



ÁGATHA JULIE DIAS FARIAS

**PATOLOGIAS EM RESERVATÓRIOS DE ÁGUA COM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: MANUTENÇÃO,
TRATAMENTO, RECUPERAÇÃO E REFORÇO**

SÃO PAULO
2018

ÁGATHA JULIE DIAS FARIAS

**PATOLOGIAS EM RESERVATÓRIOS DE ÁGUA COM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: MANUTENÇÃO,
TRATAMENTO, RECUPERAÇÃO E REFORÇO**

Projeto apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Instituição Centro Universitário Anhanguera de São Paulo.

Orientadora: Karla Teodoro

SÃO PAULO
2018

AGATHA JULIE DIAS FARIAS

**PATOLOGIAS EM RESERVATÓRIOS DE ÁGUA COM ESTRUTURAS
DE CONCRETO ARMADO: MANUTENÇÃO, TRATAMENTO,
RECUPERAÇÃO E REFORÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro Universitário Anhanguera de São
Paulo, como requisito parcial para a obtenção do
título de graduado em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^º Mestre Renato Nogueiro Lobo

Prof.^ª Especialista Lilliany Deo Florencio

Prof.^ª Especialista Lúcia Aparecida Lotito

São Paulo, 12 de dezembro de 2018.

Dedico este trabalho a Deus e aos
familiares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força e coragem para não desistir dos meus sonhos e permitir que tudo isso se concretizasse.

Aos meus familiares que desde o início incentivaram a minha vinda do Nordeste em busca de uma vida melhor através dos estudos e me apoiaram nessa jornada acadêmica.

Aos amigos que conquistei na universidade e que me fizeram compreender o significado de companheirismo e respeito, e que deixaram este percurso mais leve e harmonioso.

Aos professores que se comprometeram com o aprendizado e me proporcionaram não só o conhecimento como também o senso crítico.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente com a realização desta etapa da minha formação, meus sinceros agradecimentos.

FARIAS, Agatha Julie Dias. **Patologias em reservatórios de água com estruturas de concreto armado:** Manutenção, tratamento, recuperação e reforço. 2018. Número total de folhas 45. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Anhanguera de São Paulo, São Paulo, 2018.

RESUMO

A obra refere-se às manifestações patológicas procedentes em reservatórios de água em concreto armado e as técnicas apropriadas para manutenção, tratamento, recuperação e reforço dessas estruturas a fim de mitigar o surgimento de anomalias como as fissuras, a percolação, a corrosão e os descolamentos. Trata-se de patologias que requerem atenção e cuidados adequados. Ressalta ainda que se trata de uma estrutura de grande relevância para a sociedade. Para tanto foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema reunindo um rico acervo técnico-científico datado de 1968 a 2018 escrito por autores de renome. Desse modo foram definidas as principais causas e falhas que originam as patologias, destacando as medidas preventivas e os tratamentos devidos como o uso de impermeabilizações e injeção de fissuras. Constatou-se ainda que elas estão associadas a falta de controle tecnológico do concreto, dimensionamento errôneo, falta de fiscalização, falha no detalhamento de projeto, uso de materiais de baixa qualidade, mão-de-obra desqualificada e uso inadequado da estrutura, bem como a falta de manutenção. Por tanto a fase do projeto na qual uma patologia irromper, determina o custo e implicará na obra o grau de comprometimento da segurança estrutural.

Palavras-chave: Reservatório; Patologias; Tratamento; Concreto armado.

FARIAS, Agatha Julie Dias. **Pathologies in water reservoirs with reinforced concrete structures:** Maintenance, treatment, recovery and reinforcement. 2018. Número total de folhas 45. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Anhanguera de São Paulo, São Paulo, 2018.

ABSTRACT

The work refers to the pathological manifestations coming from reservoirs of water in reinforced concrete and the appropriate techniques for maintenance, treatment, recovery and reinforcement of these structures in order to mitigate the appearance of anomalies such as cracks, percolation, corrosion and detachments. These are pathologies that require attention and proper care. It also emphasizes that it is a structure of great relevance to society. For this, a bibliographic review was carried out on the subject, bringing together a rich technical-scientific collection from 1968 to 2018 written by renowned authors. In this way the main causes and failures that originate the pathologies were defined, highlighting the preventive measures and treatments due such as the use of waterproofing and injection of fissures. It was also found that they are associated with a lack of technological control of the concrete, erroneous design, lack of inspection, failure to detail the project, use of low quality materials, disqualified labor and inadequate use of the structure, as well as the lack of maintenance. Therefore, the phase of the project in which a pathology breaks, determines the cost and will imply in the work the degree of commitment of the structural security.

Keywords: Reservoir; Pathologies; Treatment; Reinforced concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipo de reservatórios	16
Figura 2 – Tensões devido a retração nas paredes de um reservatório	19
Figura 3 – Fissuras por retração impedida	20
Figura 4 – Fissuras por recalques	21
Figura 5 – Carbonatação	22
Figura 6 – Fuga da nata de cimento	24
Figura 7 – Falha na colocação das formas e fuga da nata	24
Figura 8 – Alta permeabilidade do concreto	25
Figura 9 – Fluxograma das etapas da diagnose	30
Figura 10 – Perfuração do concerto danificado	33
Figura 11 – Aplicação da resina	34
Figura 12 – Tratamento de fissuras	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Causas extrínsecas e agentes	26
Quadro 2 – Causas intrínsecas e agentes	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
NBR 6118	Estruturas de concreto armado – Procedimento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. ORIGEM, SINTOMA E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS	15
2.1. TIPOS DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA.....	15
2.1.1. Patologias em reservatórios elevados e não elevados	17
2.2. PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM RESERVATÓRIOS	17
2.2.1. Corrosão da armadura	18
2.2.2. Trincas e fissuras	19
2.2.3. Carbonatação e eflorescências	22
2.2.4. Desagregação e perda de aderência	22
2.3. OUTRAS CAUSAS DE TRAUMAS NAS ESTRUTURAS.....	23
2.3.1. Falhas mais comuns na execução de reservatórios.....	24
3. AGENTES PATOLÓGICOS E DIAGNOSE	26
4. TRATAMENTOS PATOLÓGICOS	31
4.1. TRATAMENTO DE FISSURAS.....	31
4.1.1. Injeção de fissuras	32
4.1.2. Selagem de fissuras	34
4.1.3. Costura de fissuras	35
4.2. TRATAMENTO DE CARBONATAÇÃO, CORROSÃO E ATAQUE DE CLORETOS: REFORÇO, CORTE E ANCORAGEM DE BARRAS	36
4.3. IMPERMEABILIZAÇÃO DE RESERVATÓRIOS	37
4.3.1. Impermeabilização de reservatórios enterrados.....	37
4.3.2. Impermeabilização de reservatórios elevados	38
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

No que tange a engenharia pode-se definir patologia das construções como a ciência que investiga as manifestações de anomalias como lesões, danos, defeitos e falhas que possam vir a ocorrer em uma construção, podendo avaliar e determinar causas, origens e tratamentos; quer seja para solucionar ou evitar que surjam. Em vista disso é comum que as patologias se apresentem através de eflorescências, fissuras, manchas e deformações, esses sinais são conhecidos como sintomas.

Por muito tempo as construções em concreto armado no país foram regidas por documentos e normas que tratavam das fases de projeto e execução, numa ótica voltada para o desempenho, estabilidade e resistência mecânica. Tudo isso com o intuito de desenvolver estruturas em condições de suportar carregamentos e alcançar durabilidade na vida útil com segurança e conforto. No entanto as estruturas não estão sujeitas apenas a vícios e falhas nas fases de projeto e execução, mas também na manutenção, isto é, a falta ou má realização desta etapa pode ser crucial no surgimento de patologias.

Vale ressaltar que o tipo de material utilizado em uma construção, o ambiente em que está exposto e sua agressividade, bem como as fases de elaboração, execução e acompanhamento da obra está diretamente relacionado à patologia que irromper no local. Em vista disso, o concreto armado que é o material mais empregado no Brasil, sofre de ataques provenientes de fatores externos, físicos e químicos que reduzem sua durabilidade e resistência estrutural, sendo a água um agente causador de várias anomalias. Nesse sentido é um grande desafio para a engenharia encontrar um equilíbrio entre a construção de estruturas em contato permanente com a água e que se mantenham estáveis e mitigando os traumas. É por isso que se faz necessário estudar as patologias em reservatórios de concreto armado, pois além de possuírem essas características são de grande importância para a sociedade em suas atividades econômicas e sociais.

Os reservatórios de concreto armado são estruturas que armazenam grandes volumes de água e suportam cargas de peso próprio e empuxos, por essa razão cabe perguntar como evitar e tratar a manifestação de patologias oriundas dessas solicitações e dos agentes internos e externos? Nesta ótica este trabalho de pesquisa terá como objetivo geral apontar as origens, sintomas e causas das diferentes patologias e, como objetivos específicos entender quais são os agentes que implicam

no surgimento dessas anomalias, além de levantar meios de prevenção, tratamento e reparo ao detectar diferentes patologias em reservatórios de água feitos em concreto armado.

É imprescindível ressaltar que o tratamento de estruturas só é realizado após diagnosticada a fonte do problema. Partindo dessa lógica é importante que o profissional conheça as principais patologias desses sistemas, realize visitas à obra, conheça sua história e as fases de construção. Muitas falhas estão relacionadas a erros na execução e no uso de materiais inadequados ou de baixa qualidade e quando se refere a tanques e reservatórios é sempre bom lembrar que embora o projeto esteja perfeitamente elaborado mas se a construção for realizada por mão-de-obra sem especialização, as falhas no processo construtivo da estrutura ocorrerão. Acresce ainda que a qualidade de uma estrutura também está ligada ao uso e as manutenções, estas devem ser preventivas antes que corretivas garantindo a integridade e durabilidade da obra.

Para tanto, a presente pesquisa utilizou-se da metodologia de revisão de literatura por meio de pesquisa bibliográfica, documentos científicos publicados entre 1968 a 2018 por diversos autores como Souza e Ripper (1968), Cánovas (1988), Cremonini (1988), Silveira (2006) e Gonçalves (2008) em livros e teses, além de artigos em revistas eletrônicas como o escrito por Mariane (2014) à revista PINI. Os autores com maior número de documentos nesse tema são os pioneiros Souza e Ripper (1968) tendo grande destaque o livro *Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto*. Em suma, este trabalho teve o intuito de estudar patologias em reservatórios a fim de prover resultados qualitativos e descritivos que possibilitem identificar tratamentos às patologias, ao mesmo tempo que este documento servirá de mecanismo norteador para apontar diagnósticos, soluções viáveis assim como a prevenção de acidentes.

2. ORIGEM, SINTOMA E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS

Segundo Souza e Ripper (1968) a origem de uma patologia em estruturas de concreto armado está relacionada a fatores internos e externos. As causas internas dizem respeito a reações físico-químicas que ocorrem na composição do material e sua exposição a contaminantes. Já os fatores externos estão relacionados ao ambiente na qual a estrutura está inserida, por exemplo o clima, a hidrologia, geografia e agentes biológicos inerentes. Todavia, há um agente determinante que pode desencadear todas as outras problemáticas que são as falhas humanas providas da falta de qualificação.

Ao originarem, as patologias se manifestam por meio de mudanças nas características e dimensões da estrutura, muitas vezes visíveis a olho nu, como é o caso das deformações, do aparecimento de machas e cores, dos descolamentos e da perda de estabilidade, acarretando diversos problemas e danos que podem comprometer a estrutura (SOUZA; RIPPER, 1968).

Embora se tenha conhecimento de que algumas patologias são comuns, é importante compreender quando essas falhas são aceitáveis e quando elas trarão risco à segurança dos usuários. É por conta disso que se faz necessário um vasto estudo sobre o tipo de estrutura a ser edificada, um conhecimento do ambiente em que será realizada a construção, a contratação de uma equipe técnica treinada e o uso de materiais de qualidade; isso tudo atrelado à fiscalização das fases construtivas, com a elaboração de manuais de utilização e manutenções periódicas que farão possível mitigar o surgimento de patologias (SOUZA; RIPPER, 1968).

2.1. TIPOS DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA

A relação entre a humanidade e o uso da água sempre foi movida por grandes avanços da engenharia. Isso porque a vida inexistiria sem este solvente, desse modo o homem aprendeu a encontrar, tratar, reservar e distribuir o potencial hídrico necessário para suas atividades cotidianas.

Em vista disso surgiram os reservatórios, importantes sistemas hidráulicos de acumulação e passagem de água que, são situados em pontos estratégicos de uma rede de abastecimento que fornecem água com pressão e vazão ideal. Os primeiros

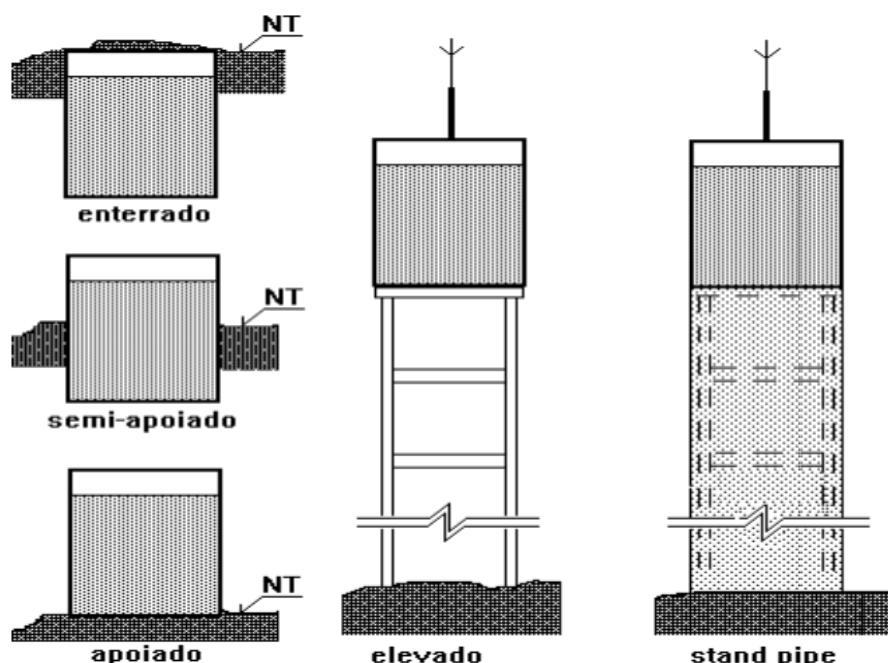
reservatórios datados surgiram na Grécia em rocha há 25 séculos a.C e no Brasil em 1880 no Rio de Janeiro com uma capacidade de 80 milhões de litros (TORRES; SILVA; PALIGA, 2016).

Atualmente os materiais empregados na construção de tanques são diversos como aço, madeira, tijolos, fibra de vidro e mais comumente o concreto armado. Todavia vale ressaltar que a escolha do material é intrínseca as condições do local, a disponibilidade de mão-de-obra, recurso financeiro e material. A partir da escolha do material é feito o cálculo estrutural, onde o reservatório pode ser construído em seção transversal retangular, circular ou trapezoidal (GONÇALVES, 2008).

A forma mais econômica e mais resistente às patologias ligadas a fissurações são os reservatórios em formato circular por não haver inúmeras juntas, todavia os que possuem menor complexidade são os de formato retangular. Vale ressaltar ainda que para Gonçalves (2008) a economia está mais ligada a relação entre as dimensões de largura e comprimento do que em seu formato propriamente dito.

É importante ressaltar ainda que os reservatórios são classificados de acordo com sua posição com relação ao terreno e à rede de distribuição. Com relação ao terreno eles podem ser enterrados, semienterrados, apoiados e elevados, conforme apresentado na figura 1.

Figura 1- Tipo de reservatórios



Fonte: Gonçalves (2008)

Como pode ser visto na figura 1 os reservatórios enterrados são aqueles construídos abaixo do nível superficial do terreno. Este modelo de reservatório está sujeito a duas pressões, a exercida pelo solo e a pressão hidrostática da água interna ao corpo. Outra condição que pode estar sujeito é a pressão hidráulica em solos com nível freático elevado (GONÇALVES, 2008).

Para Gonçalves (2008) os reservatórios semi-apoiados possuem apenas uma parte enterrada, são os mais utilizados por favorecerem uma boa posição para distribuição, já os reservatórios apoiados são construídos sobre o solo. Os modelos enterrados e semienterrados possibilitam deixar a água mais fresca e permitem fixar a estrutura em camadas mais ríjas do solo, enquanto o modelo apoiado não possui essa flexibilidade. Contudo deve-se avaliar o custo com escavação e a escolha de cada tipo depende da finalidade de utilização.

Por último, os reservatórios elevados que como o próprio nome sugere estão a uma altura considerável com relação ao solo. São sustentados por vigas e pilares ou em stand pipe com a estrutura embutida como representa a figura 1. Neste modelo de fornecimento de água a gravidade permite o abastecimento direto e a estrutura está sujeita a maiores pressões devido à altura (GONÇALVES, 2008).

2.1.1. Patologias em reservatórios elevados e não elevados

As patologias ocorrem devido a agentes químicos, físicos e biológicos. É por isso que devido as condições em que a estrutura se encontra alguns traumas são mais comuns que outros. Os reservatórios não elevados estão sujeitos a infiltrações, fissuração, trincas, carbonatação que deteriora o concreto, bolor e corrosão das armaduras, isso oriundo das condições mineralógicas do solo ou pressões. Enquanto isso os reservatórios elevados podem sofrer com falhas estruturais nas vigas e pilares, escorregamentos laterais causando instabilidade, além das demais patologias citadas em reservatórios não elevados (GONÇALVES, 2008).

2.2. PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM RESERVATÓRIOS

É comum se deparar com obras de concreto armado que apresentem sinais de desgaste ao longo do tempo, isso porque o material não inerte e seus componentes sofrem diretamente com ações externas, como o ataque de sulfatos, movimentações

e retração térmica e hidráulica. Em respostas a essas ações surgem eflorescências, criptoflorescência, carbonatação, aparecimento de micro-organismos, algas, marcas de corrosão da ferragem, descolamento de revestimentos e fissuras, sinais que alertam agressões na estrutura e que necessitam de intervenção (GONÇALVES, 2008).

2.2.1. Corrosão da armadura

Muitas patologias coexistem e estão intimamente relacionadas, como é o caso da corrosão que acontece devido às fissurações e carbonatações. A corrosão é uma das patologias mais comuns, todavia uma das mais graves se não controlada. Segundo Helene (1986) aput Polito (2006), corrosão é um produto resultante de uma reação química e/ou eletroquímica, entre um material e o meio no qual este estava exposto. Em outras palavras para Gentil (2003) a corrosão é proveniente da oxidação do metal presente na estrutura que ficou expostos à ação da água e do oxigênio, gerando a ferrugem.

São as armaduras que permitem a estrutura resistir a esforços de tração, fazendo do concreto armado um material resistente e moldável. Para Agra et al. (2016) quando uma estrutura é concretada o aço é protegido por uma camada passivadora (Fe_2O_3), isto é, uma fina película que forma uma barreira física que impede de perder ou modificar suas características, evitando assim o processo de corrosão (COSTA; MAIA; BARBOSA, 2017).

Entretanto, quando o pH da estrutura fica inferior a 11,5 ou com presença de íons de cloreto a armadura fica despassiva e iniciasse o processo de corrosão, como sugere Gentil (2003) ocorre a reação eletroquímica e a produção de ferrugem e como consequência disso o ferro se expande ao formar óxidos, fazendo com que o concreto invólucro se solte deixando a ferragem ainda mais exposta (COSTA; MAIA; BARBOSA, 2017).

2.2.2. Trincas e fissuras

Toda estrutura está sujeita a movimentações, desde a cura do concreto até quando está em uso. Isso ocorre porque as estruturas estão sujeitas a várias ações como adensamento ou recalque do solo, quedas e elevações de temperatura, reações expansivas e carregamentos.

Em vista disso as trincas são visivelmente identificadas em uma estrutura de concreto armado e são provenientes da coação, fluxo de calor e retração. A coação normalmente ocorre no momento da concretagem pois, como as lajes são feitas em etapas (de baixo para cima), as partes que já curaram em contato com uma parede fresca formam juntas de dilatação e por conta disso cada parte se comporta de uma maneira gerando tensões que são aliviadas através de trincas (SILVEIRA, 2006).

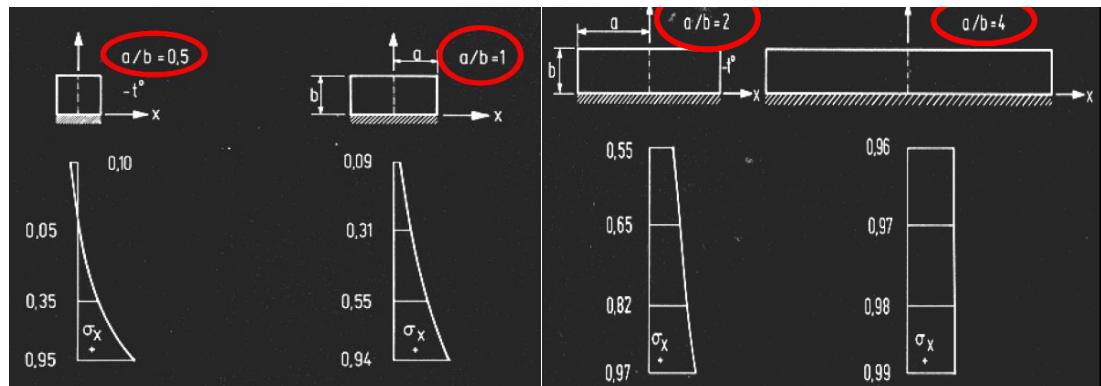
A coação pode ser interna ou externa, neste último caso está relacionada aos efeitos entre a concretagem da laje de fundo e as paredes laterais. Já a coação interna está vinculada à relação entre os agregados, a pasta de cimento e a armadura utilizada. A escolha inadequada dos agregados pode causar bicheiras ou elevar o número de vazios e isso influenciará diretamente no cobrimento da armadura, que deve ter a condição mínima como dispõe a NBR 6118 (Norma Brasileira NBR 6118:2003 – Projetos de concreto Armado – Procedimentos). Entretanto, se a pasta for adequada, mas a armadura má dimensionada haverá falhas no suporte de cargas e tensões gerando a coação interna (SILVEIRA, 2006).

Outra causa de fissuração são os fluxos de calor que ocorre entre camadas do concreto, ou seja, é a diferença térmica entre a camada interior e a superfície de uma parede. Desse modo comprehende-se que o fluxo de calor está relacionado à retração térmica, ao calor de hidratação do concreto e também com a diferença entre a temperatura do corpo e o ambiente, e é por conta dessa desconformidade que surgem as trincas.

Existe ainda as fissurações provenientes das retrações plásticas, autógenas e hidráulicas que a estrutura é submetida como mostram as imagens 2 e 3. A retração plástica ocorre quando o concreto ainda está fresco até iniciar a pega, já a retração autógena acontece quando o concreto não troca umidade com o ar, não há perda ou ganho, entretanto, o concreto estando vedado seu volume não reduz e causa as fissuras. E por fim a retração hidráulica que diz respeito a perda de água para o ar

depois do endurecimento, enquanto a térmica se refere a perda de calor que é ocasionada no resfriamento na concretagem (SILVEIRA, 2006).

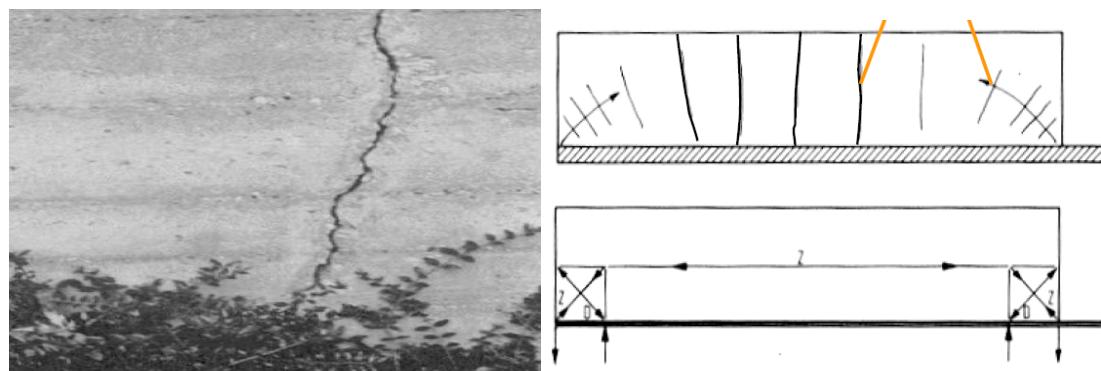
Figura 2 - Tensões devido a retração nas paredes de um reservatório.



Fonte: Silveira (2006).

A figura 3 mostra as fissuras de um reservatório devido a retração e trincas a 45°, essas patologias são muito preocupantes e são provenientes de falta de controle tecnológico do concreto, erros nos cálculos estruturais, dimensionamento e determinação de ferragem.

Figura 3 - Fissuras por retração impedida.



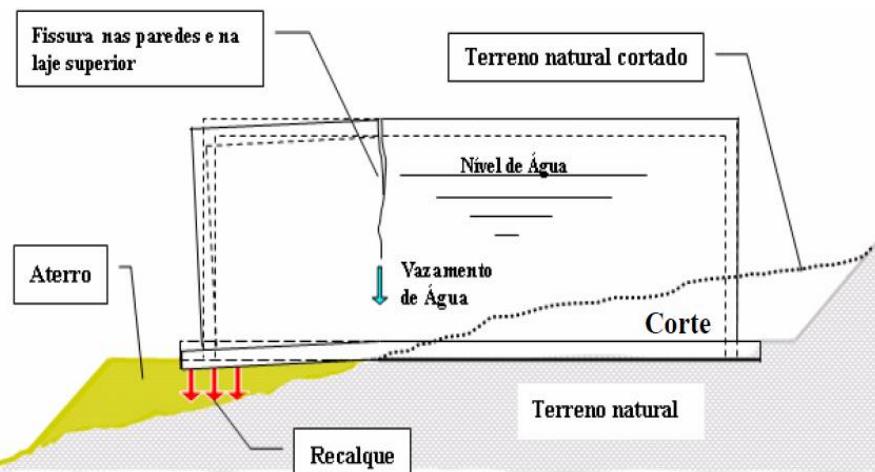
Fonte: Silveira (2006).

CÁNOVAS (1988) afirma que as fissuras são determinadas através de sua intensidade e magnitude e uma falha estrutural é sinônimo de baixa resistência à tração. Por isso, aberturas em paredes inferiores a 0,05mm são denominadas de microfissuras, normalmente não são rapidamente reconhecidas a olho nu, possuindo baixa significância. Geralmente fissuras de até 0,20mm não apresentam grandes riscos a estrutura, entretanto está condicionada ao meio em que está exposta. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, a Norma Brasileira NBR

6118:2003 – Projetos de concreto Armado – Procedimentos, determina que em concretos não protegidos a tolerância é de <0,10mm em ambiente agressivo e <0,20mm em meio não agressivo. Quando o concreto é protegido a abertura máxima é de 0,30mm.

As trincas por sua vez podem ser ocasionadas por recalque diferencial, elas são respostas da estrutura ao longo de anos e de acordo com o avanço do recalque. Se o escorregamento for intenso pode comprometer a estrutura e sujeita-la a condenação. Isso pode ser ocasionado por vários motivos como o excesso de carregamento na estrutura, solo com baixa capacidade de carga, fundação inapropriada e sobreposição de bulbo de tensões por fundações vizinhas. Vale lembrar ainda que em construções feitas em terreno de corte-aterro, as fissurações são provenientes do sedimento da área aterrada e maior rigidez do terreno natural, essa diferença causa as trincas como está representado na figura 4 (SILVEIRA, 2006).

Figura 4 - Fissuras por recalque



Fonte: Silveira (2016).

O problema de trincas e fissuras devem ser cuidados com bastante atenção, as aberturas, mesmo as bem pequenas, são canais para a capilaridade da água, danificando pinturas, revestimentos, dando lugar ao aparecimento de bolor, mofo e eflorescências. As trincas com aberturas grandes, são sinais de alerta, principalmente quanto são de razão estrutural. Devido a profundidade elas tendem a causar corrosão na armadura, além de induzir ao descolamento de placas de concreto, seja por conta da umidade ou por expansão (SOUZA; RIPPER, 1968).

2.2.3. Carbonatação e eflorescências

As eflorescências são patologias facilmente detectadas a olho nu pois, se apresentam com alteração de cores esbranquiçadas, rosadas ou amareladas e em aspecto de nuvem. Tal trauma é proveniente da formação de sais alcalinos e alcalinos terrosos ao entrarem em contato total ou parcial com a água, em outras palavras a eflorescência pode ocorrer de fatores internos a mistura, que afloram pelas capilaridades do concreto ou ainda provenientes de fatores externos como é o caso da lixiviação do hidróxido de cálcio e outros problemas relacionados a água que penetra na estrutura (COSTA; MAIA; BARBOSA, 2017).

Figura 5 - Carbonatação



Fonte: Hering (2018)

Vale lembrar ainda que a carbonização é um tipo de eflorescência mais comum e que ocorre por reações químicas entre o gás carbônico (CO_2) e o hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$ que é um componente do cimento. Quando o $Ca(OH)_2$ é transportado pela água entre as capilaridades do concreto e entra em contato com o ar (CO_2) gera como produto o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) que emerge na estrutura como mostra a figura 5. O não tratamento pode desagregar partes afetadas devido a agressividade desse fenômeno (COSTA; MAIA; BARBOSA, 2017).

2.2.4. Desagregação e perda de aderência

As patologias oriundas nas estruturas são muito preocupantes, não somente pelas deficiências iniciais que causam, mas também às séries de outras patologias que desencadeiam. Por exemplo, as corrosões das armaduras causam a

expansibilidade e reações químicas do material (item 2.2.1.) fazendo com que o concreto se desagregue em placas deixando a armadura exposta às intempéries.

Quando uma estrutura de concreto está sofrendo com o descolamento e a perda da aderência é um sinal de que ela está sendo atacada por agentes químicos que inibem as propriedades aglomerantes e até mesmo formando pasta, proveniente de processos de calcificação, falha na colocação de formas, fissuração e até mesmo por causas biológicas (COSTA; MAIA; BARBOSA, 2017).

2.3. OUTRAS CAUSAS DE TRAUMAS NAS ESTRUTURAS

Não é uma tarefa simples determinar a origem de uma patologia, principalmente quando outras estruturas do entorno e de mesma natureza se preservam intactas. Em vista disso é fundamental compreender dentre os vários aspectos, as etapas e detalhes do projeto executivo e o ambiente no qual a estrutura foi construída para depois então verificar quais são os fatores intemperemos atuantes. Vale reforçar que muitas das patologias estão vinculadas ao grau de qualidade no processo de execução, planejamento, materiais utilizados, compatibilidade de projetos, manutenções e da utilização da estrutura (SOUZA; RIPPER, 1968).

De acordo com Lamana (2014) as principais falhas em projetos que originam patologias são: desequilíbrio estático das estruturas, deformações não compatíveis de peças e uniões, incongruência na disposição das armaduras, as falhas relacionadas a falta de legenda, indicações de materiais, controle executivo, dentre outras. As patologias podem ser evitadas ou minimizadas com projetos bem executados e fiscalizados, entretanto este ainda depende do fator humano, ou seja, de mão-de-obra qualificada, por isso Lamana (2014) destaca que as principais causas que levam as falhas humanas a gerarem patologias são:

- A. Recebimento, alocação e disposição inadequada dos materiais no canteiro de obras.
- B. Uso inadequado dos materiais.
- C. Execução incorreta de formas, desforma e ancoragem.
- D. Falhas na concretagem, adensamento e cura do concreto.

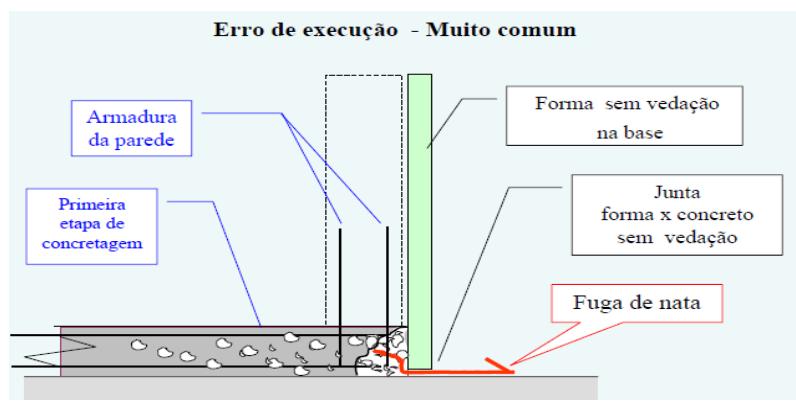
Nem toda patologia possui fácil identificação, por isso requer uma investigação e elaboração de laudos, desse modo se faz necessário descobrir o que desencadeou a patologia para posteriormente utilizar a melhor técnica e método para aquele tipo específico de doença, isto é, aplicar o tratamento mais adequado.

2.3.1. Falhas mais comuns na execução de reservatórios

Existem diversas falhas que propiciam o surgimento de patologias na fase de execução, as mais comuns, entretanto, são aquelas que causam a fuga da nata ao usar formas de modo inadequado, baixa qualidade na impermeabilização e a formação de juntas maiores que o permitido.

A fuga da nata ocorre quando há a segregação do concreto devido ao excesso de adensamento ou quando as formas não estão bem posicionadas (figura 6). Ao concretar as paredes em etapas é preciso garantir que entre a parte concertada e a nova existam janelas de lançamento e adensamento e, que a vibração não seja mais que o suficiente, além de certificar que a base das formas possua uma boa vedação (SILVEIRA, 2006).

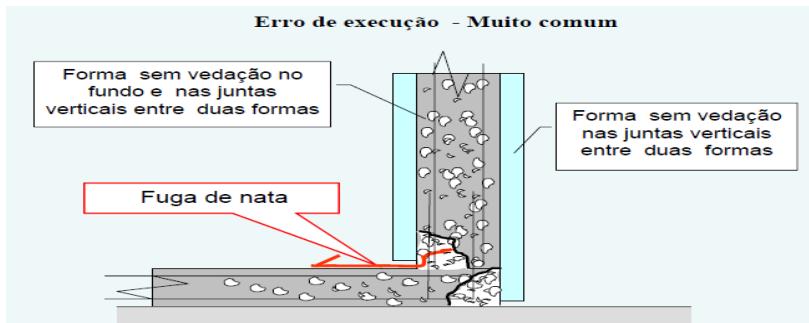
Figura 6 - Fuga da nata de cimento



Fonte: Silveira (2016).

As juntas são pontos críticos para a passagem de nata e também para percolação de água depois da cura da parede quando não há tratamento. Essa região também será ponto de fissuração devido a junta inapropriada (figura 7).

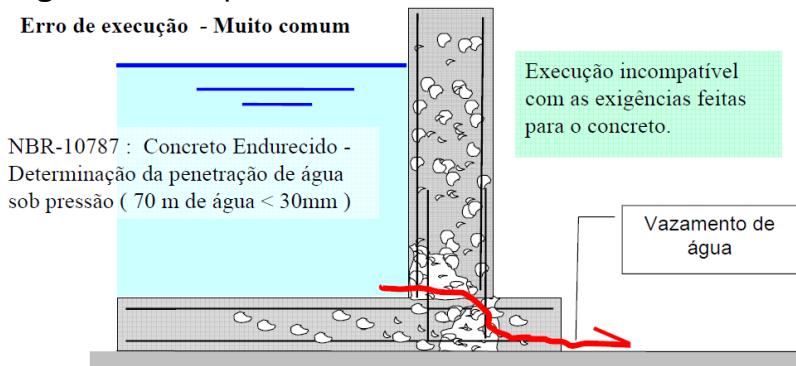
Figura 7 - Falha na colocação das formas e fuga da nata



Fonte: Silveira (2016).

Nas figuras 6 e 7 fica exemplificado como ocorre a fuga da nata devido as falhas na execução. Todavia outra falha decorrente é o uso inadequado ou falta de impermeabilização que causa a elevação da penetração da água na estrutura depois de seca, isto é a filtração causando umidade e outras patologias como eflorescências.

Figura 8 - Alta permeabilidade do concreto.



Fonte: Silveira (2016).

Segundo a Associação de Normas Técnicas NBR 10.787/2011 – Concreto endurecido – Determinação de penetração de água sob pressão, em concreto endurecido a absorção máxima deve ser sob pressão 70m de água < 30mm, ou seja, a penetração do fluido em até 70m de coluna d'água deve ser menor que 30 mm como representado na figura 8 apresentada anteriormente. Em concretos impermeáveis este índice baixa para 15mm. Em reservatórios a falha ocorre geralmente nas junções das paredes ou ainda em estruturas altamente porosas, assim há o vazamento constante de água (SILVEIRA, 2006).

Portanto, esses traumas decorrentes de falhas na execução são responsáveis pela perda de resistência e durabilidade da obra. Além disso erros na fase de execução da estrutura tendem a causar patologias ainda mais complexas ao fim da execução.

3. AGENTES PATOLÓGICOS E DIAGNOSE

A origem, os sintomas e as manifestações patológicas estão relacionadas a causas intrínsecas e extrínsecas e estas são complexificadas por agentes químicos, físicos, biológicos e mecânicos que interferem diretamente no comportamento do material empregado na obra e também na estrutura como um todo (SOUZA; RIPPER, 1968).

Conforme apresentado anteriormente vale ressaltar que as causas de patologias estão relacionadas a falhas na concepção, interpretação e execução do projeto, além do uso inadequado da estrutura e a falta de manutenção. Em vista disso e uma vez descobertas a causa das patologias é importante conhecer os agentes causadores e o possível diagnóstico para determinar o melhor tratamento para aquele problema. Nessa perspectiva Souza e Ripper (1968) fizeram a associação entre as mais variadas causas e causadores de patologias como demonstra os quadros 1 e 2.

Quadro 1 – Causas extrínsecas e agentes

Causas extrínsecas	
Falhas humanas durante o projeto	Modelização inadequada da estrutura
	Má avaliação das cargas
	Detalhamento errado ou insuficiente
	Inadequação ao ambiente
	Incorreção na interação solo estrutura
	Incorreção na consideração de juntas de dilatação
Falhas humanas durante a utilização	Alterações estruturais
	Sobrecarga exagerada
	Alteração das condições do terreno de fundação
Causas mecânicas	Choques de veículos
	Recalques de fundações
	Acidentes (ações imprevisíveis)
Causas físicas	Variação de temperatura
	Insolação
	Atuação da água
Causas químicas e biológicas	

Fonte: Adaptado Ripper e Souza (1998).

O quadro 1 contempla as causas mais comuns de patologias em tanques e estruturas de concreto, abrangendo as interfaces intrínsecas que resultam as falhas. Observa-se, portanto, que em ambos os quadros, 1 e 2 há inúmeras situações que

podem causar patologias e falhas isoladas capazes de desencadear problemáticas em série, como é o caso da avaliação errônea das cargas em uma estrutura.

Quadro 2 – Causas intrínsecas e agentes

Causas intrínsecas			
Falhas humanas durante a construção		Falhas humanas durante a utilização	
Deficiências de concretagem	Transporte	Causas químicas	Causes
	Lançamento		Reações internas ao concreto.
	Juntas de Concretagem		Expansibilidade de constituintes do cimento
	Adensamento		Presença de cloreto
	Cura		Presença de ácidos e sais
	Inadequações de escoramentos e fôrmas		Presença de anidrido carbônico
Deficiência nas armaduras	Má interpretação dos projetos	Causas físicas	Presença de água
	Insuficiência e mau posicionamento de armaduras		Elevação da temperatura interna do concreto
	Cobrimento de concreto insuficiente		Água doce e salgada
	Dobramento inadequado das barras		Vento e chuva
	Deficiência nas ancoragens e emendas		Insolação e Poluição
	Má utilização de anticorrosivos		Variação da temperatura
Utilização incorreta de materiais	fck inferior ao especificado	Causas biológicas	Fungos
	Aço diferente do determinado		Bactérias
	Solo com características diferentes		Abalos sísmicos
	Uso de agregados reativos		
	Uso inadequado de aditivos		
	Dosagem inadequada de concreto		
Fonte: Adaptado Ripper e Souza (1998).		Causas mecânicas	

Por definição, as causas intrínsecas são aquelas que ocorrem internamento ao sistema estrutural, já as causas extrínsecas são as que ocorrem mediante ações externas. Nesse sentido os agentes extrínsecos e intrínsecos são: Mecânicos: Abalos sísmicos, alteração do terreno, sobrecarga; Químicos: chuva, radiação e umidade; Biológicos: Fungos e bactérias; Físicos: Escolha e uso errôneo do material. Segundo Maidel et al. (2009) esses são os agentes causadores de patologias, enquanto as causas são o mau projeto, erro na execução, uso inadequado e falta de manutenção.

Uma vez identificadas as problemáticas, é preciso levar em conta os subsídios imprescindíveis para a diagnose da patologia. Para Maidel et al. (2009) a diagnose se inicia ao visitar o local da obra que apresenta danos e em seguida, busca-se detectar a presença de alguma anomalia como citados nas tabelas 1 e 2. Ao identificar a patologia os autores destacam que é fundamental estudar o histórico dessa estrutura a fim de conhecer o que desencadeou os danos, por isso, busca-se apontar quais foram os materiais empregados, o desempenho da estrutura se está de forma natural ou acelerada segundo Cremonini (1988), investigar o processo de execução, manutenção e utilização, checar se foram feitas novas construções ao entorno e verificar também qual o tipo de fundação.

Vale lembrar que é preciso identificar qual o risco, isto é, o tamanho do dano causado pela patologia na estrutura e a partir daí definir o grau de segurança que esta oferece aos seus usuários. Para Andrello e Galletto (2013) também é fundamental realizar exames complementares e ensaios laboratoriais e in loco (destrutivos ou não) para obter mais informações do sistema estrutural, como a resistência do concreto ou a identificação de agentes contaminantes. Esses dados são importantes para contrapor os dados obtidos em campo.

Segundo Maidel et al. (2009) é preciso que se faça uma pesquisa mais aprofundada sobre as características da patologia encontrada em um local. Desse modo parte-se para o estudo de bibliografia técnica e científica; posteriormente é gerada uma hipótese que visa esclarecer as origens e as causas que provocaram a queda do desempenho estrutural. Feito esse diagnóstico é definido o grau de risco (elevado, médio ou baixo) da estrutura, determinando se a patologia precisa de intervenção ou não e o quanto há de impacto. Por fim aponta-se o prognóstico de intervenção e o grau de incerteza de seus efeitos. Os resultados desses levantamentos darão suporte para a elaboração dos documentos que devem ser gerados, isto é, os relatórios fotográficos e os laudos técnicos.

Souza e Ripper (1968) convergem a mesma linha para determinar o prognóstico. Assim afirmam que o diagnóstico se inicia com a visitação pois, ela é o exame para ver a doença estrutural; é a fase de levantamento de hipóteses. Os autores complementam que para uma análise correta é necessário determinar o grau de agressividade do ambiente em que a estrutura está exposta e ainda observar, anotar e medir os principais elementos da estrutura como, espessura das paredes, tamanho de fissuras e pilares. Feito isso estimar as possíveis consequências de danos e medidas de intervenção da estrutura; realizar um levantamento detalhado todas as patologias com auxílio de fotografias e destacar se há deformação, perda de seção da barra, agentes agressivos e a medida de trincas e fissuras.

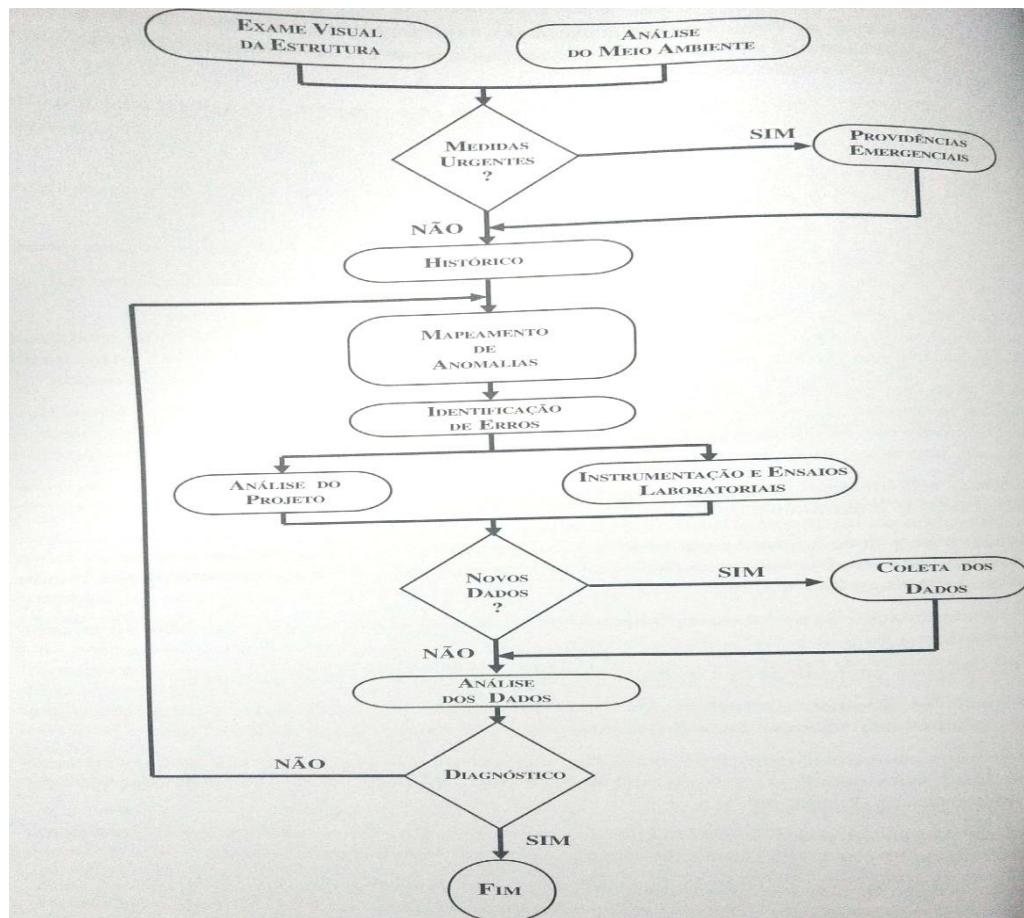
A segunda etapa designada por Souza e Ripper (1968) é a análise do comportamento da estrutura e determinar porque aquela patologia surgiu e quais outras problemáticas que podem ser desencadeadas desta. Por fim apontam que é necessário levantar quais foram os reais erros de concepção, execução, utilização e manutenção e confronta-los com ensaios laboratoriais (verificação de agentes agressivos, tipologia e intensidade; medições, geometria, nível, prumo e excentricidades, checar as evoluções e mapeamento de fissuras, além ensaios de resistência do concreto, do aço e investigação do solo) eles são essenciais para reforçar a hipótese inicial.

Para Do Carmo (2003) 43,7% das patologias em estruturas de concreto armado são provenientes de falhas dimensionais (por isso são importantes as medições e a análise dos cálculos), 19,7% são devidos a sobrecargas, 16,5% são falhas na execução, 8,5% são erros nos materiais utilizados e 11,6% são advindos de erros de concepção, fatores químicos, disposições defeituosas, dentre outras causas diversas. Já para Gnipper e Mikaldo JR (2007) metade das patologias analisadas em suas pesquisas, cerca de 36% a 49%, são provenientes de erros no projeto. Esse tipo de patologia requer tratamentos mais caros pois tendem a gerar falhas progressivas em todas as outras etapas de construção estrutural. Segundo Dal Molin (1988) 66% das incidências de tipos de manifestação patológicas em reservatórios são das fissurações, enquanto 18% são umidades, 8% descolamentos e 8% são as demais espécies.

Por fim, se a análise laboratorial juntamente com os outros dados coletados confirmarem a hipótese inicial define-se o diagnóstico geral e a solução “remédio” mais eficaz para tratar a patologia. Vale ressaltar que devesse levar em consideração o

valor agregado, econômico, técnico e segurança conforme descreve Zuchetti (2015). A seguir, a figura 9 apresenta o fluxograma da diagnose extraído de Souza e Ripper (1968), ela representa os caminhos para solucionar anomalias em estruturas de concreto armado.

Figura 9 – Fluxograma das etapas da diagnose.



Fonte: Ripper e Souza (1998).

Conclui-se, portanto, a partir do fluxograma apresentando a cima que a diagnose de uma patologia segue o caminho de avaliação da estrutura e do ambiente em que está inserido por meio de visitas. Se a estrutura estiver em estado crítico o engenheiro deve tomar providencias emergenciais como isolar a obra, caso contrário, é realizada a investigação da estrutura por meio de histórico, mapeamento das anomalias; em seguida analisa os dados coletados e definir um diagnóstico. Se os dados forem insuficientes novas coletas de dados devem ser realizadas.

4. TRATAMENTOS PATOLÓGICOS

Depois de detectado o tipo de patologia eminente na estrutura e determinado o diagnóstico é preciso tomar uma ação para recuperá-la ou condená-la ao uso. Em casos de recuperação existem diversas técnicas para tratar patologias; quando se refere a fissuras é realizada a injeção selagem ou costura de fissuras; quando se trata de descolamento, corrosão e trincas usa-se a ancoragem de barras, reparos estruturais e protensão, mas para cada situação é analisado o grau de risco que a estrutura se encontra e o custo do tratamento. As fissuras requerem um olhar especial pois, como foi visto anteriormente, elas podem desencadear outras patologias como carbonatação, corrosão e contaminações do concreto a exemplo dos íons cloreto (SOUZA, RIPPER; 1998).

Esses tipos de tratamentos são determinados como manutenção estrutural, que segundo Souza e Ripper (1998) é o conjunto de atividades necessárias feitas para que a estrutura tenha um comportamento satisfatório ao decorrer dos anos.

4.1. TRATAMENTO DE FISSURAS

Existem várias técnicas para se tratar fissuras, as mais utilizadas são a injeção, selagem e costura. A escolha de qual técnica a utilizar para tratar uma fissura depende do tamanho em que se encontra na estrutura e a causa; afinal não adianta aplicar um tratamento superficial sem tratar o problema inicial que a causou. Por exemplo, se uma fissura é proveniente de um recalque diferencial e este for progressivo, utilizar uma injeção ou costura não sanará o problema. Ao contrário, camuflará os efeitos que aparecerão possivelmente piores ao longo do tempo, visto que o recalque não foi retardado ou sanado. Além disso, a técnica empregada só gerará custo desnecessário sem tratar de forma definitiva a problemática.

Outros pontos que requerem atenção no que se refere a fissura é a escolha do material que deve levar em conta seu módulo de elasticidade, viscosidade e sensibilidade a umidade.

4.1.1. Injeção de fissuras

A injeção de fissuras consiste em preencher os espaços de uma fenda com materiais flexíveis ou ríjos. Essa técnica é utilizada quando as aberturas são superiores a 0,1 mm e é feita sob baixa pressão ($\leq 0,1$ MPa), exceto quando essas aberturas passam de 3,0mm com pouca profundidade, nesses casos o preenchimento é por gravidade (SOUZA, RIPPER; 1998).

Os materiais a serem utilizados para o tratamento dependem se as fendas são ativas ou passivas. Para detectar qual tipo de fissura e o material ideal utiliza-se um desses testes: fissurômetro, gesso ou lâmina de vidro. O teste mais utilizado é o do gesso e consiste em passar uma generosa camada da mistura sobre a fissura a fim de verificar se a estrutura trabalha ou não. Após 24 horas de aplicado o gesso, se houver trinca, percebe-se que a estrutura trabalha e demanda de um material com baixo módulo de elasticidade, caso contrário, se não houver trinca a fissura é estável e demanda de uma injeção de material rijo, com alto módulo de elasticidade (ANDRADE; 2016).

Para Souza e Ripper (1998) são fissuras passivas aquelas que precisam que a estrutura trabalhe de forma monolítica, assim utiliza-se materiais rígidos como epóxi ou grout. As ativas são opostas às passivas e necessitam de materiais menos ríjos como resinas acrílicas e poliuretânicas, pois permitem o movimento estrutural sem que haja crescimento dessas fissuras.

A viscosidade do material utilizado também deve ser levada em conta pois, as microfissuras carecem de preenchimento com material de baixa viscosidade a fim de preencher toda sua cavidade; exemplo desse tipo de material são os epóxis 50 e o metacrilato 5 cps (ANDRADE; 2016). Para Pimentel e Teixeira (1978) citado por Souza e Ripper (1998) as fissuras $< 0,2$ mm usa-se resinas epóxi líquida fluidas em torno de 100 cps a 20°C. Fissuras entre 0,2mm e 0,6mm usa-se resinas líquidas com viscosidade máxima de 500 cps. Entre 0,6 e 3,0mm é indicado resinas líquidas com até 1500 cps e por fim, fissuras acima de 3,0mm é indicado o uso de resinas epóxi puras ou com carga.

Quando se diz respeito a fissuras em reservatórios com presença a umidade, o material usado não pode ser sensível a solventes. Vale ressaltar ainda que se essa fissura tiver uma razão estrutural, além do material ser insensível a água ele deve ser capaz de preencher e conter o vazamento. Outro ponto importante ao escolher o

material a ser utilizado na injeção de fissura é o teor de sólidos. Os materiais constituintes de resinas, pigmentos e aditivos são materiais 100% sólido, isto é, eles são reativos e permanecem com suas características após a cura. Entretanto existem ainda aqueles que além dos componentes sólidos possuem na mistura diluentes, solventes e thinners, esses evaporam deixando o material com o teor de sólidos menor, consequentemente reduzindo o volume aplicado após a cura. Normalmente os materiais com menor teor de sólidos são mais baratos, todavia são menos eficientes e prejudiciais à saúde (ANDRADE; 2016).

Albuquerque (2015, p. 131) descreve o processo de injeção da seguinte forma; primeiramente localizada a fissura, será feita no local furos ao longo de toda a fenda. Essa abertura será no máximo 1,5 vezes a profundidade da fissura. Não podem ser muito profundos e sempre devem ser da ordem de 10mm. Em seguida deve ser feita a limpeza da fissura usando ar comprimido para remover impurezas e nos furos realizados são encaixados os tubos plásticos que devem ser presos com adesivo e cola epoxídica biocomponente e espalhada com espátula para fixar bem.

Depois a cola deve ficar protegida por 12h de impactos mecânicos e ela deve ser resistente ao intemperismo. A intenção é que haja conexão entre os tubos, por isso o espaçamento de um para outro não deve ser grande. Albuquerque (2015) complementa que o preenchimento com o material escolhido deve fechar a fissura tubo a tubo, de baixo para cima. Nas figuras 10 e 11 é possível identificar uma injeção de poliuretano em fissuras passo a passo, os furos feitos para aplicação do material assim como descrito anteriormente.

Figura 10 – Perfuração do concreto danificado



Fonte: Albuquerque (2015).

Figura 11 – Aplicação da resina



Fonte: Albuquerque (2015).

Na figura 12 pode-se observar o resultado final desse tipo de tratamento nas paredes externas de um reservatório de água.

Figura 12 – Tratamento de fissuras



Fonte: Maia (2018).

4.1.2. Selagem de fissuras

A selagem é uma técnica utilizada em fissuras superiores a 10mm, que o diferencia do método descrito anteriormente. Esse método visa vedar a fenda usando material aderente, com resistência química e mecânica. Por isso Souza e Ripper (1968) sugerem que em fendas com espessuras entre 10mm e 30mm o tipo de preenchimento deve ser a selagem, usando grout e em alguns casos o epóxi nas

bordas. Para fissuras superiores a 30mm o preenchimento deve ser realizado com uma vedação igual ao que é realizado para uma junta de dilatação. Assim é colocado um cordão poliestireno extrudado para apoiar e isolar o selante até o fundo da fissura. Outro método eficaz é o uso de neoprene que deve subir até a borda da fissura para melhor efeito do tratamento.

4.1.3. Costura de fissuras

Procedimento utilizado em fissuras ativas que ocorreram em linhas isoladas com baixa resistência e que carecem de uma armadura adicional para resistir aos esforços de tração que causaram o fendilhamento. Deve-se ter certeza que a peça sofre de um problema com essa magnitude porque este método deixa a peça ainda mais rija e se o esforço continuar causará outras fissuras (SOUZA, RIPPER; 1968).

Em vista disso, o tratamento consiste em “costurar” a fissura usando grampos e, a disposição destes devem ser afastados uns dos outros evitando formar uma fileira reta, a fim de minimizar os esforços. Albuquerque (2015) simplifica o procedimento quando afirma que;

“Esse tipo de tratamento é utilizado como armadura adicional para resistir aos esforços extras de tração que causaram a fissura. [...]. Esses grampos atuarão como pontes entre as duas partes do concreto, divididas pela fissura e a esse processo dá-se o nome de costura das fendas.”

Para executar essa técnica Souza e Ripper (1968) descrevem o procedimento nas seguintes etapas: primeiro é preciso reduzir os esforços na estrutura; no caso dos reservatórios eles devem ser esvaziados, assim minimizará os esforços do empuxo. Em seguida faz-se a execução de berços no concreto a fim de assentar as barras. Se o procedimento for feito manualmente, os furos para inserir as extremidades dos grampos devem ser preenchidos com adesivos. Concluído os berços é realizado a injeção de resinas epoxídica ou cimentícia nas fissuras. O grampeamento é feito após essa injeção. Por último é feito o arremate da injeção com o adesivo, complementando até os berços e se a peça estiver tracionada os grampos deverão ser colocados dos dois lados da peça, ou seja, dentro e fora do reservatório.

4.2. TRATAMENTO DE CARBONATAÇÃO, CORROSÃO E ATAQUE DE CLORETO: REFORÇO, CORTE E ANCORAGEM DE BARRAS

Tratamento muito utilizado em casos com falhas estruturais, como em situações de degradação do concreto e exposição parcial da ferragem. O corte é o procedimento de remover com o auxílio de um martelo demolidor, marreta, talhadeira e ponteira o concreto degradado por cloretos, até encontrar um concreto coeso. Em seguida é feito um tratamento da corrosão na ferragem ou a substituição desta em estágio avançado de degradação e por fim o corte é preenchido com grout ou microconcreto (SOUZA, RIPPER; 1968).

Se houver necessidade de reforço são feitas emendas entre as barras e elas devem se transpassar e serão ligadas por adesivo estrutural (epóxi) ou arame de aço. Nesse caso, após o corte, são feitos furos no concreto existente onde serão inseridas as barras de complementação. Gonçalves (2008) completa que “A armadura deve ser encaixada ao piso e à laje no caso de pilares por furos preenchidos com adesivo estrutural, nos quais suas extremidades são presas” (trata-se aqui especificamente de reservatórios retangulares). Ao finalizar a preparação da armadura é feito o preenchimento com concreto e após 48 são retiradas as formas de concretagem e a cura deve ser úmida. Vale ressaltar ainda que ao se realizar cortes ou furos é fundamental limpar o local para melhor aderência da resina com as barras e o concreto (SOUZA, RIPPER; 1968).

O uso de resina epóxi é muito utilizado pelo fato de ser resistente à água, apresenta boa aderência com o concreto, além de proporcionar vedação, durabilidade e baixa retração durante a cura. Outros materiais utilizados em situações de carbonatação para preenchimento são os silinos e siloxanos pois ao penetrar no concreto reage e bloqueia o ataque dos íons contaminantes; esses materiais são hidrofugantes que penetram na estrutura dando uma maior durabilidade ao tratamento. Mas ressalva Batista (2003) que o uso de resinas tem a durabilidade média de 2 a 5 anos e por causa do envelhecimento e integridade requer frequentes reparos e custos adicionais. Quando o tratamento é aparente usa-se silicones por conta da transparência (SOUZA, RIPPER; 1968).

Ao retirar o concreto danificado é preciso que no tratamento de corte a perfuração chegue próximas aos estribos para avaliar melhor o estado de corrosão. Já o tratamento da ferragem consiste no lixamento e limpeza da barra com escova de

aço a fim de remover a corrosão e em seguida aplicação do anticorrosivo e impermeabilizante apropriado. O lixamento deve ser com lixa de aço em movimentos circulares até que a barra fique cinza claro. Vale lembrar que esse tratamento só é possível se pelo menos 2,5 cm do concreto do envolto seja removido e que a barra ainda tenha um diâmetro aceitável ao suporte de carregamentos (GONÇALVES, 2008).

4.3. IMPERMEABILIZAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

Reservatórios de concreto armado em contato permanente com a água estão sujeitos a diversos carregamentos e consequentemente fissuras, carbonatação, corrosão e vazamentos. Entretanto tudo isso pode ser evitado ou sanado com o uso de uma impermeabilização eficiente e eficaz. Para Augusto, Junior e Guimarães (2016) no que tange ao assunto de impermeabilização de reservatórios existem dois tipos principais, as impermeabilizações para os modelos elevados e para os enterrados.

4.3.1. Impermeabilização de reservatórios enterrados

A impermeabilização em reservatórios enterrados, diferente do que ocorre com os reservatórios elevados, deve-se ter uma preocupação com a parte externa das paredes devido o contato permanente com o solo e com sua umidade (dependendo do solo e região). Augusto, Junior e Guimarães (2016) reforçam que o êxito dessa impermeabilização depende muito de fatores precedentes já comentados, que são: uma boa execução, um cálculo eficiente, a escolha do traço do concreto correto, bem como o seu lançamento e adensamento.

Um dos métodos mais utilizados é a impermeabilização com argamassa rígida que consiste em cobrir a parede com uma argamassa hidrofugante. Passos da impermeabilização: Primeiramente é feita a limpeza da estrutura usando escova de aço e água, sequencialmente é feito o apicoamento das paredes a fim de remover qualquer dano que o tague possua. Depois é feito um chapisco (1:2) e após seco é aplicada a argamassa. Essa argamassa é composta por cimento, areia (0 a 3 mm) e hidrófugo volumétrico (1:3:0,50) e fator água cimento igual a 0,60; além disso a demão deve ser de 1mm lembrando que essa argamassa não será utilizada após 2h de

preparo e que as juntas formadas pelas aplicações devem ser defasadas e chanfradas. Em seguida repete-se os passos anteriores, aplica-se uma nova camada de chapisco e em seguida outra camada de argamassa. Por último aplica-se uma nata de areia, cimento e hidrofugante dando um acabamento liso na superfície (AUGUSTO, JUNIOR, GUIMARÃES; 2016).

Essa impermeabilização é essencial pois segundo Augusto, Junior e Guimarães (2016) e Gonçalves (2008) a diferença térmica entre o ambiente interno e externo provoca a condensação e evaporação da água na tampa o que pode induzir a corrosão estrutural devido cloro presente no solvente. É por isso que esses autores recomendam também tratamentos mais simples como o uso de pinturas com base epoxídica ou asfalto quente com tinta de imprimação. Há uma preocupação tanto com a parte interna quanto externa da estrutura.

4.3.2. Impermeabilização de reservatórios elevados

A impermeabilização consiste em utilizar materiais que inibem a passagem de fluidos de uma superfície a outra. Entretanto, segundo Mariane (2014) a escolha do melhor material depende de alguns pré-requisitos que devem ser analisados previamente, como o grau de agressividade do ambiente e do líquido armazenado, além da movimentação admissível da estrutura (MARIANE,2014). Do mesmo modo para Augusto, Junior e Guimarães (2016) a maior diferença entre o sistema elevado para o enterrado é que há uma maior variação térmica o que provoca maior movimentação mecânica.

Uma impermeabilização muito utilizada em reservatórios elevados é com membrana polimérica do tipo acrílico. Para realizar esse tipo de impermeabilização é necessário realizar um projeto que contemple o memorial descritivo, plantas, detalhamentos, especificações e localização dos materiais. Também é importante conter planilhas quantitativas de material e serviço, forma de aplicação, número de demões e véu estruturante, bem como serão os acabamentos e terminações como em rodapés, a altura e interface entre instalações (MARIANE,2014). Já Augusto, Junior e Guimarães (2016) indicam o uso de impermeabilização semiplástica, como asfalto polimerizado a quente, estruturando com véus de fibras de vidro ou de fletro de poliéster. Em ambos os casos os impermeabilizantes possuem a estrutura química semelhante.

Como destacado no item 2.1 os reservatórios mais utilizados são os de concreto armado no formato circular elevados, isso porque a geometria proporciona melhor interação aos esforços, além de ser mais econômico e usar a gravidade. Dessa forma, para uma boa impermeabilização nesses modelos é imprescindível que se evite formar ninhos e vazios durante a concretagem, descontinuidades nas paredes e juntas frias (AUGUSTO, JUNIOR, GUIMARÃES; 2016). Ao contrário dos reservatórios enterrados os elevados possuem maior interação com as mudanças bruscas de temperatura, por isso os impermeabilizantes flexíveis se tornam os mais indicados (MARIANE,2014).

Vale lembrar ainda que os reservatórios de água servem de abastecimento populacional, logo o material utilizado não pode ser contaminante, isto é, não altera a potabilidade da água. Outras características essenciais são a resistência aos raios solares, à alcalinidade do concreto, resistente a pressões hidrostáticas positivas e ter como componentes polímeros acrílicos, cimentos, cargas minerais e fibras sintéticas. Por ter todas essas características usa-se a membrana polimérica. Escolhido o material apropriado, Mariane (2014) orienta que para realizar uma impermeabilização correta deve-se primeiramente ser feita a limpeza da superfície para aplicação do impermeabilizante.

A limpeza é feita usando escova de aço ou jato d'água de alta pressão. Esse procedimento é realizado nas paredes e na tampa a fim de eliminar todas as partículas soltas. Em seguida são arredondados os cantos internos com argamassa pois são pontos críticos, bem como as juntas. Além disso ao redor de tubos de entrada e saída de água ou em juntas é feita a vedação com mástique flexível que é um tipo de selante. Depois desses detalhes é feita a aplicação do impermeabilizante sobre a superfície úmida e feita em demãos após secas. A aplicação é realizada usando trincha e as camadas devem ser em sentidos diferentes entre uma demão e outra (MARIANE,2014).

Por último, mas muito essencial, é a realização do reforço têxtil que consiste em aplicar entre a primeira e a segunda demão uma tela resinada de poliéster com malha de 2x2mm, sobrepostas nas emendas 5cm. A fim de acomodação é feito uma carga d'água no sistema. É imprescindível destacar ainda que teste de estanqueidade deve seguir as orientações da norma NBR 9.574:2008 e por isso o teste deve ser feito 5 horas após a última demão e durar pelo menos 72 horas. Mariane (2014) reforça que antes de realizar a impermeabilização em reservatórios que já estão em uso é

fundamental tratar todas as patologias existentes. Complementa ainda que a impermeabilização malfeita pode comprometer a vida útil da estrutura, suscitar novas patologias ou ainda intensificar, a longo prazo, as que já existem.

A impermeabilização semiplástica é aconselhável para a proteção do piso contra falhas mecânicas. Por tanto, é realizado o tratamento da laje de fundo do reservatório passando uma camada de tinta primária de imprimação seguido de duas camadas de asfalto polimerizado a quente. A fim de garantir a qualidade e durabilidade do trabalho é importante que se execute outros procedimentos como fazer uma camada de fibra vidro ou membrana de asfalto polimerizado que depois de seco deve ser coberto por uma argamassa. Em seguida, segundo Augusto, Junior, Guimarães (2016) é feita uma camada de fibra de vidro ou membrana de poliéster e por fim passa-se duas camadas de asfalto polimerizado coberta depois de seco por uma argamassa para proteção mecânica. Vale lembrar que em ambos os tipos de reservatórios as tampas precisam de tratamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto armado é um dos sistemas construtivos mais utilizado na construção civil devido a abundância de recursos naturais, custo, durabilidade, moldabilidade e também pela combinação da resistência dos esforços de tração proporcionado pelo aço e a resistência a compressão do concreto.

Nessa perspectiva, diversas estruturas foram construídas com este material e com elas começaram a surgiram as anomalias que comprometiam a segurança da estrutura, falhas estas denominadas de patologias. Por isso se tornou cada vez mais importante estudar sobre as patologias, tendo em vista que os números de obras continuam a crescer e muitas sem fiscalização, evitar que elas se originem além de um desafio é também sinônimo de durabilidade e qualidade estrutural.

No que tange aos reservatórios, as principais patologias são corrosão de armaduras, fissuração, descolamento, eflorescências e carbonatação. Essas anomalias estão relacionadas ao contato permanente com a água e ação dos agentes químicos, físicos e biológicos, e podem ser inibidos com a correta elaboração e compatibilidade de projetos, fiscalização da obra na fase de execução e manutenção preventiva.

Muitas dessas falhas estão relacionadas a falta de atenção aos detalhes minuciosos de um projeto, como a qualidade do material que é entregue na obra (a exemplo da falta de certificação do cumprimento das especificações do concreto usinado ao chegar no canteiro), lançamento, adensamento e cura incorreta do concreto (controle tecnológico), falta de elaboração de ensaios em campo, má gestão da obra, escolha de uma equipe despreparada, falta de previsibilidade futura que a estrutura estará sujeita, dimensionamento errôneo, descumprimento a normas como cobertura mínima da armaduras determinada pela NBR 6118 sujeitando a estrutura a corrosão, falha na impermeabilização, falta de memoriais de cálculo e uso da edificação, dentre outros detalhes.

Evitar que as patologias surjam, principalmente nas fases iniciais da obra é uma medida decisiva no custo e durabilidade da estrutura. Em reservatórios antigos que já presentam problemas o papel do engenheiro é saber identificar e determinar o tratamento adequado da patologia de modo que sane o problema definitivamente.

Em resumo, embora existam estudos acerca das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado ainda é muito comum encontrar obras que

apresentem problemáticas relacionadas a falhas nas etapas de elaboração do projeto, execução e manutenção da estrutura. Por isso é importante incutir nas escolas de engenharia o estudo de patologia afim de evitar a negligencia de profissionais às normas, procedimentos e especificações nas construções. Além disso, as pesquisas sobre o assunto possibilitam na determinação de técnicas e métodos mais eficientes para tratar tais problemáticas.

6. REFERÊNCIAS

- AGRA, T. M. S.; MONTEIRO, E. B.; ALCÂNTARA, P. S. X.; LIMA, N. M. V.; BURLE, E. C. L. S. Manifestações patológicas em reservatório de Concreto armado por movimentação térmica dos elementos estruturais. Seminário de Patologia e Recuperação Estrutural – SEMIPAR, UPE, Recife – PE, 2016.
- ALBUQUERQUE, Eduardo. **ESTUDO DE PATOLOGIAS E SUAS CAUSAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE OBRAS DE EDIFICAÇÕES**. 2015. 174 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014879.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2018.
- ANDRADE, Silvio. **Aula 8 - Como tratar as Fissura no Concreto**. Disponível em: <<http://sasolucoes.com.br/como-tratar-as-fissura-no-concreto/>>. Acesso em: 08 nov. 2018.
- ANDRELLO, José; GALLETO, Adriana. **Impermeabilização de reservatórios de água potável para eliminação de perdas de água tratada**. 2016. 15 f. 13º Simpósio Brasileiro de impermeabilização (Engenharia Civil) - São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2014/02/PAP-012-SS03.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10787: Concreto endurecido – Determinação da penetração da água sob pressão. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- AUGUSTO, Giovanne; JUNIRO, José Avelino; GUIMARÃES, Letícia. **Manual Técnico para projetos e execução de reservatórios prediais**. São Paulo: Universidade Santa Cecília, 2016. 18 p. Disponível em: <<http://cursos.unisanta.br/civil/arquivos/Manual-Reservatorios-9,5.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2018.
- BATISTA, M. **A hora e a vez dos silanos inibidores**. Recuperar: Revista do Instituto de Patologia da Construção, Rio de Janeiro, Ano 10, n. 55, p. 5-8, Set/out. 2003.
- CÁNOVAS, M. F. Patologia e Terapia do Concreto Armado. São Paulo, PINI, 1988.
- CARMO, Paulo Obregon. **Patologia das construções**. Santa Maria, Programa de atualização profissional – CREA – RS, 2003.
- COSTA, Naiara G.; MAIA, David Alan S.; BARBOSA, Anderson H. E. **IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS EM RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO EM JUAZEIRO/BA**. 2017. 14 p. CONPAR - Conferência Nacional de Patologias e Recuperação de Estruturas (Engenharia Civil) - UNIVASF, Juazeiro/BA,

2017. Disponível em: <<http://revistas.poli.br/index.php/CONPAR/article/view/620/217>>. 04 set. 2018.

CREMONINI, Ruy Alberto. **Incidência de manifestações patológicas em unidades escolares da região de Porto Alegre**: Recomendações para projeto, execução e manutenção. Porto Alegre, 1988.

DAL MOLIN, Denise C. Coitinho. **Fissuras em estruturas de concreto armado: Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1988.

GENTIL, V. **Corrosão**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

GNIPPER, Sérgio F.; MIKALDO JR. Jorge. **Patologias frequentes em sistemas prediais hidráulicosanitários e de gás combustível decorrentes de falhas no processo de produção do projeto**. Curitiba, 2007. Disponível em: Acesso em: 21 de outubro de 2018.

GONÇALVES, Michele. **Manifestações patológicas em reservatórios de água elevados executados em concreto armado**. 2008. 111 p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

HERING, Achim. **Significado de Lixiviação**. Disponível em: <https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-lixiviacao.htm>. Acesso em: 16 set. 2018.

LAMANA, Anne Karoline de Souza. **Identificação das manifestações patológicas em reservatório de água executado em concreto armado em condomínio unifamiliar – estudo de caso**. 2014. 45 p. monografia de especialização (curso de especialização em patologia das construções) - universidade tecnológica federal do Paraná, Curitiba-PR,2014.

MAIA, Construtora G-. **Recuperação/Reforço estrutural > ETA Copasa – Nova Lima / MG**. Disponível em: <<http://www.g-maia.com.br/obras-realizadas/eta-copasa-nova-lima-mg/>>. Acesso em: 08 nov. 2018.

MAIDEL, BRUNA et al. **PATOLOGIAS DAS EDIFICAÇÕES**. 2009. 21 f. Apostilas de Engenharia Civil (Engenharia Civil) - Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis,2009. Disponível em: <<https://speranzaengenharia.ning.com/page/patologias-das-edificacoes>>. Acesso em: 12 out. 2018.

MARIANE, Aline. Impermeabilização de reservatórios elevados: Sistemas flexíveis, como as membranas poliméricas, são os indicados para acompanhar a movimentação da estrutura. **INFRAESTRUTURA URBANA: projetos, custos e construções**. [S.I.], 11 mar. 2014. Saneamento. Edição 36 - Março/2014, p. 1. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/36/2-impermeabilizacao-de-reservatorios-elevados-307650-1.aspx>>. Acesso em: 12 out. 2018.

OLIVEIRA, Érico Nirondy Tôrres et al. **Custo da Obra versus Qualidade: Como o Baixo Custo pode afetar na Qualidade da Obra.** Disponível em: <<https://singep.org.br/5singep/resultado/381.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

POLITO, Giuliano. **Corrosão em estruturas de concreto armado:** causas, mecanismos, prevenção e recuperação. Monografia (Aperfeiçoamento / Especialização), Especialização em Construção Civil – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SILVEIRA, Eduardo Christo. **Fissuras em Reservatórios de Concreto Armado Conceitos e Teoria.** 2006. 63 p. Apostila (Seção de Ensino de Engenharia de Fortificação e Construção) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro/RJ, 2006. Disponível em: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/reservat/fissuracao_reservat.pdf>. Acesso em: 04 set. 2018.

SOUZA, Vicente Custódio M. de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** 1º. ed. São Paulo: PINI, 1968. 255 p.

TORRES, Ariela da Silva; SILVA, Vívian Michele Bandeira da; PALIGA, Charlei Marcelo. **ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS ELEVADOS NA CIDADE DE PELOTAS/RS.** 2016. 11 p. Revista Eletrônica de Engenharia Civil (Engenharia Civil)- UFG, Goiás, 2016. 12. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/viewFile/37740/pdf>>. Acesso em: 05 out. 2018.

ZUCHETTI, Pedro Augusto Bastiani. **PATOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: INVESTIGAÇÃO PATOLÓGICA EM EDIFÍCIO CORPORATIVO DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA NO VALE DO TAQUARI/RS.** 2015. 174 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil)- CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES, Lajeado, 2015. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/939/1/2015PedroAugustoBastianiZuchetti.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2018.