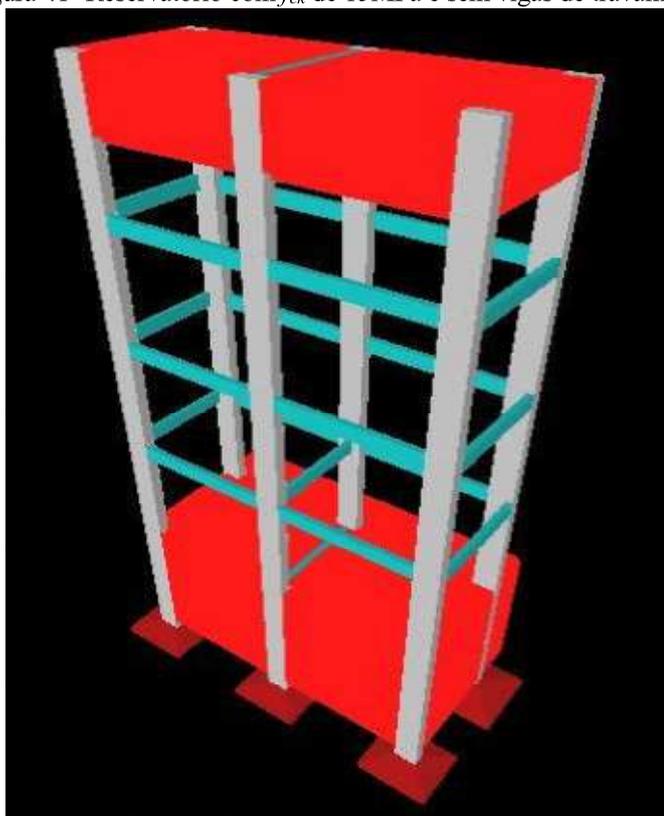
Também houve muita dificuldade para executar a estrutura quando se utilizou o  $f_{ck}$  de ambos os ensaios equivalente a 15 Mpa, visto que, o concreto tinha a metade da resistência proposta em projeto, aconteceu que a maioria dos pilares não suportava a carga aplicada e possuía esbeltez fora de norma (Figura 40), assim como ocorreu na segunda situação simulada.

Figura 40 - Reservatório com  $f_{ck}$  de 15MPa e com vigas de travamento



Fonte: software EBERICK V8

Por último foi analisado a situação real que se encontra os reservatórios após a execução, com o concreto com resistência de 15 MPa e sem as vigas de travamento. A solução proposta mais viável para a execução dos reservatórios foi aumentar as seções de pilares e aumentar a área de aço das armaduras. Após fazer as seguintes alterações citadas acima, foi executado a análise estrutural sem erros na estrutura. Verificou-se que a estrutura necessitou de robustez nos elementos estruturais e maior área de aço conforme ilustrado na figura 41.

Figura 41- Reservatório com  $f_{ck}$  de 15MPa e sem vigas de travamento

Fonte: software EBERICK V8

No caso das sapatas nota-se o aumento da área útil das sapatas, maior área de aço e bitolas mais espessas. Por questão de otimização e de segurança, optou-se por utilizar a sapata de maior dimensão como referencial para as outras como mostra as tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Dimensionamento das sapatas do projeto original

SAPATAS	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Dimensão (cm)	185x215	185x210	185x215	140x170	155x185	140x170
Dimensão otimizada (cm)	190x220	190x220	190x220	190x220	190x220	190x220
Armadura na direção X	14 $\varnothing$ 16.0 c/15 (28.15 cm <sup>2</sup> )	13 $\varnothing$ 16.0 c/16 (26.14 cm <sup>2</sup> )	14 $\varnothing$ 16.0 c/15 (28.15 cm <sup>2</sup> )	18 $\varnothing$ 10.0 c/9 (14.14 cm <sup>2</sup> )	15 $\varnothing$ 12.5 c/12 (18.41 cm <sup>2</sup> )	18 $\varnothing$ 10.0 c/9 (14.14 cm <sup>2</sup> )
Armadura na direção Y	17 $\varnothing$ 12.5 c/11 (20.86 cm <sup>2</sup> )	17 $\varnothing$ 12.5 c/11 (20.86 cm <sup>2</sup> )	17 $\varnothing$ 12.5 c/11 (20.86 cm <sup>2</sup> )	11 $\varnothing$ 10.0 c/12 (8.64 cm <sup>2</sup> )	15 $\varnothing$ 10.0 c/10 (11.78 cm <sup>2</sup> )	11 $\varnothing$ 10.0 c/12 (8.64 cm <sup>2</sup> )



Tabela 8 – Dimensionamento dos pilares com concreto de 15MPa

PILARES	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Dimensão (cm)	30x60	30x60	30x60	30x60	30x60	30x60
Armadura Transversal B e H L1	12 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 6 $\emptyset$ 5.0	12 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 6 $\emptyset$ 5.0				
Armadura Transversal B e H L2	46 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 23 $\emptyset$ 5.0	46 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 12 $\emptyset$ 5.0				
Armadura Transversal B e H L3	38 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 19 $\emptyset$ 5.0	38 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 19 $\emptyset$ 5.0				
Armadura Transversal B e H L4	38 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 19 $\emptyset$ 5.0	38 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 19 $\emptyset$ 5.0				
Armadura Transversal B e H L5	38 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 19 $\emptyset$ 5.0	38 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 19 $\emptyset$ 5.0				
Armadura Transversal B e H L6	20 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 10 $\emptyset$ 5.0	20 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 10 $\emptyset$ 5.0				
Armadura Transversal B e H L7	18 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 9 $\emptyset$ 5.0	18 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 9 $\emptyset$ 5.0	18 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 9 $\emptyset$ 5.0	18 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 9 $\emptyset$ 5.0	18 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 9 $\emptyset$ 5.0	18 $\emptyset$ 5.0 c/ 17 9 $\emptyset$ 5.0
Armadura Longitudinal Inferior e Superior	6 $\emptyset$ 16.0 12.06 (0.7%)					

Analisando as vigas, não foi necessário o aumento das seções, mas foi observado que necessitou de maiores bitolas para suportar os esforços oriundos da estrutura conforme mostra as Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Dimensionamento das vigas do projeto original

VIGAS	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Dimensão (cm)	15x40	15x40	15x40	15x40	15x40	15x40
Armadura Transversal	36 $\emptyset$ 5.0 c/ 20	36 $\emptyset$ 5.0 c/ 20	15 $\emptyset$ 5.0 c/ 20			
Armadura Longitudinal Inferior	2 $\emptyset$ 8.0	2 $\emptyset$ 8.0	2 $\emptyset$ 12.5	2 $\emptyset$ 12.5	2 $\emptyset$ 12.5	2 $\emptyset$ 12.5
Armadura Longitudinal Superior	2 $\emptyset$ 8.0	2 $\emptyset$ 8.0	2 $\emptyset$ 12.5	2 $\emptyset$ 12.5	2 $\emptyset$ 12.5	2 $\emptyset$ 12.5

Tabela 10 – Dimensionamento das vigas com concreto de 15MPa

VIGAS	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Dimensão (cm)	15x40	15x40	15x40	15x40	15x40	15x40
Armadura Transversal	34 $\varnothing$ 5.0 c/ 20	34 $\varnothing$ 5.0 c/ 20	14 $\varnothing$ 5.0 c/ 20			
Armadura Longitudinal Inferior	2 $\varnothing$ 10.0	2 $\varnothing$ 10.0	3 $\varnothing$ 12.5	3 $\varnothing$ 12.5	3 $\varnothing$ 12.5	3 $\varnothing$ 12.5
Armadura Longitudinal Superior	2 $\varnothing$ 10.0	2 $\varnothing$ 10.0	3 $\varnothing$ 12.5	3 $\varnothing$ 12.5	3 $\varnothing$ 12.5	3 $\varnothing$ 12.5

Como foi verificado nas tabelas acima, percebe-se a diferença entre o projeto estrutural do “Cidade Madura” e o projeto estrutural elaborado com as condições reais, de acordo com a execução. Com relação as armaduras dos reservatórios enterrado e elevado e suas respectivas tampas que não foram colocados em tabelas, devido as diferenças pouco significativas nos elementos estruturais.

## 7 CONCLUSÃO

Como pode ser visto, foram registrados muitos erros de execução em ambos os reservatórios. Infelizmente isso é um problema muito comum enfrentado na engenharia civil quando se trata principalmente em construir em concreto armado. Foi proposto neste trabalho algumas soluções possíveis, tratados em normas técnicas que podem combater falhas durante e após a execução de estruturas em concreto armado.

Conclui-se que a má qualidade do concreto é devido a adição de água além do recomendado, elevando-se substancialmente o fator água/cimento, o que torna o concreto poroso, de baixa resistência e com elevada retração. Outros fatores que possivelmente interferiu na resistência do concreto foi um mau lançamento, a ausência de vibrador e a falta de espaçadores na maior parte da execução de ambos os reservatórios, e também provocou o surgimento de inúmeras manifestações patológicas.

Analisou-se toda estrutura e percebeu-se que a estrutura executada é inviável em relação aos esforços que a mesma está submetida, onde as seções dos pilares e as áreas de aço das armaduras se mostraram insuficientes em relação a resistência do concreto preparado em obra.

Outro fator determinante também foi a ausência das vigas que fazem parte da estrutura de contraventamento. Um erro que pode prejudicar toda estrutura, devido a uma fiscalização deficiente e um fraco comando de equipes, normalmente relacionados a uma baixa capacitação podem, com facilidade, levar a graves erros em determinadas atividades. O que pode minimizar esses erros seria o acompanhamento da execução por um profissional que possua conhecimentos técnicos, assim orientando os trabalhadores, fiscalizando cada etapa, buscando a melhor forma de executar a estrutura, conforme especificado em projeto.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6118 –Projeto de estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014

\_\_\_\_\_ **NBR 6123 – forças devido ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988

\_\_\_\_\_ **NBR5738 – concreto – procedimento para moldagem e cura de corpo-de-prova**. Rio de Janeiro, 2008

\_\_\_\_\_ **NBR5739 – concreto – ensaio de compressão de corpo-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007

\_\_\_\_\_ **NBR11768 – Aditivos químicos para concreto**. Rio de Janeiro, 2011

\_\_\_\_\_ **NBR14931– Execução de estruturas de concreto -Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004

\_\_\_\_\_ **NBR12655 – Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015

\_\_\_\_\_ **NBR6063 – Informação e documentação – referências - elaboração**. Rio de Janeiro, 2002

\_\_\_\_\_ **NBR10520 – Informação e documentação – Citações em documentos - Apresentação**. Rio de Janeiro, 2002

\_\_\_\_\_ **NBR7568 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão**. Rio de Janeiro, 2012

\_\_\_\_\_ **NBR 8953 – Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, 2015

Araújo, José Milton de. **Curso de Concreto armado**/José Milton de Araújo. – Rio Grande: Dunas,2014. v.4, 3 ed.

Borges, Micheline Gonçalves. **Manifestações patológicas incidentes em reservatórios de água elevados executados em concreto armado**/ UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA. Bahia, 2008.

Guimarães, Ana Elisabete Paganelli. **Indicações para projeto e execução de reservatórios cilíndricos em concreto armado**/ Ana Elisabete Paganelli Guimarães – São Carlos, 1995.

Maiola, Carlos Henrique. **Reservatórios Paralelepípedicos**/ UNIVERSIDADE DE SÃO CARLOS – USP, 2004.

Marcelli, Mauricio. **Sinistros na construção Civil: Causas e soluções para danos e prejuízos em obras** / Mauricio Marcelli. – São Paulo: Pini,2007, 1 ed.

Souza, Vincente Custódio de, **recuperação e reforço de estruturas de concreto**/ Vincente Custódio Moreira de Souza e Thomaz Ripper. – São Paulo: Pini, 1998.