



PATOLOGIAS DO CONCRETO ARMADO DE BACIAS DE EFLUENTES: ESTUDO DE CASO EM SALVADOR/BA

**NUNES, Uelder da Silva (1); COELHO, Vinícius Almeida (2); BARBOSA,
Luanne Bastos de Britto (3); CERQUEIRA, Milena Borges dos Santos (4);
SILVA, Francisco Gabriel Santos (5)**

- (1) Universidade Federal da Bahia, welder.nunes@hotmail.com
- (2) Universidade Federal da Bahia, mrvoelho@gmail.com
- (3) Universidade Federal da Bahia, lubastosb@gmail.com
- (4) Universidade Federal da Bahia, milena.bsc@gmail.com
- (5) Universidade Federal da Bahia, fgabriel.ufba@gmail.com

RESUMO

Um dos grandes desafios da construção civil é reduzir gastos com reparos em estruturas de concreto. Este trabalho objetiva contribuir com a investigação e diagnóstico das patologias do concreto quando expostas ao ambiente industrial e marinho. Para tanto, um estudo de caso através da Metodologia GDE/UnB (Fonseca, 2007) auxiliou na quantificação das manifestações patológicas das estruturas de concreto. O ambiente industrial oferece risco à durabilidade do concreto devido aos agentes agressivos e agrava-se pelo ambiente marítimo, classe IV, meio propício à proliferação de variadas patologias. Realizou-se levantamento de dados, por meio de registros fotográficos. Os reservatórios de efluentes foram analisados quanto à presença de patologias e um prévio parecer quanto às possíveis causas do surgimento. Constatou-se que as principais causas de patologias estão ligadas ao grau de agressividade do ambiente, baixo cobrimento das armaduras e à falta de manutenção das estruturas.

Palavras-chave: Manifestações patológicas, Patologia, Concreto, Ambiente industrial.

ABSTRACT

The major challenges of construction is to reduce the high cost of repairs to concrete structures. This work aims to contribute to the investigation, diagnosis and repair of pathological manifestations of concrete exposed to the industrial and marine environment. Therefore, this article is a case study through the GDE / UnB Methodology (Fonseca version, 2007) that helps in the quantification of the types of pathological manifestations of reinforced concrete structures. The industrial environment poses a great risk to the durability of reinforced concrete due to the action of several aggressive agents. In addition, there is the aggravating factor, the environmental aggressiveness, class IV, of the maritime environment that is a favorable environment for the proliferation of the most varied. pathological manifestations. The data were collected to map the location to be studied, through photographic records. The effluent reservoirs were characterized for the presence of pathological manifestations and a previous opinion was given as to the causes of the emergence of the pathologies.

Keywords: Pathology, Concrete, Industrial environment.

1 INTRODUÇÃO

Entre os grandes desafios da construção civil atualmente está a durabilidade das estruturas de concreto armado, a qual deve garantir o desempenho e integridade estrutural determinada em projeto. Para que

isto seja possível, é necessário o cumprimento dos requisitos normativos na elaboração do projeto e execução da obra, e garantir o cumprimento da manutenção das estruturas. Segundo a "Lei de Sitter" os custos de uma obra crescem numa progressão geométrica de razão cinco, conforme as etapas da obra: projeto, execução, manutenção preventiva, manutenção corretiva (VITÓRIO, 2005).

A deterioração do concreto armado está relacionada à corrosão das armaduras do concreto, a qual ocorre devido à agentes degradantes presentes na atmosfera (íons cloro e sulfatos, por exemplo) que ao serem dissolvidos na água intersticial conseguem penetrar no concreto e atingir a armadura despassivando a camada protetora. O ambiente industrial apresenta uma atmosfera rica em poluentes químicos liberados durante os mais diversos processos industriais, a maioria desses poluentes são agentes degradantes do concreto. A NBR 6118 (ABNT, 2014), faz uma classificação dos ambientes segundo sua agressividade em quatro níveis. O ambiente em estudo, industrial próximo ao mar, está no nível mais alto de agressividade, classe IV.

Segundo Souza e Ripper (1998), designa-se genericamente por Patologia das Estruturas "um novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas".

Foi realizado levantamento das manifestações patológicas do concreto armado dos reservatórios de efluentes de uma indústria e a quantificação do grau de deterioração das estruturas de concreto armado das Bacias de Acúmulo de Efluentes Contaminados e Oleosos e Equipamentos da Estação de Tratamento de Esgotos Industriais, utilizando a Metodologia GDE/UnB modificada por Fonseca (2007), assim como a tipificação das manifestações patológicas recorrentes nas estruturas em estudo para uma avaliação abrangente que possibilite a criação de um programa completo de manutenção estrutural periódica.

1.1 Concreto Armado

O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida (ANDRADE e SILVA, 2005).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), os elementos de concreto armado são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

1.2 Causas e origens das patologias

Para Souza e Ripper (1998), a etapa de execução da estrutura é responsável por boa parte dos problemas patológicos. A ocorrência dos erros é, provavelmente, devido ao processo de produção decorrente da baixa qualidade e qualificação técnica dos trabalhadores envolvidos, e dos materiais utilizados, tais quais, cimento, agregados, água, aditivos e aço, bem como da falta de fiscalização eficiente leva facilmente a falhas graves, não detectadas de imediato, em determinadas atividades como: escoramentos, fôrmas, posicionamento e qualidade das armaduras, qualidade do concreto, entre outras.

O uso indevido das estruturas de concreto armado por parte do usuário e a falta de manutenção podem causar danos às estruturas, os quais afetam a durabilidade e funcionalidade das mesmas. A eficiência relaciona-se tanto com as atividades de uso, como, por exemplo, garantir que não sejam ultrapassados os carregamentos previstos em projeto, quanto com as atividades de manutenção, já que o desempenho da estrutura tende a diminuir ao longo da sua vida útil (ANDRADE; SILVA, 2005).

2 METODOLOGIA

2.1 Estudo de caso

A indústria começou a ser construída no fim dos anos 40, onde as primeiras estruturas de concreto foram projetadas e construídas por norte-americanos na década de 50. Os norte-americanos projetaram as estruturas de concreto, conforme a norma da ACI – American Concrete Institute – a qual previa um cobrimento mínimo de 2 cm, sem considerar a existência da névoa salina existente no ambiente. Esta névoa contém íon cloreto e este quando carregado pelos ventos, depositam-se sobre estruturas de concreto, dando início ao processo de corrosão nas armaduras.

Na Figura 1 é possível observar a localização da indústria de petróleo em estudo, localizada às margens da Baía de Todos os Santos - Salvador/BA.

Figura 1 – Localização da indústria



Fonte: GOOGLE MAPS (2018)

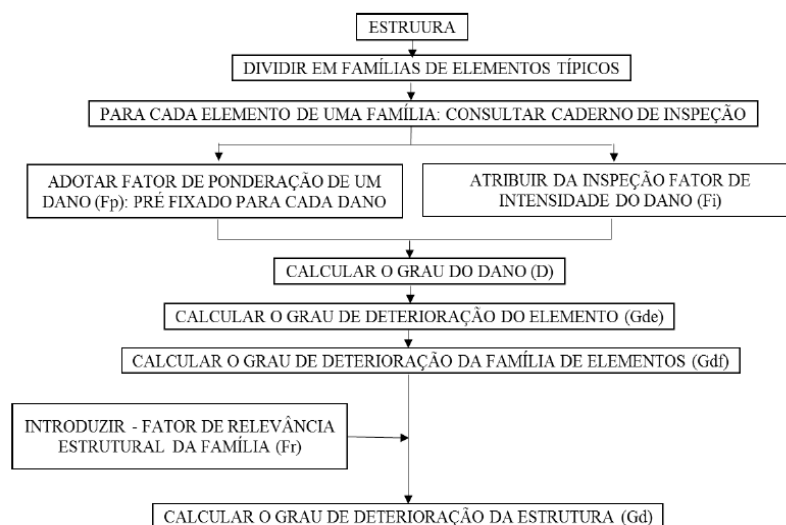
Os equipamentos de concreto analisados operam em condições adversas, haja vista a exposição de temperaturas que podem variar no range de 22°C no inverno até 65°C dependendo da temperatura dos fluidos contidos em seus interiores. Estas variações de temperaturas também geram tensões adicionais nas armaduras e no corpo do concreto propriamente dito, gerando o aparecimento de microfissuras um pouco maiores que as previstas na NBR-6118 no item 13.4, sendo necessário a verificação estrutural.

Os principais poluentes presentes nos efluentes destes equipamentos são: Sulfetos, amônia, fenóis, cianetos, sulfatos, cálcio, magnésio, potássio, e em menor quantidade metais como: níquel, chumbo, zinco, cádmio, cobre.

2.2 Metodologia GDE/UNB

Neste trabalho foi utilizada a metodologia GDE/UnB, modificada por Fonseca (2007), para quantificar o grau de deterioração das bacias de efluentes em estudo. A metodologia original foi desenvolvida na dissertação de mestrado de Castro (1994) com o objetivo de avaliar quantitativamente as estruturas de concreto armado convencionais, o qual buscava-se uma formulação que minimizasse a natureza subjetiva dos dados obtidos em inspeções de estruturas que, segundo Castro (1994), resulta em elevados custos de reparos e eficácia duvidosa. Fonseca (2007), em sua dissertação de mestrado, propôs algumas mudanças na metodologia, no que diz respeito a conceitos de danos relacionados à corrosão; nos fatores de ponderação e intensidade; no grau de dano e nos níveis de deterioração da estrutura. Na Figura 2 tem-se o fluxograma de aplicação do método GDE/UnB, descrevendo cada etapa para obtenção dos resultados.

Figura 2 – Fluxograma de aplicação do método GDE/UnB



Fonte: FONSECA (2007)

2.2.1 Fator de Ponderação de Dano (Fp) e de Intensidade de Dano (Fi)

O valor de Fp é responsável por quantificar a relevância que um determinado dano tem em relação às condições de segurança, funcionalidade e estética dos elementos de uma família, podendo o mesmo variar de 1 a 5, sendo 5 o valor mais crítico.

Por sua vez, o coeficiente Fi tem o objetivo de avaliar de forma isolada a magnitude do dano de um elemento, variando de 0 a 4, sendo 4 o valor de maior gravidade, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Gravidade e evolução de uma manifestação em elemento

Elementos sem lesões	Fi=0
Elementos com lesões leves	Fi=1
Elementos com lesões toleráveis	Fi=2
Elementos com lesões graves	Fi=3
Elementos em estado crítico	Fi=4

Fonte: CASTRO (1994)

2.3 Formulações da metodologia GDE/UnB

2.3.1 Grau do dano

O cálculo do grau do dano é feito em função dos Fatores de danos (Fi e Fp) através das seguintes equações (1) e (2):

$$D = 0,8 \times F_i \times F_p, \text{ para } F_i \leq 2,0 \quad (1)$$

$$D = (12 \times F_i - 28) \times F_p, \text{ para } F_i \geq 2,0 \quad (2)$$

2.3.2 Grau de deterioração de um elemento (GDE)

Após o cálculo do grau do dano isoladamente, calcula-se o GDE, o qual examina o dano em conjunto, para se compreender o que a ação em conjunto provoca ao elemento, através da seguinte equação (3):

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \cdot \left[1 + \frac{(\sum_{i=1}^n D_i) - D_{m\acute{a}x}}{(\sum_{i=1}^n D_i)} \right] \quad (3)$$

2.3.3 Grau de deterioração de uma família de elemento (Gdf)

No cálculo do Gdf os danos são examinados em conjuntos de elementos de uma mesma família, e os Gde < 15 são desconsiderados.

$$G_{df} = G_{de,m\acute{a}x} \cdot \sqrt{1 + \frac{(\sum_{i=1}^m G_{de,i}) - G_{de,m\acute{a}x}}{(\sum_{i=1}^m G_{de,i})}} \quad (4)$$

2.3.4 Fator de relevância estrutural (Fr)

O Fator de relevância (Fr) estrutural tem o objetivo de indicar a importância relativa que cada família de elementos tem em relação à estrutura como um todo, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Fator de relevância estrutural

Elementos de composição arquitetônica	Fr=1
Reservatório superior	Fr=1
Escadas/rampas, reservatório inferior, cortinas, lajes secundárias, juntas de dilatação	Fr=3
Lajes, fundações, vigas secundárias, pilares secundários	Fr=3

Fonte: CASTRO (1994)

2.3.5 Grau de deterioração da estrutura (Gd)

O Grau de deterioração da estrutura é calculado através da equação (5):

$$G_d = \left[\frac{(\sum_{i=1}^k Fr_{(i)}) Gdf_{(i)}}{(\sum_i^k Fr_{(i)})} \right] \quad (5)$$

Com o valor de Gd obtido, consulta-se a Tabela 3, a qual recomenda as ações a serem tomadas para cada nível de deterioração da estrutura.

Tabela 3 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura

Nível de deterioração	Gd	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 (máx. 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 6 meses).
Crítico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: FONSECA (2007)

2.4 Avaliação das Estruturas das Bacias

2.4.1 Flotador

O Flotador é um equipamento da unidade de tratamento de esgotos industriais, cuja função é de acelerar a ascensão de partículas de óleo até

a superfície da massa líquida que deverá ser feita pelo processo de flotação a ar dissolvido por pressurização do reciclo com ar comprimido, o qual (Figura 3) recebe afluentes provenientes dos tanques de equalização a uma temperatura média de 30°C e opera com vazão máxima de 1.200m³/h. O afluente tem pH entre 5,5 e 8,5, concentração de óleos e graxas 150ppm, e salinidade (cloretos) até 15.000ppm.

Figura 3 - Foto geral do Flotador



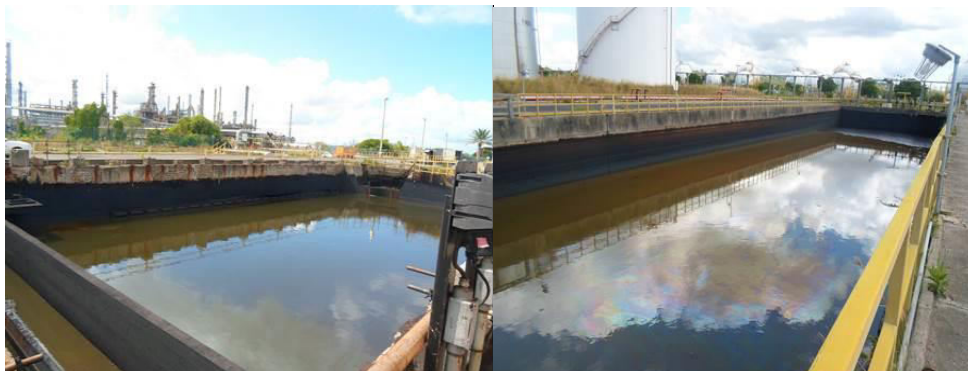
Fonte: Autores.

A identificação da estrutura foi feita com base na ficha descritiva da edificação com roteiro de inspeção elaborado por Fonseca (2007). O item analisado possui: área construída aproximada de 251,00m²; 24 anos; 1 pavimento; e apresenta sistema construtivo de estrutura convencional em concreto armado aparente moldado in loco.

2.4.2 Bacia Acúmulo de Águas Contaminadas – BAC 2

Bacia de Acúmulo de Águas Contaminadas é uma estrutura hidráulica para acúmulo dos efluentes contaminados durante as chuvas fortes com tempo de recorrência de 20 anos, por tempo necessário para limpar o sistema de drenagem, conduzindo o efluente para seu interior. A BAC 2 apresentou maior grau de deterioração, a qual é composta de dois compartimentos: um do ano de 1975 (Lado Sul) e outro do ano de 1994 (Lado Norte).

Figura 4 - Vista Geral da Bacia (Lado Sul) e (Lado Norte)



Fonte: Autores.

Assim como o item 2.4.1, a identificação da estrutura foi feita com base na ficha descritiva da edificação considerada no roteiro de inspeção elaborado por Fonseca (2007), a BAC 2 possui: área construída aproximada de 1.500,00m²; idade de 43 anos (Lado Sul) e 24 anos (Lado Norte), 1 pavimento; e apresenta sistema construtivo de estrutura convencional em concreto armado aparente moldado in loco.

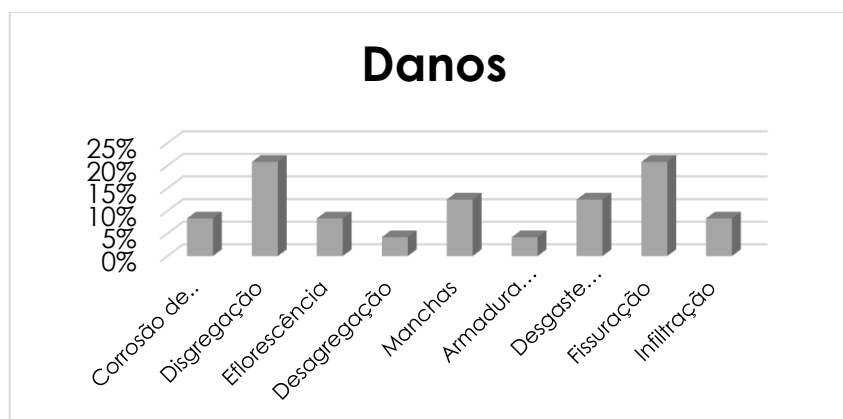
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das inspeções técnicas, serão apresentados os resultados obtidos dos principais danos, em percentuais, no Flotador e na estrutura da BAC 2, e posteriormente, os resultados gerais correspondentes aos danos nas cinco estruturas inspecionadas: Flotador, BAC 2, BAC 1, BAO 1, BAC 4.

3.1 Flotador

No Gráfico 1, na percentagem de danos do Flotador, nota-se que os danos “Fissuração” e “Disgregação” atingem cerca de 21% dos elementos estruturais inspecionados. A ocorrência de fissuração em sua estrutura, provavelmente, é devido à trabalhabilidade da estrutura, tendo em vista que este equipamento opera com cargas variáveis.

Gráfico 1 — Percentual de ocorrência de danos no Flotador



Fonte: Autores.

A vazão operacional varia constantemente, com isto, o volume ocupado pelo efluente também sofre variação. Além disto, o Flotador é esvaziado em períodos programados para manutenção.

É possível verificar na Figura 6, as fissuras nas vigas dessa estrutura, típicas de vigas subarmadas solicitadas à flexão. Assim, a causa da fissuração pode ser insuficiência de armadura longitudinal (positiva), ancoragem insuficiente da armadura positiva ou sobrecarga acima do previsto no cálculo estrutural. Tendo em vista o alto nível de agressividade do ambiente (Classe IV), as fissuras existentes tornam-se um meio propício para a propagação das manifestações patológicas, pois facilita a

penetração dos agentes agressivos no concreto. Com isto, surgem outras manifestações patológicas como a disgregação do concreto e a corrosão de armaduras.

Figura 6 - Fissuração nas vigas do Flotador



Fonte: Autores.

A disgregação do concreto ocorreu, principalmente, em pontos de corrosão de armaduras, como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Disgregação do concreto e armadura corroída



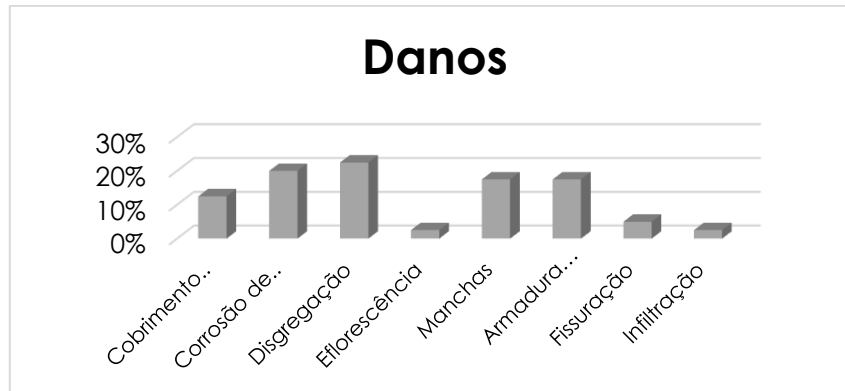
Fonte: Autores.

A ocorrência de manchas é devido à presença de óleo no efluente, proveniente das unidades de processo do petróleo. O óleo impregna no concreto e dá uma coloração escura à estrutura. Além do problema estético da estrutura, a mancha pode afetar a durabilidade do concreto, pois o óleo contém substâncias químicas (por exemplo: sulfetos, amônia e fenóis). A ocorrência de corrosão de armaduras é devida ao baixo cobrimento das armaduras, tendo em vista que a norma referente a esse aspecto, na época de construção, era mais flexível.

3.2 BAC 2

No Gráfico 2, percentagem de danos da BAC 2, nota-se que os danos “Disgregação” e “Corrosão de armaduras” atingem cerca de 23% e 20%, respectivamente, dos elementos estruturais inspecionados.

Gráfico 2 - Percentual de ocorrência de danos na BAC 2



Fonte: Autores.

Nota-se na Figura 8, o alto grau de corrosão de armaduras e disgregação do concreto nas paredes da Bacia, com a conseqüente exposição das armaduras ao ambiente agressivo. Tendo em vista que se trata de uma estrutura antiga, a ocorrência de corrosão de armaduras é devida ao insuficiente cobrimento das armaduras, pois a norma referente ao cobrimento de peças estruturais da época de construção ser menos exigente que a norma atual, quanto à relação da durabilidade e os cobrimentos a serem utilizados. O cobrimento das armaduras foi em torno de 1,5cm. Nota-se também que estas manifestações ocorreram na parte superior das paredes, área não molhada, exposta ao ambiente. Porém, a área molhada, a qual está na maioria do tempo coberta pelo efluente, encontra-se mais conservada.

Figura 8 - Patologias nas paredes da BAC 2

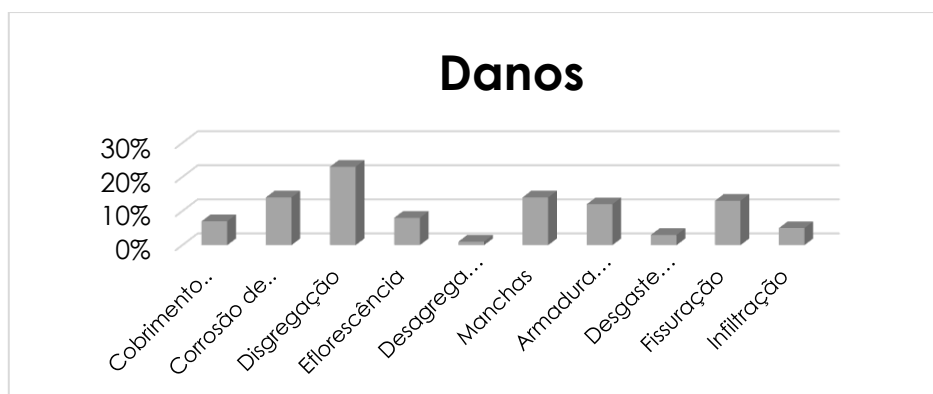


Fonte: Autores.

4.2 Geral

No Gráfico 3, percentagem de danos gerais, nota-se que o dano “Disgregação” atinge cerca de 23% dos elementos estruturais inspecionados. A ocorrência desse dano é, na sua maioria, devido a manifestação de outras patologias.

Gráfico 3 — Percentual total de ocorrência de danos nas estruturas em geral



Fonte: Autores.

Estas manifestações apareceram numa frequência bem próxima: corrosão de armadura (14%), fissuração (13%), armadura exposta (12%). Assim, a verificação de disgregação do concreto nas estruturas é mais recorrente, pois o não ou tardio cumprimento do plano de manutenção das estruturas, favorece o agravamento dos danos.

A ocorrência de corrosão de armaduras é devida ao insuficiente cobrimento das armaduras, tendo em vista que a norma referente ao cobrimento de peças estruturais da época de construção ser menos exigente que a norma atual, quanto à relação da durabilidade e os cobrimentos a serem utilizados.

5 CONCLUSÃO

Os resultados da aplicação da Metodologia GDE/UnB ratificaram a importância dos cuidados com o cumprimento das normas referenciadas, em especial a NBR 6118:2014, para que seja possível atingir a vida útil da estrutura garantindo a durabilidade definida em projeto. Na época de construção do Flotador e das Bacias, a norma vigente era menos exigente que a atual, quanto à durabilidade, a resistência do concreto e o cobrimento mínimo das armaduras. Assim, os principais danos destas estruturas são disgregação do concreto e corrosão das armaduras devido baixo cobrimento de armadura e baixa resistência do concreto à agentes agressivos.

Uma dificuldade encontrada na aplicação da Metodologia se deu ao fato das Bacias estarem em pleno funcionamento e com volume de efluentes não foi possível a verificação das lajes de fundo. O ideal seria a realização das vistorias no período de manutenção das Bacias, devendo-

se esvaziá-las e realizar lavagem dos elementos estruturais, tornando o processo de verificação e registros mais precisos. Apenas o Flotador foi inspecionado no período de sua manutenção, sendo possível adentrar no equipamento e realizar a inspeção em toda a sua estrutura.

Através do resultado final da Metodologia, o grau de deterioração da estrutura (Gd), é possível a implementação de uma sistemática de manutenção, pois cada nível de deterioração resultante das análises determinam um prazo definido para intervenção e a necessidade de uma inspeção detalhada.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118** - Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. **Patologia das Estruturas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.
- CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**. Brasília, DF. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 1994. 185f.
- COUTO, J. P.; COUTO, A. M. **Importância da revisão dos projectos na redução dos custos de manutenção das construções**. In: CONGRESSO CONSTRUÇÃO. Coimbra, Portugal. Universidade de Coimbra, 2007.
- FERREIRA, R. M.. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão**. Braga, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2000. 246 f.
- FONSECA, R.P., **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 006 A/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2007, 213p.
- HELENE, P. R. L., 1949 – **Corrosão em armaduras para concreto armado** – São Paulo : Pini : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto, estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 2008. 674 p.
- SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforma de Estruturas**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.
- VILASBOAS, J. M. L. **Estudo dos mecanismos de transporte de cloretos no concreto, suas inter-relações e influência na durabilidade de edificações na cidade do Salvador-BA**. Salvador, BA. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2013. 321f.
- VITÓRIO, A., **Manutenção e gestão de obras de arte especiais**. VII Encontro Nacional das Empresas de Arquitetura e Urbanismo, Pernambuco, 2005.