

## **Ocorrência de lixiviação no concreto das galerias da UHE de Tucuruí - Pará**

### **Occurrence of leaching in the concrete of the galleries of the Tucuruí HPP – Pará**

DOI:10.34117/bjdv8n4-274

Recebimento dos originais: 21/02/2022

Aceitação para publicação: 31/03/2022

#### **Mateus Gonçalves de Oliveira**

Mestrado em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético  
Instituição: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA)  
Endereço: Rua Geraldo Ramalho S/N, Centro, Santana do Araguaia - PA  
CEP: 68560-000  
E-mail: mateus.oliveira@unifesspa.edu.br

#### **Diego Lucena de Sousa**

Mestrado em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético  
Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA)  
Endereço: Rodovia BR 422 km 13 – Canteiro de Obras UHE – Vila Permanente  
Tucuruí - PA. CEP: 68464-000  
E-mail: diego3mf@hotmail.com

#### **Marcelo Rassy Teixeira**

Doutorado em Engenharia de Estruturas  
Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA)  
Endereço: Rua Augusto Corrêa, 01, Prédio Itec, 2º andar, sala 233 – Guamá, Belém  
PA, CEP: 66075-110  
E-mail: mrt@ufpa.br

#### **Milleno Ramos de Souza**

Mestrando em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético  
Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA)  
Endereço: Rodovia BR 422 km 13 – Canteiro de Obras UHE – Vila Permanente  
Tucuruí – PA, CEP: 68464-000  
E-mail: millenoramos@gmail.com

#### **Fernanda dos Santos Sousa**

Mestranda em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético  
Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA)  
Endereço: Rodovia BR 422 km 13 – Canteiro de Obras UHE – Vila Permanente  
Tucuruí – PA, CEP: 68464-000  
E-mail: fernanda.santosousa@gmail.com

## RESUMO

A durabilidade das estruturas de concreto é dependente do atendimento de uma série de requisitos de projeto, execução e manutenção. Assim, a necessidade de realizar periodicamente a inspeção em estruturas, seja de maneira visual e/ou com a utilização de instrumentação, é de fundamental importância para se prever e conter patologias que venham surgir no decorrer de sua vida útil. Desta forma, o setor de manutenção civil da Usina Hidroelétrica de Tucuruí, localizado no estado do Pará, é o responsável por realizar tais inspeções, e diante da grande pressão hidrostática sobre o barramento que se fez no Rio Tocantins para a construção da UHE-Usina Hidrelétrica de Tucuruí, nota-se o surgimento de manifestações patológicas, dentre elas, o aparecimento de estalactites e estalagmites, decorrentes da lixiviação ocorrentes nas paredes de concreto armado do barramento, algo que vem sendo constatado nas galerias do mesmo. Porém, é algo que não preocupa a estabilidade da estrutura, visto que tal manifestação, por si só, pelo processo de colmatação, impede a continuidade do processo de lixiviação por meio da vedação, devido ao acúmulo de material na superfície da estrutura.

**Palavras-chave:** lixiviação, colmatação, estalactites, estalagmites.

## ABSTRACT

The durability of concrete structures is dependent on meeting a series of requirements for design, execution and maintenance. Thus, the need to periodically carry out the inspection of structures, either visually and / or with the use of instrumentation, is of fundamental importance to predict and contain pathologies that may arise during their useful life. Thus, the civil maintenance sector of the Tucuruí Hydroelectric Power Plant, in the state of Pará, is responsible for carrying out such inspections, and given the great hydrostatic pressure on the dam that was made in the Tocantins River for the construction of the HPP, it is noted the appearance of pathological manifestations, among them, the appearance of stalactites and stalagmites, resulting from the leaching occurring in the reinforced concrete walls of the bus, something that has been observed in the galleries of the same. However, it is something that does not concern the stability of the structure, since such manifestation, by itself, through the clogging process, prevents the continuation of the leaching process through the seal, due to the accumulation of material on the surface of the structure.

**Keywords:** leaching, bridging, stalactites, stalagmites.

## 1 INTRODUÇÃO

Os problemas patológicos estão presentes na maioria das estruturas, seja com maior ou menor intensidade, variando o período de aparição e/ou a forma de manifestação.

Desta forma, na construção civil, a lixiviação é um processo patológico que ocorre nas estruturas de concreto, devido à infiltração de água, que dissolve e transporta cristais de hidróxidos de cálcio e magnésio, podendo formar depósitos de sais conhecido como eflorescência. Sendo que estas podem se manifestar nas superfícies de concretos, argamassas, tijolos, pedras e outros materiais porosos.

Assim, este trabalho tem como objetivo realizar um breve estudo das ocorrências dessas manifestações patológicas dentro das galerias da UHE – Tucuruí-Pará. E por meio de embasamento em trabalhos científicos sobre o assunto, foram avaliadas às ocorrências dessas manifestações patológicas na referida hidrelétrica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Carmo (2000), a patologia na construção entende-se, assim como à Ciência Médica, o ramo da engenharia que versa sobre o estudo das origens, os sintomas, formas de manifestação e causas de defeitos ou doenças podem ocorrer nas edificações.

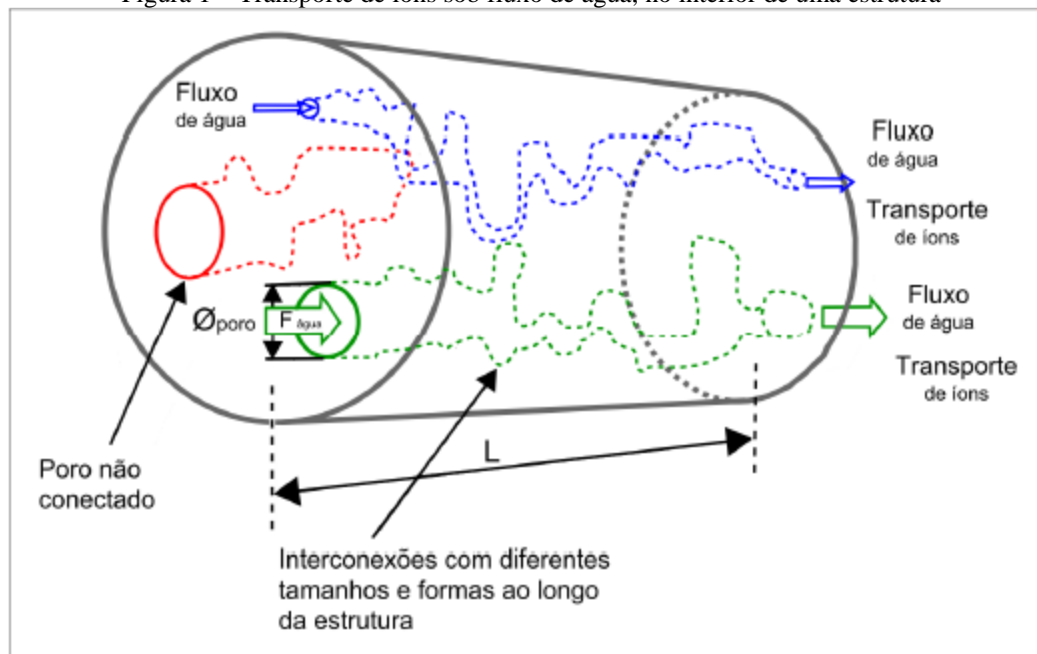
Logo, a vida útil de uma estrutura dependerá e será relacionada aos cuidados que forem tomados na fase de projeto, execução e na sua manutenção. Além disso, esta estrutura estará submetida à ação de diversos agentes agressivos como calor, umidade, ação de ventos e sobrecargas que irão, com o passar do tempo, produzir sua fadiga e aparecimento de problemas em seus elementos construtivos (COSTA, MAIA e BARBOSA, 2017).

De acordo com Lapa (2008), para que uma enfermidade seja perfeita e completamente entendida (diagnosticada), é necessário que se conheça suas formas de manifestação (sintomas), os processos de surgimento (mecanismos), os agentes desencadeadores desses processos (causas) e em que etapa da vida da estrutura foi criada a predisposição a esses agentes (origens).

Portanto, em cada um dos principais casos de deterioração das estruturas de concreto, a água está implicada no mecanismo de expansão e fissuração e como veículo de difusão de agentes agressivos. No caso da lixiviação do concreto, ocorre a dissolução e o arraste do hidróxido de cálcio  $[Ca(OH)_2]$  da massa endurecida, pela ação do fluxo contínuo da água através da estrutura do material (REIS, 2001).

O conceito de transporte de íons dissolvidos corresponde ao ilustrado na Figura 1 (Ekström, 2001). Isto ocorre, por exemplo, ao longo do corpo de uma barragem, sob fluxo e pressão de água, em região cujo concreto apresenta alta permeabilidade (JUNIOR, 2019).

Figura 1 – Transporte de íons sob fluxo de água, no interior de uma estrutura



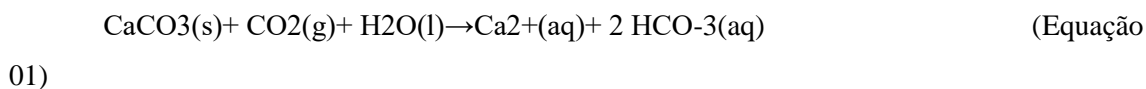
Fonte: Ekström (2001)

Conforme Helene (2003), o processo de lixiviação se dá por ação de águas puras, carbônicas agressivas e ácidas que dissolvem e carregam os compostos hidratados da pasta de cimento. A sintomatologia básica é uma superfície arenosa ou com agregados expostos sem a pasta superficial, com eflorescências de carbonato, com elevada retenção de fuligem e com risco de desenvolvimento de fungos e bactérias. Como consequência observa-se também uma redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais do concreto do componente estrutural com risco de despassivação da armadura.

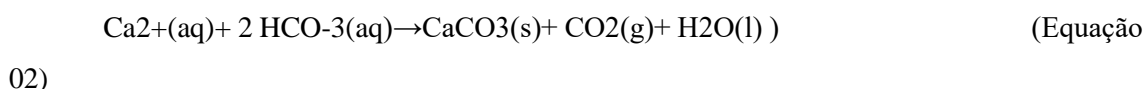
Mediante a isto, o potencial hidrogeniônico (PH) do concreto é diminuído, dando lugar à decomposição de outros hidratos, aumentando sua porosidade e facilitando a desintegração (SOUZA & RIPPER, 1998). Então, surgem como resultado da lixiviação as formações do tipo estalactites e estalagmites.

Assim, a formação das estalactites, que ficam no teto das cavernas, ou das estalagmites, que se elevam do chão das cavernas como consequência dos pingos de água que caem no mesmo lugar, regenera o carbonato de cálcio. A água no teto ou no chão se evapora, porém o carbonato de cálcio não, originando as estalactites e as estalagmites (CRUZ & PILÓ, 2019).

Desta forma, a formação de estalactites e estalagmites ocorrem quando as águas subterrâneas passam por terrenos contendo calcário, ocorre a dissolução do carbonato de sódio, conforme pode ser representado pela seguinte Equação 01:



Com isso, a água vai evaporando e também há a liberação do  $\text{CO}_2(\text{g})$ , e o carbonato vai se depositando na forma de estalactites no teto, conforme Equação 02.



### 3 METODOLOGIA

O estudo foi realizado por meio de inspeções visuais na estruturas das galerias da Usina Hidrelétrica de Tucuruí-UHE, conforme figura 2, que está localizada na cidade de Tucuruí, sudeste do estado do Pará. Logo, tal hidrelétrica é um barramento sobre o rio Tocantins, contruída em parte por meio de uma estrutura de concreto armado, onde há a geração de energia, e a continuidade do referido barramento foi realizado por uma estrutura chamada de terra e rocha.

Figura 2 – Transporte de íons sob fluxo de água, no interior de uma estrutura



Fonte: Eletrobras/Eletronorte (2020)

### 4 RESULTADOS

Como houve o barramento do rio Tocantins, formou-se um lago a montante da hidrelétrica, chegando a uma cota de 74 m, ocasionando uma grande pressão hidrostática

sobre o mesmo, o que gerou o processo de lixiviação em certos pontos da estrutura, provocando a formação de estalactites e estalagmites, como pode-se observar em imagens adquiridas em vistorias durante avaliação visual, conforme figura 3.

Figura 3 - Formação de estalactite – UHE-Tucuruí



Fonte: Eletrobras/Eletronorte (2016)

Com isso, as gotas que vão caindo no piso também possuem um pouco de carbonato dissolvido. Com isso, logo são formadas também as estalagmites no chão das cavernas. A figura 3 evidencia a formação de estalactite e a figura 4 a formação de estalagmite na UHE-Tucuruí.

Figura 4 - Formação de estalagmites – UHE-Tucuruí



Fonte: Eletrobras/Eletronorte (2016)

Portanto, as manifestações patológicas são os principais indícios de que o surgimento de algo poderá estar errado. Assim, por meio de uma avaliação visual, pode-se aferir tal ocorrência e diagnosticar os principais fatores que estarão contribuindo para o surgimento de patologias quaisquer, como demonstrado na figura 5.

Figura 5 – Fatores necessários para a ocorrência da eflorescência



Fonte: Cruz e Piló (2019)

- Agentes Causadores da Eflorescência:

- a) O teor de sais solúveis presentes nos materiais ou componentes;
- b) Infiltração de água;
- c) Presença forte de humidade (por ascensão capilar ou por infiltração).

- Efeitos

- a) Altera a aparência do elemento;
- b) Redução da resistência mecânica do material;
- c) Abre caminho para a entrada de gases e líquidos agressivos à armadura e ao próprio concreto;
- d) Favorece a ocorrência da carbonatação;
- e) Corrosão da armadura.

Com este estudo foi possível analisar e verificar possíveis formas de tratamento para se evitar possíveis danos às estruturas devido ao surgimento destas manistrações patológicas (estalactites e estalagmites), tais como:

- a) Corrigir eventuais entradas de água;
- b) Remoção dos sais existentes na superfície, por recurso a uma escova;
- c) Se necessário, proceder à aplicação de uma pintura impermeabilizante;
- d) Garantir arejamento/ventilação dos espaços interiores afetados.

## 5 DISCUSSÕES

Este estudo veio levantar discussão sobre a importância a avaliação visual em estruturas de concreto armado, bem como buscar soluções para possíveis patologias que possam surgir ao longo de sua utilização. Assim, por meio de estudos realizados, pôde-se verificar que devido a porosidade do concreto, manifestações patológicas ficam aparentes a olho nu, como por exemplo, as formações estalactites e estalagmites decorrentes da lixiviação.

Logo, não diferente de outras estruturas sob pressão hidrostática, a UHE-Tucuruí apresenta o surgimento de estalactites e estalagmites, e por meio de vistorias periódicas e análises sobre as respectivas manifestações pode-se aferir que as mesmas não apresentam ameaça sobre a segurança estrutural e podendo-se ainda aferir que pelo fenômeno da comatação, por si só muitas delas passam a apresentar o fechamento da via de lixiviação.

## 6 CONCLUSÕES

O concreto durante sua vida útil está sujeito a muitas impurezas que são adicionadas na superfície do mesmo, devendo-se, portanto, ter o máximo de cuidado no momento de produzir e acomodar esse concreto em uma forma estrutural, visando garantir a durabilidade do mesmo, sem a necessidade de um futuro reforço estrutural.

A prevenção, manutenção e correção das anomalias resultantes são processos com elevada complexidade, cujos resultados nem sempre são eficientes. Por isso, salienta-se a importância da realização de diagnósticos corretos das situações, para evitar o insucesso das medidas adotadas.



## REFERÊNCIAS

COSTA, Naiara G., MAIA, David Alan S., BARBOSA, Anderson H. **Identificação de patologias em reservatórios de concreto armado em Juazeiro/BA.** CONPAR, 2017.

CARMO, P. I. O. **Gerenciamento de edificações: proposta de metodologia para o estabelecimento de um sistema de manutenção de estruturas de concreto armado.** 2000. Dissertação (Mestrado em Patologia das Construções) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria.

CRUZ, Jocy Brandão.; PILÓ, Luís B. **Espeleologia e Licenciamento Ambiental.** Brasília, 2019.

HELENE, Paulo. **A nova NB 1/2003 (nbr 6118) e a vida útil das estruturas de concreto.** IBRACON, São Paulo, 2003.

JUNIOR, Cláudio Neumann. **Avaliação do processo de lixiviação em concreto massa o caso de Itaipu Binacional.** Dissertação de Mestrado, Universidade da Integração Latino-Americana, 108 p.; Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil; 2019.

LAPA, José Silva. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto.** Monografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 54 p.; Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil; 2008.

SOUZA, V. C.; Ripper, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1998. 255 p.

REIS, Lília S. N. (2001). **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado.**