

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Avaliação Química da Água como Subsídio à Avaliação de Patologias na Estrutura de Concreto de uma Barragem

Luanna Valéria Sousa Fonseca

Engenheira Civil, Pós-graduada em Geotecnia, Instituto Minere, Belo Horizonte, Brasil,
contato.lfonseca@gmail.com

Marcio Fernandes Leão

Geólogo, Pós-Doutor em Geotecnia, Instituto Minere, Belo Horizonte, Brasil,
marcio.leao@tractebel.engie.com

RESUMO: Com a evolução da construção civil, houve a necessidade da realização de análises acerca do comportamento dos materiais e estruturas de concreto devido aos processos de deterioração que causam riscos para os usuários. As barragens de concreto são obras de grande porte que por estarem em contato com a agressividade da água do rio, podem vir a apresentar manifestações patológicas por conta dos processos químicos, físicos e biológicos no ambiente aquático. Sendo assim, o presente artigo tem como objetivo a realização da avaliação da água do rio, o qual se encontra a barragem Rio da Dona, situada no Município de Santo Antônio de Jesus/BA, buscando identificar patologias existentes no concreto com base na avaliação de índices químicos. Para o desenvolvimento dessa pesquisa, foram utilizados relatórios de ensaios realizados pela concessionária responsável pela operação da barragem de abastecimento a partir da avaliação de dados de séries históricas referente as coletas e ensaios das amostras de água captadas no reservatório entre os anos de 2009 até 2020. Essa pesquisa tem intuito de verificar se há possível relação entre alterações de parâmetros químicos presentes na água do rio e que poderiam indicar deterioração no concreto, com consequente risco à segurança da barragem.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem, Concreto, Água.

ABSTRACT: With the evolution of civil construction, there was a need to carry out analyzes on the behavior of materials and concrete structures due to deterioration processes that pose risks to users. Concrete dams are large-scale projects that, as they are in contact with the aggressiveness of the river water, may present pathological manifestations due to chemical, physical and biological processes in the aquatic environment. Therefore, this article aims to carry out the assessment of the water in the river, which is located at the Rio da Dona dam, located in the municipality of Santo Antônio de Jesus/BA, seeking to identify pathologies existing in concrete based on the assessment of chemical indices. For the development of this research, test reports carried out by the concessionaire responsible for the operation of the supply dam were used, based on the evaluation of data from historical series regarding the collection and testing of water samples captured in the reservoir between the years 2009 to 2020. This research aims to verify whether there is a possible relationship between changes in chemical parameters present in the river water and which could indicate deterioration in the concrete, with a consequent risk to the dam's safety.

KEYWORDS: Dam, Concrete, water.

1 Introdução

As barragens são elementos muito importantes para a sociedade por apresentarem diversas finalidades, desde o abastecimento, hidroelétricas, até o armazenamento de rejeitos. Porém, por estarem expostas a agressividade da água e, em muitos casos por possuir sua estrutura de concreto, algumas manifestações



patológicas podem ocorrer com o passar o tempo, que em casos mais graves podem vir a comprometer a segurança da barragem.

Na composição da água de um rio ocorrem muitos processos químicos, físicos e biológicos que em contato com a estrutura de concreto podem promover deteriorações como fissuras, trincas, lixiviação, deslocamentos, infiltrações, cavitação, erosão e abrasão (CARDIA e KUPERMAN, [200-]).

Diante dos recentes acontecimentos envolvendo o rompimento de barragens, cada vez mais se busca o aperfeiçoamento para compressão do comportamento dessas grandes estruturas, visto que por serem obras de grande porte e alto dano potencial, em caso de falhas podem gerar grandes impactos ambientais, sociais e econômicos.

Nesse contexto, o artigo teve intuito de verificar se a influência da composição da água do rio e seus processos naturais associados podem influenciar no surgimento de manifestações patológicas no maciço de concreto de uma barragem. Dessa forma, foi analisado o banco de dados de coletas de água realizadas pela concessionária operante da Barragem do Rio da Dona, situada no município de Santo Antônio de Jesus/BA, buscando identificar patologias existentes no concreto com base na avaliação de índices químicos.

2 Revisão de Literatura

2.1 Impactos nos recursos hídricos e parâmetros de qualidade da água

Os ecossistemas de água doce sofrem de grande poluição, sendo resultado do desenvolvimento das atividades humanas em decorrência do crescimento socioeconômico que são agravados pelos impactos nas mudanças climáticas (UNEP, 2017).

Existem diversas classificações de poluição, podendo ser consideradas como crônica quando liberam pequenas concentrações de forma constante, como a disposição de esgoto em rios e lagos, outro tipo de poluição é a aguda que é quando ocorre uma emissão grande de uma só vez. (MACEDO, 2006).

Dentre os tipos de elementos que podem causar poluição, pode-se citar os resíduos minerais, orgânicos, atômicos, tóxicos e mistos (HELLER, 2006). Em ambiente rural, é bastante comum a poluição de rios e mananciais pela utilização de agroquímicos bem como pelos resíduos produzidos pelos animais (MERTEN; MINELA, 2002).

As atividades agropecuárias também causam contaminações em mananciais, eis que o uso de agroquímicos, nutrientes, sedimentos e dejetos de animais são provocadores de poluição resultante do deflúvio superficial (MERTEN; MINELLA, 2002).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA através da resolução 357 de 17 de março de 2005 estabelece a classificação das condições de qualidade dos corpos d'água, seja ela doce, salgada ou salina e esses parâmetros de qualidade são determinados a partir de características químicas, físicas e biológicas (VON SPERLING, 2005).

Dentre esses parâmetros, pode ser citado a turbidez, pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), demanda química de oxigênio (DQO), nutrientes, cloreto, coliformes feais e termotolerantes, sólidos totais, nitrogênio, fósforo, ferro, manganês, alumínio entre outros componentes (MACEDO, 2006).

O oxigênio dissolvido (OD) é muito importante para avaliação da água, possuindo um padrão de relevância de alta significância (SOUZA, 2008). O pH representa a intensidade no que se refere as condições ácidas ou alcalinas, sendo mensurado através da presença de íons hidrogênio (H⁺). As variações de pH podem ocorrer por origem natural, pela dissolução de rochas ou fotossíntese, ou por despejo de resíduos (GASPAROTTO, 2011).

O nitrogênio na água pode ser encontrado como orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrado. Este, é um elemento base para produção de fertilizantes agrícolas, que em caso de plantações próximas às margens de um rio, esse elemento pode entrar em contato com a água (BARROS, 2015). O fósforo pode ser encontrado de várias formas na água, geralmente de procedência da dissolução dos solos ou por decomposição de matérias orgânicas (VON SPERLING, 2005).

O ferro e manganês possuem comportamento químicos parecidos (MACEDO, 2006). O alumínio encontrado na água pode ser originado por erosão e geralmente está ligado as variações de pH, presença de fluoretos, sulfatos e matérias orgânicas (GASPAROTTO, 2011).

A aparição do cloreto em águas naturais se dá pela existência de jazidas naturais e alteração das rochas ou pela poluição de esgotos sanitários e dejetos industriais (VIANNA, 2002). Esse elemento é muito estável,



quando em solução dificilmente precipita e ocorre pela dissolução de sais, como o cloreto de sódio (BARROS, 2015).

A presença de alguns desses elementos na água, acaba por torná-la um agente agressor que em contato constante com o maciço de concreto de uma barragem, pode causar processos de degeneração gradativas.

2.2 Manifestações patológicas em estruturas de concreto

Com o avanço das tecnologias construtivas, surgiu a necessidade de estudos acerca do comportamento das estruturas e dos materiais utilizados, devido a deterioração precoce ou por ocorrência de acidentes, sendo fundamental compreender esses aspectos para evitar riscos nas edificações (SANTOS, 2014).

As manifestações patológicas comumente ocorrem por falhas em alguma etapa da construção, como no planejamento, projeto, materiais empregados, execução e uso. Alguns dos fatores principais para degradação do concreto é a má dosagem, falta de homogeneidade do concreto, falha de adensamento, agressividade do ambiente o qual está exposto, dentre outros. (VERA et. al., 2008).

As deteriorações ocorrentes no concreto por alterações químicas, tendem a gerar efeitos físicos como o deslocamento de massa, vibrações, erosões. Algumas reações que podem ser citadas são a degradação por ataque de água mole no hidróxido de cálcio e C-S-H existente no cimento hidratado, sulfato de cálcio, cloreto de cálcio, ataque por sulfato, por exemplo (METHA; MONTEIRO, 2008).

As estruturas de concreto possuem tendência de sofrer com fissuração, pela grande variabilidade e também por possuir baixa resistência quando submetidos a esforços de tração (PEREIRA, 2014). Em barragens é frequente a presença de fissuras e elas podem estar associadas à percolação de água, desse modo, é fundamental o monitoramento para que, caso seja necessário, o emprego de medidas e intervenções (ICOLD-CIGB, 1997).

Um outro tipo de manifestação patológica ocorrente em estruturas em contato com água, são as manchas e eflorescência. As manchas são oriundas do processo de retenção de umidade e apresentam cor escura, em virtude da presença de fungos e mofos. A eflorescência é o processo de depósito de sais na superfície da estrutura e geralmente ocorrem nos locais de fácil acesso para percolação de água, como em juntas e fissuras (FONSECA, 2007).

A presença de elementos químicos na água do rio podem influenciar no surgimento ou acelerar o desenvolvimento de manifestações patológicas. O cloreto presente na água pode causar degradação da pasta de cimento endurecida, ocasionando o processo de lixiviação. A concentração de nitrato tende a degradar o concreto formando novos compostos solúveis através da troca iônica (SANTI, 2008).

O oxigênio dissolvido em solução, provoca um aumento nas taxas de oxidação dos sulfetos em agregados do concreto. Quando a solução possui alta alcalinidade, ou seja, pH elevado, a velocidade da oxidação é elevada (CASANOVA et al., 1997).

Em relação ao alumínio, este pode ser causador da formação de etringita no concreto, que quando é formada após o endurecimento do concreto, torna-se uma condição desfavorável causando patologias. Quanto a presença de ferro, pesquisas apontam que soluções ricas em íons de cálcio, ferro e sulfatos podem se movimentar por capilaridade através de fissuras e fraturas no maciço e caso esteja em condições de alta temperatura e baixa pressão, podem formar cristais secundárias pulverulentos de cor branca (GOTO, 2017).

O ataque por sulfato de sódio é causado por fonte externa ao concreto, sendo um causador de degradação e ocorrendo através de águas subterrâneas, superficiais, solos, rejeitos industriais e pela atmosfera (SKALNY, 2002).

2.3 Barragens de concreto compactado com rolo (CCR)

Segundo Santi (2008), a fabricação do concreto compactado com rolo é realizada a partir de uma metodologia adequada para barragens e pavimentos, sendo utilizada devido a fatores econômicos, bem como por fatores construtivos já que satisfazem as especificações de projetos.

Durante a execução do CCR, o material deve ter uma consistência em que possa utilizar rolos vibratórios para realizar a compactação e suportar todos os equipamentos essenciais para a sua confecção. A pasta de concreto tem que propiciar a distribuição uniforme durante o lançamento e adensamento. Já em seu estado endurecido, o concreto tem de fornecer uma alta resistência com baixa permeabilidade, afim de aumentar a durabilidade do material (CORPS OF ENGINEERS, 2000).



O CCR quando endurecido, possui aspecto muito semelhante ao concreto convencional, onde o mesmo é alcançado através da alta energia na sua compactação, ao contrário do convencional, que geralmente são vibrados (TRABOULSI, 2007).

A utilização de CCR em barragens gerou muitos benefícios, como: diminuição de custos em equipamentos de terraplanagem, diminuição do uso de formas para concretagem, redução do prazo de execução da obra e redução do custo de cimento em relação ao concreto convencional (MILANI FILHO (2003) apud MOURA (2016)).

As barragens de gravidade por exemplo, quando utilizado o CCR em sua construção, representam significativamente uma economia em relação ao concreto convencional em relação aos materiais, quantidade de cimento utilizada e as técnicas de construção (SANTI, 2008).

A utilização do CCR vem crescendo desde os anos 80 de forma que veio para disputar com as estruturas de concreto convencional e substituindo muitas diversas vezes as barragens de terra e de enrocamento, onde pode ser de núcleo impermeável ou apenas com a face de concreto (ANDRADE, 1997).

Entre 1997 e 2008, na Bahia, foram projetadas dezoito barragens de concreto compactado com rolo para fins de abastecimento e irrigação, sendo que doze já foram construídas ou ainda estão em fase de construção (FACCHINETTI, 200-)].

A primeira barragem na Bahia a utilizar essa técnica foi na construção das barragens Rio da Dona no município de Santo Antônio de Jesus e Malhadas de Pedras, sendo a finalidade de ambas para abastecimento (FACCHINETTI, 200-)], conforme Figura 1 registrada pela autora em 2020.



Figura 1. Barragem do Rio da Dona.

Segundo Facchinetti (200-)], a barragem do Rio da Dona possui: 12 metros de altura, volume de maciço de 15.018 m³, o pico de concretagem foi de 50 m³ / hora, uso de caminhões basculantes simples, compactado com rolo liso vibratório CA-25, consumo entre 75 kg a 100 kg de cimento por cada m³ de CCR, densidade específica de 2450 kg/m³, resistência de 18,8 MPa aos 90 dias e altura das camadas de 30 cm.

A barragem referenciada, sofreu com a supressão das matas ciliares para as atividades agropecuárias (pastos e plantações), bem como ocupações irregulares. Desse modo, houve ocorrência de diversos impactos ambientais como poluição da água, extinção de nascentes e diminuição da calha dos rios pelo assoreamento (EMBASA, 2011).

Desde o ano de 2007 a concessionária vem realizando um projeto de recuperação de mata ciliar ao entorno do reservatório e, até 2011 havia recuperado 37 hectares. A segunda etapa do projeto se iniciou em 2011, com expectativa de recuperar mais 30 hectares da vegetação. O projeto visa mitigar os efeitos dos impactos decorrentes ao meio onde está situada a barragem, bem como melhorar a qualidade da água que é destinada ao abastecimento. Esse feito, também pode contribuir para diminuir a agressividade da água e consequentemente regredir os impactos no barramento de concreto



3 Metodologia

O artigo apresenta abordagem quali-quantitativa, pois, requer utilização de técnicas estatísticas para obtenção dos resultados, bem como, descrever e classificar os resultados encontrados (PRODANOV e FREITAS, 2013). Para alcançar os objetivos propostos, a estrutura metodológica foi estruturada em cinco etapas.

A primeira etapa trata-se da revisão de literatura, que foi fundamental para abordagem dos principais aspectos e relevantes para pesquisa, como recursos hídricos, poluição hídrica, manifestações patológicas em concreto, barragens de concreto compactado a rolo, entre outros. Na segunda etapa foi a caracterização da área de estudo, que foi a barragem do Rio da Doana, situada no município de Santo Antônio de Jesus/BA. A barragem encontra-se em ambiente rural, cercada de atividades agropecuárias, o que pode acarretar em mudanças nas reações químicas, físicas e biológicas da água. A terceira etapa consistiu na coleta de dados de séries históricas das amostras de água, a partir de ensaios realizados pela EMBASA nos últimos dez anos, entre 2009 e 2020. Foram fornecidas informações de diversos parâmetros, porém alguns que poderiam ser relevantes como: pH, turbidez, condutividade elétrica, presença de cálcio; demanda bioquímica não foram apresentados. No entanto, outros parâmetros fornecidos foram quantificados e foram relevantes para esse projeto e estão apresentados nos resultados. A quarta etapa consistiu na análise dos resultados obtidos a partir da etapa anterior, para verificação se os parâmetros encontrados na água do reservatório, podem subsidiar a avaliação de manifestações patológicas que possam vir a ocorrer no maciço de concreto da barragem. Por último na quinta etapa, foi realizada a discussão dos resultados obtidos nas etapas anteriores.

4 Resultados e Análises

Em posse dos resultados de dois pontos de coleta de superfície da barragem do Rio da Dona, foi possível organizar os parâmetros gradualmente por sequência de ano para análise de variação. Para as amostras de cloreto presentes na água do reservatório, tem-se os seguintes resultados apresentados na figura 2, elaborado pela autora em 2021.

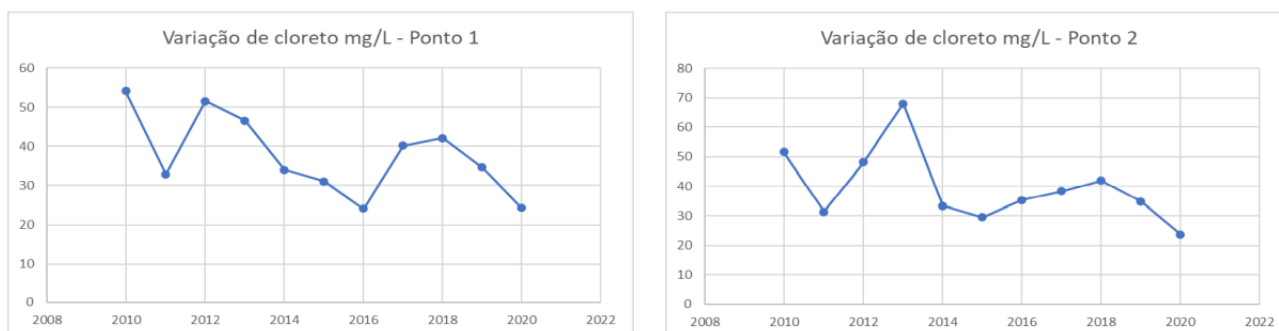


Figura 2. Gráfico da variação de cloreto das amostras no ponto 1 e 2.

De acordo com Helene (1993), a classe de agressividade para ambiente rural é classificada como I e o índice de cloretos aceitáveis devem ser menores que 200 mg/L. De acordo com os dados obtidos para os pontos 1 e 2, esse índice encontra-se abaixo do permitido, com tendência de queda.

Para o N. Amônia, tem-se os seguintes resultados, conforme apresentado na figura 3.

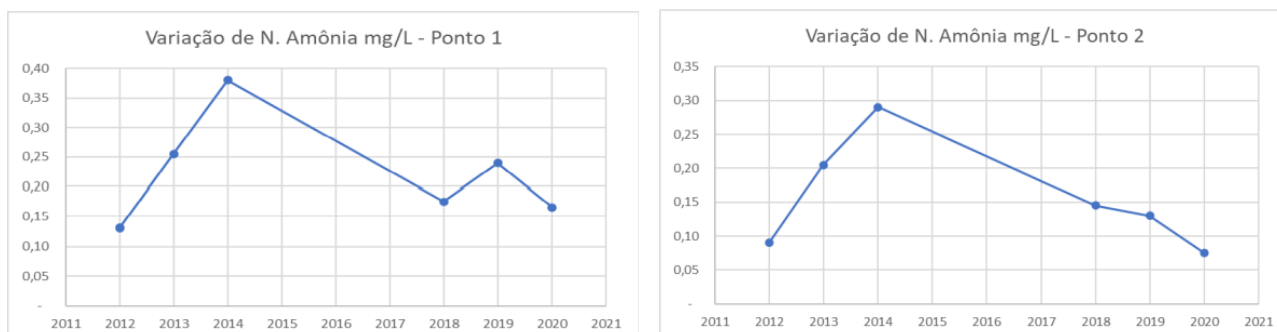


Figura 3. Gráfico da variação de N. amônia das amostras no ponto 1 e 2.

Segundo Silva Filho (1994), diversas normas afirmam que a concentração na faixa de 500 mg/L já são consideradas como agressivas. De acordo com o levantamento de dados acerca desse parâmetro, o mesmo encontra-se abaixo do valor estimado como agressivo e também apresenta tendência de queda. Para Sólidos Totais, tem-se os resultados apresentados na figura 4.

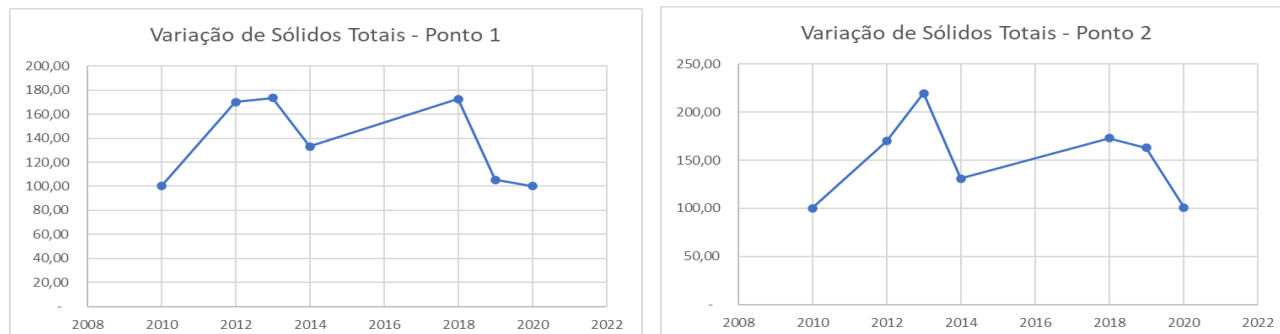


Figura 4. Gráfico da variação de Sólidos Totais das amostras no ponto 1 e 2.

Segundo Garcia (1999), a ocorrência da presença de sólidos dissolvidos totais deve ser limitada abaixo de 150 mg/L; acima desse valor já se considera como agressivo ao concreto, pois a influência dessas partículas tendem a fechar os poros capilares do cimento endurecido, contribuindo para o aumento da compacidade da massa e podendo não afetar propriedades mecânicas, mas sim, algumas propriedades físicas (ROMANO, 2004). Com a coleta dos dados, percebe-se que os valores encontram-se em alguns anos acima do estimado como ideal, mas a partir do ano de 2019 esse valor reduziu, ficando abaixo do limite estabelecido.

Abaixo, seguem dados coletados acerca da presença de sódio na água, conforme figura 5.

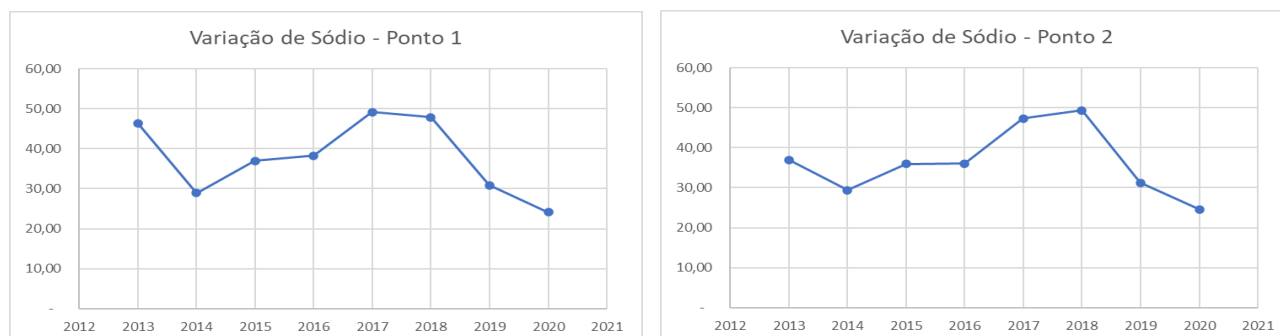


Figura 5. Gráfico da variação de Sódio das amostras no ponto 1 e 2.

De acordo com Metha e Monteiro (2008), a classe de agressividade da presença de sódio na água é acima de 1.500 mg/L, sendo considerada como severa. Em posse dos dados de coleta, percebe-se que a presença de sódio na água do reservatório é pequena em relação ao indicado.

A concessionária forneceu também dados acerca da presença de elementos na água como Ferro, Manganês, Zinco, Oxigênio Dissolvido, Arsênio, Bário e Alumínio, porém na literatura não foi encontrado parâmetros que pudessem dar subsídio a avaliação destes dados para essa pesquisa.

5 Considerações Finais

Com base nos resultados obtidos, foi possível perceber que mesmo com a falta de alguns dados relevantes para essa pesquisa (como pH, condutividade elétrica, presença de cálcio, entre outros), foi possível realizar uma breve análise das características da água encontrada no reservatório da barragem por um período de dez anos.

A presença de Cloreto, N. Amônia e Sódio se apresentaram com valores inferiores ao estabelecido como de alta agressividade. No entanto, o contato do barramento do concreto com a água ao longo do tempo sofre com degradações que devem ser monitoradas regularmente para garantia da integridade da estrutura.



A presença de Sólidos Totais dissolvidos apresentaram-se elevadas em certos períodos, embora houve uma redução nos últimos anos, ainda assim, deve ser também monitorada e realizada além das análises de água, as inspeções no corpo da barragem.

Em relação à redução da presença desses elementos na água durante esse período, pode estar atrelada ao fato da recuperação de mata ciliar que vem sendo desde 2007 ao entorno do reservatório, o que diminui o arraste de partículas do solo contendo rejeitos de animais, bem como presença de agroquímicos dos plantios próximos ao reservatório, tornando a água menos agressiva, sendo benéfico tanto para o abastecimento da população, quanto para a integridade do barramento de concreto.

Desta forma, a metodologia abordada no presente artigo visou contriuir com avaliações de processos de ataque químico nos barramentos de concreto. A deterioração no concreto não afeta apenas a beleza estética da estrutura, mas também é muito importante do ponto de vista da durabilidade. Apesar dos esforços conjuntos de cientistas e tecnólogos para resolver esse problema, a deterioração do concreto continua a existir em escala global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, M.. *Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras*. Tradução e adaptação: Carmona, A. e Helene, P. São Paulo, Ed. Pini, 1992, pag 104.
- Barros, Adriane Teixeira. *Caracterização físico-química e biológica da água e dos solos das margens do rio piancó*, PB. 2015. Tese - Universidade Federal de Campina Grande, [S. l.], 2015. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1026>. Acesso em: 20 fev. 2021.
- Cardia, R. J.; kupermann, S. *Curso de segurança de barragens: Módulo II - Inspeção e auscultação de barragens*. ICBA, [200-].
- Casanova, I.; Agulló, L.; Aguado, A. *Aggregate expansivity due to sulfide oxidation - II. Physico-Chemical Modeling of Sulfate attack*. Cement and concrete research, v.27, n.11, p.1627-1632, 1997.
- Corps Of Engineers - EM 1110-2-2006 – *Roller-Compacted Concrete*, 2000
- Embasa. Empresa Baiana de Águas e Saneamento. *Jornal da Embasa*. Disponível em http://www.embasa.ba.gov.br/images/documents/1154/edicao_193_jan2011.pdf. Acesso em: 24 de novembro de 2020.
- Facchinetti, Roberto. *Construção das barragens em CCR e os benefícios sócio-econômicos: cenário Bahia*. IBRACON, 200-].
- Fonseca, R.P. (Junho de 2007). *A estrutura do Instituto Central de Ciências: aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção*. Brasília, DF, Brasil.
- Gasparotto, Felipe Augusto. *Avaliação ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba-SP*. 2011. Dissertação (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2011.
- Goto, Hudson. *Tendência à oxidação de agregados com sulfetos e mudanças provocadas nas propriedades físicas de testemunhos de CCR*. Disertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2017.
- Helene, P. R. L. *Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado*. 1993. 271f. Tese (Livro Docência em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- Heller, L.; Pádua, V.L. (Ed.). *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte: UFMG, 2006.
- Macedo, J.A.B. *Introdução à química ambiental*. Juiz de Fora: CRQ-MG, 2006.
- Mehta, P. K., & MONTEIRO, P. M. (2008). *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. São Paulo, Brasil: IBRACON.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

- Merten, G.H.; Minella, J.P. *Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura*. Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Porto Alegre, v.3, n.4, 2002.
- Milani Filho, L. *O uso do concreto compactado a rolo em barragens – tendências futuras*. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2003.
- Pereira, H. W.B. *Identificação das condições gerais de conservação nos reservatórios integrantes do sistema de abastecimento de água de Natal*. Disponível em: http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/14857/1/HazenWBP_DISSE_RT.pdf. Acesso em: 30 de set de 2019.
- Prodanov, C.C.; De Freitas, E. C. *Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico*. 2a edição. Editora Universidade Feevale. Rio Grande do Sul, 2013.
- Romano, Cezar Augusto. *Apostila de tecnologia de concreto*. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. 2004
- Santi, Maria Raquel de Andrade. *Metodologia para avaliação da perda de massa em barragem de concreto compactado com rolo (CCR)*. Dissertação de Mestrado em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR, 2018.
- Santos, C. F dos. *Patologia de estruturas de concreto armado*. Universidade Federal de Santa Maria, 2014. Santa Maria/RS.
- Silva Filho, Luiz Carlos Pinto da. *Durabilidade do concreto à ação de sulfatos: análise do efeito da permeação de água e da adição de microssilica*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.
- Skalny, J.; Marchand, J.; ODLER, I. *Sulfate Attack on Concrete*. 2º Ed. Spon Press, London, 2002.
- Souza, Maria Eugênia Tavares Abreu de. *Proposição de um índice de qualidade da água bruta afluente a estações convencionais de tratamento de água*. 2008. 117 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2008.
- Traboulsi, M.A. *Análise do comportamento de juntas de CCR com alto teor de finos*. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.
- Unep (United Nations Environment Programme). *Stockholm Convention*. 2009. Protection human health and the environment from persistent organic pollutants.
- Viana, R.M. (2002). *Grandes Barragens, impactos e reparações: Um estudo de caso sobre a barragem de Itá*. Dissertação de mestrado. Mestrado em Planejamento Urbano e Regional. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional. Rio de Janeiro-RJ.
- Von Sperling, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. v. 1, 3 ed. 452 p.