



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACIG

**ESTUDO DAS PATOLOGIAS DA PONTE DO BARREIRO,
LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE MANHUAÇU-MG**

Hyago Alexandre Fernandes

**Manhuaçu/MG
2020**



HYAGO ALEXANDRE FERNANDES

ESTUDO DAS PATOLOGIAS DA PONTE DO BARREIRO, LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE MANHUAÇU-MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso Superior de Engenharia Civil do Centro Universitário UNIFACIG, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Patologia das Construções e Estruturas de Concreto
Orientador(a): Leandro José de Lima

**Manhuaçu/MG
2020**

Resumo: O estudo das patologias das construções passou a ter maior importância no momento em que as obras realizadas entre 1940 e 1960 começaram a apresentar problemas, decorrentes de erros de execução, de detalhamentos insuficientes nos projetos e, sobretudo, da falta de manutenção ao longo do tempo de uso das estruturas. Os problemas na ponte do Barreiro, localizada na zona rural do município de Manhuaçu, foram, inicialmente, relatados pela população, que solicitou a reformada estrutura da ponte, visto que as condições de uso estavam comprometidas após parte da sua estrutura ter se rompido, após fortes chuvas no local. Uma das razões para a solicitação da população, é o fato de a Ponte do Barreiro, com aproximadamente 40 anos de existência, ser caminho de acesso para a escola local, para as lavouras de café e para a rodovia MG-111, visto que a ponte está localizada no limite entre o município de Manhuaçu-MG e Reduto-MG. O objetivo principal deste artigo se consolida em expor os problemas e patologias acarretados pela falta de conservação e manutenção da estrutura da ponte ao longo de sua vida útil, bem como demonstrar que, caso houvessem sido tomadas medidas de manutenção corretiva e/ou preventiva, o colapso da estrutura poderia ter sido evitado, livrando a comunidade dos transtornos causados e isentando os responsáveis de maiores gastos com uma reconstrução.

Palavras-chave: Patologia. Diagnóstico. Ponte. Estrutura-de-concreto.

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. DESENVOLVIMENTO.....	5
2.1. Referencial Teórico.....	5
2.1.1. Patologia em estruturas de concreto armado.....	6
2.1.2. Causas de patologia em estruturas de concreto armado.....	7
2.1.3. Deterioração em pontes de concreto armado.....	7
2.1.4. Tipos de patologias.....	8
2.1.4.1. Fissuras e trincas.....	8
2.1.4.2. Corrosão.....	9
2.1.4.3. Desagregação.....	11
2.1.4.4. Desgaste.....	12
2.1.4.5. Eflorescência.....	14
2.1.4.6. Reação Álcali-Agregado.....	14
2.1.5. Diagnóstico da Patologia.....	14
2.1.6. Recuperação e reforço estrutural.....	16
2.2. METODOLOGIA.....	17
3. ANÁLISE DE DADOS.....	17
3.1. Histórico da Ponte do Barreiro.....	18
3.1.1. Manifestações patológicas verificadas na Ponte do Barreiro.....	18
4. CONCLUSÃO.....	22
5. REFERÊNCIAS.....	23

1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos primitivos, o homem usava troncos de árvores para superar os obstáculos naturais em seu trajeto. Até os tempos atuais, em que estruturas desafiam a lei da gravidade e a imaginação humana pela ousadia de seus vãos, as pontes representam uma das mais belas formas de expressão da capacidade criadora da engenharia (VITÓRIO, 2002).

Por se tratarem de estruturas robustas e apresentarem, visualmente, muita solidez, habitualmente, existe o costume de considerar que as pontes têm grande longevidade ou até mesmo, que são obras infinitas ou eternas. A realidade mostra que uma ponte, como qualquer outra edificação, começa a se deteriorar no mesmo instante em que é posta em funcionamento, iniciando um ciclo de vida em que a duração dependerá de fatores relacionados com as condições de uso e conservação ao longo do tempo (VITÓRIO, 2002).

O concreto é um material de construção de grande e diversificado uso, portanto a sua durabilidade torna-se um fator importante durante a avaliação de um projeto, visto que “as estruturas de concreto são projetadas e executadas para manter condições mínimas de segurança, estabilidade e funcionamento durante um tempo de vida útil, sem custos não previstos de manutenção e reparo” (GENTIL, 2007, p.205).

Ainda segundo Gentil (2007), processos corrosivos em estruturas como pontes e viadutos de concreto, têm ocorrido em vários estados do Brasil, ocasionando riscos à integridade dos usuários. Tal problema, pode estar associado ao fato de que são gastos no Brasil “preciosos recursos na execução de obras públicas, como é o caso das pontes, mas não é dada a devida importância para manter esses bens em bom estado de funcionamento” (VITÓRIO, 2015, p.2).

O objeto de estudo e análise neste artigo é a Ponte do Barreiro, situada sobre o rio Manhuaçu. Com, aproximadamente, 40 anos de existência, a ponte era caminho de acesso para a escola local da Comunidade do Barreiro, para as lavouras de café e para a rodovia MG-111, visto que estava localizada no limite de divisa entre os municípios de Manhuaçu-MG e Reduto-MG. Por falta de conservação, a estrutura da ponte já apresentava graves danos e se manteve em uso pelos moradores durante alguns anos, sem que houvesse intervenções para reestruturação ou acompanhamento para correções das patologias apresentadas, colocando a população em risco diariamente.

Com as fortes chuvas e as enchentes ocorridas em janeiro de 2020, as partes que ainda restavam da estrutura entraram em colapso, deixando impossível o acesso, ainda que restrito, pela comunidade.

Pela localização em que a ponte se encontra, sendo imprescindível o acesso da população e, por se tratar de uma região cafeeira, o que expõe a estrutura à grandes cargas de maquinários, a reestruturação é de caráter urgente.

O objetivo principal deste artigo se consolida em expor os problemas e patologias acarretados pela falta de conservação e manutenção da estrutura da ponte ao longo de sua vida útil.

2.DESENVOLVIMENTO

2.1. Referencial Teórico

De acordo com a NBR 5674 (2012), toda construção tem um ciclo de vida útil, o qual é previsto segundo os requisitos básicos apresentados nas normas de construção. Com o crescimento da construção civil, meios de aprimoramento das técnicas construtivas, de materiais e de projetos estão sendo discutidos, afim de evitar que danos futuros e tragédias sejam evitados, visto que a falta de vistorias e o comprometimento com as fases do projeto e execução são os principais responsáveis pela ocorrência de danos estruturais, os quais podem ser irreversíveis e causadores de prejuízos econômicos e sociais (TAKEUTI, 2003).

“O concreto é constituído, principalmente, de cimento, areia, água e agregados de diferentes tamanhos. Em alguns casos, são usados aditivos como plastificantes e microssilica” (GENTIL, 2007, P.205).

Apesar do fato de o concreto armado ser o material de construção mais consumido no mundo, o conhecimento e a divulgação das práticas construtivas adequadas não cresceram em proporcionalidade às atividades de construção, o que contribuiu para a redução da capacidade do concreto em proteger as armaduras contra a corrosão (FERREIRA, 2000).

Segundo Vasconcelos (2005), pelo fato das execuções das obras não terem acompanhado o avanço tecnológico, para facilitar o lançamento do concreto em peças estreitas e mais armadas, passou-se a utilizar concretos mais fluidos e compostos por materiais mais finos, o que resultou em um produto final de qualidade inferior.

Até o final da década de 80, a resistência à compressão ainda era, basicamente, um dos únicos parâmetros adotados na avaliação da qualidade do concreto, o que está ocasionando um aceleração na degradação das estruturas de concreto armado, obrigando, conseqüentemente, que novos parâmetros sejam definidos para garantir a performance do material (LOTTERMANN, 2013).

A tecnologia da fabricação do concreto foi avançando com o tempo e, com a melhoria das propriedades dos aditivos e ligantes, passou a ser possível alcançar reduções significativas nas seções das peças de concreto armado, em função do aumento das resistências mecânicas (FERREIRA, 2000).

Os pilares e vigas são elementos estruturais importantes, devendo passar por manutenção periódica para evitar a necessidade da aplicação de medidas extremas, como a demolição da estrutura. Para evitar o colapso da construção, as técnicas para utilização de reforços estruturais têm sido estudadas e aprimoradas constantemente (LOTTERMANN, 2013).

Quando empregados de maneira correta, os reforços estruturais são uma solução viável e segura para o reparo da estrutura. Contudo, os métodos e técnicas para reabilitar estruturas de concreto armado são baseados no acúmulo de experiências empíricas, tendo em vista que cada dano ou problema estrutural tem suas próprias características, devendo ser tratados com particularidade em cada caso (TAKEUTI, 2003).

2.1.1. Patologia em estruturas de concreto armado

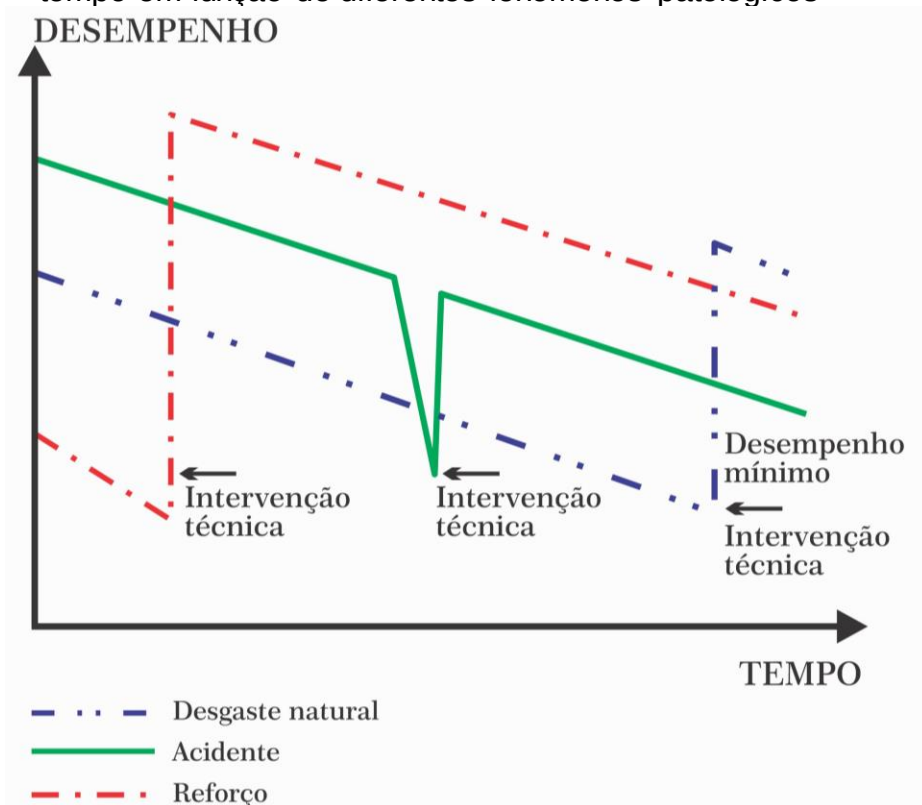
Os tempos modernos ditaram a certeza de que o concreto, como material de construção, é instável ao longo do tempo, alterando suas propriedades físicas e químicas em função das características de seus componentes e das respostas destes às condicionantes do meio ambiente. “As consequências destes processos de alteração que venham a comprometer o desempenho de uma estrutura, ou material, costuma-se

chamar deterioração. Os elementos agressores, em si, são designados agentes de deterioração” (SOUZA; RIPPER, 1998, p.17).

O surgimento de problemas patológicos em determinada estrutura indica, em última instância e de maneira geral, a existência de uma ou mais falhas durante a execução de uma das etapas da construção, além de apontar falhas, também, no sistema de controle de qualidade próprio de uma ou mais atividades (SOUZA; RIPPER, 1998).

Entretanto, ainda segundo Souza e Ripper (1998), o ponto em que cada estrutura, em função da deterioração, atinge níveis de desempenho insatisfatórios, vai variar de acordo com o tipo de estrutura. Algumas delas, por falhas de projeto ou de execução, já iniciam as suas vidas de forma insatisfatória, enquanto outras chegam ao final de suas vidas úteis projetadas ainda mostrando um bom desempenho.

FIGURA 1 - Diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos



Fonte: Souza e Ripper (1998, p.18)

Na FIGURA 1 são representadas, genericamente, três diferentes histórias de desempenhos estruturais, ao longo das respectivas vidas úteis, em função da ocorrência de fenômenos patológicos diversos.

Souza e Ripper (1998) explicam que, no primeiro caso, está ilustrado o fenômeno natural de desgaste da estrutura e que, quando há intervenção, a estrutura se recupera, voltando a seguir a linha de desempenho acima do mínimo exigido para sua utilização.

O segundo caso se trata de uma estrutura sujeita a um problema subido a dada altura, necessitando, então, de imediata intervenção corretiva para que volte a se comportar de maneira satisfatória.

Já no terceiro caso, tem-se uma estrutura com erros oriundos de projeto ou de execução, ou uma estrutura que necessitou ter seus propósitos funcionais alterados, o que caracteriza a necessidade de reforço estrutural (SOUZA; RIPPER, 1998).

Desenvolver o projeto de forma que a construção possa ser executada de maneira eficiente e o trabalho de manutenção seja facilitado, mantém a deterioração em níveis mínimos e é a situação ideal em relação aos padrões de qualidade a que uma estrutura deve atingir (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.1.2. Causas de patologia em estruturas de concreto armado

Os processos principais que causam a deterioração do concreto podem ser agrupados de acordo com sua natureza, podendo estar associados a fatores mecânicos, físicos, biológicos ou químicos. Na realidade, a deterioração do concreto ocorre muitas vezes como resultado de uma combinação de diferentes fatores externos e internos. São processos complexos, determinados pelas propriedades físico-químicas do concreto e da forma como o material está exposto (LOTTERMANN, 2013).

Entre os fatores mecânicos, as vibrações podem ocasionar fissuras no concreto, possibilitando o contato da armadura com o meio corrosivo. Líquidos em movimento, principalmente contendo partículas em suspensão, podem ocasionar erosão no concreto com o seu consequente desgaste. No caso de existirem substâncias químicas agressivas ao concreto nesses líquidos, tem-se uma ação combinada, a erosão-corrosão, que é mais rápida e prejudicial do que ações isoladas (GENTIL, 2007).

Os fatores físicos, como a variação de temperatura, podem ocasionar choques térmicos com reflexos na integridade das estruturas. Variações de temperatura entre os diferentes componentes do concreto (pasta de cimento, agregados e armadura), com características térmicas diferentes, podem ocasionar microfissuras na massa do concreto, o que possibilita a penetração de agentes agressivos. Os fatores biológicos, como microrganismos, podem criar meios corrosivos para a massa de concreto e armadura, como aqueles criados pelas bactérias oxidantes de enxofre ou de sulfetos, que aceleram a oxidação dessas substâncias para ácido sulfúrico. Os fatores químicos estão relacionados com a presença de substâncias químicas nos diferentes ambientes, normalmente água, solo e atmosfera. Entre as substâncias químicas mais agressivas, devem ser citados os ácidos, como sulfúrico e clorídrico. Os fatores químicos podem agir na pasta de cimento, no agregado e na armadura de aço-carbono (GENTIL, 2007, p. 206).

2.1.3. Deterioração em pontes de concreto armado

As pontes e viadutos são obras-de-arte especiais sujeitas à ação de diversos agentes patológicos, em função da continuidade de uso e da falta de programas preventivos de manutenção, na maioria dos casos. Essas construções constituem parte essencial de muitos sistemas viários em todo o mundo e apresentam problemas de ordem estrutural que necessitam de soluções emergenciais (LOURENÇO; LOURENÇO, 2009).

Existem várias tentativas estudadas para classificação das causas que provocam a deterioração das pontes de concreto armado. O Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – Instituto de Pesquisas Rodoviárias (DNIT IPR), em publicação de nº 744 de 2010, proposta em 1991 pela *Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et des Recherches sur les Matériaux et les Constructions* (RILEM), apresenta uma das

classificações das causas de deterioração das pontes, como exposto no QUADRO 1 a seguir.

QUADRO 1 – Fatores que provocam deterioração em pontes

FATORES INTRÍNSECOS	Ligados a estrutura, como idade e qualidade do concreto, dosagem e escolha dos materiais utilizados na construção, boa execução das fases de construção, presença dos elementos, acessórios como juntas de dilatação e sistema de drenagem. Todos estes fatores influenciam na resistência mecânica, porosidade, permeabilidade, densidade, capacidade e baixa fissuração.
FATORES RESULTANTES DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO	Tipos de tráfego rodoviário, carga rodoviária e velocidade dos veículos. As cargas rodoviárias majoradas provocam o desgaste da pavimentação, o aumento dos efeitos da fadiga, a fissuração e apressam o desgaste das juntas de dilatação e dos aparelhos de apoio.
FATORES AMBIENTAIS	Os fatores ambientais são de natureza climática ou atmosférica, tais como variações sazonais e diárias de temperatura, tempestades, pressão do vento, poluição atmosférica, chuva ácida, águas poluídas por produtos químicos, dos rios, mares e subterrâneas, efeitos sísmicos.
FATORES RESULTANTES DO TIPO DE INTENSIDADE DE MANUTENÇÃO	A manutenção, preventiva ou corretiva, implicando em limpeza, proteção anticorrosiva e medidas corriqueiras de conservação, é um fator decisivo na durabilidade. A manutenção de rotina quando inadequada e insuficiente permite a degradação da estrutura, ainda que ela tenha sido bem construída, com a utilização de materiais e equipamentos adequados.

Fonte: DNIT IPT. Publicação 744 de 2010.

2.1.4. Tipos de patologia

2.1.4.1. Fissuras e trincas

As trincas e fissuras são comuns nas estruturas de concreto armado e resultam da fragilidade do concreto, tendo em vista que o material não resiste à tração e colapsa explosiva e repentinamente. Contudo, o tamanho da abertura, posicionamento no elemento estrutural e a quantidade em que as trincas ou fissuras se manifestam, são fatores decisivos para determinar o estágio de degradação das estruturas (CÁNOVAS, 1988).

Conforme a NBR 15575 (2013), as fissuras apresentam aberturas inferiores ou iguais a 0,6mm, enquanto as trincas apresentam abertura superior a 0,6mm. Já a NBR 9575 (2010), que orienta e regulamenta projetos de impermeabilização, considera fissura quando a abertura é inferior a 0,5 mm e trinca entre 0,5mm e 1,0mm.

As trincas (FIGURA 03) ou fissuras (FIGURA 02), normalmente, são causadas por erros na execução do projeto, como falhas no dimensionamento dos elementos estruturais ou por falta de detalhamento do projeto. A manifestação de fissuras é indício de que a estrutura perde sua durabilidade e o nível de segurança (BASTOS, 2017).

FIGURA 2 - Fissuras



Fonte: Mapa da obra (2018)

FIGURA 3 - Trinca em ponte de concreto armado - Brasília/DF



Fonte: DNIT, publicação de 2017.

2.1.4.2. Corrosão

Processos corrosivos em estruturas, pontes e viadutos de concreto, têm ocorrido em vários estados brasileiros, ocasionando riscos à integridade dos usuários dessas construções (GENTIL, 2007).

Falhas mais numerosas têm ocorrido em estruturas situadas em orla marinha, devido à penetração de névoa salina na massa de concreto, até atingir a armadura. Contudo, a armadura não é suscetível de sofrer corrosão, a não ser que ocorram contaminação e deterioração do concreto (GENTIL, 2007).

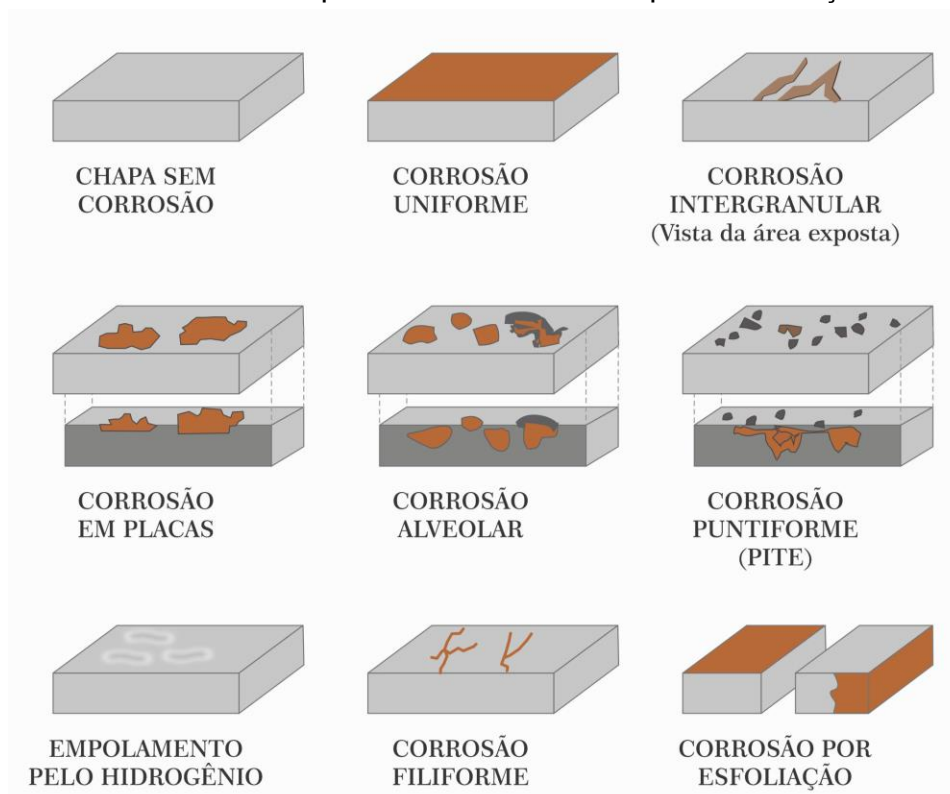
Os constituintes do concreto inibem a corrosão do material metálico e se opõem à entrada de contaminantes. Daí se pode afirmar que, quanto mais o concreto se mantiver inalterado, mais protegida estará a armadura. Na maioria dos casos a armadura permanece por longo tempo resistente aos agentes corrosivos, podendo esse

tempo ser praticamente indefinido. Todavia, ocorrem alguns casos onde a corrosão da armadura é bastante rápida e progressiva (GENTIL, 2007).

Segundo Gentil (2007), a deterioração do concreto por ação química, pode ocorrer na pasta de cimento ou no agregado. Já a corrosão por ação eletroquímica pode ocorrer na armadura. Quando ocorre a deterioração do concreto por ação química, pode-se observar a expansibilidade do concreto, lixiviação de componentes, ataque do cimento por ácidos, com aparecimento típico do agregado.

A corrosão eletroquímica do aço empregado nas armaduras pode se apresentar nas seguintes formas:

FIGURA 4 - Tipos de corrosão eletroquímica do aço



Fonte: conhecimentocientifico.r7.com (acesso em 2020) - adaptado

Em definição por Gentil (2007), a corrosão uniforme é a da armadura em toda sua extensão, quando exposta ao meio corrosivo. Por se apresentar distribuída em toda extensão da superfície metálica, normalmente, não gera consequências graves.

Corrosão intergranular é a que se processa entre os grãos da rede cristalina do material metálico. Quando as armaduras são submetidas a solicitações mecânicas, podem sofrer fratura frágil, perdendo o material toda condição de utilização (GENTIL, 2007).

Corrosão em placas é a que se localiza em regiões específicas da superfície metálica, e não em toda sua extensão, formando placas com escavações (GOMES, 2005).

Corrosão alveolar é a que ocorre na superfície metálica, produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor que o seu diâmetro (GOMES, 2005).

Corrosão puntiforme é a da armadura com desgaste localizado sob a forma de pites, podendo ser facilmente confundida com a corrosão alveolar. Estas ocasionam cavidades que podem atingir profundidades razoáveis e, além disso, os pites podem



agir como regiões de concentração de solicitações mecânicas, possibilitando a corrosão sob tensão fraturante (GENTIL, 2007).

Empolamento ou fragilização pelo hidrogênio, é a corrosão ocasionada por hidrogênio atômico que, difundindo-se para o interior do aço da armadura, possibilita a fragilização com consequente perda de ductilidade de possível fratura da armadura (GENTIL, 2007).

Corrosão filiforme é a que se processa sob a forma de finos filamentos, que se propagam em diferentes direções e que não se cruzam. Ocorre, geralmente, em superfícies metálicas revestidas com tintas ou com metais, ocasionando o deslocamento do revestimento (GOMES, 2005).

Corrosão por esfoliamento se processa em diferentes camadas e o produto da corrosão, formado entre a estrutura de grãos alongados, separa as camadas, ocasionando o inchamento do material metálico (GOMES, 2005).

As corrosão intergranular e a fragilização por hidrogênio podem ser dadas como “graves quando se tem ação combinada de solicitações mecânicas e meio corrosivo, pois ocorrerá a corrosão sob tensão fraturante (*stress corrosion cracking*), com a consequente fratura da armadura e reflexos nas estruturas de concreto armado” (GENTIL, 2007, p.206).

2.1.4.3. Desagregação

A desagregação, ou seja, deterioração do concreto por separação de suas partes, provocada pela expansão proveniente da oxidação ou dilatação das armaduras, pelo aumento do volume de concreto quando absorve água, e também pelas aberturas insuficientes das juntas de dilatação, gerando tensões tangenciais não previstas, é outro fator patológico que se manifesta nos elementos estruturais. Pode ocorrer, também, devido às movimentações estruturais e choques na estrutura (BASTOS, 2017).

Ocorrendo, na maioria dos casos, em conjunto com a fissuração, a desagregação tem como consequência à peça afetada localizada ou globalmente, a perda da capacidade de resistir aos esforços que a solicitam (SOUZA; RIPPER, 1998).

Souza e Ripper (1998) entendem a desagregação do concreto, como a separação física do material em fatias, fazendo com que a estrutura perca a capacidade de resistir aos esforços na região degradada.

Em analogia às ideias de Souza e Ripper (1998), Cánovas (1988) afirma que os componentes do concreto perdem sua coesão, reduzindo significativamente a resistência mecânica.

Segundo Trindade (2015, apud SILVA, 2011) são numerosos os fatos que podem causar a desagregação no concreto: fissuração, movimentação das formas, corrosão do concreto, ataques biológicos e o fenômeno da calcinação, que consiste na perda de resistência e mudança de cor do concreto, quando submetido à temperaturas próximas a 600°C. A FIGURA 5 apresenta uma viga de concreto armado submetida à um processo de degradação.

FIGURA 5 - Desagregação do concreto em viga



Fonte: ARALDI, 2013.

2.1.4.4. Desgaste

O desgaste nas superfícies das peças de concreto é causado, normalmente, por abrasão, erosão e cavitação.

Para Trindade (2015, apud SILVA, 2011), a abrasão corresponde ao desprendimento do material superficial do elemento, decorrente do arraste, fricção ou atrito causado pela passagem de pessoas, veículos, ou até mesmo por partículas carregadas pelo vento.

A abrasão tem ocorrência com maior frequência em lugares de intensa circulação de pessoas e grande tráfego. A magnitude da perda das partículas depende de vários fatores, como a baixa resistência do concreto, exsudação excessiva, cura inadequada, até mesmo ao ataque químico de agentes agressores (TRINDADE, 2015, apud. SILVA, 2011).

FIGURA 6 - Piso desgastado por abrasão



Fonte: Trindade (2015, apud LATORRE, 2002)

A erosão ocorre por consequência do movimento de fluídos de ar ou água, que agem sobre a superfície do concreto de modo a desgasta-la, resultado da colisão que

sofrida pelas partículas em suspensão. Normalmente, ocorre em pilares de pontes, canais de irrigação, tubulações e vertedouros (TRINDADE, 2015, apud. SILVA, 2011).

FIGURA 7 – Pilar erodido pela ação da água



Fonte: Trindade (2015, apud LATORRE, 2002)

Segundo Gentil (2007) a erosão é mais acentuada quando o fluido em movimento contém partículas em suspensão na forma de sólidos, que funcionam como abrasivos, ou mesmo na forma de vapor, como no caso da cavitação.

A cavitação é observada quando se tem a água sujeita a regiões de grande velocidade, com consequente queda de pressão, possibilitando, então, a formação de bolhas de vapor d'água, que são arrastadas pela água em movimento. Quando ela entra em regiões de pressões mais elevadas, as bolhas de vapor sofrem implosão, transmitindo grande onda de choque para os materiais presentes. Essa formação de bolhas de vapor e a subsequente implosão, isto é, cavitação, são responsáveis por grandes danos em concreto sujeitos a altas velocidades de água, como no caso de canais e vertedouros de barragens (GENTIL, 2007).

Souza e Ripper (1998) explicam que quando uma região sofre este processo, o problema se agrava devido à mesma se tornar mais propensa a sofrer novamente a cavitação, o que faz com que o desgaste tenda a aumentar cada vez mais, caso não seja reparado.

FIGURA 8 – Cavitação em estrutura de concreto



Fonte: Trindade (2015, apud LATORRE, 2002)

2.1.4.5. Eflorescência

As eflorescências são depósitos de sair brancos na superfície do concreto ou argamassas, resultante da exposição do material à água de infiltrações ou intempéries. Este tipo de patologia modifica o aspecto visual da estrutura por sua coloração esbranquiçada e pode causar degradação profunda à estrutura afetada (STORTE, 2012).

FIGURA 9 - Eflorescência em peça de concreto



Fonte: Trindade (2015, apud LATORRE, 2002)

2.1.4.6. Reação Álcali-Agregado

Pela própria natureza química da pasta de cimento, pode-se prever que o concreto, devido à sua natureza alcalina, apresente boa resistência à ação de bases como, por exemplo, soda cáustica. Entretanto, em presença de soluções concentradas dessa base, pode-se verificar a deterioração do concreto (GENTIL, 2007).

A reação álcali-agregado é um fenômeno que ocorre no concreto endurecido e que se desenvolve devido à combinação de três agentes: álcalis do cimento, agregado reativo ou potencialmente reativo e a presença constante de umidade. Essa combinação causa danos de grandes proporções e às vezes irreversíveis, geralmente, em obras de grande volume de concreto, como barragens, blocos de fundação, pavimentação de estradas, aeroportos, cais e pontes (SOUZA; RIPPER, 1998).

FIGURA 10 – Concreto sob reação álcali-agregado



Fonte: Trindade (2015, apud LATORRE, 2002)

2.1.5. Diagnóstico da patologia

Ao se verificar que uma estrutura de concreto armado apresenta problemas patológicos, torna-se necessário efetuar uma vistoria detalhada e cuidadosamente

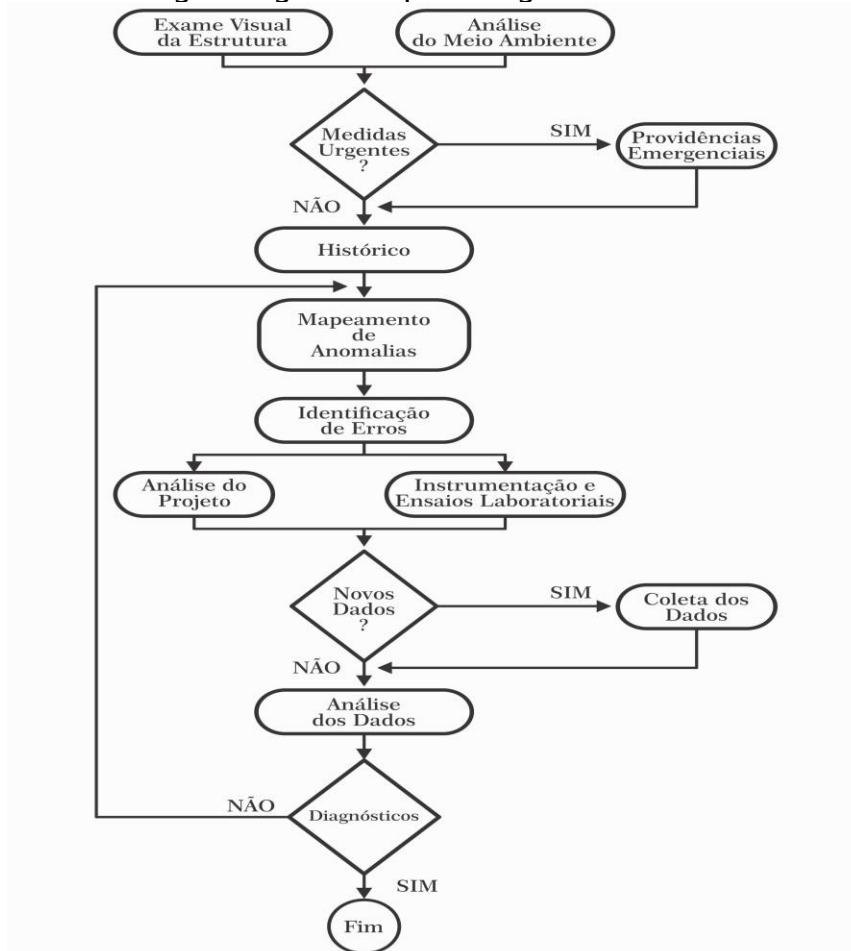
planejada para que se possa determinar as reais condições da estrutura, de forma a avaliar as anomalias existentes, suas causas, providências a serem tomadas e os métodos a serem adotados para a recuperação ou reforço da estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

As providências a adotar, e mesmo os limites a seguir, quanto à avaliação da periculosidade de determinados mecanismos de deterioração, podem e devem observar a importância das estruturas em termos de resistência e durabilidade, assim como, muito particularmente, a agressividade ambiental (SOUZA; RIPPER, 1998, p.78).

A FIGURA 11 apresenta um fluxograma com uma metodologia genérica para inspeção de estruturas convencionais, a qual se divide em três etapas básicas: levantamento dos dados, análise e diagnósticos.

Souza e Ripper (1998) ressaltam que a última etapa, o diagnóstico, só poderá ser efetuada após a conclusão das etapas de levantamento e de análise. Explicam ainda que, frequentemente, tem-se que retornar à primeira etapa, pois só após algumas tentativas de diagnóstico é que se consegue saber da necessidade de coleta e a análise de novos elementos. Para concluir o diagnóstico, devem ser levados em conta uma série de fatores, como o fator econômico, técnico, segurança e conforto, por exemplo.

FIGURA 11 – Fluxograma genérico para diagnose de estrutura convencional



Fonte: Souza e Ripper (1998, p.80)

2.1.6. Recuperação e reforço estrutural

Segundo Vitório (2015), o processo de recuperação estrutural de uma ponte de concreto vai depender de cada situação específica, mas geralmente é feito de acordo com os procedimentos usualmente adotados para as obras de concreto armado e protendido.

QUADRO 2 – Procedimentos típicos para recuperação de pontes antigas de concreto armado com patologias por ação do tempo e da falta de manutenção

RECUPERAÇÃO DAS LAJES	1. Apicoamento manual das superfícies lateral e inferior das lajes. Remover as partes de concreto desagregado; 2. Jateamento d'água sobre pressão para limpeza da superfície de concreto apicoada; 3. Colocação das armaduras adicionais indicadas no desenho correspondente; 4. Aplicação de concreto projetado.
RECUPERAÇÃO DAS VIGAS PRINCIPAIS E TRANSVERSINAS	1. Demolição do concreto do fundo das vigas na espessura de 5cm, até descobrir a 1ª camada de ferros da armação positiva; 2. Jateamento d'água sob pressão nas superfícies a recuperar; 3. Execução do concreto projetado.
RECUPERAÇÃO DOS PILARES	1. Demolição do concreto nos trechos de armaduras expostas na espessura de 5cm, até descobrir as barras da armação longitudinal; 2. Jateamento d'água sob pressão nas superfícies a recuperar; 3. Colocação das armaduras adicionais indicadas no desenho correspondente; 4. Aplicação de concreto projetado.
RECUPERAÇÃO DAS ARMADURAS OXIDADAS	1. Apicoamento da superfície e remoção do concreto deteriorado em torno das armaduras; 2. Lixamento ou escovamento para remoção dos produtos de corrosão incrustados nas armaduras; 3. Adição de armaduras complementares quando a redução da seção for maior que 10%; 4. Aplicação de primer rico em zinco sobre as armaduras nos trechos de reparos;
RECUPERAÇÃO DAS FISSURAS E TRINCAS	1. Demolição do concreto no trecho ao longo da fissura ou trinca; 2. Limpeza com jato de água do concreto remanescente e das armaduras na região do reparo; 3. Aplicação de adesivo epóxi de pega lenta Nitbond EPPL ou similar para aderência entre concreto velho e novo; 4. Aplicação de argamassa polimérica à base de cimento; 5. Efetuar reforço conforme os detalhes, procedimentos e especificações nos desenhos correspondentes.

Fonte: VITÓRIO (2015, p.30).

Os reforços estruturais são realizados em pontes ou viadutos, normalmente, quanto existe a necessidade de aumentar a capacidade de carga (VITÓRIO, 2015).

“O aumento da capacidade de carga pode ser motivado por diversas causas, sendo uma das mais frequentes a necessidade de adequação das pontes antigas às cargas móveis atuais, sem o alargamento do tabuleiro” (VITÓRIO, 2015, p.34).

Outros fatores determinantes para a realização de reforço estrutural são as intensidades das manifestações patológicas instaladas, a ocorrência de erosões ao longo do tempo nas fundações, avarias causadas pela ação das cheias nos rios, o choque de embarcações ou de veículos e a detecção de resistência insuficiente em determinados elementos estruturais (VITÓRIO, 2015).

O trânsito dos veículos cujas cargas estejam acima daquelas para as quais a ponte foi projetada, também provoca danos que muitas vezes implicam na necessidade de reforço da estrutura (VITÓRIO, 2015).

2.2. METODOLOGIA

A análise e verificação das patologias detectadas em uma ponte de concreto armado, situada na Comunidade do Barreiro, na divisa entre os municípios de Manhuaçu-MG e Reduto-MG, bem como as possibilidades de reparo e reestruturação da ponte, se consolidam nos métodos de estudo deste artigo em que o objetivo principal é expor os problemas e patologias acarretados pela falta de conservação e manutenção da estrutura da ponte ao longo de sua vida útil.

As informações e dados utilizados neste trabalho foram fornecidas pelo engenheiro Leandro José de Lima, responsável pelo laudo pericial da ponte em análise. Demais informações acerca de dados coletados em campo e registros fotográficos também foram fornecidos pelo engenheiro responsável.

Os registros e informações obtidos foram comparados com as bibliografias e referenciais para classificação das patologias e análise para determinação das possibilidades de reparo dos danos encontrados.

3. ANÁLISE DE DADOS

Neste estudo, a ponte em questão tem suas dimensões em 50 metros de extensão e 06 metros de largura. Está situada no estado de Minas Gerais, entre as comunidades de Barra do Jaguarai e Vargem Alegre, na Zona Rural, delimitando os municípios de Manhuaçu e Reduto.

O fluxo de movimentações sobre a ponte pode ser considerado o de um tráfego leve ou moderado, entretanto, com circulação de veículos pesados, consequência do fato de que a região é movimentada pela indústria cafeeira.

Estima-se que a ponte atenda a 160 famílias, totalizando aproximadamente 400 pessoas, com renda proveniente do cultivo de café, o que torna a Ponte do Barreiro imprescindível para o desenvolvimento econômico e social das comunidades, tendo em vista que a mesma dá acesso às cidades próximas, escolas, igrejas, unidades de saúde da família e comércios locais.

O local em que a ponte se encontra pode ser classificado, segundo a NBR 6118 (2014), como de Classe de Agressividade Ambiental (CAA I), tendo em vista se tratar de um ambiente rural. Apesar de sua agressividade ser considerada fraca e os riscos de deterioração estrutural serem considerados insignificantes, existem alguns fatores e condições de exposição da estrutura que intensificam a degradação, como:

- I. Grande amplitude térmica;
- II. Tráfego de veículos pesados, para o qual a ponte não foi projetada;
- III. Crescimento das cidades adjacentes.

Referente à tipologia estrutural, ela é caracterizada como ponte em viga, tendo laje maciça e vigamento cruzado nas transversais, com apoios em muros de encontro, com um lado engastado e o outro apoiado, como mostra a FIGURA 13.

FIGURA 13 – Vista da Ponte do Barreiro



Fonte: Leandro José de Lima (2019)

3.1. Histórico da Ponte do Barreiro

Os primeiros problemas e danos verificados na ponte, foram relatados pelos moradores da comunidade que, no ano de 2016, reportaram à administração municipal o grande acúmulo de vegetações que invadiam a estrutura da ponte.

No início de 2017, uma intervenção emergencial foi realizada na ponte pela Prefeitura Municipal de Manhauçu, que consistiu na compactação do solo na base da ponte, o que se fez necessário após verificarem os danos causados por fortes chuvas ocorridas no final do ano de 2016.

Conforme informações divulgadas em matéria do noticiário Tribuna do Leste, a administração objetivava a construção de uma nova ponte desde a última intervenção realizada em 2017, entretanto, somente no segundo semestre de 2019 foi realizado um laudo técnico acerca do estado em que a ponte se encontrava, para que a administração municipal solicitasse as verbas para o reparo e reforço da estrutura da ponte.

O Laudo Técnico foi realizado pelo Engenheiro Civil Leandro José de Lima, especialista em estruturas e fundações e mestre em políticas públicas e desenvolvimento local. No laudo emitido pelo especialista, ficou evidente que os danos apresentados na estrutura da ponte eram graves, o que enfatizou a necessidade urgente de reparos e reforços.

3.1.1. Manifestações patológicas verificadas na Ponte do Barreiro

Foram realizadas verificações visuais, com inspeção conduzida de forma organizada e minuciosa, a fim de que todos os danos estruturais fossem analisados individualmente. O especialista Leandro coletou fotografias das manifestações patológicas, as quais mostraram o estado dos aparelhos de apoio, do guarda-corpo e do tabuleiro. Após análise dos registros realizados em visita técnica ao local, procedeu-se a elaboração do laudo técnico. As patologias verificadas foram analisadas de forma isolada e como um todo, para assim, apontar a causa de tais danos e encontrar a melhor solução para a recomposição da estrutura.

Foi verificado que uma das cabeceiras da ponte se deslocou após uma enchente, fazendo com que um dos seus apoios cedesse. Na vistoria foi verificado, também, que a ponte estava apoiada em madeiras que, segundo os moradores, eles mesmos as colocaram com a intenção de reforçar a estrutura, como pode ser visto na Figura 14.

FIGURA 14 – Madeiras colocadas no apoio da ponte



Fonte: Noticiário Tribuna do Leste (2019).

Entre os danos encontrados, percebeu-se que a ponte se encontrava com armaduras expostas em alguns pontos, trincas em pilares e vigas e, também, percebeu-se a necessidade de uma reforma para reparo das estruturas de guarda-corpo e drenagem da ponte, tendo em vista que a ponte também apresentava sinais de infiltrações na superfície (FIGURA 15), decorrente da ausência de um projeto eficiente de drenagem. No local, foi verificada a existência de furos no tabuleiro, fazendo com que a água escorresse pelas vigas (FIGURA 16).

FIGURA 15 – Ausência de guarda-corpo e infiltrações



Fonte: Leandro José de Lima (2019).

FIGURA 16 – Armadura exposta e furo no tabuleiro da ponte



Fonte: Leandro José de Lima (2019).

Para Caputo (1987), a fundação é a parte de uma estrutura que transmite ao terreno subjacente a carga da obra. No caso deste estudo, a ponte de 50 metros de extensão possui uma fundação precária, apresentando sinais de degradação do concreto. Além de ficar claro que um travamento foi realizado na altura dos pilares e o outro na altura dos blocos, evidenciando um possível erro de execução ou falta de projeto adequado (FIGURA 17). No travamento realizado entre pilares, nota-se a presença de uma trinca que passa por toda a ligação.

FIGURA 17 – Patologia nas fundações



Fonte: Leandro José de Lima (2019).

Foi identificado, também, que a estrutura apresentava vários pontos de deslocamento do concreto com exposição da armadura e estas patologias (FIGURA 18), quando não são tratadas adequadamente, geram a corrosão e a carbonatação da armadura. A FIGURA 19 expõe o desgaste da estrutura, que caracteriza abrasão e evidencia as britas do concreto no tabuleiro da ponte.

FIGURA 18 – Exposição da armadura e deslocamento do concreto



Fonte: Leandro José de Lima (2019)

FIGURA 19 – Exposição de britas no tabuleiro por abrasão



Fonte: Leandro José de Lima (2019)

Pode-se observar na FIGURA 20, um arranque no apoio engastado que, possivelmente, foi causado pela movimentação da ponte em 2016, quando houve o primeiro colapso parcial da estrutura.

FIGURA 20 – Sinais de desmoronamento do apoio



Fonte: Leandro José de Lima (2019).



4. CONCLUSÃO

Como foi exposto acima, a ponte do Barreiro apresentava grande quantidade de manifestações patológicas e, para o tratamento e reparo de tais danos, recomenda-se, após limpeza e análise do grau de gravidade de cada patologia, a adoção dos procedimentos listados no Quadro 2, onde são demonstradas as medidas de recuperação e tratamento das estruturas de ponte de concreto armado.

Recomenda-se também a realização de ensaios de resistência nas vigas e pilares, caso o resultado mostrasse que a estrutura é ineficiente para suportar as cargas. Neste caso, é recomendado o reforço com encamisamento, utilizando concreto fluido de alta resistência.

Tais manifestações patológicas como corrosão da armadura, fissuração e deslocamento do concreto, poderiam ter sido evitadas com projetos de manutenção adequados, entretanto, como já se tratava de uma estrutura antiga e com manifestações patológicas antigas e recorrentes periodicamente, a estrutura não resistiu às fortes chuvas de janeiro de 2020 e entrou em colapso total, não tendo seu projeto de recuperação efetivamente realizado.

Com as análises realizadas acerca das péssimas condições nas quais a ponte do Barreiro se encontrava e a evidente necessidade de intervenções emergenciais, conclui-se que o reforço estrutural adequado para a estrutura, com projetos de recuperação, drenagem e reforço da fundação, seriam essenciais para evitar o colapso total da estrutura da ponte.

Os projetos de intervenção deveriam ter sido elaborados conforme os requisitos normativos, levando em conta a demanda do tráfego no local.

Em análise às soluções viáveis para os problemas estruturais encontrados, este artigo buscou expor que, caso houvessem sido tomadas medidas de manutenção corretiva e/ou preventiva, o colapso da estrutura poderia ter sido evitado, livrando a comunidade dos transtornos causados e isentando os responsáveis de maiores gastos com uma reconstrução.

Mediante ao elevado grau de deterioração em que a ponte se encontrava e o alto grau de incidência de diversas patologias, seria indicado um estudo comparativo dos custos para saber se a realização de projetos de recuperação e restauração da estrutura seriam mais viáveis do que a construção de uma nova ponte.

Diante do cenário atual, a reconstrução deverá ser realizada, também, seguindo os parâmetros e atendendo os requisitos básicos de segurança em obras-de-arte especiais.

5. REFERÊNCIAS

ARALDI, E. **Reforço de pilares por encamisamento de concreto armado: Eficiência de métodos de cálculo da capacidade resistente comparativamente a resultados experimentais.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575. **Desempenho de Edificações Habitacionais.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575. **Impermeabilização – Seleção e projeto.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674. **Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.** Rio de Janeiro, 2012.

BASTOS, H. C. N. **Principais Patologias em Estruturas de Concreto de Pontes e Viadutos:** Manuseio e Manutenção das Obras de Arte Especiais. Revista CONSTRUINDO, Belo Horizonte, v. 9, Ed. Esp. de Patologia, 2017.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e terapia do concreto armado.** Tradução de Maria Celeste Marcondes, Carlos W. F. dos Santos, Beatriz Cannabrava. 1 ed. São Paulo: Pini, 1988.

DNIT. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-emanuais/manuais/documentos/744_manual_recuperacao_pontes_viadutos.pdf. Acesso em: 20 mar. 2020.

FERREIRA, Rui Miguel. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2000.

GENTIL, V. **Corrosão.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

GOMES, A. C. T. **Análise da Corrosão e da Erosão-Corrosão do aço-carbono em meio com NaHCO₃ e CO₂.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e Processos (PIPE). Universidade Federal do Paraná. Curitiba–PR, 2005.

LOTTERMANN, A. F. **Patologia em estruturas de concreto: estudo de caso.** Departamento de Ciências Exatas e Engenharias. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí – RS, 2013.

LOURENÇO, L. C. e LOURENÇO, M. V. C. **Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais.** Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Niterói, Rio de Janeiro, 2009.

MAPA DA OBRA. **Como prevenir as fissuras derivadas da reação álcali-agregado em concreto.** Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/reacao-alkali-agregado-concreto/> Acesso em: 23 mar. 2020.



SOUZA, V. C. M e RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.

STORTE, Marcos. **Manifestações Patológicas na Impermeabilização de Estruturas de Concreto em Saneamento**. Fórum da Construção, 2012. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=20&Cod=703>. Acesso em: 26 mar. 2020.

TAKEUTI, A. R. **Comportamento resistente imediato e ao longo do tempo de pilares reforçados por meio de encamisamento com concreto de alto desempenho**. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos-SP, 2003.

TRINDADE, D. S. **Patologia em estruturas de concreto armado**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro Tecnológico. Santa Maria, RS, 2015.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de; CARRIERI JÚNIOR, Renato. **A escola brasileira do concreto armado**. 1. ed. São Paulo: Axis Mundi, 2005.

VITÓRIO, J. A. P. Conservação, Segurança Estrutural e Reforço de Pontes Rodoviárias de Concreto. In: **Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, VIII edição, São Paulo, SP. 2015**. Disponível em: <<http://vitorioemelo.com.br/publicacoes.shtml>> Acesso em: 02 mar. 2020.

VITÓRIO, J. A. P. Pontes Rodoviárias: Fundamentos, Conservação e Gestão. **Livro Técnico CREA-PE**, 2002. Disponível em <<http://vitorioemelo.com.br/publicacoes.shtml>> Acesso em: 07 mar. 2020.