# PROSPECÇÃO DE AÇÕES DELETÉRIAS EM BARRAGENS DA REGIÃO DO SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE

**A. MOREIRA BARRETO**
Professor
Universidade Federal do Cariri
Ceará, Brasil
aerson.barreto@ufca.edu.br

**N. PERAZZO BARBOSA**
Professor
Universidade Federal da Paraíba
Paraíba, Brasil
nperazzob@yhoo.com.br

**E. FERNANDES MORAIS**
Graduando de Engenharia Civil
Universidade Federal Rural do Semiárido
Rio Grande do Norte, Brasil
eduard.fmorais@gmail.com

**S. MARDEN TORRES**
Professor
Universidade Federal da Paraíba
Paraíba, Brasil
sandromardentorres@yahoo.co.uk

**M. RAYANE DE MEDEIROS**
Engenheira Civil
Universidade Federal Rural do Semiárido
Rio Grande do Norte; Brasil
mayara3004@hotmail.com

**D. MARQUES AZEVEDO FARIAS**
Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal Rural do Semiárido
Rio Grande do Norte; Brasil
douglas.maf@hotmail.com

## RESUMO

Historicamente, no nordeste brasileiro, a construção de reservatórios é executada pela população e pelo poder público e tem ocorrido de maneira desordenada. A finalidade tem sido a acumulação de água para o combate a estiagens prolongadas na região. Há uma prática, no sertão do semiárido, de se construir pequenas barragens de terra com vertedouro em concreto. Essa prática, sem manutenção, leva a fissurações desordenadas que são observadas nessas e associadas ao surgimento de elementos que deterioram a partir de produtos de reações internas, principalmente reação álcali-agregado, ataque de sulfatos e lixiviação de água macia. Neste trabalho, foi realizado um levantamento de pequenas e médias barragens na região central do Rio Grande do Norte, públicas e privadas. Foram realizadas visitas *in loco*, para visualizar possíveis manifestações patológicas. O trabalho tem o objetivo de verificar, se há ocorrência de manifestações patológicas nas barragens visitadas, principalmente nos vertedouros de concreto. A pesquisa é do tipo exploratória e se utilizou de registros fotográficos que posteriormente foram analisados pelos autores. Este trabalho é parte de um projeto de maior abrangência com a finalidade de obter um diagnóstico geral do panorama de barragens no nordeste brasileiro. No primeiro momento não houve realização ensaios e sim uma análise visual de cada barragem visitada.
*Palavras-chave: Barragens. Manifestação patológica. Nordeste brasileiro.*

## ABSTRACT

Historically, in the Brazilian northeast, the construction of reservoirs is carried out by the population and by the public power and has occurred in a disorderly way. The purpose has been the accumulation of water to combat prolonged droughts in the region. There is a practice, in the hinterland of the semi-arid, to build small dams of land with concrete spillway. This practice, without maintenance, leads to disordered fissures that are observed in these and associated with the appearance of elements that deteriorate from products of internal reactions, mainly alkali-aggregate reaction, sulfate attack and soft water leaching. In this work, a survey was carried out of small and medium dams in the central region of Rio Grande do Norte, both public and private. On-site visits were performed to visualize possible pathological manifestations. The objective of this study is to verify if there are pathological manifestations in the dams visited, especially in concrete spillways. The research is exploratory and we used photographic records that were later analyzed by the authors. This work is part of a larger project with the purpose of obtaining a general diagnosis of the panorama of dams in the

Brazilian northeast. At the first moment there were no tests performed but a visual analysis of each dam visited.
*Keywords: Dams. Pathological manifestation. Northeastern Brazil.*

## 1. INTRODUÇÃO

A região nordeste do Brasil tem uma relação não muito distante com a zona de incidência das secas, o chamado Polígono das secas (936.993 km$^2$), delimitado – Lei nº 1348 de 10 de fevereiro de 1951 – como área de atuação do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS. O domínio deste polígono da seca é ocupado, em grande parte, pela região do semiárido (912.208 km$^2$). Neste contexto, as secas de 1825, 1827 e 1830 instigaram início da açudagem, no semiárido nordestino, como alternativa para fonte de água para abastecimento humano e animal durante os períodos de seca, (REBOUÇAS, 1997).

Historicamente há uma prática no semiárido do Nordeste, de se construir pequenas barragens de terra com vertedouro em concreto. No nordeste brasileiro, a construção de reservatórios pela população e pelo poder público, tem ocorrido de maneira desordenada, tendo como finalidade a acumulação de água para o combate a estiagens prolongadas na região. Para consolidar esse crescimento desordenado, existem na região nordeste cerca de 1400 reservatórios públicos com capacidade superior a 100 mil m$^3$ e 450 com volume superior um milhão m$^3$, destacando também, açudagem privada, que exprime valores de 70 mil reservatórios com espelho de água de mais de mil m$^2$, (MOLLE e CADIER, 1992).

Aplicação mais antiga e conhecida das barragens é a de armazenamento de água para fins agropecuários e abastecimento humano. Não só limitado nesta aplicação, estas estruturas também possibilitam aplicações no âmbito de: geração de energia elétrica, controle de assoreamento e de erosões provocadas pela chuva, proteção contra inundação, turismo, melhoria nas condições de navegação, contenção de rejeitos industriais ou mineração, (OLIVEIRA, 2008).

Destacado a relevante importância das barragens para o senário nordestino, também se faz necessário apontar os possíveis riscos de ruptura que essas estruturas estão ligadas. Visto que, as consequências de ruptura são catastróficas, podendo acarretar: perda de vidas humanas; prejuízos materiais na barragem, reservatório e nas zonas inundadas; interrupção das atividades produtivas nas zonas afetadas; impossibilidade da exploração dos recursos hídricos. Tornando assim imensurável o valor total dos prejuízos, pois à vida humana e o meio ambiente são caracterizados por questões de ordem moral muito profunda, (OLIVEIRA, 2008).

Com base no que foi exposto, se faz necessário o desenvolvimento de trabalhos sistemáticos que exprima condições de estabilidade dessas barragens, isto é, estudos relacionados ao tema de segurança das barragens. Motivado pela importância socioeconômica e as pelos riscos atrelados às barragens, este trabalho realiza um levantamento de pequenas e médias barragens, públicas e privadas, da região do semiárido do Rio Grande do Norte e visitas *in loco* para visualizar prováveis manifestações patológicas. Esse trabalho tem o objetivo de verificar, se há uma susceptibilidade e/ou a ocorrência dessas manifestações, particularmente: Reação Álcali-Agregado, Ataque por sulfato e lixiviação de pasta de cimento, em seus vertedouros, destacando o índice de barragens com essas manifestações patológicas.

## 2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO

Uma vida útil prolongada é intrínseca à durabilidade. A durabilidade do concreto de Cimento Portland, está relacionada sistematicamente as condições ambientais e sua capacidade de resistir a ações de intemperismo, ataque químico, abrasão ou outro mecanismo de deterioração. Esses mecanismos são ativados geralmente á presença de água, facilitando assim ações deletérias do concreto em barragem, a medida que, quanto maior a permeabilidade do concreto maior o ataque dos agentes nocivos, (CHARLWOOD, 2009). O mesmo autor define que, as manifestações patológicas mais comuns que afetam negativamente o concreto de barragens, são: lixiviação de pasta de cimento por soluções ácidas; ataque de sulfato, reações de álcali-agregado (RAA), e desgaste superficial por erosão.

Para Helene (2001), as principais ações deletérias que atacam ao concreto são: lixiviação (águas puras e ácidas), expansão por sulfatos ou magnésio, expansão por reação álcali-agregado, reações superficiais deletérias.

Este trabalho faz parte de um amplo trabalho de pesquisa em barragens no Nordeste quanto aos sintomas ligados às manifestações patológicas ocasionadas por: reação álcali-agregado, expansão por sulfatos ou magnésio e lixiviação (águas puras e ácidas). Em seguida, serão tratados, em três subtítulos, os sintomas dessas manifestações patológicas.

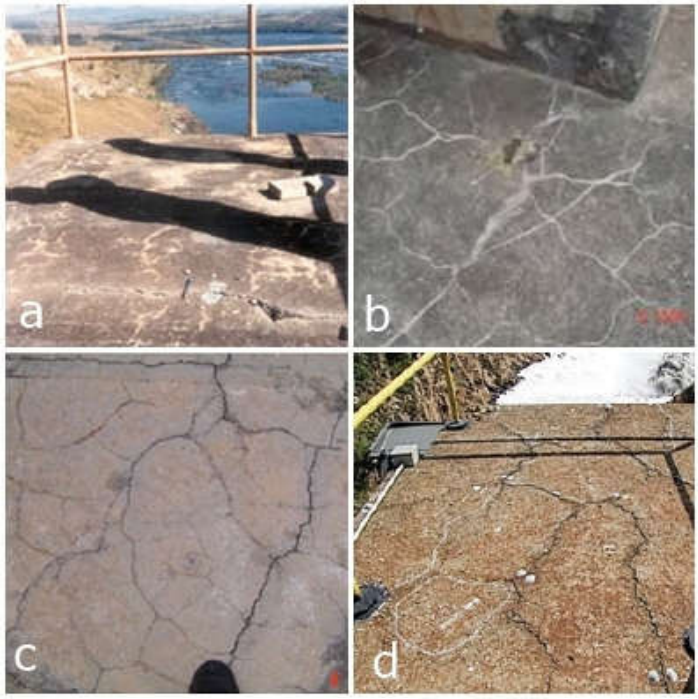
## 2.1 Reação Álcali-Agregado

A reação álcali-agregado ocorre entre os hidróxidos alcalinos, produto da hidratação do cimento, e os minerais reativos provenientes do agregado graúdo quando o concreto permanece em seu trabalho em ambiente úmido como barragens. Nestas condições dar-se início ao aparecimento dos sintomas decorrente desta manifestação patológica. Os principais sintomas provocados pela reação álcali-agregado (RAA) em estruturas de concreto são: fissuração em formato de mapa, exsudação de gel esbranquiçado em superfície do concreto e/ou fissuras, bordas ao redor dos agregados, preenchimento de poros com material branco ou vítreo, micro fissuração e descoloração do concreto, (HASPARYK, 2005).

Hasparyk (2005) ainda destaca os seguintes efeitos decorrentes peal RAA: Fissuração entre camadas de concretagem, desplacamentos na superfície do concreto, perda de estanqueidade, descolamento entre a interface argamassa/agregado, movimentação de juntas de contração, aberturas de juntas construção.

Nos últimos anos, no Brasil, tem crescido o número de casos de reação álcali-agregado, alguns desses casos são destacados no meio acadêmico. Destaca-se os seguintes estudos: Hasparyk (2005), que analisou a ocorrência de RAA na Usina Hidrelétrica de Furnas; Marques (2009), pesquisando a Tomada d'água da UHE Jaguar; Silva (2000), que estudou Usina hidrelétrica de Paulo Afonso III; Sollero (2016), ao estudar Barragem de Pirapora. O programa de investigação para detectar essa manifestação patológica dar-se início a partir de inspeções visuais, afim de verificar os sintomas da RAA. Um dos sintomas registrados nos estudos de Hasparyk (2005), Marques (2009), Silva (2000) e Sollero (2016), são visto em Figura 1.

Figura 1 – Usina Hidrelétrica de Furnas (a), Tomada d'água da UHE Jaguari (b), Usina hidrelétrica de Paulo Afonso (c), Barragem de Pirapora (d).




Fonte: Hasparyk, 2005; Marques, 2009; Silva, 2000; Sollero, 2016.

## 2.2 Expansão por sulfatos

A oxidação dos agregados contendo sulfetos, proporciona o ataque por sulfatos ao concreto, no qual tem como sintomas o aparecimento de fissuras superficiais, alterações da coloração, eflorescência brancas, descolamentos estruturais, intumescimento e desagregação, expansão e perca de massa, (HOPPE FILHO et al., 2015, e LIMA, 2009).

Para consolidar os sintomas provocados pela expansão de sulfatos, Gomides et al. (2007), detalha que está manifestação patológica é caracterizada por sintomas ligados a: fissuras tipo mapa; manchas de ferrugem nas superfícies; baixa aderência pasta-agregado, devida à presença de fissuras e expansão na zona de interface. Esses autores reforçam que, a deterioração é proveniente da utilização agregados contendo sulfetos que, sob condições favoráveis, sofrem alterações químicas e físicas em função da: Expansão devida à formação dos sulfatos de ferro hidratados e hidróxidos de ferro; e à formação de etringita; redução do pH do concreto ligado ao consumo de hidróxido de cálcio do sistema; intumescimento e a desagregação do concreto provocado pelo enfraquecimento dos produtos de hidratação do cimento pela formação da gipsita, a qual é acompanhada de moderada expansão; deslocamento estrutural.

A barragem do Rio Descoberto em Brasília apresentou essa manifestação patológica devido ao processo de oxidações dos sulfetos. A reação foi ativada devido ao uso de agregados, contento pirita, no concreto da barragem, (KFFURI, 2003). Os sintomas apresentados na estrutura podem ser vistos em Figura 2.

Figura 2 – Deterioração do concreto a jusante da barragem (a) e na galeria (b).




Fonte: Kffurl, 2003.

## 2.3 Lixiviação

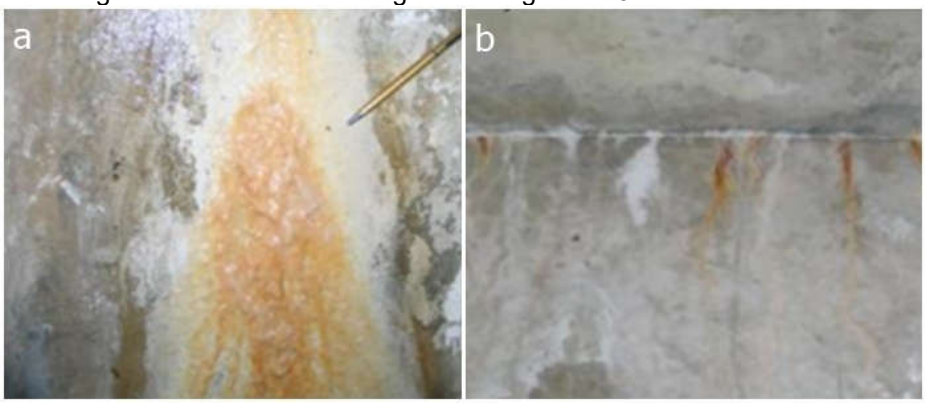
O ataque de água macia (água pura) em barragens foi inicialmente estudado na década de 1920. A quantidade íons dissolvidos de cálcio ou magnésio na água macia é mínima. Os compostos hidratados formados através da reação de hidratação do cimento Portland, são solúveis em água, embora sua solubilidade seja relativamente baixa em águas naturais. Devido a baixa concentração de íons dissolvidos, a água macia ao percolar a matriz de cimento ou através de sua superfície, proporciona a dissolução dos produtos hidratados do concreto de cimento Portland. Esse tipo de ataque é sistêmico, dependendo de vários fatores, como: concentração de íons cálcio da água, permeabilidade do concreto, concentração de dióxido de carbono na água, solubilidade dos compostos da pasta de cimento, (EKSTRÖM, 2003)

As diferentes manifestações patológicas ocasionadas devido a lixiviação comum podem ser mostradas em barragens de concreto. Dentre elas, destaca-se: Maior porosidade na superfície de concreto na parte a montante do reservatório; Formação de cortinas de calcita ($CaCO_3$) na superfície de concreto a jusante do reservatório; Formação de camadas de calcita na superfície a jusante em vertedouros de concreto; Superfície do concreto áspera, (EKSTRÖM, 2003).

Após o ataque de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas, os compostos hidratados da pasta cimento são dissolvidos e transportados e observa-se: superfície do concreto arenosa ou com agregados expostos sem a pasta de cimento; eflorescência de carbonato, com elevada retenção de fuligem e com probabilidade de existência de fungos e bactérias (HELENE, 1997).

A Usina hidrelétrica de Corumbá foi observada nas galerias de drenagem da barragem a ocorrência de lixiviação, (BATISTA, 2013). Os sintomas podem ser vistos em Figura 3.

Figura 3 – Aspectos observados na inspeção da UHE Corumbá: a) lixiviação presente na galeria de drenagem da tomada d'água; b) aspecto da junção viga/parede pré-moldada, com pontos de lixiviação e alguns "escorridos de ferrugem" na região do 5º lance da escada.




Fonte: Batista, 2013.

## 2.4 Desgaste Superficial por erosão

De acordo com Metha e Monteiro (2014), ao sofrer ação de partículas em suspensão de fluidos o concreto pode perder massa progressivamente, essas partículas podem serem provenientes de silte, areia, cascalho e outros sólidos carreados pela água. O contato, em velocidade, de fluidos contendo essas partículas em suspensão causam o desgaste por escorregamento ou rolamento, provocando colisão e desprendimento da pasta de concreto, gerando no final, superfície excessivamente áspera no concreto.

Esse fenômeno é chamado de erosão por abrasão desses elementos junto à superfície do concreto. Esse tipo de erosão é comum em estruturas hidráulicas, no caso em vertedouros de barragens. A Figura 4 mostra o vertedouro de uma barragem no estado do Ceará, onde há predominância de ocorrência de desgaste superficial.

Figura 4 – Vista do vertedouro da Barragem de Pacajus/CE.



Fonte: Fontenelle et al, 2007.

Para Metha e Monteiro (2014), a ocorrência desse fenômeno se dar devido a pasta do cimento não possuir alta resistência ao atrito ocasionando vida ativa curta para esse tipo de manifestação patológica. A facilidade de ocorrência do desgaste superficial está na associação de alguns fatores, tais como: Pasta de cimento com alta porosidade e baixa resistência; pasta de cimento protegida com agregado de resistência insuficiente a ação dos agentes causadores do desgaste. Esses autores afirmam que a taxa de erosão é dependente da porosidade e resistência do concreto, e das características das partículas (quantidade, forma, tamanho, densidade, dureza e de sua velocidade no contado com o concreto).

## 3. METODOLOGIA

O trabalho se caracteriza como um estudo de caso, pois visa analisar o objeto em estudo (barragens do semiárido do Rio Grande do Norte (RN)), e pesquisa exploratória ao investigar fenômenos no objeto estudado.

- O estudo de caso traz um levantamento qualitativo, relacionados às barragens visitadas.
- A pesquisa exploratória será baseada em métodos que indicam os meios técnicos da investigação.

### 3.1 Área de estudo

A região estudada foi parte do semiárido do estado do Rio Grande do Norte, onde ocorrem intensos períodos de seca, com pluviosidade entre 300 e 800 (mm/ano). A base do estudo foi a cidade de Angicos, e foram incluídos outros municípios com facilidade de acesso às barragens para o estudo. No total, foram visitadas 15 barragens distribuídas cuja relação com nomes das barragens e município onde se localizam estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Lista das barragens visitadas e localização por município

| N° | Identificação | Município |
|---|---|---|
| 1 | Barragem Caern | Angicos/RN |
| 2 | Açude Canaã | Angicos/RN |
| 3 | Barragem Oitiçica | Angicos/RN |
| 4 | Barragem Municipal Pataxó | Ipanguaçu/RN |
| 5 | Açude Público Angicos | Angicos/RN |
| 6 | Açude São Pedro | Angicos/RN |
| 7 | Barragem Canaã | Angicos/RN |
| 8 | Barragem Armando Ribeiro Gonçalves | Itajá/RN |
| 9 | Barragem Umari | Upanema/RN |
| 10 | Barragem Lolo | Angicos/RN |
| 11 | Barragem Raimunda | Angicos/RN |
| 12 | Barragem São Bento | Fernando Pedroza/RN |
| 13 | Barragem São Joaquim | Fernando Pedroza/RN |
| 14 | Açude Público De Fernando Pedroza | Fernando Pedroza/RN |
| 15 | Barragem Passagem Das Traíras | Caicó/RN |

Fonte: Própria.

### 3.2 Método

A pesquisa faz um levantamento de algumas barragens no RN que vem apresentando prováveis manifestações patológicas em suas constituições. A exploração foi feita através de visita nos locais das barragens com levantamento fotográfico dos sintomas das manifestações patológicas relacionadas e seleção de algumas fotos que mostravam maiores evidências dessas manifestações patológicas. A Figura 5, a seguir, mostra o aspecto de duas das barragens visitadas.

Figura 5 – Vista das barragens (a) São Bento (Fernando Pedroza) e (b) Oitiçica (Angicos) – RN.



(a) (b)

Fonte: Própria.

Após a análise visual fotográfica, foi analisada a susceptibilidade aos três possíveis sintomas patológicos, baseando-se em pesquisas bibliográficas e análises por parte dos autores. A Figura 6, a seguir, mostra a localização dos municípios onde estão as barragens observadas no mapa do estado do Rio Grande do Norte, com destaque para a área considerada como semiárido potiguar.

Figura 6 - Municípios onde se localizam as barragens investidas, no estado do Rio Grande do Norte.




Fonte: Adaptado de Troleis e Santos (2011).

## 4. RESULTADOS

Após a obtenção dos registros fotográficos dos indicativos de manifestações patológicas encontradas foram feitas análises, compilação e seleção dos registros fotográficos por barragens que caracterizassem melhor o evento em estudo. O Quadro 1, que segue, mostra esses registros onde observam-se fissuras, manchas, superfícies com agregados expostos, entre outros efeitos dessas manifestações patológicas.

Observou-se que algumas barragens apresentam manifestações semelhantes e nos comentários que seguem houve um agrupamento conforme as prospecções elencadas na análise.

Quadro 1 – Registros fotográficos de manifestações patológicas nas barragens objeto do estudo.

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 1 Barragem CAERN (Angicos/RN) | 2 Açude Canaã (Angicos/RN) | 3 Barragem Oiticica (Angicos/RN) |
|  |  |  |
| 4 Barragem Pataxó (Ipanguaçu/RN) | 5 Açude Público (Angicos/RN) | 6 Açude São Pedro (Angicos/RN) |
|  |  |  |
| 7 Barragem Canaã (Angicos/RN) | 8 Barragem A. R. G. (Itajá/RN) | 9 Barragem Umari (Upanema/RN) |
|  |  |  |
| 10 Barragem Loló (Angicos/RN) | 11 Barragem Raimunda (Angicos/RN) | 12 Barragem S.Bento (FPedroza/RN) |
|  |  |  |
| 13 Barragem S.Joaq. (F. Pedroza/RN) | 14 Açude público de F. Pedroza/RN | 15 Barragem P. Traíras (Caicó/RN) |

Fonte: Própria.

O conjunto de barragens formado por Barragem CAERN(1), Barragem Canaã (2), Barragem Oitiçica (3), Barragem Pataxó(4), Açude público de Angicos (5), Açude São Pedro (6), Barragem Canaã (7), Barragem Umari (9), Barragem Raimunda (11), Barragem São bento (12), e Barragem Passagem das Traíras (15) apresentam manchas esbranquiçadas e em cor de ferrugem á jusante que denota possibilidade de ocorrência de ataque por sulfatos e formação de gipsita que foi carreada para o exterior da parede nas fissuras decorrente de expansão e apresentadas do tipo mapa. A porosidade ocasionada pela abrasão superficial pode ter provocado acúmulo e penetração de água, ou ainda pela existência de água em micro poros pode ter causado a formação de etringita tardia e como consequência a formação de gipsita que se apresenta claramente em todos os casos citados.

O conjunto de barragens formado por Barragem Loló (10), Barragem São Bento(12), Barragem São Joaquim (13), Açude Público (14), e Barragem Passagem das Traíras(15) tem em comum o fissuramento e desgaste superficial excessivo e denota ocorrência de abrasão superficial com desgaste do reboco (nas barragens com alvenaria revestindo o concreto funcionando como forma) e queda do mesmo, com alteração da estrutura superficial de concreto. Essa ação abrasiva ocasionou a perda de massa superficial, deixando os agregados à amostra (Caso claro na barragem do açude público de Fernando Pedroza (14)).

A barragem Armando Ribeiro Gonçalves (8) apresenta fissuras do tipo mapa na parede do vertedouro de concreto à jusante, no entanto não apresenta manchas na superfície do concreto, nesse caso poderia estar em início a atividade expansiva da reação álcali-agregado. Mas, a não presença de gel na superfície externa, que é um produto dessa ação deletéria, pode indicar sua presença internamente. Nesse caso é conveniente a realização de estudo apurado para a constatação dessa manifestação patológica. Por outro lado, pode estar apresentando uma fissuração por desgaste superficial por abrasão com ocorrência em datas anteriores.

## 5. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento desse trabalho pode-se constatar os resultados da qualidade de barragens que são construídas no semiárido nordestino de maneira desordenada. Associado a esse desordenamento tem-se a ausência de um apoio técnico e de manutenção desses reservatórios, tanto os públicos como os privados, já que o índice de ocorrência de manifestações patológicas é de grande quantidade e volume. Mesmo em tempos de pouca pluviometria, constatou-se que não há manutenção, já que em vários reservatórios os níveis de manifestações patológicas são abrangentes na maioria das barragens observadas. Pode-se também verificar que há uma predominância na prospecção dessas manifestações oriundas de ataque de sulfatos com surgimento de fissuras diversas (tipo mapa) e evidência de gipsita, lixiviação de elementos do concreto com afloração de calcita e alto índice de desgaste superficial com presença de concretos com pouca durabilidade, no entanto não foi de relevância a ocorrência de reação álcali-agregado. Assim, é mostrado que o estudo dessa prospecção pode avançar para uma abrangência maior tanto geograficamente como tecnicamente com aprofundamento de análises técnicas com ensaios diversos, em trabalhos futuros inserido no projeto o qual esse trabalho faz parte.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecimento à CHESF pelo apoio recebido ao programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais (UFPB)

## 7. REFERÊNCIAS

BATISTA, Danilo Gonçalves. Investigação da deterioração de concretos de uhes por reações com os agregados. 2013. 310 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

CHARLWOOD R G. Predicting the long term behavior and service life of concrete dams. PROCEEDING OF THE 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON LONG TERM BEHAVIOR OF DAMS, Graz, Austria, 2009, 3.

EKSTRÖM, T. “Leaching of Concrete - The Leaching Process and Its Effects,” Report TVBM-1020, Doctoral Thesis, Division of Building Technology, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, 2003.

FONTENELLE, A. S. et al. Estabilização e melhoria da segurança de vertedouros de barragens do estado do Ceará (Pacajus e Rosário). In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 27., Belém, **Anais...** Belém, 2007. P. 1-21.

GOMIDES, M. et al. Investigação da expansão em laboratório de concretos contendo agregados com sulfetos. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA, 4, 2007, [s.c.]. **Anais... .** [s.c.]: [s.e.], 2007. p. 1 - 8.

HASPARYK, Nicole Pagan. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada de gel exsudado.** 2005. 326 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Ufrs, Porto Alegre, 2005.

HELENE, P. R. L. Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. São José dos Campos, 2001.

HOPPE FILHO, J. et al. Ataque de matrizes cimentícias por sulfato de sódio: adições minerais como agentes mitigadores. **Cerâmica,** [s.l.], v. 61, n. 358, p.168-177, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO).

KFFURI, M. V. A recuperação da barragem do Rio Descoberto. Recuperar. São Paulo, Maio/Junho 2003.

LIMA, A. L. C. **Influência da presença de sulfetos na implantação da UHE Irapé Vale do Jequitinhonha-Minas Gerais.** 2009. 229 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geotécnica, Ufop, Ouro Preto, 2009.

METHA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** Edição: N. P. Hasparick, IBRACON, 2ª Edição, São Paulo, 2014. 782p.

MOLLE, F. & CADIER, E. *Manual do pequeno açude* . Recife, SUDENE-ORSTOM, 521 p., 1992.

MARQUES, Maria Lidiane. **ESTUDO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO NA TOMADA D’ÁGUA DA UHE JAGUARI POR MEIO DE ENSAIOS LABORATORIAIS.** 2009. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Unesp, Ilha Solteira, 2009.

OLIVEIRA, J. R. de C. Contribuição para a verificação e controle da segurança de pequenas barragens de terra. 2008. 263 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

REBOUÇAS, Aldo da C.. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados,** [s.l.], v. 11, n. 29, p.127-154, abr. 1997. FapUNIFESP (SciELO).

SILVA, Patricia Neves. **Reação álcali-agregados nas usinas Hidrelétricas do complexo Paulo Afonso / CHESE.** 2000. 241 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Ufpe, São Paulo, 2000.

SOLLERO, Marcela B.S.. Avaliação de RAA na barragem de Pirapora. **Concreto & Construções,** São Paulo, n. 83, p.54-59, out. 2016.

TROLEIS, A. L.; DOS SANTOS, A. C. V. **Estudos do Semiárido.** Natal: Editora da UFRN, 2ª Edição. 2011. 168p.