

XII-027 – AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS COMO SUBSÍDIO PARA MANUTENÇÕES

Nayara Gracyelle Dias ⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Civil da UFG. Mestranda em Materiais de Construção (GECON/UFG). Engenheira Civil na empresa de Saneamento do Estado de Goiás - SANEAGO.

Helena Carasek Cascudo ⁽²⁾

Engenheira Civil pela UNISINOS, Mestre em Engenharia Civil pela UFRGS, Doutora em Construção Civil pela USP e Pós-doutorado no INSA-Toulouse – França. Professora da EECA e do PPG-GECON da UFG.

Oswaldo Cascudo ⁽³⁾

Engenheiro Civil pela UFPB, Mestre e Doutor em Construção Civil pela Escola Politécnica da USP e Pós-doutorado no INSA-Toulouse – França. Professor da EECA e do PPG-GECON da UFG.

Endereço ⁽¹⁾: Avenida Fued José Sebba, nº 1245, Jardim Goiás, Goiânia - Goiás - CEP: 74805-100 - Brasil - Tel: +55 (62) 99849-3862 - e-mail: nayaradias@saneago.com.br.

RESUMO

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) promovem ambientes altamente agressivos aos componentes e sistemas de construção. Essa agressividade ambiental advém dos gases ácidos liberados pela ação bacteriana durante o tratamento dos efluentes. A degradação das estruturas de concreto em ETEs algumas vezes é negligenciada pelas empresas de saneamento, tanto por não garantir a execução de estruturas duráveis com rigorosos controles de qualidade quanto por especificações incorretas em projeto, além, ainda, de as empresas não manterem um cronograma de manutenções preventivas e corretivas. Nesse contexto, metodologias que sejam capazes de quantificar o grau de degradação das estruturas em ETEs ainda são tímidas, embora existam muitos métodos de avaliação de estruturas de concreto para edificações usuais. A metodologia desenvolvida pela Universidade de Brasília para cálculo do Grau de Deterioração de Estruturas de Concreto (Metodologia GDE/UnB) de edificações pode ser adaptada para determinar o estado de degradação de estações de tratamento de esgotos. Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar o grau de deterioração de uma estação de tratamento de esgotos fornecendo subsídios técnicos para intervenções e manutenções por meio de adaptações na metodologia GDE/UnB. A metodologia utilizada será a aplicação do método GDE/UnB adaptado às ETEs, considerando-se todos os fatores propostos no método de acordo com as particularidades que estações de tratamento de esgotos apresentam. Trata-se de uma proposta preliminar de adaptações na metodologia visando, com base nos resultados obtidos, novos ajustes de forma a se chegar na metodologia final. Para auxiliar na avaliação, foi realizado o ensaio de avaliação da profundidade carbonatada do concreto nas unidades estudadas. Como resultados pode-se considerar que a ETE avaliada apresenta um alto nível de deterioração. As unidades com maior urgência de manutenção são o poço de sucção, o canal de chegada, a grade fina e o tanque de armazenagem de lodo, embora a grade grossa esteja na iminência de adentrar ao nível crítico de degradação. Com base na análise realizada, considera-se que a metodologia aplicada atende à expectativa, entretanto os fatores adotados ainda necessitam de discussões mais profundas, principalmente no que tange ao cálculo do grau de deterioração geral da ETE.

PALAVRAS-CHAVE: Estação de Tratamento de Esgoto, Concreto. Manutenção, Manifestação Patológica, Corrosão das Armaduras.

INTRODUÇÃO

As unidades envolvidas na coleta, transporte, tratamento e disposição dos esgotos domésticos estão sujeitas a ambientes de alta agressividade e, conseqüentemente, a uma séria deterioração dos sistemas que as constituem, em especial às estruturas de concreto.

O concreto é um dos materiais mais utilizados para construção de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) (SARRAY, 2013) e elas apresentam uma série de agentes deletérios ao concreto podendo-se citar:

- a ação erosiva da areia em desarenadores (BAYNE, 2009);

- o ataque por cloretos em unidades que utilizam o cloro para desinfecção ou coagulantes à base de cloretos na coagulação/floculação;
- microrganismos que produzem ácidos capazes de reduzir o pH do concreto e atacar a pasta de cimento, expondo a armadura à corrosão (SHIRAKAWA, 1994; DAVIS et al., 1998; GU et al., 1998; NICA et al., 2000; GIANNANTONIO et al., 2009; LEEMANN et al., 2010; MARQUEZ-PEÑARANDA et al., 2016).

Sarray (2013) e Moradian *et al.* (2012) estudaram a deterioração das estruturas de concreto em estações de tratamento de esgotos. Em seus estudos Sarray (2013) descreve que um dos mais importantes fatores para a deterioração do concreto são a sua composição, permeabilidade, pH e ainda os ácidos produzidos por microrganismos. Quando não especificadas de forma adequada e expostas a esses ácidos, as estruturas de concreto sofrem rápida deterioração, uma vez que há um ataque ao material desencadeando aumento da porosidade e, conseqüentemente, redução da resistência e durabilidade (SARRAY, 2013). Moradian *et al.* (2012) propõem que se deve avaliar uma ETE de forma geral levando-se em consideração a interação entre os mecanismos de degradação que atuam sobre o concreto e não somente a ação deletéria de microrganismos.

A implantação e manutenção das ETEs demandam um alto investimento (McNALLY *et al.*, 2010) e são projetadas com estimativas de vida útil (alcance de final de plano), em média, de 30 anos, tanto nacionalmente, como internacionalmente (SARRAY, 2013) embora muitas vezes, mesmo após o alcance do final de plano, elas possam continuar em operação.

Porém, mesmo prevendo o funcionamento das estações por períodos longos, nem sempre há cuidados criteriosos com a construção dessas unidades, levando as estações a apresentarem sérias deteriorações em poucos anos de operação (McNALLY, 2010). Moradian *et al.* (2012) analisaram os ataques sofridos em uma estação com menos de 10 anos de operação e detectaram carbonatação e corrosão das armaduras em estado avançado. Sarray (2013) verificou o aparecimento de manifestações patológicas de corrosão das armaduras e deterioração do concreto em estações de tratamento com apenas 1,5 anos e 15 anos de operação. Dias *et al.* (2016) avaliaram estações com idades de 2, 4, 8, 12, 28 e 32 anos de operação e observaram que mesmo as ETEs mais jovens, já apresentaram sérias manifestações patológicas com relação à erosão, corrosão das armaduras e corrosão do concreto por biodeterioração.

Considerando-se esta rápida deterioração que as estações sofrem, torna-se indispensável a utilização de técnicas de avaliação das condições e do grau de deterioração das unidades com vistas ao planejamento de manutenções corretivas e preventivas, assim como elencar a ordem de priorização que elas deverão ser implementadas (CASTRO, 1994; SARRAY, 2013).

Pesquisadores da Universidade de Brasília (UnB) desenvolveram um método quantitativo de avaliação do grau de deterioração de estruturas de concreto denominado metodologia GDE/UnB para edificações usuais (CASTRO, 1994). A importância de se adotar um método científico para avaliar estruturas de concreto reside no fato de que há uma redução na subjetividade que é inerente a cada avaliador. Há de se ressaltar ainda que esta metodologia pode ser complementada com a realização de ensaios de campo e de laboratório fornecendo subsídios técnicos e imparciais para os resultados da avaliação (CASTRO, 1994).

De acordo com Fonseca (2007), a avaliação tem como objetivo “definir as ações necessárias à garantia da durabilidade da edificação, nos aspectos de segurança, funcionalidade e estética, auxiliando a tomada de decisões de engenheiros e técnicos da área de manutenção e recuperação de estruturas”.

OBJETIVO

Devido à necessidade de diagnósticos do estado de conservação das ETEs, este trabalho tem como objetivo avaliar o grau de deterioração de uma estação de tratamento de esgotos fornecendo subsídios técnicos para intervenções e manutenções por meio de adaptações na metodologia GDE/UnB.

METODOLOGIA

Método GDE/UnB adaptado para ETEs

Pretende-se alcançar o objetivo proposto neste trabalho adequando-se a metodologia GDE/UnB especificamente para estruturas de ETEs. O método GDE/UnB foi proposto por Castro (1994) e, posteriormente, adaptado por Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007). No presente trabalho adotou-se, portanto, como parâmetro inicial as últimas adaptações feitas à metodologia por Fonseca, em 2007. A Figura 1 ilustra o fluxograma para avaliação do grau de deterioração de estruturas de concreto da metodologia GDE/UnB proposta por Boldo (2002).

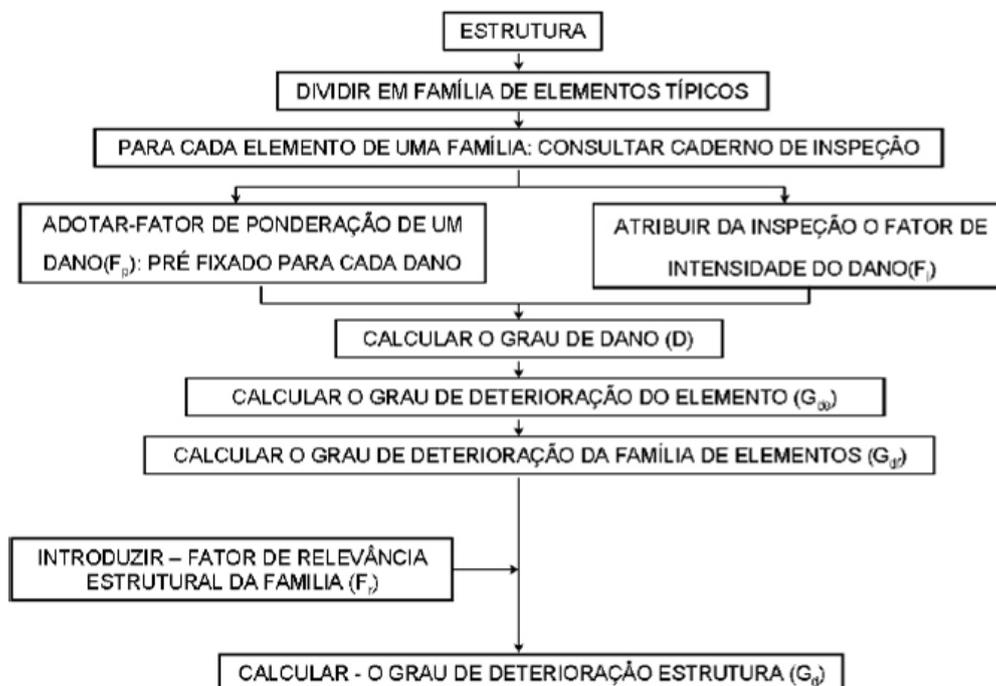


Figura 1: Fluxograma para avaliação do grau de deterioração de estruturas de concreto da metodologia GDE/UnB (BOLDO, 2002)

Essa metodologia consiste em dividir a estrutura em famílias de elementos como, por exemplo, vigas, pilares e lajes (Tabela 2) e a partir dos elementos definidos, calcular o Grau de Danos (D - equação 1 ou 2) de cada elemento por meio de fatores de ponderação e fatores de intensidade.

Os danos são as manifestações patológicas frequentes em estruturas de concreto armado. Alguns danos recorrentes em ETEs não estão considerados no roteiro de inspeção de Fonseca (2007) como, por exemplo, erosão e corrosão do concreto por biodeterioração. Assim, estas manifestações deverão compor as tabelas de avaliação para que façam parte da avaliação a ser implementada.

Os fatores de ponderação (F_p) são pré-determinados considerando as consequências que determinada manifestação patológica (dano) pode trazer para a família de elementos, sendo estabelecidos os problemas mais relevantes quanto aos aspectos de durabilidade e segurança estrutural. Um determinado dano pode ter diferentes fatores de ponderação de acordo com as características da família de elementos e conforme as consequências que essa manifestação pode acarretar (FONSECA, 2007).

Fatores de Ponderação variam entre 1 e 5 (FONSECA, 2007), conforme Tabela 1 que apresenta os fatores de ponderação adotados por Fonseca (2007) e os propostos para avaliação de ETEs. Como Fatores de Ponderação, propõe-se seguir os fatores pré-definidos por Fonseca e alterar/definir somente as adequações que se fizerem estritamente necessárias. A Tabela 1 mostra em negrito quais são os fatores alterados para adequação do método à realidade de ETEs.

Os fatores de intensidade (F_i) determinam o nível de seriedade que a manifestação patológica já atingiu no elemento analisado e variam de 0 a 4, de acordo com a inspeção realizada em cada elemento. Esse fator classifica a gravidade da manifestação e segue a seguinte diretriz:

- $F_i = 0$, o elemento não apresenta lesões;
- $F_i = 1$, o elemento apresenta lesões leves;
- $F_i = 2$, o elemento apresenta lesões toleráveis;
- $F_i = 3$, o elemento apresenta lesões graves;
- $F_i = 4$, o elemento apresenta lesões em estado crítico;

Tabela 1: Fatores de Ponderação para avaliação dos elementos adotados por Fonseca (2007) e propostos para avaliação de ETes

Manifestação Patológica	Laje		Parede	
	FONSECA (2007)	Fator de Ponderação Proposto	FONSECA (2007)	Fator de Ponderação Proposto
Carbonatação	3	4	3	4
Cobrimento Deficiente	3	4	3	4
Contaminação por Cloretos	3	3	4	4
Corrosão das Armaduras	5	5	5	5
Desagregação	3	3	3	3
Deslocamento por Empuxo	-	-	5	3
Desvios de Geometria	-	-	3	3
Eflorescências	2	2	2	2
Falhas de Concretagem	2	3	2	3
Fissuras	2 a 5	5	2 a 5	5
Desplacamento	3	3	3	3
Manchas	3	5	3	3
Sinais de Esmagamento	-	-	5	5
Umidade	3	3	3	3
Flechas	5	5	-	-
Erosão *	-	-	-	4
Corrosão do Concreto por Biodeterioração*	-	5	-	5

OBS: *Essas manifestações estão sendo acrescentadas na metodologia GDE/UnB, visto que se tratam de manifestações típicas de sistemas de esgotamento sanitário, sendo estas as únicas alterações feitas com relação às manifestações patológicas que são características de ETes. Também foram realizadas alterações nos fatores de ponderação para adequação à realidade de ETes.

Na sequência, são aplicadas as equações 3 a 5 e calculados, respectivamente, o Grau de Dano (D), Grau de deterioração de um elemento (G_{de}), de uma família de elementos (G_{df}) e da estrutura (G_d). Para o cálculo da deterioração da família de elementos, Fonseca (2007) considera apenas o Grau de Deterioração do Elemento que for superior a 15.

$$D = 0,8F_i \cdot F_p, \quad \text{para } F_i < 2 \quad \text{equação (1)}$$

$$D = (12 \cdot F_i - 28) \cdot F_p, \quad \text{para } F_i \geq 3 \quad \text{equação (2)}$$

$$G_{de} = D_{\max} [1 + (\sum_{i=1}^m D_i - D_{\max}) / (\sum_{i=1}^m D_i)] \quad \text{equação (3)}$$

$$G_{df} = G_{demax} \{ \sqrt{[1 + (\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{demax}) / (\sum_{i=1}^m G_{de(i)})]} \} \quad \text{equação (4)}$$

$$G_d = (\sum_{i=1}^k F_{R(i)} - G_{df(i)}) / (\sum_{i=1}^k F_{R(i)}) \quad \text{equação (5)}$$

Em que: F_p é fator de ponderação (1-5);

F_i é fator de intensidade do dano (0-4);

D é Grau do Dano;

G_{de} é Grau de Deterioração do Elemento;
 G_{df} é Grau de Deterioração da Família;
 F_r é Fator de Relevância Estrutural;
 G_d é Grau de Deterioração da Estrutura.

Para que a metodologia seja aplicada em ETEs serão necessárias adequações nas Famílias de Elementos, Fatores de Ponderação, Fatores de Intensidade e Fatores de Relevância.

Com relação às adequações a serem feitas para aplicação da metodologia em ETEs, uma delas refere-se às famílias de elementos. A Tabela 2 mostra as famílias consideradas por Fonseca (2007). Para a análise das ETEs serão desconsiderados elementos arquitetônicos, reservatório superior, escadas/rampas, reservatório inferior, lajes secundárias e juntas de dilatação. Serão considerados unicamente Lajes, com fator de relevância 4 e Paredes, com fator de relevância 5, visto que não há uma distinção visível entre pilares e vigas de estruturas de unidades de tratamento em ETEs. A Tabela 3 apresenta as adequações realizadas para aplicação da metodologia em ETEs com relação aos fatores de relevância e as famílias considerados por Fonseca (2007) para visualização e comparação entre o original da metodologia e as adequações propostas.

A proposta de Fonseca (2007) tratava de cortinas como sendo os muros de arrimos em edificações, desta forma, dada a similaridade das solicitações que as paredes laterais dos canais e tanques sofrem, estas estruturas serão aqui denominadas como paredes, enterradas ou não.

Tabela 2: Classificação das Famílias de Elementos conforme Fator de Relevância

Família de Elementos	Fator de Relevância Estrutural
Elementos de Composição Arquitetônica	1
Reservatório Superior	2
Escadas/Rampas, reservatório Inferior, cortinas, lajes secundárias, juntas de dilatação	3
Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários	4
Vigas e Pilares principais	5

Fonte: FONSECA (2007)

Tabela 3: Fator de Relevância adotados por Fonseca (2007) e propostos para avaliação de ETEs conforme família de elementos

Família de Elementos	Fator de Relevância estrutural proposto por Fonseca (2007)	Fator de relevância estrutural proposto para ETEs
Lajes	4	4
Paredes	3	5

Cabe ressaltar que dadas as dificuldades de paralisações do Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) e ainda as consequências que estas paralisações podem trazer ao meio ambiente devido a extravasamentos, toda a avaliação será feita com o sistema em funcionamento. Portanto, não será possível visualizar as lajes de fundo dos canais e tanques, exceto se as mesmas já estiverem paralisadas. As lajes analisadas serão lajes superiores das unidades que possuírem, pois a maior parte do sistema trata-se de condutos livres e abertos.

As modificações nos Fatores de Intensidade se resumiram à alteração da forma de análise do fenômeno de carbonatação e ao incremento das manifestações patológicas Erosão e Corrosão do Concreto por Biodeterioração e seus níveis de danos dentro do escopo da avaliação metodológica. A Tabela 4 expõe a versão final que foi aplicada na avaliação da estação de tratamento de esgotos selecionada, nela encontram-se em negrito as alterações propostas.

Tabela 4: Fator de Intensidade do dano x Tipo de Manifestações adotados na presente pesquisa

Tipos de danos	Fator de Intensidade do dano - Tipos de Manifestação
Carbonatação	1-espessura carbonatada representa 33,3% do cobrimento; 2- espessura carbonatada representa entre 33,3% e 66,6% do cobrimento; 3- espessura carbonatada representa entre 66,6% e 99,9% do cobrimento; 4- espessura carbonatada representa mais que 100% do cobrimento;
Cobrimento deficiente	1- menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura; 2- menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões; 3-deficiente com armaduras expostas ou exposta em extensões significativas
Contaminação por cloretos	2-em elementos no interior sem umidade; 3-em elementos no exterior sem umidade; 4-em ambientes úmidos.
Corrosão de armaduras	2-manifestações leves, pequenas manchas; 3-grandes manchas e/ou fissuras de corrosão; 4-corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de seção.
Desagregação	2-início de manifestação; 3-manifestações leves, início de estofamento do concreto; 4-por perda acentuada de seção e esfarelamento do concreto.
Deslocamento por empuxo	3-deslocamento lateral da parede no sentido horizontal, estável; 4- deslocamento lateral da parede no sentido horizontal, instável.
Desvios de geometria	2-pilares e paredes com excentricidade $\leq h/100$ (h =altura); 3- pilares e paredes com excentricidade $h/100 \leq e < h/50$; 4-pilares e paredes com excentricidade $\geq h/50$.
Eflorescência	1-início de manifestações; 2-manchas de pequenas dimensões; 3-manchas acentuadas, em grandes extensões; 4-grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).
Falha de concretagem	1-superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça; 2-significante em relação às dimensões da peça; 3-profunda em relação às dimensões da peça; 4-perda relevante da seção da peça.
Fissuras	1-abertura menores do que as máximas previstas em norma; 2-estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma; 3-abertura excessivas; estabilizadas; 4-aberturas excessivas; não estabilizadas.
Flechas	1-não perceptíveis a olho nu; 2-perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos em norma; 3-superiores em até 40% às previstas na norma; 4-excessivas.
Impermeabilização deficiente	2-danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização; 3-descontinuada, degradada em alguns pontos (pontos de infiltração); 4-degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.
Manchas	2-manchas escuras de pouca extensão, porém significativas (<50% da área visível do elemento estrutural); 3-manchas escuras de grande extensão (>50%); 4-manchas escuras em todo elemento estrutural (100%).
Obstrução das juntas de dilatação	2-perdas de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes; 3-presença de material não compressível na junta; grande incidência de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes; 4-fissuras em lajes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.
Recalques	2-indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria;

Tipos de danos	Fator de Intensidade do dano - Tipos de Manifestação
	3-recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais; 4-recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.
Sinais de esmagamento do concreto	3-desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas; 4-fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento e/ou esmagamento do concreto devido ao cisalhamento e a compressão, com perda substancial de material; deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura.
Umidade	1-indícios de umidade; 2-pequenas manchas 3-grandes manchas; 4-generalizada.
Umidade na base	3-indícios de vazamento em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações; 4-vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto às fundações
Erosão*	1-superficial e pouco; 2-significante em relação às dimensões da peça; 3-profunda em relação às dimensões da peça; 4-perda relevante da seção da peça.
Corrosão do concreto por biodeterioração*	1-superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça; 2-significante em relação às dimensões da peça; 3-profunda em relação às dimensões da peça; 4-perda relevante da seção da peça.

Ao final da avaliação e de acordo com os cálculos realizados, os resultados obtidos, tanto em avaliações de elementos quanto da estrutura como um todo, são classificados de acordo com o nível de deterioração proposto na Tabela 5.

Tabela 5: Classificação dos níveis de deterioração do elemento e da estrutura

Nível de Deterioração	G_{de}/GDE	Ações a serem adotadas
Baixo	0-15	Estado Aceitável. Manutenção Preventiva
Médio	15-50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (Max. 2 anos)
Alto	50-80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (Max. 1 ano)
Sofrível	80-100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (Max. 6 meses)
Crítico	>100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata

Fonte: FONSECA (2007)

Para cada elemento estrutural foram utilizadas as fichas modelo apresentadas na Tabela 6, para lajes, e na Tabela 7, para paredes como ferramenta para avaliação investigativa das unidades.

Tabela 6: Ficha Modelo para Avaliação da Deterioração de Lajes de Concreto de ETes

Nome do Elemento	L1	D _{máx}	0		
Manifestação Patológica	Fator de Ponderação	Fator de Intensidade	Dano	Croqui	
Carbonatação	4		0		
Cobrimento Deficiente	4		0		
Contaminação por Cloretos	3		0		
Corrosão das Armaduras	5		0		
Desagregação	3		0		
Deslocamento por Empuxo	-		0		
Desvios de Geometria	-		0		
Eflorescências	2		0		
Falhas de Concretagem	3		0		Foto do Elemento Estrutural
Fissuras	5		0		
Desplacamento	3		0		
Manchas	5		0		
Sinais de Esmagamento	-		0		
Umidade	3		0		
Flechas	5		0		
Erosão	4		0		
Corrosão do Concreto por Biodeterioração	5		0		
Grau de deterioração de um elemento L1					

Tabela 7: Ficha Modelo para Avaliação da Deterioração de Paredes de Concreto de ETes

Nome do Elemento	P1	D _{máx}	0		
Manifestação Patológica	Fator de Ponderação	Fator de Intensidade	Dano	Croqui	
Carbonatação	4		0		
Cobrimento Deficiente	4		0		
Contaminação por Cloretos	4		0		
Corrosão das Armaduras	5		0		
Desagregação	3		0		
Deslocamento por Empuxo	3		0		
Desvios de Geometria	3		0		
Eflorescências	2		0		
Falhas de Concretagem	3		0		Foto do Elemento Estrutural
Fissuras	5		0		
Desplacamento	3		0		
Manchas	3		0		
Sinais de Esmagamento	5		0		
Umidade	3		0		
Flechas	-		0		
Erosão	4		0		
Corrosão do Concreto por Biodeterioração	5		0		
Grau de deterioração do elemento P1					

Após o preenchimento das planilhas foram aplicadas as equações 1 a 5 visando os cálculos de deterioração dos elementos estruturais.

Além das adaptações mencionadas quanto à divisão das famílias de elementos e fatores de ponderação, pretende-se ainda avaliar as estruturas da ETE não somente por famílias de elementos, mas por unidade de tratamento. A ETE estudada, localizada na cidade de Goiânia (GO), possui a linha de tratamento proposta na Figura 2 tendo como tipo de tratamento o tratamento primário quimicamente assistido e cada unidade apresentada será avaliada separadamente.

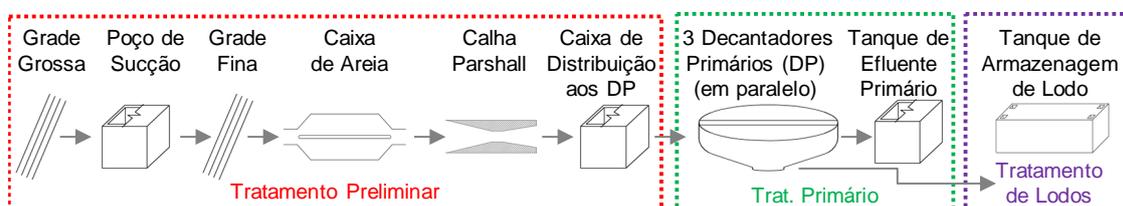


Figura 2: Fluxo de Tratamento da ETE estudada

Ensaio para avaliação da profundidade carbonatada

Carbonatação é um fenômeno químico relativo à penetração de dióxido de carbono (CO_2) no concreto. O concreto é um material poroso e possui em seu interior diversos constituintes químicos, dentre eles o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). O hidróxido de cálcio é um dos principais responsáveis por manter o interior do concreto altamente alcalino proporcionando uma proteção à armadura contra a corrosão. Quando o concreto endurecido fica exposto ao ar, o CO_2 penetra para o interior do concreto por meio de seu sistema de poros e reage com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ formando carbonato de cálcio (CaCO_3), esse fenômeno faz com a alcalinidade do concreto seja reduzida, proporcionando um ambiente favorável a ocorrência de corrosão das armaduras. A carbonatação não causa corrosão, porém contribui para que ela ocorra, principalmente em presença de umidade.

É importante salientar que o fenômeno de carbonatação não é uma manifestação patológica em si, pois mesmo apresentando como desvantagem um ambiente favorável à corrosão das armaduras, ele apresenta como vantagem a colmatação dos poros que, a medida que vão se fechando, proporcionam maior dificuldade à penetração de CO_2 , reduz a porosidade da peça e, conseqüentemente, proporciona uma pequena melhoria na resistência à compressão.

O ensaio de carbonatação é bastante simples e fornece uma informação muito importante com relação à corrosão das armaduras. Ele mostra a espessura do concreto em que o CO_2 já conseguiu avançar no interior do concreto. Para a realização do ensaio é utilizada uma solução de fenolftaleína (indicador de pH). A parede de concreto é fraturada por meio de martelo, posteriormente é feita a limpeza do furo e a fenolftaleína é aspergida, as Figuras 3(a), 3(b) e 3(c) ilustram a realização do ensaio. A parte do concreto que já carbonatou e apresenta um pH inferior a 9,3 fica incolor e a parte não carbonatada adquire uma cor vermelho-carmim.

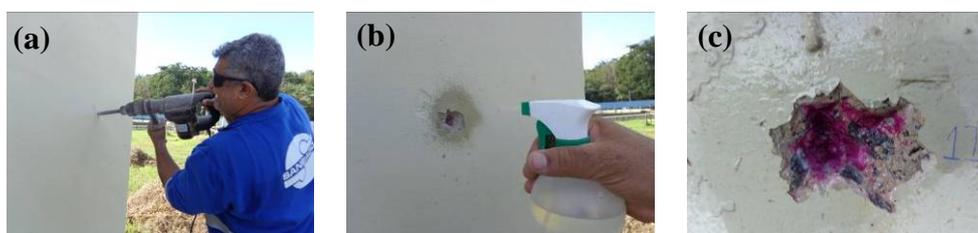


Figura 3: Realização do Ensaio de Carbonatação – (a) Fratura com Martetele, (b) aspersão de fenolftaleína (c) Superfície Fraturada (cor carmim – concreto não carbonatado).

Este ensaio foi realizado em todas as unidades de tratamento da ETE, porém não foi possível realizar em todos os elementos estruturais devido às dificuldades de acesso dentro de algumas unidades. A Tabela 8 apresenta a divisão dos elementos estruturais de cada unidade de tratamento e a quantidade de pontos avaliados no ensaio de carbonatação. A maior parte dos pontos investigados localizava-se nas superfícies externas das unidades, exceto na grade grossa em que foi possível ter acesso às paredes internas da unidade, embora tenha sido realizado o ensaio acima do nível de escoamento do esgoto.

Tabela 8: Especificação do concreto nos projetos estruturais das unidades de tratamento da ETE

Unidade de Tratamento	Elementos da Unidade	Quantidade de Pontos investigados	Externo ou Interno
Grade Grossa	Laje 1	Não Realizado	
	Parede 1	2	1 Externo 1 Interno
	Parede 2	1	Externo
	Parede 3	1	Interno
	Parede 4	Não Realizado	
Poço de Sucção	Laje 1	2	Externo
	Parede 1	1	Externo
	Parede 2	1	Externo
	Parede 3	Não Realizado	
	Parede 4	Não Realizado	
Canal de Chegada do Tratamento Preliminar	Laje 1	1	Externo
	Parede 1	1	Externo
	Parede 2	Não Realizado	
	Parede 3	1	Externo
Grade Fina	Parede 1	1	Externo
	Parede 2	1	Externo
Caixa de Areia	Parede 1	2	Externo
	Parede 2	1	Externo
Calha Parshall	Parede 1	2	Externo
	Parede 2	1	Externo
	Parede 3	1	Externo
Caixa de Distribuição aos Decantadores Primários	Parede 1	1	Externo
	Parede 2	1	Externo
	Parede 3	1	Externo
	Parede 4	1	Externo
Decantador Primário 1	Parede 1	3	Externo
Decantador Primário 2	Parede 2	3	Externo
Decantador Primário 3	Parede 3	3	Externo
Caixa de Efluente Primário	Parede 1	2	Externo
	Parede 2	1	Externo
	Parede 3	1	Externo
	Parede 4	1	Externo
Tanque de Armazenagem de Lodo	Laje 1	1	Externo
	Parede 1	Não Realizado	
	Parede 2	1	Externo
	Parede 3	1	Externo
	Parede 4	1	Externo
Total de Pontos Investigados		42	

As faces superiores das lajes possuem proteção mecânica com camadas de concreto e argamassa, além de impermeabilização com manta contra infiltrações. Essa proteção dificulta a penetração do CO₂, assim, estima-se que a carbonatação esteja bastante restrita à camada superficial. Portanto, não foram realizados muitos ensaios de carbonatação nas lajes para que a proteção não fosse danificada e por ter-se uma proteção física contra a penetração do CO₂ no concreto. Os locais das lajes que foram investigados já apresentavam danos na manta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram obtidos dados de projeto e de operação da estação estudada e eles auxiliaram nas análises da deterioração das estruturas. A Tabela 9 expõe os dados de projeto da estação de tratamento. A ETE entrou em operação em 2004, estando, portanto, com 13 anos de operação, e foi projetada para tratar uma vazão de 2.290 L/s, tratando atualmente, aproximadamente, 1.700 L/s. A ETE prevê em seu estudo de concepção o tratamento de 5.110 L/s em 2025 onde as unidades que operam atualmente serão mantidas em funcionamento e serão construídas novas unidades para atendimento do incremento de vazão.

Tabela 9: Especificação do concreto nos projetos estruturais das unidades de tratamento da ETE

Unidade de Tratamento	f_{ck} (MPa)	Cobrimento Nominal (cm)	Relação a/c Máxima	Consumo Cimento (kg/m ³)
Grade Grossa	35	3 ou 4*	0,5	350
Poço de Sucção	35	3 ou 4*	0,5	350
Canal de Chegada do Tratamento Preliminar	25	4	0,45	450
Grade Fina	25	4	0,45	450
Caixa de Areia	25	4	0,45	450
Calha Parshall	25	4	0,45	450
Caixa de Distribuição aos Decantadores Primários (DP)	25	4	0,45	450
Decantadores Primários (DP)	25	4	0,45	450
Caixa de Efluente Primário	25	4	0,45	450
Tanque Armazenagem de Lodo	25 ou 35	2,5 ou 4	0,45 - 0,5	350 ou 450

*Cobrimento Paredes, Laje da Elevatória e Anexo = 4 cm. Cobrimento Vigas, Lajes elevadas e Pilares = 3 cm
Fonte: Adaptado de DIAS *et al.* (2016)

Os parâmetros de projeto e execução exigidos pelas normas brasileiras NBR 6118 (ABNT, 2014) e 12655 (ABNT, 2015) estão apresentados na Tabela 10. O projeto é anterior a 2003 e, portanto, seguia as normativas da NBR 6118 do ano de 1980. Assim, observa-se que, comparando-se o exposto na Tabela 9 com o preconizado pelas normativas na Tabela 10, algumas especificações de norma vigente atualmente não foram previstas no projeto da ETE em estudo.

Tabela 10: Requisitos de projeto para estruturas de concreto sujeitas a ambientes quimicamente agressivos

Norma	Classificação Ambiental	Relação água/cimento	Resistência Característica à Compressão – f_{ck} (MPa)	Cobrimento Nominal Mínimo (mm)	Consumo de Cimento (kg/m ³)
NBR 6118 e NBR 12655	IV	$\leq 0,45$	≥ 40	45 (laje) ou 50 (viga/pilar)	≥ 360

Fonte: ABNT (2014) e ABNT (2015)

Na Tabela 11 estão apresentados os resultados obtidos no ensaio de carbonatação. Em locais onde foi investigado mais de um ponto, está apresentada a média dos dois resultados obtidos no elemento estrutural da unidade de tratamento.

Tabela 11: Resultados obtidos no ensaio para avaliação da profundidade carbonatada

Unidade de Tratamento	Elementos da Unidade	Quantidade de Pontos investigados	Externo ou Interno	Média por Elemento (cm)	Média por Unidade de Tratamento (cm)
Grade Grossa	Laje 1		Não Realizado		2,5
	Parede 1	2	1 Externo 1 Interno	2,7	
	Parede 2	1	Externo	1,7	
	Parede 3	1	Interno	3,1	
	Parede 4		Não Realizado		
Poço de Sucção	Laje 1	2	Externo	0,5	0,9
	Parede 1	1	Externo	1,8	
	Parede 2	1	Externo	0,8	
	Parede 3		Não Realizado		
	Parede 4		Não Realizado		
Canal de Chegada do Tratamento Preliminar	Laje 1	1	Externo	0,9	1,3
	Parede 1	1	Externo	1,7	
	Parede 2		Não Realizado		
	Parede 3	1	Externo	1,4	
Grade Fina	Parede 1	1	Externo	3,9	3,2
	Parede 2	1	Externo	2,4	
Caixa de Areia	Parede 1	2	Externo	1,4	1,9
	Parede 2	1	Externo	2,4	
Calha Parshall	Parede 1	2	Externo	1,7	1,8
	Parede 2	1	Externo	1,7	
	Parede 3	1	Externo	2,0	
Caixa de Distribuição aos Decantadores Primários	Parede 1	1	Externo	0,8	1,0
	Parede 2	1	Externo	0,8	
	Parede 3	1	Externo	1,2	
	Parede 4	1	Externo	1,0	
Decantador Primário 1	Parede 1	3	Externo	1,0	1,0
Decantador Primário 2	Parede 2	3	Externo	0,7	0,7
Decantador Primário 3	Parede 3	3	Externo	2,1	2,1
Caixa de Efluente Primário	Parede 1	2	Externo	0,3	0,5
	Parede 2	1	Externo	0,7	
	Parede 3	1	Externo	0,7	
	Parede 4	1	Externo	0,7	
Tanque de Armazenagem de Lodo	Laje 1	1	Externo	0,9	2,0
	Parede 1		Não Realizado		
	Parede 2	1	Externo	2,3	
	Parede 3	1	Externo	2,7	
	Parede 4	1	Externo	0,9	
Total de Pontos Investigados na ETE		42	Média da profundidade de carbonatação geral da ETE		1,5

Este ensaio forneceu subsídio para a aplicação do fator de intensidade referente à Manifestação Patológica “Carbonatação” que consta nas fichas de avaliação. Para avaliação deste resultado, foram levados em consideração somente os valores previstos de cobrimento em projeto e apresentados na Tabela 9, visto que nesta fase da pesquisa ainda não foram realizados ensaios investigativos sobre os cobrimentos executados durante a obra. Assim, foram adotados os Fatores de Intensidade ilustrados na Figura 4.

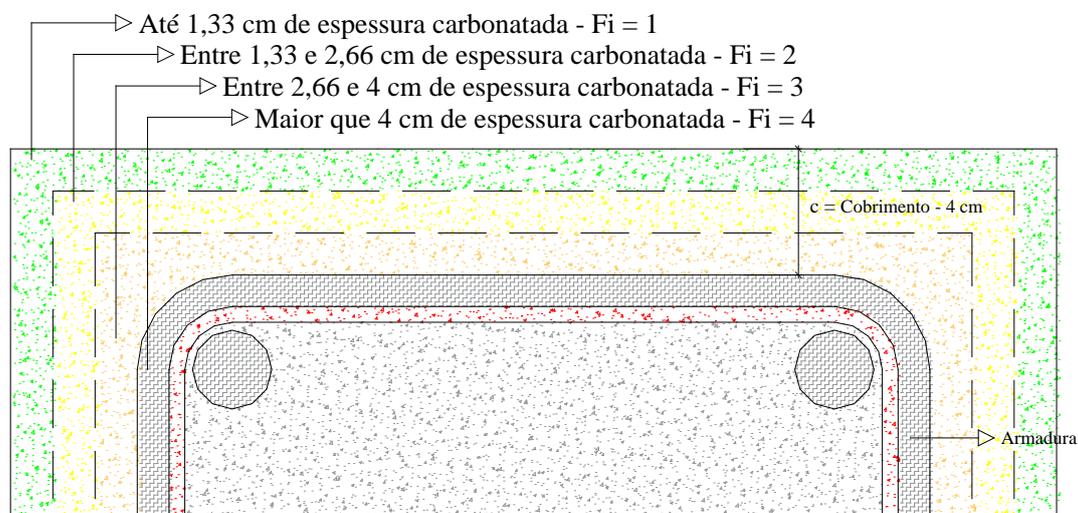


Figura 4: Avaliação do Fator de Intensidade (Fi) referente à manifestação patológica carbonatação.

A Tabela 12 mostra os resultados após os cálculos dos Danos, Grau de Deterioração do elemento (Gde), Grau de Deterioração da Família de Elementos (GDF) e Grau de Deterioração da Estrutura da Unidade de Tratamento. A legenda de cores da tabela segue as diretrizes da Tabela 5 para que se possa visualizar claramente os efeitos dos danos verificados na estrutura com a aplicação do método. Há de se ressaltar que alguns elementos não foram possíveis de ser vistoriados nem externamente e nem internamente, seja por falta de acesso ao interior da unidade de tratamento ou porque esta se encontra enterrada, e que, desta forma, as análises foram feitas somente com as informações disponíveis que foram possíveis de serem visualizadas ou obtidas no ensaio de carbonatação.

Tabela 12: Resultados obtidos no cálculo do grau de deterioração elemento (Gde), Grau de Deterioração da Família de Elementos (GDF) e Grau de Deterioração da Estrutura da Unidade de Tratamento (GDE)

Unidade de Tratamento	Elementos da Unidade	Gde	GDF	GDE
Grade Grossa	Laje 1	149	149	100
	Parede 1	24	38	
	Parede 2	9		
	Parede 3	32		
	Parede 4	6		
Poço de Sucção	Laje 1	141	141	141
	Parede 1*	6	0	
	Parede 2*	3		
	Parede 3*	Não Inspeccionado		
	Parede 4*	5		
Canal de Chegada do Tratamento Preliminar	Laje 1	3	0	131
	Parede 1	101	131	
	Parede 2	101		
	Parede 3	101		
Grade Fina	Parede 1	104	127	127
	Parede 2	101		
Caixa de Areia	Parede 1	44	54	54
	Parede 2	44		
Calha Parshall	Parede 1	48	60	60
	Parede 2	29		
	Parede 3	29		
Caixa de Distribuição aos Decantadores Primários	Parede 1	5	0	0
	Parede 2	5		
	Parede 3	5		
	Parede 4	3		
Decantador Primário 1	Parede 1	31	31	31
Decantador Primário 2	Parede 2	34	34	34
Decantador Primário 3	Parede 3	10	0	0
Caixa de Efluente Primário	Parede 1	3	0	0
	Parede 2	3		
	Parede 3	5		
	Parede 4	3		
Tanque de Armazenagem de Lodo	Laje 1	160,0	160,0	173
	Parede 1	Não Inspeccionado	191	
	Parede 2	148,0		
	Parede 3	148,0		
	Parede 4	147,0		

* Estas unidades foram inspeccionadas somente pela parede externa por meio da realização do ensaio de carbonatação. As unidades em que não foi possível realizar nem o ensaio de carbonatação constam como “Não Inspeccionado”. Todas os demais elementos foram inspeccionados por sua face interna ou externa.

Como é possível observar na Tabela 12 e ainda com o auxílio da Figura 6, as unidades que possuem laje como a Grade Grossa, Poço de Sucção e Tanque de Armazenamento de Lodo apresentaram grande deterioração nessa família de elementos. Esse fenômeno é parecido com o que ocorre nas redes coletoras de esgoto onde a crista superior dos tubos de concreto apresentam grande deterioração e que em alguns casos alcança o colapso estrutural (LUDWIG; ALMEIDA, 1979), porém a umidade nas redes coletoras é maior, o espaço mais confinado e a concentração de gases pode ser até 100 vezes mais alta que nas unidades de ETES (CHERNICHARO *et al.*, 2010) proporcionando uma deterioração numa velocidade mais acelerada.

Assim, é essencial que nas especificações de projeto sejam indicadas medidas de proteção e que essas especificações levem em consideração principalmente os locais onde há aberturas. Nas aberturas das lajes há a liberação do H_2S e esse gás entra em contato com o oxigênio viabilizando a formação do ácido sulfúrico, extremamente danoso ao concreto e as armaduras. No momento da execução das obras, os responsáveis pela concretagem devem prestar atenção especial ao posicionamento das armaduras negativas com relação às formas. Em fotografias obtidas na face inferior das lajes (Figura 5), no interior das unidades de tratamento foi possível visualizar corrosão em estágio avançado e que provavelmente teve sua proteção, proporcionada pelo cobrimento, prejudicada pela falta de espaçadores ou pela movimentação destes durante a concretagem ocasionando deficiência do cobrimento especificado no projeto. Além disso, nas faces internas das unidades de tratamento deve-se adotar ainda uma impermeabilização aos gases oriundos do processo de tratamento para maior garantia de durabilidade da estrutura (COSTA; BARBOSA; GIORDANO, 2014).

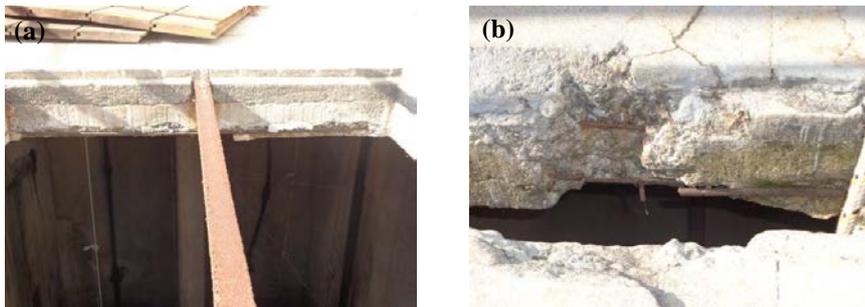


Figura 5: Corrosão em estágio avançado na abertura de lajes: (a) da Grade Grossa e (b) do Poço de Sucção da ETE

É importante salientar que a ETE está em operação há 13 anos e existe previsão de ampliação mantendo as unidades atuais em funcionamento. Portanto, a ETE deverá ter vida útil garantida de no mínimo mais 8 anos, conforme estudo de concepção. Assim, conforme os resultados apresentados é necessário que sejam tomadas iniciativas imediatas para reparação, recuperação e prevenção de novas manifestações patológicas na estrutura atual para que a vida útil e durabilidade da estrutura atenda a expectativa de final de plano do projeto hidráulico.

Com relação à Família de elementos Parede, é importante ressaltar que algumas unidades como a Caixa de Distribuição aos Decantadores, Decantador Primário 3 e Caixa de Efluente Primário apresentam-se em ótimas condições de funcionamento, conforme mostrado na Figura 6. E que os maiores danos diagnosticados nesta família de elementos são inerentes ao Canal de Chegada do Tratamento Preliminar, Grade Fina e Tanque de Armazenamento de Lodo.

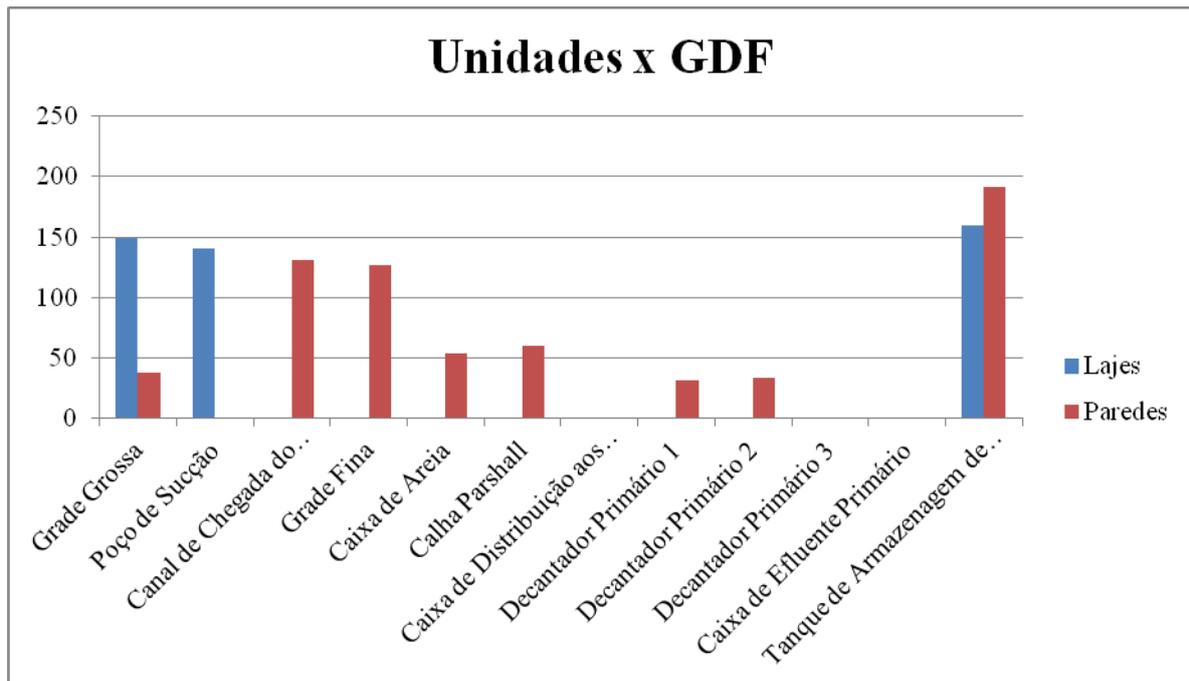


Figura 6: Grau de deterioração das famílias de elementos das unidades de tratamento da ETE

Com relação ao Canal de Chegada do Tratamento Preliminar e da Grade Fina, ressalta-se que a deterioração causada corresponde à dissolução da camada de argamassa que reveste as unidades e por profundas manchas verificadas na parede dessas unidades, além de carbonatação em estágio intermediário na face externa das unidades, como pode ser verificado na Figura 7. Com relação ao Tanque de Armazenamento de Lodo, paredes laterais das aberturas apresentam corrosão das armaduras em estágio avançado proporcionado pela alta atividade anaeróbica que ocorre nesta unidade de tratamento e pelo baixo cobrimento das armaduras (Figura 8).



Figura 7: Parede do Canal de Chegada do Tratamento Preliminar



Figura 8: Paredes laterais das aberturas do Tanque de Armazenamento de Lodo

De maneira geral, as estruturas do tratamento primário (Caixa de Distribuição aos decantadores, Decantadores e Caixa de Efluente Final) encontram-se bem conservadas, de acordo com as Tabelas 12 e 13 e com a Figura 9, mesmo que a especificação do concreto nestas unidades esteja abaixo do recomendado pelas normativas vigentes.

De todas as unidades de tratamento, o Tanque de Armazenamento e o Poço de Sucção merecem atenção especial quando comparadas às demais unidades de tratamento da estação e com relação à manifestação de corrosão das armaduras. Assim, em caso de intervenções imediatas é recomendável que elas sejam as primeiras a ser recuperadas e reparadas.

Tabela 13: Grau de Deterioração da Estrutura da Unidade de Tratamento (GDE) e Níveis de Deterioração

Unidades de Tratamento	GDE	Nível de Deterioração
Grade Grossa	100	Sofrível
Poço de Sucção	141	Crítico
Canal de Chegada	131	Crítico
Grade Fina	127	Crítico
Caixa de Areia	54	Alto
Calha Parshall	60	Alto
Caixa de Distribuição aos Decantadores Primários	0	Baixo
Decantador Primário 1	31	Médio
Decantador Primário 2	34	Médio
Decantador Primário 3	10	Baixo
Caixa de Efluente Primário	0	Baixo
Tanque de Armazenagem de Lodo	173	Crítico

A avaliação da ETE como um todo apresentou Grau de Deterioração das Estruturas no valor de 204, portanto, está em nível crítico de deterioração das estruturas. Este valor foi calculado agrupando-se todos os elementos estruturais parede e todos os elementos estruturais laje e aplicando seus respectivos fatores de relevância. É possível depreender deste resultado que houve uma superestimação do grau calculado e que a fórmula de cálculo para a estação necessita ser revista, apresentando-se assim como uma limitação da metodologia adotada.

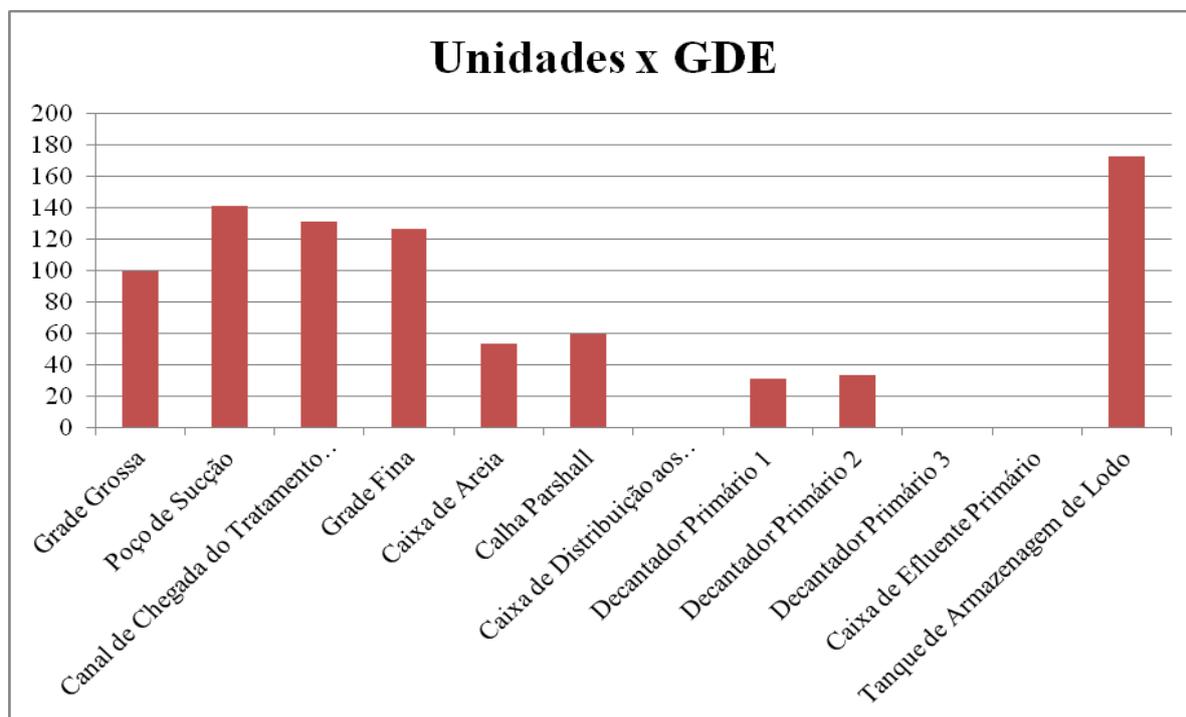


Figura 9: Grau de Deterioração das Estruturas das Unidades de Tratamento

Como dificuldades e limitações ao trabalho desenvolvido, verificou-se uma grande dificuldade de avaliação de alguns elementos estruturais por falta de acesso ao local, interna ou externamente. Salienta-se que a avaliação das estruturas nas faces internas (onde há a presença de esgoto ou gases provenientes do tratamento) pode apresentar deterioração maior que as faces externas das unidades e, portanto, sem presença de efluente. Buscou-se neste trabalho obter a maior quantidade possível de informações das faces internas da estrutura, porém dada a periculosidade de acesso para inspeção ou realização dos ensaios, a maior parte das análises foram feitas externamente às estruturas.

Alguns danos tratados na metodologia necessitam do emprego de ensaios específicos (Tabela 14) e que nesta investigação preliminar ainda não foram realizados. Porém, estão previstos mais ensaios complementares que forneçam subsídios técnicos para eliminação de subjetividades e até erros grosseiros que poderiam ocorrer.

Outros danos ou manifestações patológicas previstos no emprego da metodologia não possuem ensaios definidos ou normalizados para fornecerem dados técnicos e precisos para a avaliação, como é o caso de manchas, desagregação e outros que dependerão dos critérios adotados pelo avaliadores no momento da inspeção. Isso é uma limitação da metodologia e pode proporcionar erros, entretanto, não exclui o mérito de se aplicar uma metodologia científica na avaliação das estruturas de concreto.

Tabela 14: Danos previstos na metodologia GDE/UnB adaptada para ETEs e ensaios para auxílio na avaliação

Manifestação Patológica ou Dano	Ensaio
Carbonatação	Ensaio para avaliação da profundidade carbonatada com fenolftaleína
Cobrimento Deficiente	Pacômetro
Contaminação por Cloretos	Análise do teor de cloretos solúvel em ácido - ASTM C114
Corrosão das Armaduras	Potencial de Corrosão e Resistividade elétrica
Desagregação	Observação visual
Deslocamento por Empuxo	Observação visual e medições com nível a laser, fio de prumo e trena a laser
Desvios de Geometria	Observação visual e medições com nível a laser, fio de prumo e trena a laser
Eflorescências	Observação visual e coleta de amostras dos sais para análise química
Falhas de Concretagem	Observação visual
Fissuras	Fissurômetro e Ultrassom
Desplacamento	Observação visual e teste de percussão
Manchas	Observação visual
Sinais de Esmagamento	Observação visual
Umidade	Equipamento medidor de umidade superficial
Flechas	Observação visual e medições com nível a laser, fio de prumo e trena a laser
Erosão	Observação visual
Corrosão do Concreto por Biodeterioração	Ensaio Relacionados ao Sulfato – Caracterização de amostras por Microscopia Eletrônica de Varredura e Difração de Raios X

CONCLUSÕES

Na ETE analisada preliminarmente, as unidades de tratamento preliminar apresentaram maior Grau de Deterioração que as Unidades de tratamento Primário. O Tanque de Armazenamento de Lodo apresentou alto grau de deterioração devido a alta atividade anaeróbia que ocorre dentro desta unidade.

Embora o Grau de Deterioração Geral da ETE tenha se apresentado em Nível Crítico e considere-se que algumas unidades estão em nível de deterioração avançado, isso não pode ser generalizado visto que outras unidades apresentam deterioração mais amena. Portanto, observou-se que o método adotado superestima os maiores danos em

detrimento de danos menos intensos, podendo passar uma impressão que não corresponde completamente à realidade da estação.

Deve-se ressaltar que este artigo é parte de uma pesquisa de mestrado que está em andamento e que ainda pode alterar as condições e propostas feitas na metodologia para melhor adequação à realidade de estações de tratamento de esgotos. Dentro da pesquisa de mestrado ainda serão realizados uma série de ensaios, tais como: ultrassom, resistividade elétrica, potencial de corrosão, difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura (MEV), termografia infravermelha, análise do teor de cloretos, resistência à compressão, além de análises referentes à operação das unidades.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe da ETE Hélio de Seixo Brito por toda a disponibilidade e atenção dada para que esta pesquisa esteja sendo realizada. Em especial, ao Eng. Leandro por seu olhar atento às instalações da estação, ao Edson, ao Gean e ao Paulo pelo auxílio na realização do ensaio de carbonatação e à Kélia pelo acompanhamento durante as visitas técnicas. Agradecemos ainda à Eng. Luanna e à Biol. Theyssa pelo apoio à pesquisa. Os autores agradecem também ao CNPq pelas bolsas PQ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12655:2015: Preparo, controle e recebimento de concreto. ABNT: Rio de Janeiro, jan. 2015. 23p.
2. _____. NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto. ABNT: Rio de Janeiro, abr.2014. 238p.
3. BAYNE, H. The Basics of Deteriorating Concrete at Wastewater Plants: Tips on Causes, Repair, and Resources. JPLC, 2009.
4. BOLDO, P. Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro. Distrito Federal, 2002. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2007.
5. CASTRO, E. K. Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado. Distrito Federal, 1994. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil, 1994.
6. CHERNICHARO, C. A. L., STUETZ, R. M., SOUZA, C. L., MELO, G. C. B. Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.15, n.3, p. 229-236. 2010.
7. COSTA, E; BARBOSA FILHO, O; GIORDANO, G. Reatores anaeróbios de manta de lodo(UASB): uma abordagem concisa. Série Temática: Tecnologias Ambientais - Volume 5. Rio de Janeiro: COAMB / FEN / UERJ / 2014. 121 p.
8. DIAS, N. G., CARASEK, H., CASCUDO, O. Manifestações patológicas em estruturas de concreto de estações de tratamento de esgoto. II Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão. LNEC. Lisboa, Portugal. 2016.
9. DAVIS JL, NICA D, SHIELDS K, ROBERTS DJ. Analysis of concrete from corroded sewer pipe. Int Biodeter Biodegr 1998;42(1):75–84.
10. FONSECA, R. P. A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção. Distrito Federal, 2007. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2007.
11. GIANNANTONIO , D. J., KURTH, J. C., KURTIS, K. E., SOBECKY, P. A. Effects of concrete properties and nutrients on fungal colonization and fouling. International Biodeterioration & Biodegradation 63 (2009) 252–259.
12. GU, J., FORDB, T. E., BERKEC, N. S., MITCHELL, R., Biodeterioration of concrete by the fungus Fusariuml. 1998 Elsevier Science
13. LEEMANN, A., LOTHENBACH, B., SIEGRIST, H., HOFFMANN, C. Influence of water hardness on concrete surface deterioration caused by nitrifying biofilms in wastewater treatment plants. International Biodeterioration & Biodegradation . p. 489-498. 2010.

14. LOPES, B. A. R. Sistema de manutenção predial para grandes estoques de edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”. Distrito Federal, 1998. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil, 1998.
15. LUDWIG, R. G., ALMEIDA, S. A. S. Controle da Corrosão por Sulfetos no Projeto de Interceptores de Esgoto. Revista DAE. In: 10º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). Manaus, 1979. 12p. 70 - 81.
16. MARQUEZ-PEÑARANDA J. F., SANCHEZ, M. Effects of biodeterioration on the mechanical properties of concrete *Materials and Structures* p. 4085–4099. 2016.
17. McNALLY, C., O’CONNELL, M., RICHARDSON, M. G. Biochemical attack on concrete in wastewater applications: A state of the art review. *Cement & Concrete Composites* 32 (2010) 479–485.
18. MORADIAN, M., SHEKARCHI, M., PARGAR, F., VALIPOUR, M. Deterioration of Concrete Caused by Complex Attack in Sewage Treatment Plant Environment. *American Society of Civil Engineers. Journal Of Performance Of Constructed Facilities*. February, 2012, 26(1): 124-134
19. NICA, D., DAVIS, J.L., KIRBY, L., ZUO , G., ROBERTS, D.J. Isolation and characterization of microorganisms involved in the biodeterioration of concrete in sewers. *International Biodeterioration & Biodegradation* (2000).
20. SARRAY, A. A. The Deterioration of Concrete in Wastewater Treatment Plants. Dissertation Institute of Graduate Studies and Research, Eastern Mediterranean University. Gazimağusa, North Cyprus, 2013.
21. SHIRAKAWA, M. A. Estudo da Biodeterioração do Concreto por *Thiobacillus*. 1994. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo.