CAPÍTULO 9 · Parte I · Deterioração e ensaios
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/wjf3b471
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/wef4vr34

AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE TANQUES FILTROS EM CONCRETO ARMADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM MANAUS-AM

Larissa Lázara Mesquita Cavalcante Seixas[1]*, Lucas Barroso Golçalves[2]; Domingos Sávio Pinheiro Coelho[3]; Bárbara dos Santos Barboza[4] e David Brandão Nunes[5]
*Autor de contato: eng.larissalazara@gmail.com

[1] Engenheira Civil, Mestranda do PPGEC, UFAM, Manaus, Brasil
[2] Engenheiro Civil, Esp. em Estruturas de Concreto, Alvenarias, Fundações e Contenções, Manaus, Brasil
[3] Engenheiro Civil, Konkrex Engenharia de Concreto, Manaus, Brasil
[4] Estudante de Engenharia Civil, UEA, Manaus, Brasil
[5] Professor do Departamento de Engenharia Civil, UFAM, Manaus, Brasil

RESUMO

A presente pesquisa apresenta uma análise técnica pormenorizada das condições estruturais de dois tanques de filtração, o Tanque Filtro 15 (ETA 01) e o Tanque Filtro 06 (ETA 02), situados na Estação de Tratamento de Água do Complexo da Ponta do Ismael, em Manaus-AM. Foram conduzidas inspeções visuais detalhadas, ensaios laboratoriais destrutivos e não destrutivos, e verificações estruturais para diagnosticar anomalias e manifestações patológicas. Os resultados indicam que, apesar de ambas as estruturas apresentarem estabilidade estrutural geral e ausência de ataque por carbonatação ou cloretos livres, foram identificadas degradações superficiais e localizadas. O estudo conclui pela necessidade de intervenções corretivas e preventivas, notadamente relacionadas ao desgaste físico e à deficiência de proteção mecânica e impermeabilização, a fim de restaurar a integridade, a funcionalidade e prolongar a vida útil dos tanques.

Palavras-chave: *patologia das construções; concreto; durabilidade*

ABSTRACT

This research presents a detailed technical analysis of the structural conditions of two filtration tanks, Filter Tank 15 (WTP 01) and Filter Tank 06 (WTP 02), located at the Water Treatment Plant of Ponta do Ismael Complex, in Manaus-AM. Detailed visual inspections, destructive and non-destructive laboratory tests, and structural verifications were conducted to diagnose anomalies and pathological manifestations. The results indicate that, despite both structures exhibiting overall structural stability and the absence of carbonation or free chloride attack, superficial and localized degradations were identified. The study concludes that corrective and preventive interventions are necessary, notably related to physical wear and deficiencies in mechanical protection and waterproofing, to restore integrity, functionality, and extend the service life of the tanks.

Keywords: *building pathology; concrete; durability*

1. INTRODUÇÃO

Estruturas em concreto armado inseridas em Estações de Tratamento de Água (ETA) estão submetidas a condições ambientais particularmente severas do ponto de vista da durabilidade. A presença constante de umidade, ciclos de saturação, variações de nível d'água e a movimentação de partículas sólidas durante o processo de filtração configuram um ambiente potencialmente agressivo. Nessas condições, mecanismos de deterioração físicos e químicos podem atuar simultaneamente, influenciando diretamente a vida útil da estrutura (MEHTA; MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 2016; ACI 201.2R, 2016).

A NBR 6118:2023 estabelece que a durabilidade deve ser tratada como requisito fundamental de projeto, exigindo compatibilização entre classe de agressividade ambiental, qualidade do concreto, cobrimento das armaduras e detalhamento construtivo (ABNT, 2023). A norma associa ambientes permanentemente úmidos ou sujeitos à saturação a classes de agressividade que demandam maior rigor no controle tecnológico e na proteção das armaduras. Em estruturas hidráulicas, a exposição contínua à água pode favorecer processos como lixiviação de hidróxidos, carbonatação em zonas alternadamente secas e úmidas e eventual contaminação por cloretos, dependendo das condições operacionais (HELENE, 1993; NEVILLE, 2016).

A carbonatação consiste na reação do dióxido de carbono atmosférico com os produtos de hidratação do cimento, promovendo a redução do pH da solução intersticial do concreto. A diminuição da alcalinidade compromete a estabilidade da camada passivadora do aço, podendo levar à despassivação das armaduras quando a frente carbonatada atinge o cobrimento (TUUTTI, 1982; CASCUDO, 1997). Já o ataque por cloretos está relacionado à penetração de íons capazes de romper localmente essa camada passiva, induzindo corrosão localizada, mesmo em meios ainda alcalinos (CASCUDO, 1997; MEHTA; MONTEIRO, 2008). Ambos os mecanismos são amplamente reconhecidos como causas recorrentes de deterioração em estruturas de concreto armado expostas a ambientes agressivos.

Entretanto, em estruturas hidráulicas operando com fluxo contínuo e movimentação de partículas sólidas, mecanismos físicos podem assumir papel predominante. A abrasão hidráulica resulta do impacto, atrito e rolamento de partículas transportadas pelo fluxo, promovendo desgaste progressivo da superfície do concreto. De acordo com o ACI 210R (2008), a erosão e a abrasão em estruturas hidráulicas são fenômenos capazes de remover a pasta cimentícia superficial, expor agregados e reduzir gradativamente a espessura de cobrimento, independentemente da ocorrência de processos químicos ativos. O ACI 201.2R (2016) ressalta que ambientes sujeitos à ação combinada de água e sólidos em suspensão exigem consideração específica quanto à resistência à abrasão e à proteção superficial.

Segundo Neville (2016), a resistência do concreto à abrasão está relacionada à qualidade da matriz cimentícia, à aderência pasta-agregado e ao grau de compactação, sendo que concretos com baixa resistência superficial tendem a apresentar desagregação progressiva quando submetidos a ação mecânica repetitiva. Em tanques filtros, onde há mobilização periódica de areia e brita no processo de filtração, o desgaste físico pode evoluir para exposição prematura das armaduras, especialmente quando inexistem camadas de proteção mecânica adicionais.

Nesse contexto, sistemas de proteção superficial, como camadas de proteção mecânica associadas à impermeabilização, desempenham papel relevante na mitigação do desgaste físico. Essas camadas funcionam como elemento sacrificial, absorvendo parte da energia mecânica das partículas em movimento e preservando o concreto estrutural subjacente (ACI 210R, 2008). Assim,

a avaliação comparativa entre estruturas com e sem proteção mecânica permite discutir, sob perspectiva técnica e científica, o papel dessa camada na durabilidade de tanques filtros submetidos a ambiente abrasivo contínuo.

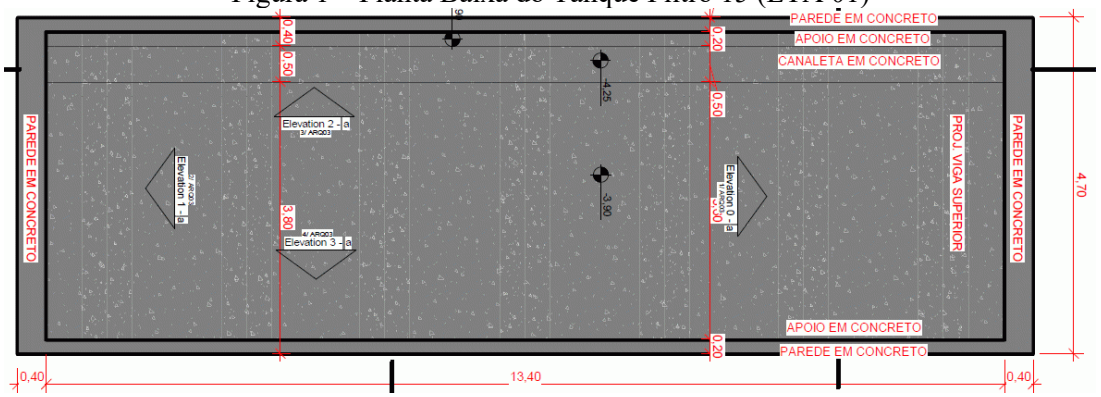
O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise da condição atual e da integridade estrutural de dois tanques em concreto armado que pertencem à Estação de Tratamento de Água do município de Manaus - AM. Buscou-se identificar a presença de eventuais anomalias, manifestações patológicas, avaliar o estado de conservação dos elementos estruturais.

2. METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada anamnese e coleta de informações, seguidas de visitas técnicas para avaliação das condições dos tanques. Durante as vistorias, foram registrados os aspectos observados em campo, bem como executados os ensaios necessários à caracterização das estruturas. Ressalta-se que, em alguns casos, não foi possível medir diretamente as seções dos elementos estruturais, em razão da limitação na abertura de janelas de inspeção.

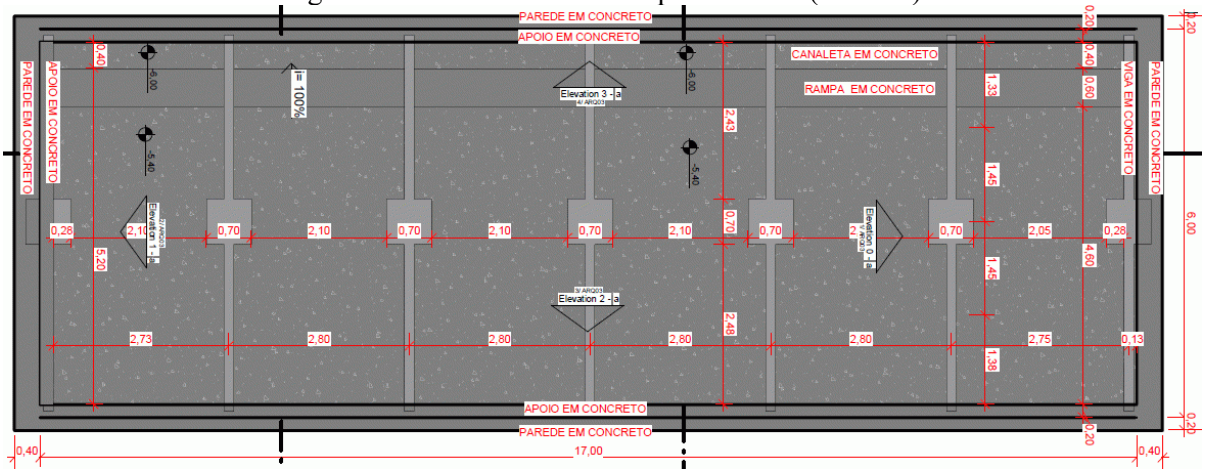
Os tanques analisados não foram selecionados de forma amostral pelos autores, tendo sido indicados pela administração da Estação de Tratamento de Água em função da necessidade de intervenção para reforma, motivada pela presença de manifestações patológicas previamente identificadas. Dessa forma, o estudo caracteriza-se como uma análise de caso aplicada, com foco na avaliação técnica das condições estruturais e de durabilidade.

Figura 1 – Planta Baixa do Tanque Filtro 15 (ETA 01)



Fonte: Autores.

Figura 2 – Planta Baixa do Tanque Filtro 06 (ETA 02)



Fonte: Autores.

Durante as inspeções, foram avaliados os seguintes elementos estruturais: laje de fundo, paredes laterais e vigas superiores, com ênfase na identificação de manifestações patológicas, integridade do concreto e condições de durabilidade.

A avaliação das armaduras foi realizada por meio da abertura pontual de janelas de inspeção, permitindo a verificação direta do posicionamento, diâmetro e estado de conservação das barras de aço. Complementarmente, foi realizado ensaio de pacometria, com o objetivo de verificar, de forma não destrutiva, a continuidade e repetibilidade das condições observadas nas regiões inspecionadas, ampliando a representatividade da análise.

A modelagem geométrica das estruturas foi desenvolvida com o auxílio do software Autodesk Revit, permitindo a representação tridimensional dos tanques. A análise estrutural foi conduzida por meio do software TQS, considerando as ações permanentes, variáveis, hidrostáticas e geotécnicas, em conformidade com os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023.

Os pontos de extração dos corpos de prova foram definidos em regiões representativas dos elementos estruturais, incluindo laje de fundo, paredes e vigas superiores, de modo a abranger diferentes condições de exposição e estado de conservação.

2.1 Histórico

2.1.1 Tanque 1

O Tanque 1 (Figura 1) em estudo apresenta cerca de 30 anos de utilização e foi integralmente executado em concreto armado. Possui uma camada de proteção mecânica em argamassa, que, conforme os indícios observados, integra o sistema de impermeabilização da estrutura.

Projetado para atuar como filtro, o tanque possuía um piso elevado, recentemente removido para viabilizar os estudos e a execução das intervenções de recuperação. Sobre esse piso estavam dispostas sucessivas camadas de agregados graúdos e miúdos, materiais estes essenciais ao processo de filtração, os quais eram periodicamente mobilizados no interior do tanque para o adequado tratamento da água.

Figura 3 – Vista do tanque 1



Fonte: Autores.

2.1.2 Tanque 2

O Tanque 2 (Figura 2) em análise possui aproximadamente 22 anos de operação e foi integralmente executado em concreto armado. Destaca-se que a estrutura não dispõe de camada de proteção

mecânica em argamassa; apresenta apenas uma fina e desagregada camada remanescente do sistema original de impermeabilização.

Projetado para atuar como filtro, o tanque possuía um piso elevado, recentemente removido para viabilizar os estudos e a execução das intervenções de recuperação. Sobre esse piso estavam dispostas sucessivas camadas de agregados graúdos e miúdos, materiais estes essenciais ao processo de filtração, os quais eram periodicamente mobilizados no interior do
tanque para o adequado tratamento da água.

Figura 4 – Vista do tanque 2



Fonte: Autores.

2.2 Vistorias e ensaios

Para a identificação e análise com foco na durabilidade da estrutura, foram realizadas vistorias técnicas, acompanhadas do mapeamento detalhado dos fenômenos patológicos presentes no concreto, bem como a execução de ensaios físicos e químicos específicos. Durante a vistoria, todas as manifestações patológicas foram mapeadas minuciosamente.

Foi realizada sondagem SPT nas imediações dos tanques, conforme a ABNT NBR 6484:2020, com o objetivo de avaliar as condições do solo no entorno das estruturas.

Com o objetivo de avaliar a resistência à compressão do concreto utilizado nas estruturas dos tanques, realizou-se a extração de testemunhos cilíndricos, atendendo aos requisitos da ABNT NBR 7680-1 - Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Considerando a necessidade de preservar a integridade estrutural dos reservatórios e minimizar eventuais danos, optou-se pela extração de apenas um corpo de prova em cada elemento estrutural analisado: laje de fundo, parede de concreto e vigas superiores. Após a extração, os corpos de prova foram devidamente identificados, regularizados e submetidos ao ensaio de compressão axial em prensa hidráulica, com o registro da carga máxima suportada por cada unidade.

A determinação da frente de carbonatação é um método utilizado para avaliar a penetração de dióxido de carbono (CO2) na superfície de concreto endurecido. Esse processo leva à formação de carbonatos cálcicos e alcalinos e a uma redução do valor do pH da solução aquosa presente nos interstícios do concreto, que acaba ficando com um pH próximo de neutro (Perdrix, 1992, p.76), propiciando a ocorrência da corrosão das barras de aço por carbonatação.

Para o ensaio de carbonatação foi utilizado uma solução alcoólica com 1% fenolftaleína em que é aspergido no concreto recém fraturado. O ensaio indica o pH do concreto através de uma mudança da coloração do mesmo (Tabela 1). Quando a coloração é rosa, significa que a região possui o PH natural do concreto, e incolor um PH abaixo deste valor. O ensaio foi realizado conforme recomendações do RILEM TC056 CPC 18 - Measurement of hardened concrete carbonation depth.

Tabela 1 - Valores de pH do concreto.

pH	Coloração	Situação
< 8,30	Incolor	Carbonatada
9,50 > pH > 8,30	Rosa-Vermelho-Carmim	Não Carbonatada
> 9,50	Vermelho-Carmim	Não Carbonatada

Fonte: Tomazeli, 2019.

3. RESULTADOS

3.1 Inspeção Visual

3.1.1 Tanque 1

Foram identificadas manifestações patológicas predominantemente superficiais, incluindo desagregação da camada de proteção mecânica em argamassa, manchamentos superficiais e pontos de vazamento localizados.

Figura 5 – Desagregação da camada de proteção mecânica do tanque 1.



Fonte: Autores.

3.1.2 Tanque 2

Foram observadas manifestações patológicas mais severas e disseminadas, incluindo desagregação significativa do concreto (Figura 5), manchamentos extensos, fissuras e múltiplos pontos de vazamento localizados.

Figura 6 – Vista aproximada da parede do tanque 2.



Fonte: Autores.

3.2 Sondagem

Os resultados dos ensaios, realizados conforme a norma técnica vigente, indicaram que as condições dos solos são adequadas para o sistema de fundação radier, implantado nos tanques. Não se detectou indícios de recalque e as estruturas não apresentaram manifestação patológica relacionadas à instabilidade do solo. Apesar disso, recomendou-se o monitoramento contínuo para garantir a segurança e a durabilidade das instalações a longo prazo.

3.2.1 Tanque 1

O perfil do solo revelou camadas rijas até 5,90 m de profundidade, garantindo boa capacidade de suporte para as cargas aplicadas. Entre 5,90 m e 6,75 m foi identificada uma camada de silte arenoso pouco compacta, com N-SPT = 6, caracterizando uma zona de menor resistência. Entre 6,75 m e 10,45 m, foi identificada camadas de areia siltosa, medianamente compacta, com N-SPT entre = 8 e 16, caracterizando uma zona de resistência mediana. Todavia, a estabilidade atual indica que essas camadas não estão sendo sobrecarregadas, principalmente devido à ausência de água até a profundidade investigada.

3.2.2 Tanque 2

O perfil do solo revelou camadas médias entre 0,80 e 4,60 m de profundidade, com argila, medianamente compacta, com N-SPT entre = 8 e 10, caracterizando uma zona de resistência mediana. Entre 4,60 m e 6,80 m foi identificada uma camada de argila siltosa rija, garantindo boa capacidade de suporte para as cargas aplicadas. A partir de 6,80 m e até 10,45 m de profundidade, foi identificada uma areia siltosa, medianamente compacta. Todavia, a estabilidade atual indica que essas camadas não estão sendo sobrecarregadas, principalmente devido à ausência de água até a profundidade investigada.

3.3 Resistência à Compressão

Os ensaios realizados permitiram avaliar a resistência à compressão do concreto nos principais elementos estruturais dos tanques. Ressalta-se que o número de extrações foi limitado, visando preservar a integridade da estrutura existente.

Os resultados obtidos são considerados adequados, uma vez que os valores de resistência à compressão se apresentam compatíveis ou superiores ao fck de projeto, atendendo aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023.

3.3.1 Tanque 1

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova do Tanque 01, apresentados na Tabela 2, apresentam variação nos valores, incluindo 20,24 MPa no CP-06 (parcialmente influenciado pela camada de argamassa). A análise estrutural global confirmou a capacidade do concreto remanescente em suportar as cargas atuantes e garantir a estabilidade do tanque sem a necessidade de reforço estrutural.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de resistência à compressão.

Nº DO CP	LOCAL DA EXTRAÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO
CP04	PISO DA LAJE DE FUNDO	43,80 Mpa
CP05	PAREDE	26,84 Mpa
CP06	VIGA SUPERIOR	20,24 Mpa

Fonte: Autores.

3.3.2 Tanque 2

Os valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova do Tanque Filtro 06, sumarizados na Tabela 3 variaram entre 30,72 MPa e 39,32 MPa. Estão em alinhamento ou superam a resistência de projeto de 30 MPa, confirmando a adequação do concreto para a integridade estrutural.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de resistência à compressão.

Nº DO CP	LOCAL DA EXTRAÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO
CP01	PAREDE	30,72 Mpa
CP02	PISO DA LAJE DE FUNDO	31,45 Mpa
CP03	VIGA SUPERIOR	39,32 Mpa

Fonte: Autores.

3.4 Frente de Carbonatação

Os resultados indicam que as amostras apresentaram um pH adequado para o concreto, confirmando a sua boa qualidade, conforme o CP 04 na Figura 6. Além disso, não foi detectada carbonatação no concreto do tanque, evidenciando que a estrutura não apresenta sinais de deterioração associada a esse fenômeno químico.

Figura 7 – Resultado do ensaio de frente de carbonatação no CP 04.



Fonte: Autores.

3.5 Ataque por Cloretos

O ensaio colorimétrico em ambos os tanques, utilizando a solução de nitrato de prata (Figura 7), confirmou a ausência de íons cloreto livres no concreto. Este resultado é fundamental, pois elimina o risco de corrosão especificamente induzida pela presença desses íons nas amostras avaliadas.

Figura 8 – Resultado do ensaio de ataque por cloretos no tanque 01.



Fonte: Autores.

3.6 Avaliação das Armaduras

A avaliação das armaduras, realizada por meio da abertura de janelas de inspeção, indicou que o posicionamento e o cobrimento das barras se encontram, de modo geral, compatíveis com o esperado para os elementos estruturais analisados.

Os ensaios de pacometria confirmaram a repetibilidade dessas condições nos demais elementos avaliados, não sendo identificadas variações significativas que indiquem inconsistências construtivas relevantes.

3.7 Análise Estrutural

A modelagem estrutural foi desenvolvida a partir dos dados levantados em campo e processada no software TQS, permitindo a obtenção dos esforços solicitantes, verificação das deformações e dimensionamento das armaduras conforme os estados limites previstos na ABNT NBR 6118:2023.

3.7.1 Tanque 1

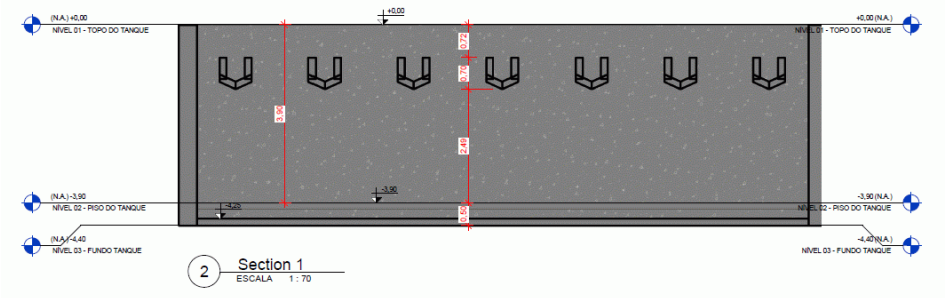
Os parâmetros de projeto incluíram um FCK de 40 MPa para o concreto e um Módulo de Elasticidade (Ec) de 35.417,51 MPa. As dimensões internas analisadas foram: paredes de 430 cm de largura (com espessura de 30 cm) e 1320 cm de comprimento (com espessura de 20 cm), laje de fundo com 25 cm de espessura e uma altura total da estrutura de 390 cm.

As cargas consideradas abrangeram cargas permanentes e variáveis, totalizando 1,900 tf/m² (englobando material filtrante, equipamentos e concreto para instalação). Além disso, foram incluídos esforços hidrostáticos (peso d'água de 3,20 tf/m² e empuxo d'água de 3,20 tf/m²) e geotécnicos (empuxo do solo de 3,80 tf/m²). Os dados geotécnicos utilizados foram uma resistência do solo de 20,0 tf/m² (a partir de 5 m de profundidade) e um Coeficiente de Reação Vertical (CRV) de 4.000 tf/m³, obtido pela correlação de Morrison (1993).

Os resultados da análise indicaram que as deformações estimadas para a estrutura se encontram dentro dos limites admissíveis pela NBR 6118, sendo consideradas não significativas para a função estrutural e operacional do tanque. A verificação da resistência dos materiais confirmou a

adequação do concreto e das armaduras. As áreas de aço mínima necessária calculadas para os elementos variaram de 3,75 cm²/m a 7,10 cm²/m. Esses valores demonstram que a estrutura possui capacidade resistente para as solicitações impostas.

Figura 9 - Corte do Tanque Filtro 15 (ETA 01)



Fonte: Autores.

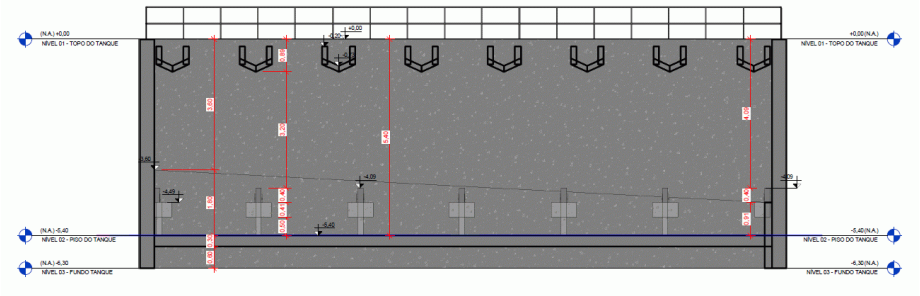
3.7.2 Tanque 2

A verificação da capacidade estrutural do Tanque Filtro 06 foi realizada através de um Memorial Descritivo de Cálculo detalhado, considerando os parâmetros do projeto original e as condições atuais da estrutura. O concreto foi caracterizado com um FCK de 30 MPa e um Módulo de Elasticidade (Ec) de 30.672,46 MPa. As dimensões internas analisadas foram: paredes de 600 cm de largura (com espessura de 40 cm) e 1700 cm de comprimento (com espessura de 20 cm), laje de fundo com 30 cm de espessura e uma altura total de 540 cm.

As cargas permanentes e variáveis consideradas no dimensionamento estrutural totalizaram 7,000 tf/m² (incluindo material filtrante, base existente, equipamentos e concreto para instalação). Foram igualmente avaliados os esforços hidrostáticos (peso d'água de 4,50 tf/m² e empuxo d'água de 4,50 tf/m²) e geotécnicos (empuxo do solo de 5,17 tf/m²). Os dados geotécnicos empregados foram uma resistência do solo de 20,0 tf/m² (a partir de 5 m de profundidade) e um Coeficiente de Reação Vertical (CRV) de 4.000 tf/m³, conforme a correlação de Morrison (1993).

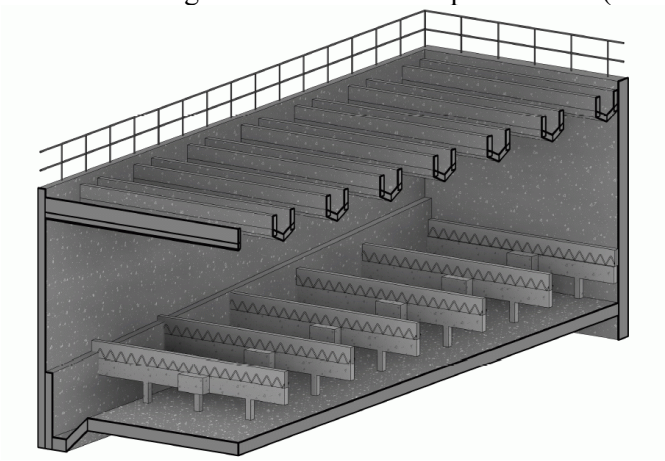
A análise confirmou que as deformações estimadas para a estrutura se encontram dentro dos limites admissíveis pela NBR 6118, indicando que a capacidade estrutural do tanque é adequada para as solicitações previstas. As áreas de aço mínima necessária calculadas para os elementos variaram de 4,87 cm²/m a 22,88 cm²/m, confirmando a adequação do dimensionamento em relação às ações.

Figura 10 - Corte do Tanque Filtro 06 (ETA 02)



Fonte: Autores.

Figura 11 – Modelagem estrutural do Tanque Filtro 06 (ETA 02)



Fonte: Autores.

4 DISCUSSÃO

Os resultados das análises revelam que, apesar das idades distintas (30 anos para o Filtro 15 e 22 anos para o Filtro 06), ambos os tanques apresentam uma condição estrutural, em termos de resistência à compressão do concreto e estabilidade geotécnica, com deformações dentro dos limites aceitáveis pela NBR 6118. Os resultados das análises demonstram que ambos os tanques apresentam desempenho estrutural adequado, considerando que os valores de resistência à compressão do concreto atendem aos parâmetros de projeto estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023.

A ausência de carbonatação e de cloretos livres no concreto em ambos os tanques é um achado positivo, indicando que os principais mecanismos de deterioração química não estão ativos ou não atingiram níveis críticos para iniciar a corrosão das armaduras nessas amostras. Este fato sugere que a durabilidade do concreto, em relação a esses agentes, foi mantida ao longo dos anos.

Contudo, as manifestações patológicas observadas nas inspeções visuais são mais acentuadas no Tanque Filtro 06 (ETA 02) em comparação com o Tanque Filtro 15 (ETA 01), apesar de sua menor idade. Esta diferença pode ser diretamente atribuída à presença de uma camada de proteção mecânica em argamassa no Tanque Filtro 15, que o protegeu do desgaste físico. Em contrapartida, o Tanque Filtro 06 carece dessa camada, expondo diretamente o concreto aos efeitos abrasivos da movimentação de partículas sólidas (areia e brita) e líquidos no processo de filtração. Este desgaste físico é o fator predominante para a desagregação do concreto e a exposição das armaduras, culminando na corrosão observada especificamente na ETA 02.

A corrosão das armaduras, embora limitada nas amostras testadas para cloretos e carbonatação, foi visualmente identificada no Tanque Filtro 06, agravada pela falta de proteção eficiente. Este cenário reitera a necessidade de proteção mecânica e sistemas de impermeabilização robustos em ambientes operacionais agressivos.

A consideração da "Lei de Sitter", que correlaciona a postergação das intervenções com o aumento exponencial dos custos de recuperação, reforça a urgência das ações propostas. A identificação de pontos onde a vida útil de projeto pode já ter sido superada, manifestada por deformações localizadas ou perda de aderência, sublinha a relevância da intervenção imediata para evitar custos significativamente maiores no futuro.

Embora os ensaios não tenham indicado ataque químico por cloretos, a ausência de dados sobre a composição química das águas tratadas e a possibilidade de ataque biológico (por bactérias oxidantes de enxofre ou sulfetos, que podem formar ácido sulfúrico e acelerar a corrosão) devem ser consideradas em estudos futuros, especialmente em estruturas com operação contínua. Diante dessas constatações, são propostas as seguintes ações:

- Projeto Estrutural de Recuperação: É imperativa a elaboração de projetos específicos para a reparação das áreas desagregadas e degradadas, correção das fissuras e pontos de vazamento, e tratamento das manifestações patológicas nas vigas, paredes e demais elementos estruturais de ambos os tanques.
- Novo Sistema de Impermeabilização: Implementação de um sistema de impermeabilização de alta performance e durabilidade. Para o Tanque Filtro 06, é crucial a inclusão de uma camada de proteção mecânica robusta para mitigar o desgaste por abrasão das partículas sólidas em suspensão, protegendo as superfícies de concreto.
- Ensaios Complementares em Laboratório Especializado: Recomenda-se o envio de amostras de concreto para análises laboratoriais aprofundadas de cloretos e sulfatos, além de investigação sobre a composição química da água e potencial de ataque biológico, a fim de descartar definitivamente qualquer possibilidade de ataque químico ou microbiológico e embasar estratégias de proteção mais eficazes.
- Monitoramento Contínuo: A implementação de um programa de monitoramento periódico das estruturas é fundamental para a detecção precoce de novas alterações ou manifestações patológicas, permitindo intervenções preventivas e corretivas eficientes e alinhadas aos preceitos da "Lei de Sitter".

A aplicação integrada dessas medidas é crucial para restaurar plenamente a funcionalidade, estender a vida útil dos tanques, consolidando a infraestrutura de tratamento de água a longo prazo

5 CONCLUSÃO

A avaliação técnica dos tanques permitiu inferir as seguintes conclusões e recomendações:

- Ambos os tanques demonstraram capacidade estrutural intrínseca adequada, com resistência à compressão do concreto compatível com os valores de projeto e estabilidade geotécnica verificada, atendendo aos critérios de segurança e desempenho estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023, não sendo necessária a adoção de medidas de reforço estrutural para a nova utilização proposta
- Os ensaios de carbonatação e de cloretos livres nas amostras de concreto analisadas resultaram negativos, sugerindo que os mecanismos primários de deterioração química não são os agentes preponderantes para a degradação observada.
- As manifestações patológicas identificadas, tais como desagregação do concreto, manchamentos, fissuras e pontos de vazamento, são mais severas no Tanque Filtro 06. A presença de uma camada de proteção mecânica no Tanque Filtro 15 foi fundamental para mitigar o desgaste físico por abrasão, justificando sua melhor conservação. A ausência dessa proteção no Tanque Filtro 06 resultou em maior exposição e corrosão de armaduras, apesar de sua menor idade.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 201.2R-16: Guide to durable concrete.** Farmington Hills: ACI, 2016.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 210R-93 (Reapproved 2008): Erosion of concrete in hydraulic structures.** Farmington Hills: ACI, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655:2015 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484:2020 – Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7680-1:2015 – Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015.

CASCUDO, O. **Carbonatação em estruturas de concreto armado**. São Paulo: Pini, 1997.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** São Paulo: EPUSP, 1993.

KIM, D. et al. **Colorimetric detection of chloride ions in concrete**. Key Engineering Materials, v. 579, p. 576-579, 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MORRISON, L. **Foundation Design and Construction**. 6. ed. New York: Wiley, 1993.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PERDRIX, J. **A durabilidade do concreto.** 2. ed. Lisboa: LNEC, 1992.

POSSAN, E. **Carbonatação em concretos de cimento Portland com adições minerais.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RILEM TC056 CPC 18. **Measurement of hardened concrete carbonation depth**. 1988.

TOMAZELI, A. P. **Avaliação da carbonatação em estruturas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete.** Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.