

CORROSÃO DE ARMADURAS EM CONCRETO ARMADO

CONCRETE CORROSION

Debora Kelly Garcia Martins

Engenheira Civil, pós-graduada em Auditoria, Avaliações e Perícias de Engenharia
deborakellygm@hotmail.com

RESUMO

A corrosão de armaduras em concreto armado é uma das patologias mais recorrentes nas estruturas. Este artigo busca, através de referências bibliográficas, elucidar a causa dessa manifestação patológica, seus tipos e sintomas. Também vem mostrar as principais formas de prevenção e de reparo do concreto armado. A corrosão é uma manifestação patológica que, além de afetar a estética, atinge principalmente o desempenho das construções. Muitos sinistros na construção civil foram causados pela diminuição de resistência do concreto devido a corrosão da armadura. O reparo de um material já debilitado acarreta um custo financeiro maior do que a prevenção da patologia. Para uma maior vida útil da estrutura, é essencial um projeto bem executado, uma construção bem feita e uma utilização adequada. Conclui-se que conhecer o tema é a melhor forma de impedi-lo, mitigando gastos em reparos e garantindo a durabilidade da estrutura.

Palavras-chave: Concreto. Armadura. Corrosão. Engenharia. Patologia.

ABSTRACT

Corrosion of reinforced concrete reinforcement is one of the most common pathologies in structures. This article seeks, through bibliographic references, to elucidate the cause of this pathological manifestation, its types and symptoms. It also shows the main ways of preventing and repairing reinforced concrete. Corrosion is a pathological manifestation that, in addition to affecting aesthetics, affects mainly the performance of buildings. Many accidents in civil construction were caused by the decrease in strength of the concrete due to corrosion of the reinforcement. Repairing an already weakened material carries a higher

financial cost than preventing pathology. For a longer service life of the structure, a well-executed design, well-constructed construction and proper use are essential. It is concluded that knowing the theme is the best way to prevent it, mitigating expenses on repairs and ensuring the durability of the structure.

Palavras-chave: Concrete. Reinforcement. Corrosion. Engineering. Pathology.

1. INTRODUÇÃO

Os sinistros na construção civil são causados por diversos fatores. Dentre esses fatores, alguns decorrem de erro profissional, no projeto ou na execução da obra, muitas vezes para minimizar o custo obra, por falta de conhecimento sobre as técnicas construtivas ou por ausência de precaução. Há, ainda, sinistros que não decorrem da falha humana, mas sim de condições adversas ou eventos da natureza (MARCELLI, 2007).

O concreto armado é utilizado desde o século XIX, e hoje, por apresentar alta resistência e durabilidade, é um dos materiais mais utilizados na construção civil. Ele combina as características dos elementos – areia, brita, cimento, água e armadura – para garantir resistência à tração e à compressão. Como desvantagem, o concreto armado, se não for bem projetado e bem executado, pode manifestar patologias graves, afetando sua resistência e durabilidade. Uma das patologias mais recorrentes no concreto armado é a corrosão de sua armadura (SOARES et al, 2015).

A corrosão das armaduras é de suma importância na construção civil pois, além de acarretar a deterioração do concreto, afeta a durabilidade e estabilidade das estruturas. A deterioração química ocorre nos materiais não-metálicos do concreto, a corrosão eletroquímica age sobre o material metálico – a armadura. Esta passa a ser suscetível à deterioração a partir da contaminação e deterioração do concreto, enquanto este se mantiver íntegro o aço estará protegido. Porém, se houver fissuração, o processo de corrosão acontecerá rápida e progressivamente (GENTIL, 2012).

Esse fenômeno, de natureza eletroquímica, pode ser acelerado por agentes agressivos internos, externos, incorporados pelo concreto ou do meio ambiente (MARCELLI, 2007).

As variáveis que originam o processo de corrosão são de diversas fontes. Normalmente, essa patologia é atribuída à falta de cobrimento adequado, mas o grau de agressividade do meio ambiente não pode ser negligenciado. O cobrimento é fundamental para proteção física e química da armadura. Ele protege o aço do meio em que a peça se

encontra e mantém o pH alcalino, porém, aumentar o cobrimento significa aumentar o custo da estrutura (HELENE, 1986).

Marcelli (2007) cita que as fases da instalação do processo de corrosão começam pela perda de aderência entre a armadura e o concreto, alterando a sollicitação estrutural da peça. Como a barra de aço se expande devido a formação de ferrugem, o concreto que envolve a armadura se desagrega e fatura, aumentando o processo corrosivo pela exposição da armadura ao meio ambiente.

Se for constatado processo corrosivo pela presença de manchas marrom-avermelhadas ou fissuras na peça, o agente causador da deterioração deve ser identificado e os reparos na estrutura devem ser feitos para corrigir os problemas causados e evitar a recorrência da corrosão (GENTIL, 2012).

2. CORROSÃO DA ARMADURA

2.1. CONCRETO ARMADO

O concreto é uma mistura de areia, cimento, brita e água. O cimento é o aglomerante que liga os agregados, cimento e brita, e endurece de acordo com a fôrma, garantindo a resistência e durabilidade do material. Esses materiais do concreto são facilmente encontrados na natureza, o que torna o concreto um material de fabricação simples e acessível (ADÃO; HEMERLY, 2010).

De acordo com Araújo (2014), além da água, cimento, brita e água, ao concreto podem ser acrescentados aditivos químicos e adições minerais com a finalidade de alterar sua característica. O concreto possui alta resistência à compressão e baixa resistência à tração, no concreto armado o aço tem a função de aumentar a capacidade de carga da compressão e, principalmente, de garantir a resistência à tração.

O concreto é um material de construção que é instável ao longo do tempo, com alteração de suas propriedades físicas e químicas em função de seus componentes e da resposta desses componentes ao meio ambiente. A deterioração é o comprometimento do desempenho da estrutura devido a essa alteração de propriedades. Durante a vida útil, a estrutura deve permanecer com suas propriedades acima dos limites mínimos especificados, mas por erros de projeto ou execução a deterioração pode ocorrer antes do final de sua vida útil (SOUZA; RIPPER, 1998).

O aço é constituído por ferro, que tem como composição básica: silício, manganês e carbono. O carbono é o componente que oferece alta resistência e dutibilidade ao aço. O uso

do aço combinado ao concreto foi fundamental para o desenvolvimento da construção no século XX, isso foi possível pela alta aderência entre os materiais, que faz com que a carga seja bem distribuída. A tração é resistida inicialmente pelo concreto, que possui resistência à tração de 10% da sua resistência à compressão (ADÃO; HEMERLY, 2010).

Os materiais estruturais mais utilizados são o concreto e o aço, os quais podem ser empregados de forma complementar, como no concreto armado. O aço é produzido industrialmente, com um controle de fabricação rígido garantindo sua qualidade, o concreto depende do projeto, dos aditivos, dos insumos, do transporte, do lançamento e de outras variáveis para ter sua qualidade garantida (NEVILLE, 2013).

2.2. CORROSÃO

De acordo com Helene (1986), a corrosão é definida pela reação eletroquímica do material com o meio aquoso, formando uma película de eletrólito sobre o aço. Essa película é causada, entre outras raras causas, por umidade, seja dentro do concreto ou, ainda, por mau armazenamento no canteiro de obras.

O concreto age no concreto armado protegendo o aço física e quimicamente. A proteção física protege a armadura através do cobrimento, a proteção química é resultado do elevado pH do concreto, que forma uma película protetora chamada de camada de passivação (SANTOS, 2015).

A alcalinidade do concreto (pH entre 12,6 e 14) é resultado da reação entre a água e os compostos do cimento. Com o pH acima de 9, existe a camada de passivação para proteção da armadura (SOUZA; RIPPER, 1998).

A armadura será passível de corrosão somente quando houver deterioração ou contaminação dos constituintes de concreto. Quanto mais o concreto estiver preservado, mais protegida estará a armadura, pois o concreto inibe a corrosão metálica e protege contra a entrada de agentes contaminantes (GENTIL, 2012).

Conforme ensina Cascudo (1997), existe uma linha de estudiosos que defende que as fissuras antecipam o problema de corrosão, mas não interferem na intensidade do problema a ponto de diminuir a vida útil do concreto.

A fissuração no concreto armado é natural por conta da baixa resistência do concreto à tração. Porém, fissuras maiores do que 0,2 mm são prejudiciais por facilitarem o ingresso de agentes agressivos ao concreto. Em relação ao concreto armado, o concreto protendido tem a qualidade de não fissurar, entretanto o aço utilizado na sua armadura é mais vulnerável à corrosão (NEVILLE, 2013).

Para a corrosão no aço ocorrer, é necessário a existência de um eletrólito, de diferença de potencial e de oxigênio (Helene, 1986 *apud* Rush, 1975).

O eletrólito é constituído pela presença da água, que sempre está presente no concreto. A diferença de potencial acontece pela diferença de umidade, concentração salina ou tensão em diferentes pontos da barra, formando uma pilha. O oxigênio é necessário para a corrosão, pois combinado com a água e o ferro origina a ferrugem (HELENE, 1986).

A carbonatação não ocorre em concretos secos, por falta de eletrólito, e nem em concretos saturados, pela baixa de oxigênio (SOUZA; RIPPER, 1998).

De acordo com Helene (1986), na barra de aço, a pilha eletroquímica forma uma zona anódica e uma zona catódica, essas zonas em contato com um eletrólito e sob diferença de potencial formam a corrente elétrica, conforme indicado na Figura 1. Dependendo dessa corrente e da quantidade de oxigênio, haverá corrosão da armadura.

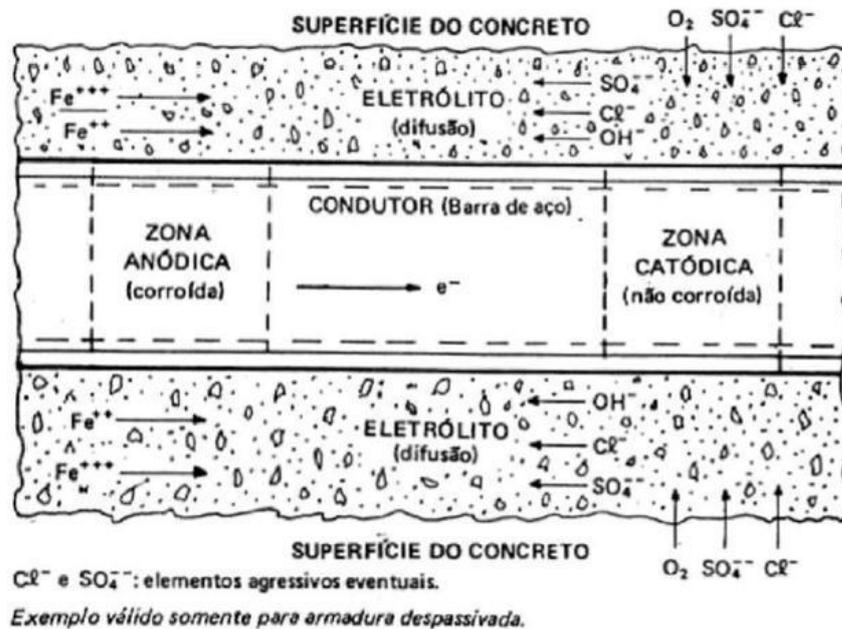


Figura 1 – Célula de corrosão eletroquímica do concreto

Fonte: Helene, 1986

As zonas do aço com diferentes potenciais elétricos tendem a buscar o equilíbrio igualando seus potenciais, formando a dupla camada elétrica. Haverá uma passagem espontânea de elétrons através do condutor, a barra de aço, da zona anódica (mais eletronegativo) para a zona catódica (mais eletropositiva), com essa passagem forma-se a pilha eletroquímica. No ânodo há uma perda de elétrons causada pelas reações anódicas de oxidação do metal, o átomo metálico deixa o metal para formar íons no eletrólito. Na zona catódica há um ganho de elétrons da região anódica, ocorrendo a deposição catódica

(CASCUDO, 1997).

Marcelli (2007) destaca que a corrosão pode ser acelerada pela presença agentes agressivos no concreto ou no meio ambiente que atuam como catalisadores, acelerando o processo de corrosão. Os mais comuns são sulfetos, cloretos, dióxido de carbono, nitritos e outros que estão presentes no próprio concreto ou que são por ele absorvidos. Outros fatores que podem aumentar o potencial de corrosão são o índice de umidade e a variação de temperatura.

A corrosão no concreto armado pode se dar por três diferentes formas, ilustrado pela Figura 2. No aço que é submetido a grande esforço em um meio agressivo, ocorre a corrosão sob tensão fraturante; a corrosão por hidrogênio atômico, em que a estrutura é fragilizada; e a corrosão por pite, que pode ser localizada, na presença de agentes agressivos, água e oxigênio, e pode ser generalizada, chamada de carbonatação, quando há redução do pH do concreto (SOUZA; RIPPER, 1998).

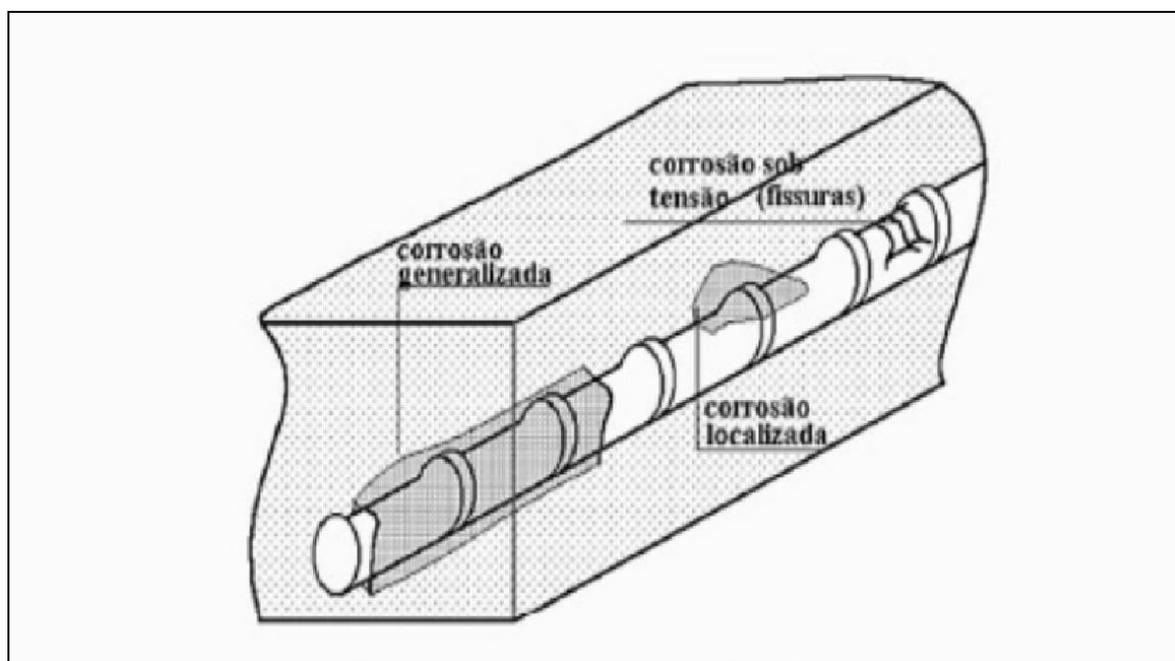


Figura 2 – Tipos de corrosão do aço no concreto armado

Fonte: SOUZA; RIPPER, 1998

Desses tipos de corrosão, a corrosão puntiforme é a mais preocupante, pois o aço é atingido mais profundamente, resultando em concentração de tensão solicitante nos pites, ocasionando a corrosão sob tensão fraturante (SHELMAN et al, 2017 apud GENTIL, 2012).

2.3. DESPASSIVAÇÃO DAS ARMADURAS

Segundo Cascudo (1997), a camada de passivação, garantida pela alcalinidade do concreto, pode ser desfeita pela carbonatação ou pela ação dos cloretos.

a) Carbonatação

A carbonatação é um processo que ocorre lentamente e atenua-se com o tempo, por causa da hidratação crescente do cimento. O processo de carbonatação possui uma frente de carbonatação, que separa o concreto em duas zonas: a zona carbonatada (com pH menor do que 9) e zona não carbonatada (com pH maior do que 9) (CASCUDO, 1997).

A NBR 6118:2014 define a despassivação por carbonatação como a ação do gás carbônico sobre o aço da armadura (SANTOS, 2015).

Os principais efeitos da carbonatação sobre o concreto é a redução de pH, a redução da permeabilidade, o aumento da resistência superficial e um aumento na resistividade elétrica (SANTOS, 2015 apud Cantuária e Carmona, 2005).

Gentil (2012) aponta que a velocidade da reação depende da umidade do concreto e da umidade relativa do meio. A relação água/cimento atua de forma direta com a profundidade da carbonatação, quanto maior a relação, maior será a reação.

Cascudo (1997) mostra que na umidade do meio ambiente, a reação começa com nenhuma carbonatação no concreto seco, aumenta gradativamente até atingir um ponto e começa a regredir até chegar ao zero, por não haver reação no concreto saturado.

Conforme Helene (1986), determinar a espessura carbonatada é possível com a aplicação de fenolftaleína a uma área recém exposta do concreto. Normalmente é utilizada uma solução com 1g de fenolftaleína em uma solução com 50g de água e 50g de álcool.

No ensaio de carbonatação feito com fenolftaleína, o concreto deve ser saturado com mistura sem haver escorrimento do líquido. Se a área de aspersão resultar rosa significa que o concreto não está carbonatado, seu pH é alcalino. Porém, na área em que a aplicação no concreto resultar incolor, há carbonatação, o pH do concreto está inferior a 8,3 (SHELMAN et al, 2017).

b) Ação dos cloretos

Cascudo (1997) ensina que nenhum outro contaminante comum é tão citado na corrosão de armaduras como o cloreto.

Os cloretos atuam na quebra ou no impedimento da formação da película passivadora do aço. Eles podem estar contidos na mistura de concreto, através da água, de agregados contaminados ou de aditivos a base de cloreto de cálcio, ou podem ser do meio externo e terem sido absorvidos. Pelo concreto ser um material poroso, ele está suscetível à penetração

de agentes agressivos. Esses agentes podem estar na atmosfera, em águas industriais, em águas residuais, no ambiente marinho e em dejetos orgânicos (MARCELLI, 2007).

Em zonas marinhas, a agressividade é alta, pois o concreto sofre ciclos de molhagem e secagem com a presença de agentes agressivos, como o cloreto, a presença de água e a presença de gases (SOARES et al, 2015).

A presença de íons agressivos, como o cloreto, destrói a camada óxida de revestimento das barras de forma localizada, sempre que houver umidade e oxigênio (SOUZA; RIPPER, 1998).

Uma forma de minimizar o ataque de íons cloreto é através da escolha do tipo de cimento. No cimento Portland comum e no cimento Portland pozolânico (com escória) a ocorrência de corrosão de armadura por cloreto é pequena. Já no uso de cimentos resistentes a sulfatos, o cloreto possui mais presença (SOARES et al, 2015 apud NEVILLE, 2013).

Pequenas quantidades de cloretos podem ser responsáveis por grandes corrosões (HELENE, 1986 apud RUSH, 1975).

2.4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

O primeiro sintoma da corrosão do aço no concreto armado é o surgimento de trincas e de manchas marrom-avermelhadas, resultado do processo inicial da corrosão (MARCELLI, 2007).

A formação de ferrugem nas armaduras é de fora para dentro, diminuindo a seção do aço progressivamente. Esse é o primeiro resultado da corrosão, que gera a diminuição da capacidade da resistência da armadura pela diminuição pela área do aço (SOUZA; RIPPER, 1998).

A reação de corrosão gera óxidos e hidróxidos de ferro que passam a ocupar, no interior do concreto, volumes de 3 a 10 vezes superiores ao volume ocupado pela armadura não corroída. Essa expansão gera tensões internas maiores do que 15Mpa. Conforme ilustrado pela Figura 3, o esforço na direção radial das barras provoca a fissuração do concreto. As fissuras se formam na direção paralela das barras corroídas e são classificadas como fissuras ativas progressivas, pois aumentam de acordo com o processo corrosivo. A progressividade no aumento das fissuras gera o lascamento do concreto, o que deixa a barra mais exposta (CASCUDO, 1997).

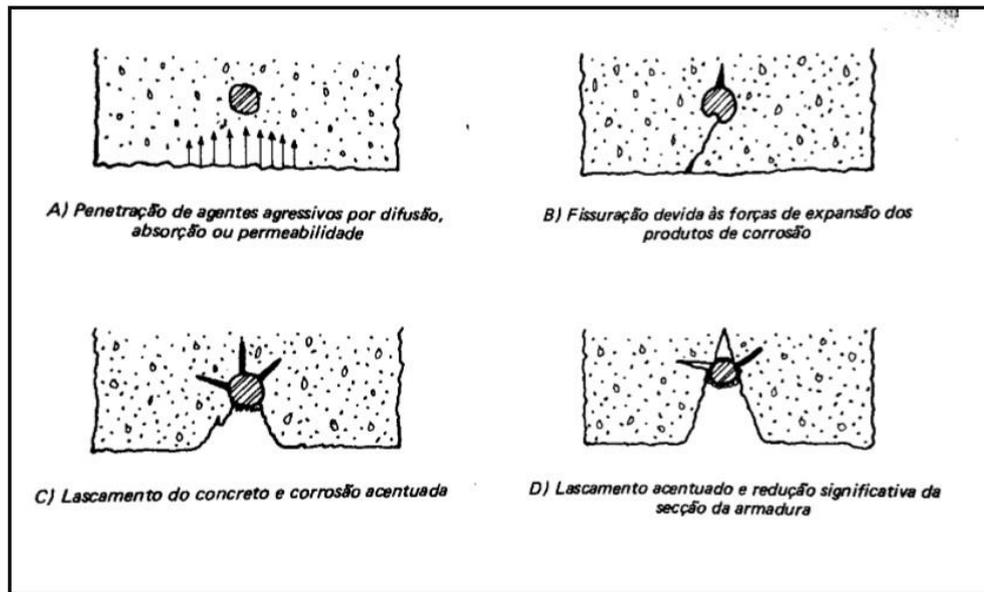


Figura 3 – Processo de corrosão da armaduras

Fonte: Helene, 1986

Helene (1986) explica que, pela dificuldade de se ter um cobrimento adequado nas lajes, nestes componentes estruturais o início da corrosão é mais facilmente notado. Em vigas e pilares, os indícios começam pelos estribos, pois eles são apoiados diretamente nas formas sem cobrimento suficiente.

Nem sempre a corrosão resultará em fissuras. Caso o concreto esteja com uma alta umidade, a manifestação patológica será a formação de manchas marrom-avermelhadas nas peças de estrutura de concreto. Os óxidos que resultam o manchamento se movimentam pelos poros do concreto, isso faz com a mancha não coincida com a localização onde as barras estão posicionadas (CASCUDO, 1997).

Elementos estruturais que estejam sujeitos a deformações são mais propensos a contaminação por agentes agressivos, pela tendência ao surgimento de trincas. Peças com esforço predominante de compressão são menos suscetíveis à corrosão, por não apresentarem trincas decorrente da tração. Estruturas com arestas evidenciadas possuem uma tendência ao ataque do aço maior se comparado com estruturas com cantos arredondados (MARCELLI, 2007).

Conforme Cascudo (1997), em peças submetidas a flexocompressão, como os pilares, o destacamento do concreto representa perda de parte da seção do elemento estrutural. A dessolidarização das armaduras não permite a transferência de carga do concreto para o aço, gerando deformação ou flambagem das barras longitudinais da estrutura.

Em concretos leves e porosos é comum aparecer somente a formação de manchas de ferrugem sem a fissuração da peça. Em corrosão preponderantemente eletroquímica em meio aquoso, geralmente não há continuidade na manifestação patológica na peça estrutural, há alternância de alta corrosão com trechos não corroídos (HELENE, 1986).

Portanto, de acordo com Cascudo (1997), a corrosão de armaduras deteriora de duas formas o concreto armado. Primeiramente, o aço é deteriorado e sofre, conseqüentemente, uma perda de capacidade portante. A outra forma é causa do lascamento do concreto, que reduz a seção de concreto, diminuindo sua resistência estrutural.

2.5. PROTEÇÃO

Para que a corrosão não exista é necessário e suficiente que o pH do concreto se mantenha acima de 9 (o concreto deve ser alcalino) e que agentes agressivos não atinjam a armadura (SOUZA; RIPPER, 1998).

O cobrimento de concreto das armaduras age como uma barreira física contra água, oxigênio e agentes agressivos e, como barreira química, garante um meio alcalino para a camada de passivação da armadura. O planejamento do cobrimento deve ser de acordo com a classe de agressividade ambiental. O cobrimento deve ser executado conforme o projeto e de forma que não haja desuniformidade na sua espessura (CASCUDO, 1997).

A NBR 6118:2014 considera essencial, para dificultar a penetração de agentes agressivos para o interior do concreto, um concreto de baixa porosidade, com especificação correta do cobrimento e com controle de fissuração, e, também, uma adequada espessura do cobrimento para cada componente estrutural e para cada classe de agressividade ambiental, conforme ilustrado pela Figura 4.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Figura 4 – Tabela de cobrimento

Fonte: NBR 6118/2014

Quanto maior for o cobrimento, maior será o tempo para que os agentes agressivos do ambiente cheguem a armadura (SANTOS, 2015 apud BAZAN, 2014).

Porém, como ensina Neville (2013), um cobrimento muito espesso pode gerar fissuração. Pois, como o cobrimento é um concreto sem armaduras, uma espessura alta resultaria na falta da ação das armaduras, que atua no concreto armado na resistência à tração, à retração e à tensão térmica. O cobrimento, além de proteger a armadura, dá resistência à abrasão e protege contra o fogo.

Helene (1986) ensina que um bom cobrimento deve possuir alta compacidade, sem “ninhas”, e uma argamassa adequada e homogênea para proteger, por impermeabilidade, a armadura dos agentes agressivos externos. Portanto, o cobrimento protege a camada passivante da armadura contra danos mecânicos e mantém sua estabilidade.

O efeito da cura no cobrimento do concreto armado é fundamental para garantir a qualidade da proteção das armaduras, porque pode ocorrer a fissuração por retração pela evaporação acentuada da água. A cura prolongada aumenta significativamente o tempo de iniciação da corrosão. Porém, a água utilizada na cura deve ser a água doce, pois a água salobra aceleraria o ingresso de cloretos (NEVILLE, 2013).

As pastilhas têm a finalidade de garantir um revestimento uniforme em todo o elemento estrutural. Elas devem ser distribuídas uniformemente ao longo de toda a peça e fixadas adequadamente para não caírem na concretagem. Existem diversos tipos de pastilhas, a de argamassa possui uma melhor aderência no concreto, é de baixo custo e de fácil colocação (MARCELLI, 2007).

Além da correta execução do revestimento, alguns detalhes construtivos são importantes para se evitar o problema de corrosão. As barras de aço devem ser corretamente armazenadas, protegidas da sujeira, das intempéries e não ficando em contato direto com o solo. As barras nervuradas possuem maior tendência à corrosão do que as lisas e as barras já cortadas ou dobradas são mais sensíveis em relação as barras não cortadas ou dobradas. Fios e barras corroídos podem ser utilizados se mantiverem sua resistência à tração garantida por ensaios, porquanto a corrosão tende a cessar quando a barra corroída é colocada no concreto (HELENE, 1986).

A galvanoplastia, também conhecida como “metais de sacrifício”, é um método preventivo muito utilizado contra a corrosão de armaduras. Esse método consiste na imersão da barra de aço em zinco em estado líquido. O zinco irá atuar como barreira entre o aço e o meio ambiente agressivo e atuando como ânodo de sacrifício, corroendo no lugar do aço. A corrosão do zinco, em comparação com a do aço, não vai manchar o concreto e não vai produzir aumento de volume na seção. O recurso da galvanoplastia deve ser corretamente empregado para cada caso e deve ser combinado a um adequado revestimento e uma adequada relação água/cimento (HELENE, 1986).

2.6. REPARO

Conforme Marcelli (2007), é sempre melhor um procedimento preventivo do que uma recuperação. O reparo é caro, indesejável, requer mão de obra especializada e não traz um resultado igual ao que seria o executado corretamente. É importante, primeiramente, conhecer a causa da manifestação patológica, se for corrosão por ação de cloretos a solução será mais complexa.

A manutenção corretiva, ou seja, os reparos para a correção da patologia, deve ser executada quando for caracterizado o processo corrosivo com deterioração do concreto armado. A manutenção preventiva pode tornar desnecessária a manutenção corretiva. As principais medidas de proteção estão na formulação do cimento, na adição de polímeros, no uso de revestimento protetores, na proteção catódica, em inibidores de corrosão adicionados ao concreto e na remoção de cloreto e realcalinização (GENTIL, 2012).

Em um concreto que já possui fissuras, é necessário um tratamento adequado para o processo de corrosão cessar e não para ele se agravar. Para o correto reparo, a causa da patologia deve ser conhecida. As causas mais comuns de corrosão são: concreto inadequado, falta de cobrimento adequado, presença de cloretos, excesso de cargas, ambiente agressivo e má execução (MARCELLI, 2007).

Helene (1986) ensina que na corrosão de armaduras a estrutura danificada pode ser recuperada com mão de obra especializada, por ser um trabalho delicado. O autor explica as 3 etapas de reparo:

- a) Limpeza rigorosa da peça com jato de areia, retirada do concreto danificado e remoção da camada de ferrugem da barra

O corte é a retirada profunda do concreto danificado que deve garantir a remoção de todo o concreto degradado e o meio alcalino para as novas barras de aço. A profundidade do corte deve ser a maior entre 2 cm ou o diâmetro da barra, conforme a Figura 5. A extensão do corte deve garantir que toda película oxidada seja removida e, ao mesmo tempo, não cortar a mais para não ferir o elemento estrutural. Dependendo da intensidade da degradação do elemento estrutural, a peça terá uma queda na sua capacidade estrutural e necessitará de escoramento ou macaqueamento. Por ser um trabalho detalhista, o corte requer mão de obra especializada e supervisão técnica de engenheiro. Após a remoção do concreto degradado, será feito, necessariamente, na sequência: jatos de areia, de ar comprimido e de água.

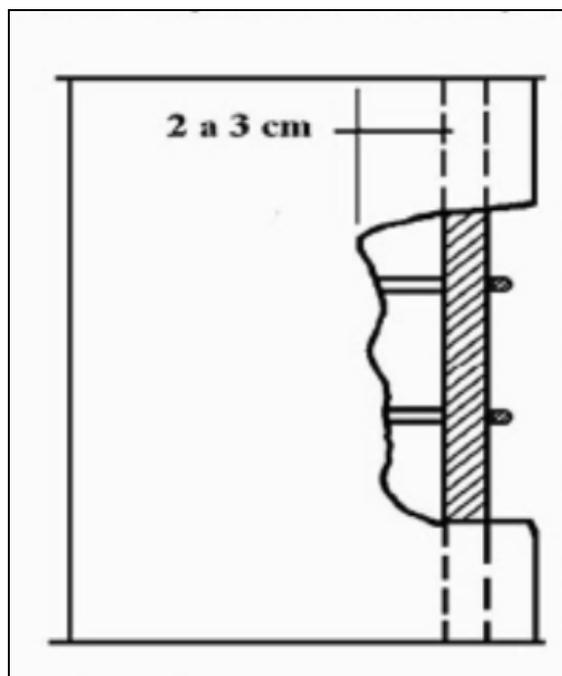


Figura 5 – Remoção profunda do concreto degradado

b) Análise da seção transversal da barra, com comparativos de resistência

Na análise da armadura corroída é comum admitir uma redução na seção transversal do aço de forma que não comprometa sua resistência, cerca de até 10% de perda da seção. Se a perda de seção tiver reduzido a resistência do aço, poderá ser utilizada a emenda por transpasse, em que barras novas são adicionadas à estrutura, conforme a figura 6. Esse método é utilizado quando a peça permite a abertura para colocação dessas barras de reforço (MARCELLI, 2007).

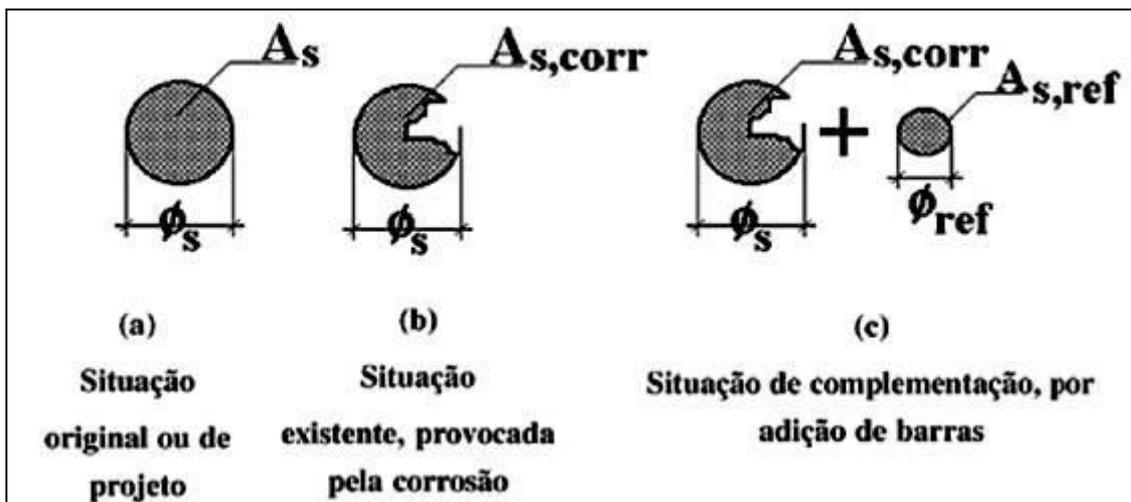


Figura 6 – Reposição da seção transversal do aço

Nos casos em que a técnica de trespasse puder ser feita, ela será a recuperação mais recomendável. No entanto existem outros recursos possíveis, como o recurso a luvas mecânicas ou de emendas com solda (SOUZA; RIPPER, 1998).

A emenda com luvas consiste em um sistema em que as extremidades das barras são unidas por uma luva de compressão e prensadas de forma que garantam a ligação das barras (MARCELLI, 2007).

Helene (1986) explica que se parte da armadura for substituída e for utilizada emendas com solda, esta deverá ser à base de eletrodos e deve ter tempo e temperatura controlados para não alterar as características do aço.

c) Reconstrução do cobrimento.

Marcelli (2007) divide o restauro da peça em duas modalidades: superficiais localizados ou de grandes áreas e profundos. Conforme o autor, para as duas modalidades há diversos produtos industrializados para cada situação específica, por exemplo, existem

grautes, argamassas poliméricas e adesivos à base de epóxi. O importante no reparo é garantir a boa aderência do concreto velho com o concreto novo, que não haja retração por secagem e que possua alta resistência.

Dentre os procedimentos de reconstrução do novo cobrimento, Helene (1986) cita as vantagens e as desvantagens dos diversos tipos de materiais. O concreto projetado tem boa aderência ao “concreto velho” e não necessita de fôrmas, mas suja o ambiente e acarreta muita perda de material. Os adesivos à base de epóxi unem o concreto velho ao novo impermeabilizando a armadura, porém o procedimento requer utilização de fôrmas e normalmente aumenta a seção transversal da peça. Concretos e argamassas poliméricas são alternativas de alta durabilidade, boa aderência e impermeabilizam; contudo, necessitam de mão de obra especializada, possuem alto custo e necessitam de formas. Grautes têm boa aderência e requerem fôrmas. E concretos e argamassas com baixa relação água/cimento necessitam de formas, normalmente aumentam a seção da peça e não garantem a aderência ao “concreto velho”.

3. CONCLUSÃO

A corrosão de armaduras é uma das patologias mais recorrentes no concreto armado, causando desconforto estético ao usuário, diminuindo a vida útil da estrutura e acarretando em um alto custo de reparo. A melhor forma de minimizar a ocorrência dessa patologia é pelo conhecimento de projetistas e engenheiros sobre a causa, sintomas, proteção e reparo da corrosão e armaduras.

O concreto protege a armadura física e quimicamente, através de seu cobrimento e de seu pH alcalino, criando uma camada de proteção. A quebra da camada que protege o aço pode se dar por carbonatação ou por ação de cloretos. A carbonatação é a ação do gás carbônico sobre a armadura, alterando o pH do concreto e quebrando a película passivadora. A ação de cloretos é a forma mais comum de ataque às armaduras, através da entrada de agentes agressivos por meio de fissuras ou de componentes do concreto, em aditivos ou de materiais impróprios, quebrando a película passivadora do aço e iniciando o processo corrosivo.

O processo corrosivo é uma reação eletroquímica que só acontece com presença de água, diferença de potencial e oxigênio. Essa reação forma a ferrugem, aumentando o volume

da barra, reduzindo a seção transversal do aço e a consequente perda de aderência entre o concreto e a armadura.

Pelo aumento de volume da barra, o concreto sofre altas pressões em seu interior e começa a fissurar e a deslocar. Com a redução do aço, o concreto passa a não resistir às tensões para o qual ele foi projetado e a peça estrutural tem sua vida útil reduzida, podendo chegar ao colapso. Então, a corrosão do aço no concreto armado resulta em dois problemas distintos: a perda de aço, devido ao processo corrosivo, e a perda de seção transversal do concreto, devido ao lascamento do concreto.

Os sintomas característicos da corrosão são a fissuração e o manchamento do concreto de cor marrom-avermelhada. As fissuras são localizadas na direção das armaduras, pela expansão do aço. As manchas são descontínuas, pois são causadas pela ferrugem que se movimenta pelos poros do concreto de forma não uniforme.

A fissuração no concreto permite a entrada de agentes agressores. Por isso, a armadura não corroída iniciará seu processo de corrosão e a armadura com o processo já iniciado terá o processo de corrosão acelerado.

Há diversas técnicas para proteção e para reparo das armaduras, sempre a proteção será mais econômica, viável e de mais fácil execução do que a correção após as manifestações patológicas. Por isso, o ideal é, desde o projeto, garantir cobertura com espessura adequada ao meio, com espaçadores que garantam a uniformidade de espessura e com um traço adequado para evitar a porosidade.

No reparo, diferentes estratégias podem ser adotadas, no entanto é um serviço delicado e que requer mão de obra especializada. A correção da corrosão se dá em três etapas: limpeza, análise da armadura e reconstrução da parte danificada da estrutura. Uma limpeza bem executada é fundamental para garantir o correto reparo da peça estrutural. Essa limpeza é feita retirando-se todo o concreto comprometido e a ferrugem da barra, deixando a barra de aço com espaço de 2cm, no mínimo, em volta dela. O jato de areia, jato de ar comprimido e o hidrojateamento são muito utilizados para retirar qualquer material pulverulento que possa comprometer a aderência ao novo concreto. Na análise da armadura é comum aceitar uma perda de seção da barra de até 10% de sua seção transversal. Acima desse valor a armadura terá que ser reforçada. O reforço da armadura pode ser dar por adição de barras de aço, emendas com luvas ou emendas com solda. A reconstrução do cobertura, última etapa do reparo, é feito normalmente com concreto ou argamassa polimérica, porém existem outros materiais que devem ser empregados de acordo com a situação, como grautes, concretos projetados e adesivos à base de epóxi.

Este trabalho foi realizado por pesquisa bibliográfica. Através de referências teóricas, como livros, periódicos e sites, o assunto foi pesquisado e proposto de forma ordenada a contemplar os trabalhos e pesquisas de diversos autores. Os tópicos, para entender como a corrosão no concreto armado ocorre, foram explicitados de forma geral e completa para abarcar o assunto como um todo, sem priorizar a causa da corrosão ou suas consequências.

Muitos trabalhos sobre o assunto explicitam a causa da corrosão, as reações químicas, os tipos de corrosão. Há um entendimento consolidado entre os autores do que causa a corrosão, porém a solução da patologia possui pouco embasamento. Poucas são as referências bibliográficas sobre a proteção e o reparo do concreto que apresente corrosão em sua armadura. Para diminuição da ocorrência desta patologia é essencial um estudo em laboratório mais amplo para que o profissional saiba como proteger o concreto preventivamente e como reparar o concreto pelos danos já causados. Portanto, a proteção e o reparo do concreto deveriam ser estudados de modo mais aprofundado com pesquisas experimentais.

REFERÊNCIAS

ADÃO, F.X.; HEMERLY, A.C. **Concreto armado: novo milênio: cálculo prático e econômico**, 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

ARAÚJO, J.M. **Curso de concreto armado**, v.1, 4 ed. Rio Grande: Dunas, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. - **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. Goiânia, GO: Editora UFG, 1997.

COMIM, K.W.; ESTACECHEN, T.A.C.; **Causas e alternativas de reparo da corrosão em armaduras para concreto armado**. Revista construindo. v. 9. ed. Esp. de patologia. Belo Horizonte: 2017.

GENTIL, V. **Corrosão**, 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HELENE, P.R.L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: PINI, 1986.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil**. São Paulo: PINI, 2007.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**, 2 ed. Porto Alegre: Brooksman, 2013.

SANTOS, A.V.B.; **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado devido a carbonatação**. Salvador: IPOG, 2015.

SHELMAN, C.; FERNANDES, K.; COSTA, S.; SILVA, E. **A importância dos ensaios não destrutivos para diagnóstico de corrosão nas estruturas de concreto armado**. Universidade Potiguar, 2017.

SOARES, A.P.F.; VASCONCELOS, L.T.; NASCIMENTO, F.B.C.; **Corrosão em armaduras de concreto**. Cadernos de graduação: Ciências exatas e tecnológicas. v. 3. n. 1. Maceió: 2015.

SOUZA, V.C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.