

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM PATOLOGIA NAS OBRAS CIVIS

Yves Pereira Müller

**VISTORIA E AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS DOS TANQUES DE
AERAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO RUBEM BERTA**

São Leopoldo

2015

YVES PEREIRA MÜLLER

VISTORIA E AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS DOS TANQUES DE
AERAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO RUBEM BERTA

Trabalho de Conclusão de Curso de
Especialização apresentado como requisito
parcial para a obtenção do título de
Especialista em Patologia nas Obras Civas,
pelo Curso de Especialização em Patologia nas
Obras Civas da Universidade do Vale do Rio
dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Prof^ª. MSc. Luciane Fonseca Caetano

São Leopoldo
2015

VISTORIA E AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS DOS TANQUES DE AERAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO RUBEM BERTA

Yves Pereira Müller¹

Prof.^a MSc. Luciane Fonseca Caetano²

Resumo: O presente artigo avalia as condições de conservação de dois tanques de aeração da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Rubem Berta na cidade de Porto Alegre, onde foram verificadas diversas manifestações patológicas atuantes nos elementos estruturais, causadas, principalmente, pela falha ou inexistência de um procedimento de manutenção bem definido, evidenciando a suma importância desta etapa, além de diminuir a degradação das peças em concreto armado e prolongar a vida útil. São averiguados os danos impostos pela ação da água, pela agressividade do meio e qualidade do concreto, assim como os riscos, causas e efeitos de tais manifestações, investigadas através de registro fotográfico e fundamentação teórica. Logo após, os tanques foram vistoriados, analisados e apresentadas as ocorrências mais frequentes. Os resultados mostraram que a não execução de uma estratégia preventiva (ou até mesmo corretiva), provocaram o aparecimento de diversas falhas nos tanques de aeração da Estação, reduzindo a durabilidade dos materiais e a vida útil das estruturas, além de poder gerar altos custos de manutenção e, conseqüentemente, levar a inutilização ou ao colapso da estrutura.

Palavras chave: sintomatologia; manifestações patológicas; degradação.

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto devem ser concebidas visando manter a segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante a vida útil projetada, obedecendo as condições ambientais previstas e, além disso, sendo utilizada conforme o modo a que foram geradas pelo projetista (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). Mesmo diante de tais diretrizes, não raras vezes, os procedimentos adotados não são efetivamente suficientes para suprir as reais necessidades das construções com classes de agressividade ambiental (CAA) extremas, como são os casos das estruturas de saneamento, mais especificamente as que recebem esgoto.

Com isso, percebeu-se a necessidade de analisar a evolução dos processos degenerativos das estruturas de concreto armado da ETE Rubem Berta, mostrando a importância de serem executados e obedecidos os procedimentos de manutenção periódica,

¹ Autor, Engenheiro Civil (UFRGS, 2011). E-mail: yves.muller@bol.com.br

² Orientadora, Mestre em Engenharia Civil (UFRGS, 2008), Engenheira Civil (UFRGS, 2005). E-mail: lucianefc@gmail.com

tendo em vista prevenir acidentes e prolongar a vida útil de tais elementos. A escolha da presente Estação deu-se pela iminente utilização do tanque de aeração que encontra-se parado, sem ter recebido esgoto sanitário em momento algum, bem como se comparado ao tanque que está em uso; diante disso, faz-se necessária a avaliação das condições estruturais para, futuramente, pô-la em operação.

O presente trabalho tem por propósito a realização de vistoria e avaliação dos tanques de aeração da ETE, os quais apresentam inúmeras manifestações patológicas pela inexistência de procedimentos de manutenção. Os detalhes quanto a materiais e métodos adotados estão descritos na seção denominada Metodologia e são apresentados, brevemente, quanto a revisão da literatura sobre a degradação do concreto armado, estando as peças submetidas à ação de agentes agressivos e, posteriormente, fotografias das estruturas analisadas.

O principal resultado do trabalho foi a verificação de que o investimento em procedimentos de manutenção visando a eliminação de fissuras e outras manifestações prolonga a vida útil das estruturas de concreto, tendo em vista que a redução do acesso de agentes agressivos ao concreto, tais como a água (eletrólito), o Dióxido de Carbono (CO₂) e outros gases diversos, podem diminuir drasticamente, ou até mesmo cessar, a degradação do material.

Este trabalho é dividido em 5 capítulos, contendo os respectivos tópicos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Resultados e Considerações finais. No capítulo 1, Introdução, realiza-se a contextualização do tema escolhido e uma breve discussão sobre a ação das degradações sobre a durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. No capítulo 2, Revisão Bibliográfica, a fundamentação teórica traz termos e embasamento da literatura corrente sobre o assunto. Já o capítulo 3, denominado Metodologia, há a descrição dos materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do assunto e quais recursos foram empregados para alcançar tais objetivos, além de uma breve caracterização da ETE e histórico de manutenção. O capítulo 4, Resultados, destina-se à descrição e à discussão da vistoria realizada na ETE Rubem Berta, analisando as manifestações patológicas mais frequentes, evidenciadas pela falta de procedimentos de manutenção dos tanques de aeração. Para encerrar o trabalho, o capítulo 5, Considerações finais, realiza-se o debate dos resultados obtidos nos tópicos anteriores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão debatidas as principais ações que levam as estruturas de concreto armado a diminuição de sua durabilidade e, conseqüentemente, ao encurtamento de sua vida útil.

2.1 Degradação das estruturas de concreto armado

As estruturas de concreto, quando sujeitas as ações ambientais, podem apresentar diversas modificações em seu comportamento como material monolítico, observando-se alterações consideráveis: as manifestações patológicas. Essas degradações são indesejáveis, pois trazem efeitos negativos na resistência dos elementos estruturais, gerando altos custos de manutenção e, principalmente, riscos a segurança dos usuários.

De acordo com Bertolini (2010), esses danos podem ser tanto do tipo físico, quanto químico, biológico ou mecânico. Para o primeiro, são danos provocados, principalmente, pelo efeito da temperatura nos elementos estruturais; os químicos podem ser causados pela ação das substâncias ambientais; para o terceiro tipo, são influenciados por agentes biológicos e os danos mecânicos, como exemplo, cita-se a variação de carregamento. A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), conforme figura 1, menciona que as classes de agressividade ambiental estão fortemente ligadas às ações físicas e químicas, não dependendo das questões mecânicas, variações volumétricas relacionadas a temperatura, retração hidráulica e outras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Figura 1: classes 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	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível 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).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

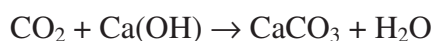
³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014).

Helene (1992) informa que as maiores degradações atuantes nas superfícies dos concretos acontecem nos centros urbanos, nas zonas industriais e, ainda, próximas a atmosferas marítimas. Medeiros (2012) vai além ao mencionar que, devido a alta contaminação dessas atmosferas por gases e cinzas, tais como o Ácido Sulfídrico (H₂S), o Dióxido de Enxofre (SO₂) e os Óxidos de Nitrogênio (NO_x), entre outros desta categoria, as plantas industriais e, principalmente, as estações de tratamento de esgotos são os elementos que sofrem maior degradação. Bauer (1994) salienta que os mais diversos compostos gasosos se dissolvem ao entrar em contato com as precipitações, e sob forma de água, agredem de forma substancial o concreto. Os concretos presentes nas estações de tratamento de esgoto são degradados, essencialmente, por compostos de enxofre e bactérias. (LIMA, 2005)

2.2 Carbonatação

Para Pauletti (2004), a carbonatação é um processo físico-químico de ataque e degradação de todos os produtos do cimento (Hidróxido de Cálcio – Ca(OH)₂ –, Hidróxido de Sódio – NaOH – e Hidróxido de Potássio – KOH), através de várias reações entre o Dióxido de Carbono (CO₂) e os gases ácidos (principalmente Dióxido de Enxofre – SO₂ e Ácido Sulfídrico – H₂S), sendo substituídos por carbonatos. A presença de poros no concreto, aliada a um elevada umidade relativa – valores entre 60 e 80% (BERTOLINI, 2010) –, geram a seguinte reação:



Andrade (1992) e Neville (1997) informam que os concretos carbonatam a diferentes velocidades, dependendo da difusividade de CO₂ e conforme variações entre consumo e tipo de cimento, porosidade, umidade relativa, relação a/c, grau de hidratação. Para o cálculo da espessura de carbonatação na *fase de ativação*, Tuutti (1982) recomenda a utilização de uma simplificada equação matemática apresentada abaixo (equação 1):

$$x = k \cdot \sqrt{t} \quad (1)$$

Onde x é a profundidade de carbonatação (mm), t é o tempo (ano) e k é o coeficiente de carbonatação (mm/ano^{0,5}), que depende de diversos fatores ambientes.

2.3 Sintomatologia

Lapa (2008) informa que as fissuras podem manifestar-se nas três etapas da vida do concreto, sendo na fase plástica, na fase de endurecimento e na fase de concreto endurecido. Na fase plástica, as manifestações são em virtude da retração e assentamento plásticos; na fase de endurecimento, podem ser pela restrição à prematura movimentação térmica e à precoce retração do endurecimento e ao assentamento diferencial dos apoios; e para a fase de concreto endurecido, as fissuras são em virtude do subdimensionamento, detalhamento inadequado, erros de execução, cargas excessivas, ataque de sulfato, corrosão de armaduras por cloretos, carbonatação e reação álcali-agregado (RAA). Cánovas (1988) complementa que o aparecimento das fissuras pode ser evidenciados após anos, semanas e, até mesmo, em poucas horas e, de acordo com Bertolini (2010), a fissuras podem ser exemplificadas conforme o quadro 1.

Quadro 1: informações relacionadas aos tipos de fissuras em elementos de concreto

Tipo de fissuração	Subdivisão		Posição mais favorável	Fator principal	Fatores secundários	Tempo de aparecimento
Assentamento plástico	A	acima das armaduras	seções espessas	exsudação elevada	rápida evaporação	de 10 minutos a 3 horas
	B	horizontal	alto das pilstras			
	C	variação da espessura	lajes finas			
Retração plástica	D	diagonais	pavimentações	secagem rápida	exsudação	de 30 minutos a 6 horas
	E	casuais	lajes c.a	secagem rápida, baixo cobrimento		
	F	acima das	lajes c.a			
Contrações térmicas prematuras	G	vínculos externos	muros de grande espessura	elevado calor de hidratação	rápido resfriamento	de 1 dia a 3 semanas
	H	vínculos internos	lajes de grande espessura	elevada diferença de temperatura		
Retração higroscópica	I	-	muros e lajes finos	juntas ineficazes	forte retração, cura insuficiente	várias semanas ou meses
Microfissuras	J	contra a forma	concreto aparente	formas impermeáveis	mistura rica em cimento, má cura	1 a 7 dias, as vezes muito depois
	K	concreto segregado	lajes	excesso de acabamento		
Corrosão das armaduras	L	natural	pilares e vigas	pouco cobrimento	concreto de má qualidade	após mais de 2 anos
	M	cloreto de cálcio	obras pré-fabricadas	excesso de CaCl ₂		
Reação álcali-agregado	N	-	zonas úmidas	agregados reativos, elevado conteúdo de álcalis		após mais de 5 anos

Fonte: adaptação de Bertolini (2010).

A formação de produtos expansivos, através de suas respectivas reações químicas, podem ocasionar danos deletérios ao concreto endurecido. No início, a expansão pode não causar danos às estruturas, mas com o aumento das tensões internas no concreto, há o aparecimento de manifestações como: fechamento de juntas de expansão, deformações e deslocamentos em partes distintas da estrutura, aparecimento de fissuras, lascamento e pipocamento. Existe, ainda, quatro fenômenos intimamente ligados às reações químicas expansivas, que são: ataque por sulfato,

reação álcali-agregado, hidratação tardia de CaO e MgO livres e corrosão da armadura (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Medeiros *et al.* (2014) informa que as manifestações patológicas mais evidentes se localizam nas partes logo acima do nível do esgoto, não sendo observadas na área de contato entre esgoto e concreto.

Neville (1997) informa que as manifestações encontradas neste tipo de situação vão além da desagregação por expansão e fissuração, sendo observadas, também, a redução de resistência pela perda de coesão na pasta de cimento e diminuição de aderência entre a pasta e as partículas do agregado. Além disso, Mehta e Monteiro (1994) destacam outras formas de ataque às estruturas, sendo a expansão (fissuração → permeabilidade → penetração de águas agressivas) e a redução de resistência concomitante à perda de massa. Neville (1997) conclui que, após o ataque por sulfatos às estruturas de concreto, existe a formação de manchas esbranquiçadas características e que a degradação, de forma geral, se inicia nas bordas e arestas, sucedida de fissuração progressiva e lascamento, as quais levam o concreto a uma condição friável ou mesmo mole.

2.4 Durabilidade e vida útil

Mehta e Monteiro (1994) informam que a durabilidade do concreto está relacionada com a resistência do material perante a ação de agentes degenerativos como intempéries, agentes químicos, abrasão ou outros, mantendo suas formas diante do ambiente; a sua vida útil é a conservação das suas propriedades diante de certas condições, até quando for considerada insegura ou antieconômica.

Bertolini (2010) salienta que é imprescindível que seja definido, previamente, um estado-limite apropriado para o cálculo das estruturas de concreto armado, a fim de seja possível estimar a sua vida útil e evitar que os elementos estejam expostos a ambientes inapropriados e sofram danos prematuramente.

Ele avança e exemplifica que se pode definir como modelo as ocorrências de fissuração ou destacamento do cobrimento, para o caso de frente de carbonatação; para corrosão por cloretos, pela ativação do processo corrosivo; gelo-desgelo e ataque por sulfatos pela deslocamento de certa quantidade de concreto (BERTOLINI, 2010). Ainda, Bertolini (2010) ressalta que não há consenso no meio técnico, haja vista a diversidade de modelos matemáticos e alto número de variáveis, impossibilitando a evolução de um método capaz de fornecer respostas apropriadas e padronizadas.

3 METODOLOGIA ADOTADA

Neste capítulo será caracterizada a ETE Rubem Berta e abordada a metodologia de inspeção para o levantamento de manifestações e determinação da profundidade de carbonatação.

3.1 ETE RUBEM BERTA

Aqui serão descritas as características da ETE Rubem Berta, foco deste trabalho.

3.1.1 Características

A Estação de Tratamento de Esgoto Rubem Berta encontra-se situada na Zona Norte de Porto Alegre/RS, em uma região com característica predominantemente residencial, tendo sido projetada entre os anos de 1982 e 1983 e entrado em pleno funcionamento em 1990. A ETE opera com uma vazão nominal de 82,6 l/s, atendendo a população do bairro Rubem Berta, estimada, de acordo com dados do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) em, aproximadamente, 50.000 pessoas; as características do processo de tratamento são: chegada do esgoto na estação (caixa de areia) por bombeamento, tratamento primário e secundário por valos de oxidação com lodos ativados e posterior tratamento do lodo em leitos de secagem; não há desinfecção do efluente ao ser lançado na rede.

A ETE Rubem Berta é composta por dois tanques de aeração, formados de dois reservatórios cada e sendo a dimensão das estruturas a seguinte: comprimento total de 55,70 metros e largura total de 8,60 metros; há, dentro das estruturas, subdivisões para a recirculação do lodo utilizado no tratamento, distante 3,10 metros das bordas externas e de 2,10 metros entre si. A figura 2 localiza a ETE no bairro Rubem Berta, na cidade de Porto Alegre/RS e define a nomenclatura dos tanques de aeração.

Figura 2: localização da ETE Rubem Berta e definição dos tanques de aeração



Fonte: imagem do software Google Earth (2015).

3.1.2 Histórico de Manutenções

As manutenções executadas nos tanques da ETE Rubem Berta não são programadas e foram realizadas, até o presente trabalho, após constatação de manifestações patológicas avançadas, ou seja, ações corretivas. As estruturas foram identificadas conforme a figura 2 e sofreram os seguintes procedimentos: o tanque de aeração 1-A sofreu recuperação a, aproximadamente, 10 anos com aplicação de armagassa polimérica, colmatação de fissuras e tratamento de juntas; a estrutura 1-B jamais sofreu intervenção. Salienta-se que tal estrutura (tanque 1) foi utilizada apenas para testes, nunca tendo recebido esgotamento sanitário.

Para o tanque 2-A e 2-B, as manutenções são ainda menos frequentes, já que a operação da ETE inviabiliza tal procedimento; foi verificada a utilização de material polimérico nas paredes da estrutura, a qual foi executados a mais de 15 anos.

3.2 LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Para o presente trabalho, foram realizadas, primeiramente, algumas vistorias na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Rubem Berta, baseadas na detecção visual e na análise dos problemas existentes, no debate sobre as possíveis causas, riscos e efeitos e, concomitantemente, em registros fotográficos das estruturas afetadas. As inspeções abrangeram somente a parte externa dos tanques, uma vez que os reservatórios 2-A e 2-B encontram-se em uso.

Após a verificação *in loco* das condições atuais das manifestações patológicas existentes, foi realizada intensa pesquisa bibliográfica em volumes consagrados na literatura nacional e internacional e na normatização técnica (ABNT).

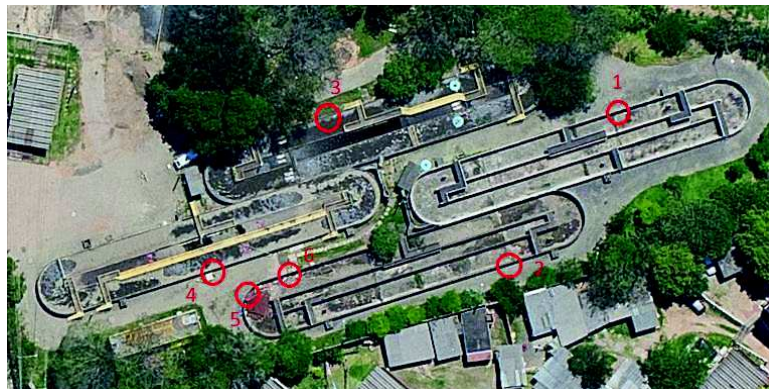
Com a finalização da revisão bibliográfica, foram analisadas as degradações encontradas na estação de tratamento e debatidas as possíveis causas. Suscessivamente, foram discutidos os danos ocorridos nas estruturas de concreto, apontados os problemas mais evidentes e verificada a necessidade de correção dos elementos estruturais.

3.3 DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

Para a determinação da profundidade de carbonatação, foram escolhidos seis pontos de amostragem, a fim de abranger a totalidade da área da ETE Rubem Berta e analisar as possíveis variações entre os tanques que recebem o esgoto sanitário e as estruturas que estão

sem funcionamento e se a posição solar influencia tal avanço. A figura 3 localiza os pontos amostrados.

Figura 3: localização dos pontos onde foi realizado o teste de carbonatação



Fonte: imagem do software Google Earth (2015).

Com a definição dos pontos de amostragem, foram realizados os seguintes procedimentos: a) a abertura de valas por meio mecânico ou manual; b) limpeza para retirada do material pulverulento; c) aspersão de fenolftaleína e d) medição de, pelo menos, três pontos para estimativa da média da profundidade de carbonatação. A figura 4 evidencia a sequência do teste.

Figura 4: sequência para verificação da profundidade de carbonatação



Fonte: arquivo próprio (2015).

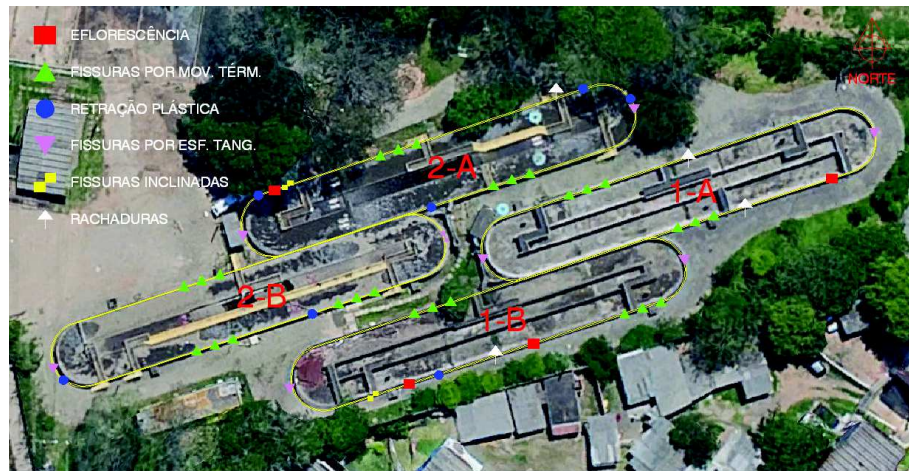
4 RESULTADOS

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos através do levantamento das degradações, das medidas de profundidade de carbonatação e da estimativa de vida útil.

4.1 Manifestações patológicas

Para o presente estudo, foram registradas as manifestações patológicas mais evidentes nos tanques de aeração da ETE Rubem Berta e, além disto, buscou-se avaliar as fissuras quanto ao tipo, conforme o quadro 1 deste trabalho, visto ser esta manifestação patológica a mais recorrente. Na figura 5 estão posicionadas as manifestações patológicas mais recorrentes durante as inspeções realizadas e cada uma dessas degradações será descrita a seguir.

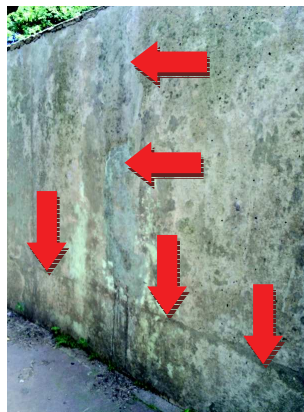
Figura 5: posição das manifestações patológicas registradas



Fonte: imagem do software Google Earth (2015).

Como observação inicial, foi verificada a presença de junta fria de concretagem, destacando-se que apesar do registro ter sido feito localmente, ela foi constatada ao longo de toda a estrutura. Isto deve-se ao método construtivo utilizado naquela época, privilegiando a execução em etapas. Na figura 6 é possível observar as juntas frias na estrutura do reservatório 2-A.

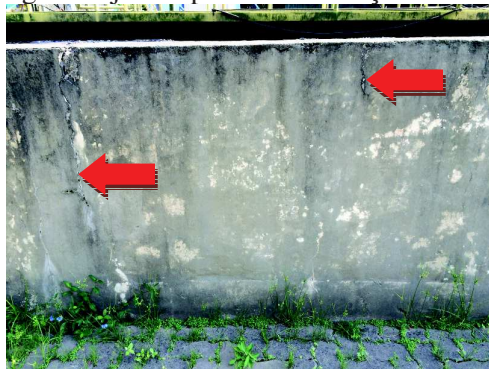
Figura 6: junta de concretagem, evidenciando execução em etapas



Fonte: acervo do autor (2015).

Para a manifestação patológica da figura 7, verifica-se a falta de conhecimento no projeto, evidenciada pela ausência de juntas de dilatação, ocasionando fissurações ao longo de todo o tanque (a figura 5 representa os pontos com as degradações mais avançadas; contudo, há fissuras equidistantes no perímetro dos 4 reservatórios). Essas ocorrências da figura abaixo foram evidenciadas ao longo dos tanques 1 e 2, com espaçamento variando entre 1,0 e 1,5 metros e, de acordo com Bertoli (2010), essas manifestações ocorrem por retração higroscópica, em muros e lajes finos e o fator principal são juntas ineficazes, corroborando com a situação apresentada. Carmona (2012) confirma tal diagnóstico e complementa que foram geradas no estado endurecido, por meio de fenômeno térmico.

Figura 7: juntas por movimentação térmica



Fonte: acervo do autor (2015).

Outra manifestação patológica evidenciada na vistoria foi a presença de eflorescência em pontos isolados dos reservatórios que, conforme mostrado na figura 5 – retângulos vermelhos – ocorre em ambos os tanques, inclusive no que não está em operação, sendo a água de precipitação um dos agentes desencadeadores de tal degradação; além disso, a alta umidade na proximidade com o solo é outro fator para essa ocorrência. A figura 8 evidencia o carreamento dos íons de Hidróxido de Cálcio, formando eflorescências

Figura 8: presença de eflorescência na estrutura do tanque 1-B



Fonte: acervo do autor (2015).

Também, foram verificadas na estrutura analisada alguns pontos com evidente retração plástica, conforme mostra a figura 9, onde percebe-se, como fator principal, a secagem rápida. Em seu estudo, Carmona (2012) evidencia que a cura inadequada é a causa mais provável de tal manifestação. Os pontos azuis da figura 5 posicionam algumas ocorrências desta manifestação.

Figura 9: mapeamento da estrutura, por secagem rápida



Fonte: acervo do autor (2015).

Após análise dos projetos existentes dos tanques de aeração da ETE Rubem Berta, verificou-se a inexistência de passarelas em concreto armado em determinados pontos, diferentemente da situação encontrada no local. Diante disso, encontraram-se nessas áreas fissuras inclinadas, denunciando ações excepcionais provocadas por cargas e projeto inadequados; a figura 10 evidencia a situação encontrada nessas áreas da Estação.

Figura 10: fissuras inclinadas, evidenciando sobrecarga



Fonte: acervo do autor (2015).

Uma das situações que mais dificuldades trouxeram durante a avaliação da estrutura foi a mostrada na figura 11; estas manifestações foram equidistantemente constatadas nos semi-círculos dos tanques, ao longo de todo o comprimento. Podem ser motivadas por

retração térmica ou decorrentes de cargas diretas, mais especificamente de esforços de tração tangenciais, as quais, muitas vezes, não são corretamente avaliados pelos projetistas estruturais. Por Cánovas (1988), ocorrem no estado endurecido, devido a ações mecânicas.

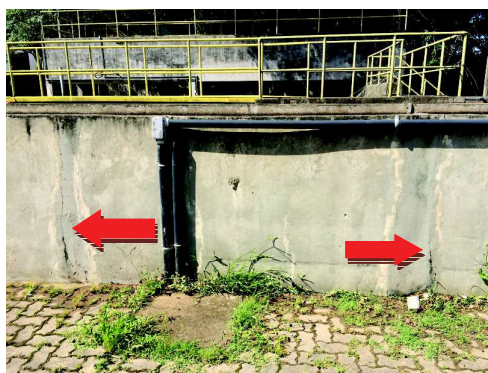
Figura 11: fissura ao longo do semi-círculo do tanque 1-B



Fonte: acervo do autor (2015).

Foram evidenciadas, *in loco*, tentativas de correção das fissuras por retração térmica através do uso de mantas ou, simplesmente, pelo fechamento com argamassa de cimento, sendo, conforme a foto 12, malsucedidas. Nesta figura, fica evidente que a fissura voltou a aparecer no mesmo local do reparo (lado esquerdo) ou se manifestou na borda da correção (lado direito)

Figura 12: tentativa de correção das fissura de retração térmica no tanque 2-B



Fonte: acervo do autor (2015).

Também, durante a inspeção, foi constatada a existência de diversas tubulações que atravessam as paredes dos tanques; na foto 13, se nota que o reparo já está com adiantado processo de carreamento do Hidróxido de Cálcio.

Figura 13: formação de eflorescência em antiga travessia de tubulação



Fonte: acervo do autor (2015).

A figura 14 evidencia a falta de manutenção dos elementos estruturais da ETE Rubem Berta, já que a manifestação está com uma abertura de, pelo menos, 1,5 cm e há um processo avançado de umidade migrando do tanque para o exterior da estrutura. Os motivos principais para o desencadeamento dessa processo fissuratório é a movimentação do terreno nas proximidades do reservatório ou falha pontual de concretagem do elemento

Figura 14: avançado processo fissuratório por falta de manutenção



Fonte: acervo do autor (2015).

4.2 Avaliação da profundidade de carbonatação

A degradação química por carbonatação foi evidenciada na estrutura, já que esta manifestação patológica é influenciada, entre outros aspectos, em ambientes com alta umidade, em concretos porosos e com alta relação a/c. Para este trabalho, conforme a figura 3, foram ensaiados seis pontos com a solução de fenolftaleína e, como resultado, a Tabela 1 compila os resultados obtidos durante a vistoria.

Tabela 1: profundidade de carbonatação conforme amostragem dos pontos da Figura 3

Ponto	Localização	Profundidade (mm)
1	Tanque de aeração 1 A - parte externa	18
2	Tanque de aeração 1 B - parte externa	15
3	Tanque de aeração 2 A - parte externa	11
4	Tanque de aeração 2 B - parte externa	13
5	Tanque de aeração 1 B - parte externa	15
6	Tanque de aeração 1 B - parte externa	13

Fato relevante é que a medição de carbonatação na face externa do ponto 1, encontra-se frontalmente disposta ao tanque em atividade, podendo sofrer influência dos agentes agressivos da atmosfera da ETE; o ponto 2 está situado opostamente a ação dos agentes e verifica-se menor poder de penetração do CO₂ nas paredes do tanque. Os pontos 3 e 4 foram analisados no tanque em atividade e a frente de carbonatação encontra-se satisfatoriamente contida pela qualidade do concreto empregado na estrutura e demais procedimentos adotados para manter a estrutura em pleno funcionamento. Na análise 5, após abertura de vala para teste de carbonatação, foi verificada a presença de armadura e realizado o teste com fenolftaleína e, de acordo com os dados supracitados, foi verificada a profundidade de 15 mm, praticamente atingindo o aço. O ponto 6, bem próximo à análise 5, está dentro do padrão esperado para a estrutura vistoriada.

Conforme observado na tabela 1, os valores referentes ao processo de carbonatação não apresentaram diferenças muito significativas, seguindo um padrão de profundidade; com isso, se observou que não são afetados pela posição solar, nem pela presença de esgoto sanitário.

4.3 Durabilidade e vida útil

Pelas análises abaixo, verificar-se-á que a atual situação dos elementos estruturais está satisfatória quanto a durabilidade e vida útil. Investigações nos arquivos do Departamento evidenciaram que foi recomendada a utilização de concreto com $f_{ck} \geq 25$ Mpa, porém não foram encontrados dados sobre traço e utilização de aditivos; para o cobrimento, foi especificado 4,0 cm de espessura, contudo, com a utilização do pacômetro, foram constadas como medida mínima 16 cm e máxima de 47 cm, sendo verificadas as seguintes espessuras médias:

Tabela 2: média do cobrimento das armaduras dos pontos definidos na Figura 3

Ponto	Localização	Média de cobrimento das barras (mm)	Média de cobrimento dos estribos (mm)	Média de cobrimento (mm)
1	Tanque de aeração 1 A - parte externa	30,6	36,0	33,3
2	Tanque de aeração 1 B - parte externa	24,2	23,6	23,9
3	Tanque de aeração 2 A - parte externa	20,0	23,0	21,5
4	Tanque de aeração 2 B - parte externa	28,6	39,6	34,1
5	Tanque de aeração 1 B - parte externa	19,0	22,0	20,5
6	Tanque de aeração 1 B - parte externa	33,2	34,3	33,8

Pela tabela 2, verifica-se que a média mais baixa está no ponto 5 e a mais alta, no ponto 6, sendo evidenciada alta variabilidade na execução do elemento estrutural e, por conseguinte, aumentando a possibilidade de ingresso de agentes agressivos.

O uso do pacômetro foi necessário tendo em vista a não localizada das armaduras durante as inspeções iniciais e, tampouco, na verificação da profundidade de carbonatação (aberturas de valas). Conforme evidencia a figura 6, a primeira armadura longitudinal dos tanques foi detectada a, pelo menos, 20 cm da borda superior

Figura 6: utilização de pacômetro para detecção das armaduras



Fonte: arquivo próprio (2015).

Com o intuito de posicionar o trabalho junto às normas técnicas, fez-se uma correlação entre o preconizado pela NBR 6118:1980 (vigente à época do projeto) e a especificação do projeto, adequando-as quanto a classe de agressividade ambiental e comparando-as quanto a cobrimento de armadura e, posteriormente, calculando-se o tempo de vida útil da estrutura; a tabela 3 abaixo informa os resultados:

Tabela 3: estimativa da vida útil dos pontos analisados

Ponto	Localização	Valores médios na ETE Tabela 2	Definição do projeto da ETE Rubem Berta	Vida útil em anos, por Tuutti (1982) - valores médios	Vida útil em anos, por Tuutti (1982) - projeto da ETE
1	Tanque de aeração 1 A - parte externa	33,3 mm	40 mm	86	123
2	Tanque de aeração 1 B - parte externa	23,9 mm	40 mm	63	178
3	Tanque de aeração 2 A - parte externa	21,5 mm	40 mm	96	331
4	Tanque de aeração 2 B - parte externa	34,1 mm	40 mm	172	237
5	Tanque de aeração 1 B - parte externa	20,5 mm	40 mm	47	178
6	Tanque de aeração 1 B - parte externa	33,8 mm	40 mm	169	237

Com os resultados apresentados na tabela acima, é importante salientar que os pontos 3 e 4, pertencentes ao tanque 2, se verifica que os procedimentos de manutenção, observados em vista da carbonatação, surtiram o efeito desejado, já que a vida útil estimada por Tuutti alcança valores consideráveis quanto a este quesito. O restante dos pontos está com previsão muito discrepante, mas atenção especial deve ser dada ao ponto 5, já que a não adoção de procedimentos de manutenção ocasiona efeito nocivos as estruturas de concreto, comprometendo a vida útil do elementos e sua durabilidade.

Como era de se esperar, os pontos que apresentaram menor cobertura de armadura estão relacionados a uma menor vida útil, conforme tabela 3, demonstrando o quão importante é a obediência a este procedimento executivo; também, se faz necessário analisar os resultados do ponto 3, já que foram medidos espaçamentos da ordem de 21,5 cm, um dos menores entre os estudados. Diante disso, foi verificada na tabela 1 que a frente de carbonatação teve avanço, no ponto em questão, 40% menor do que se comparado ao de maior penetração (18 mm), tendo como causas prováveis a melhor qualidade do concreto e a manutenção recebida a 10 anos.

5. CONCLUSÃO

Após vistoria na ETE Rubem Berta, verificou-se o quão agressiva pode ser a influência de processos degenerativos na durabilidade e vida útil nas estruturas de concreto armado, não importando o seu porte. Puderam ser observadas inúmeras manifestações patológicas, de acordo com o prescrito nas revisões bibliográficas e demais estudos sobre o tema. Tais elementos devem ser tratados e, principalmente, projetados para garantir a segurança das pessoas, maximizar a durabilidade dos materiais e a vida útil da estrutura, a fim de que obedeçam ao projeto.

Diante disso, chama a atenção as análises apresentadas no capítulo 4 – Resultados, já que o projeto da Estação definia como procedimento a obediência a um cobertura de 4 cm, e não raras vezes, foram observados valores da ordem de 16 mm. Conforme informado, a ETE foi inaugurada em 1990 e, após esses 25 anos, já há pontos extremamente comprometidos, como é o caso do ponto 5, com residual de vida útil de 22 anos; ou seja, a partir desse momento, cessará a vida útil da estrutura e ela deverá sofrer intervenção para recuperar seu desempenho.

Também, importante salientar que após inúmeras fatalidades que vitimaram cidadãos de várias partes do país, verifica-se a importância de projetar conforme as diversas normas,

leis, decretos e orientações, prevendo a execução de estruturas conforme as limitações de abertura de fissuras e adotando estratégias de proteção e correção, a fim de minimizar a penetração de agentes deteriorantes. Consta-se que a adoção de tal procedimento gera enormes benefícios e atende as diretrizes básicas que direcionam as normas técnicas em todas as suas esferas – segurança estrutural, durabilidade, manutenibilidade e resistência a agentes agressivos – mantendo-as em condições de uso e preservando vidas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. Tradução de: CARMONA, A; HELENE, P. R. L. 1. ed. São Paulo: PINI, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**. v. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**. v. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção – patologia, reabilitação e prevenção**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 21/03/20145

CÁNOVAS, M.F. **Patologia e terapia do concreto armado**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1988.

PAULETTI, C. **Análise comparativa de procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação**. 2008. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1992.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. 2008. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização (Especialista em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008.

LIMA, M. G. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2005. 1 v.

MEDEIROS, M.H.F.; AYALA, A.; ARNELLA, J.; HELENE, P.; MARTINESI, R.; MONTEIRO, E.C.B.; YUGOVICH, P. Capítulo XIV: Prevención de problemas patológicos em construcciones elementales existentes y nuevas. **In**: Red Prevenir. (Org.). Prevención de problemas patológicos en estructuras de concreto. 1ed. Mérida: Colaboración Interamericana em Materiales (CIAM), 2012, v. único, p. 72-112.

MEDEIROS, M. H. F.; VALDUGA, L.; RHEINHEIMER, B.; HHOE, S.; FILHO, J. H. Estudo sobre a degradação de uma estação de tratamento de esgoto em Curitiba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. 1., 2014, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2014, p. 1-14.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Editora PINI, 1997.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete**. Sweden: CBI, 1982. 468 p