

Água do Mar:

Em relação à água do mar refere-se que os sais mais importantes são: o cloreto de sódio (NaCl), o cloreto de magnésio (MgCl₂), o sulfato de magnésio (MgSO₄), o sulfato de cálcio (CaSO₄), o cloreto de potássio (KCl) e o sulfato de potássio (K₂SO₄), e em geral a concentração total é de 35 g/l . Além dos sais, a água contém oxigénio e dióxido de carbono dissolvidos em concentrações variáveis.

As concentrações dos vários iões na água do mar do Atlântico (CEB, 1992) afastada da foz dos rios é a que se esquematiza na Figura - 1.40.

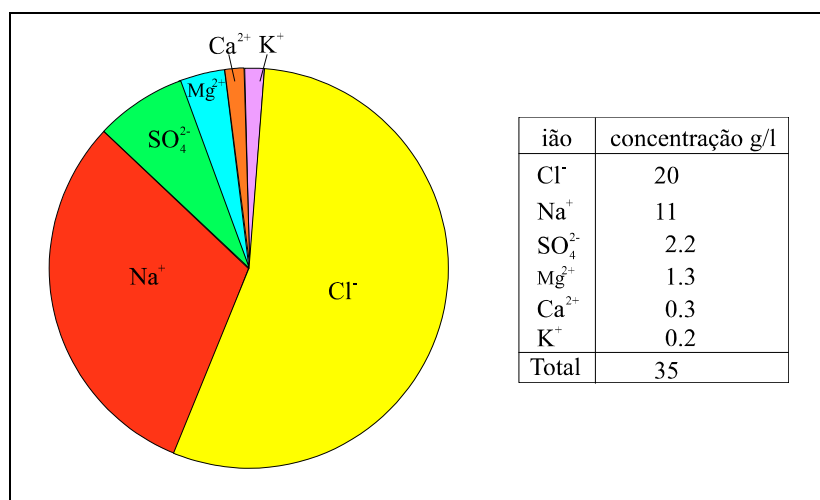


Figura 1.40 - Concentração média de iões na água do Atlântico.

Embora a água do mar contenha uma série de sais em solução tais como os sulfatos potencialmente muito agressivos, de facto verifica-se que devido à presença de cloreto de sódio o ataque é apenas moderado, na medida em que os cloretos combinam-se com os aluminatos formando cloroaluminatos (sais de Fridell) (CEB, 1992), impedindo a reacção dos sulfatos com os aluminatos formando etringite, que é a reacção mais expansiva. (Ftikos e Parissakis, 1987; Novokshenov, 1987; CEB, 1992)

A zona inferior de maré e a zona submersa de estruturas sujeitas a ambiente marítimo são aquelas onde o perigo de ataque por sulfatos é maior.

Os processos químicos envolvidos são segundo Regourd (1983), (CEB, 1992):



(Stark e Depuy, 1987)

(Grattan-Bellew e Gillot, 1987)

Figura 1.41 - Deterioração do betão por reacção álcalis - sílica reactiva.

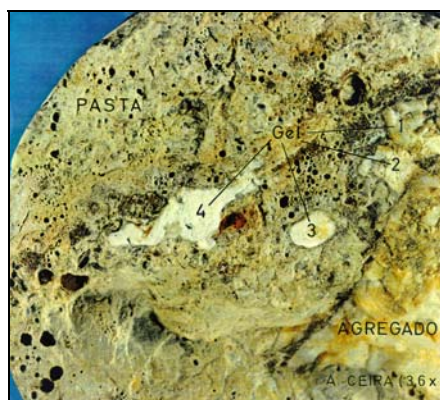


Figura 1.42 - Reacção álcalis-sílica reactiva. Estados de alteração (1 a 4) de quartzo-filoneano em gel (Silva, 1992).

A reacção álcalis-sílica pode levar muito tempo a manifestar-se em termos de deterioração do betão (Harrison et al, 1987; Grattan-Bellew e Gillot, 1987).

Em Portugal este tipo de reacção tem sido observado em algumas barragens entre as quais, Alto Ceira, Pracana, Santa Lúzia, Caia, Roxo e Cabril (Silva, 1992) e ainda o viaduto Duarte Pacheco em Alcântara.

Os principais parâmetros que influenciam as expansões são:

- a reactividade dos inertes que está relacionada com a presença de sílica amorfa, parcialmente cristalizada ou variedades criptocristalinas;
- quantidade de inerte reactivo e sua granulometria;
- concentração na solução intersticial em álcalis e cálcio (quantidade interna de substâncias agressivas);
- tipo de cimento;
- condições ambientais (quantidade externa de substâncias agressivas - por exemplo provenientes de sais descongelantes) e
- quantidade de água disponível.

Na Figura 1.43 apresenta-se esquematicamente o efeito da reacção álcalis-inerte.

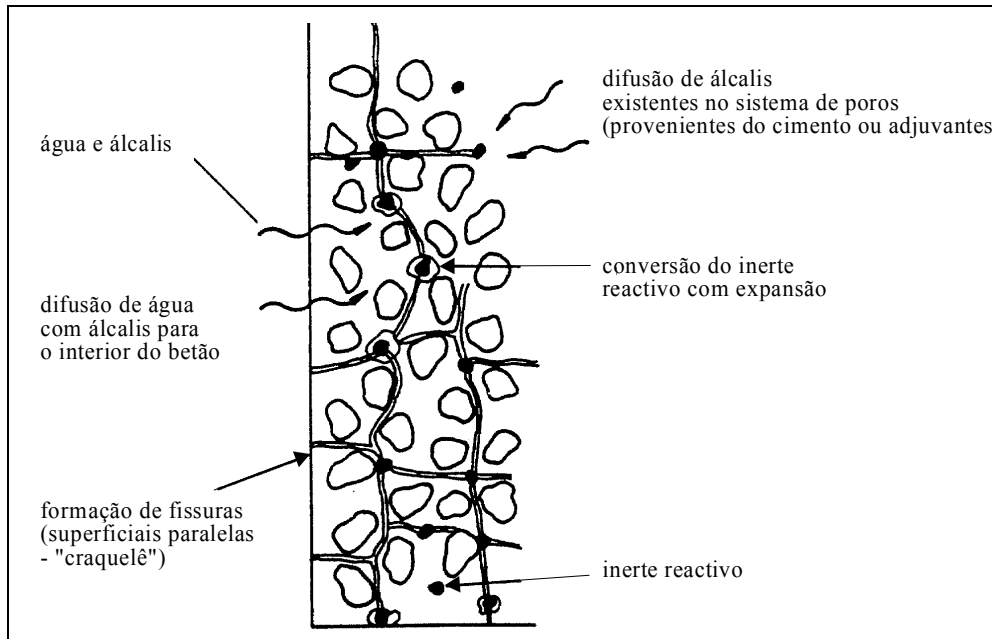


Figura 1.43 - Esquema do efeito de reacção álcalis-inerte. (CEB, 1992)

Para obviar a este tipo de reacção a escolha deverá recair sobre inertes isentos de sílica reactiva ou então dever-se-á limitar a quantidade do cimento usando cimentos de escórias (> 65%), pozolanas (>30%) ou sílica de fumo que fixam os álcalis, ou ainda introduzir ar e em qualquer caso usar uma relação água/cimento baixa. Se possível dever-se-á limitar a quantidade de álcalis proveniente do exterior por exemplo, de sais descongelantes (CEB, 1992).

As piores condições de ataque são ambientes sujeitos a ciclos molhagem/secagem e, portanto, será de considerar uma protecção adicional impermeabilizante.

Reacção álcalis com carbonatos dos inertes

As rochas carbonatadas também podem ser susceptíveis de ataque pelos álcalis pois, quando contém o mineral dolomite (carbonato de cálcio e magnésio), este, pela acção dos álcalis é susceptível de desdolomitização que consiste na substituição da dolomite por calcite, em CaCO_3 e brucite, $\text{Mg}(\text{OH})_2$. O volume dos produtos de reacção é menor do que o original mas criam-se condições para as argilas e constituintes mais finos dessas rochas, adsorverem água causando expansões, que, ultrapassando certos limites provocam fissuração em mapa (Nixon e Page, 1987; CEB,1992; Neville, 1995).

O uso de adições como a pozolana, incluindo o fumo de sílica, não tem qualquer efeito neste tipo de reacção, embora escórias granuladas de alto forno que reduzem a permeabilidade, diminuam as consequências desta reacção (Neville, 1995). Não há conhecimento de deterioração do betão provocada por este tipo de reacção na Europa (CEB, 1992), mas tem-se verificado alguns casos por exemplo no Canadá (Grattan-Bellew e Gillot, 1987).

1.3.1.4 - Processos biológicos

O desenvolvimento de musgo, líquenes, raízes de plantas ou de árvores que penetram através das fendas e pontos fracos de estruturas de betão pode provocar aumento da fissuração, fazer reter a humidade à superfície do betão (eventualmente sujeita a ciclos de gelo/degelo) e conseqüentemente, provocar deterioração do betão. O desenvolvimento de micro-organismos pode implicar a formação de ácido húmico, que ataca a pasta de cimento contribuindo para a deterioração do betão Figura - 1.44.

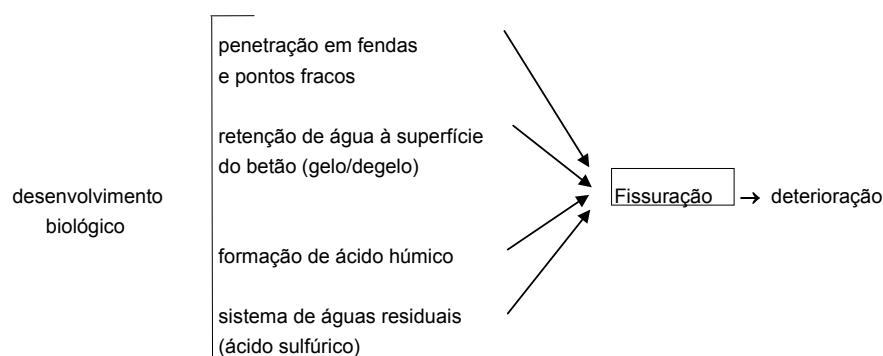


Figura 1.44 - Processos biológicos na deterioração do betão.

O ataque biológico mais frequente é o que se verifica em sistemas de águas residuais onde se desenvolve sulfureto de hidrogénio, a partir de sulfato ou proteínas das águas residuais, em condições anaeróbicas (ausência de oxigénio). Acima do nível da água o sulfureto de hidrogénio pode ser oxidado por acção bacteriológica formando-se ácido sulfúrico que ataca o betão Figura - 1.45 (CEB, 1992; Neville, 1995).

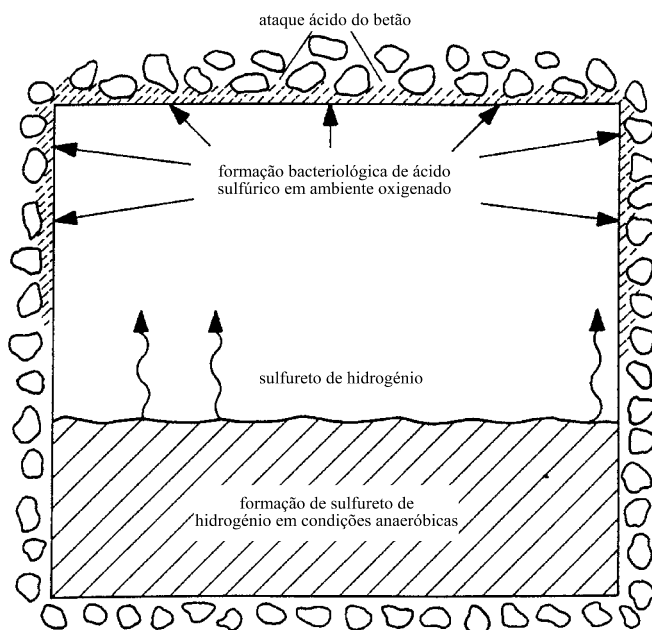


Figura 1.45 - Ataque biológico em sistema de águas residuais (CEB, 1992)

Um dos modos de diminuir a libertação de sulfureto de hidrogénio é reduzir a turbulência na tubagem e proceder a limpezas periódicas e, se possível, manter as tubagens bem ventiladas.

Num trabalho recente (Sand, 1994), que envolveu ensaios numa câmara especificamente concebida para simular as condições que se verificam em efluentes de águas residuais, conclui-se que, ao contrário dos betões de cimento portland, os betões com aluminatos de cálcio são resistentes à formação de ácido sulfúrico proveniente do metabolismo das bactérias ("thiobacilli") aí existentes. O mesmo autor também conclui que a adição de sílica de fumo não parece oferecer resistência significativa a este tipo de ataque.

1.3.2 - Corrosão das Armaduras

1.3.2.1 - Definição e tipos

A durabilidade de uma estrutura de betão armado ou pré-esforçado poderá depender da corrosão do aço das armaduras que se pode iniciar após a perda de protecção que o betão lhes confere.

A corrosão do aço em meio húmido é devido a uma corrente eléctrica entre as áreas anódicas e catódicas provocada por um fluxo de electrões. No ânodo verifica-se a dissolução do ferro, isto é,

a formação de iões Fe^{2+} com a libertação de electrões que se deslocam pela armadura até ao cátodo onde, em geral, se combinam com oxigénio e água aí presentes, formando iões oxidrilo (OH^-). Estes deslocam-se através da solução electrolítica até ao ânodo, reagindo com o ião ferro, produzindo-se ferrugem. A ferrugem tem um volume superior ao volume inicial do ferro provocando fissuração do betão envolvente e a dissolução do ferro origina a redução da secção da armadura.

Modelo simplificado do fenómeno corrosão

Após a despassivação das armaduras a corrosão pode iniciar-se desde que exista humidade e oxigénio suficientes e então, de um modo geral ter-se-á:



De um modo simplificado poder-se-á dividir a corrosão em dois processos: o processo anódico e o catódico, como se eschematiza na Figura 1.46.

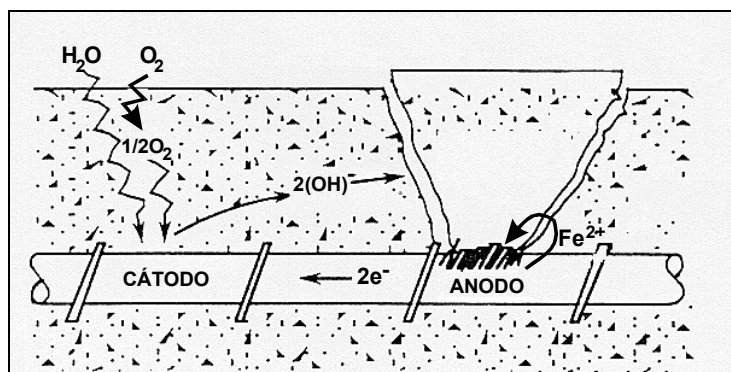
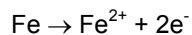


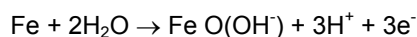
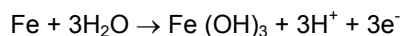
Figura 1.46 - Processos anódico e catódico na corrosão (adaptado de Richardson, 1992/93).

O processo anódico consiste na dissolução do ferro com libertação de electrões. Os iões ferro, carregados positivamente passam à solução, segundo a reacção anódica principal:



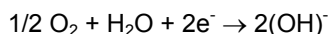
e os electrões livres que se libertam deslocam-se pela armadura até ao cátodo.

Como reacções secundárias no ânodo tem-se:



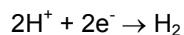
Os produtos de corrosão provenientes das reacções anódicas secundárias podem também formar películas protectoras à superfície do aço. As reacções secundárias originam libertação de H^+ , que pode originar acidez local no betão da zona anódica, embora não alterando o pH total. O desenvolvimento das reacções depende de variados factores como o teor de água no betão, composição da solução intersticial, o pH, etc.. Todas elas são rápidas e portanto condicionadas às velocidades de transporte dos reagentes e produtos.

O processo catódico consiste principalmente na reacção:



Portanto os electrões sobrantes, resultantes da dissolução do ferro no processo anódico, deslocam-se pela armadura até ao cátodo, combinando-se com oxigénio e água, formando iões oxidrilo. A velocidade desta reacção dependerá sobretudo, da concentração de oxigénio e portanto do grau de arejamento e da temperatura. De facto a presença de oxigénio é o factor primordial condicionante desta reacção podendo-se considerar que a corrente catódica é condicionada pela difusão de oxigénio no betão.

Outra reacção catódica que ocorrerá em condições menos frequentes de betão húmido e presença de substâncias redutoras, é a reacção.



Voltando à reacção principal anódica, depois da dissolução do ferro, o ião ferro acaba por se combinar com o ião oxidrilo que entretanto se deslocou através da solução, a partir do cátodo, onde se havia formado. Quer dizer que, a solução passa a ser uma solução electrolítica, permitindo transporte iónico e constituindo com o ânodo, o cátodo e a armadura que permite a condução de electrões, uma verdadeira pilha electroquímica.

O resultado da combinação, junto do ânodo, do ião ferro com o ião oxidrilo é a ferrugem que, pelo menos teoricamente, se pode denotar por Fe_2O_3 (na prática a ferrugem é um composto mais ou menos hidratado).

Portanto, no cômputo geral, apenas o oxigénio é consumido, para depois formar ferrugem, sendo a água apenas necessária para constituir a referida solução electrolítica.

Assim, após a despassivação das armaduras, a corrosão não ocorrerá se o betão estiver seco, pois, o processo electrolítico é impedido e a corrosão também não se verificará em betão totalmente saturado em virtude de não ocorrer difusão de oxigénio.

A corrosão será mais intensa, após despassivação das armaduras, nos casos em que o betão de recobrimento das armaduras está sujeito a ciclos agudos de molhagem (solução electrolítica) e secagem (oxigénio) (Salta, 1996₁).

Tipos de corrosão

A corrosão das armaduras pode ocorrer de várias formas (Figura 1.47):

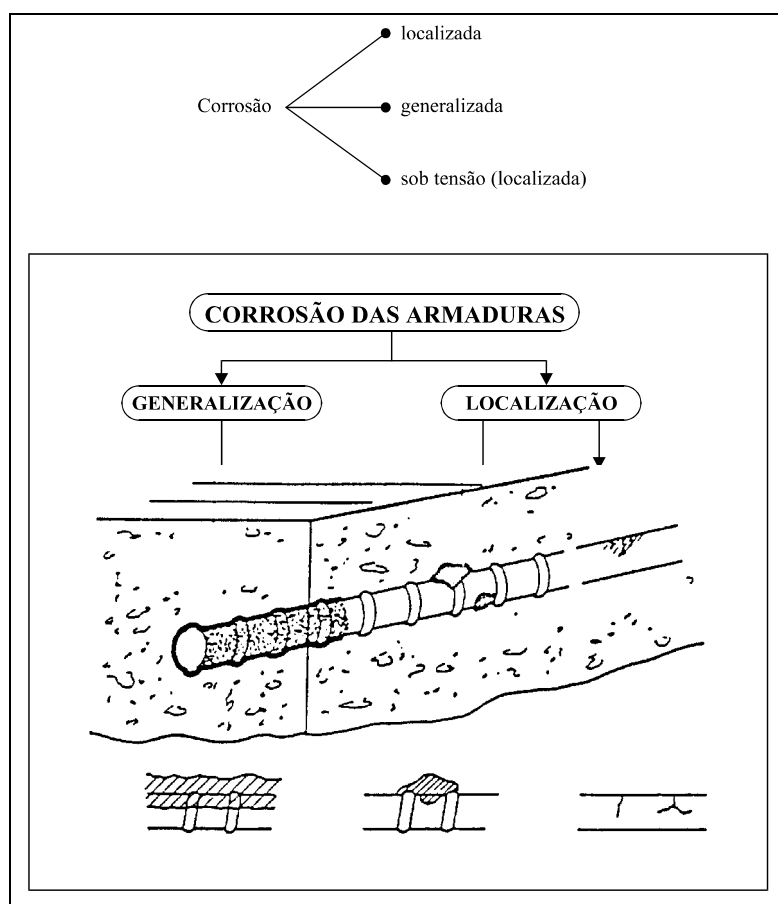


Figura 1.47 - Tipos de corrosão das armaduras (Salta, 1996₁).

Corrosão localizada

A causa principal de corrosão localizada é a presença de cloretos provocando "picadas" no aço pois a película passiva apenas desaparece em pequenas superfícies tal que reduzidas áreas anódicas e grandes superfícies catódicas existem à superfície das armaduras, causando reduções locais substanciais nas secções das armaduras. Os iões cloreto actuam como catalisadores na "picada", que actua como ânodo e intervêm nas reacções - Figura 1.48, acelerando a dissolução do ferro:

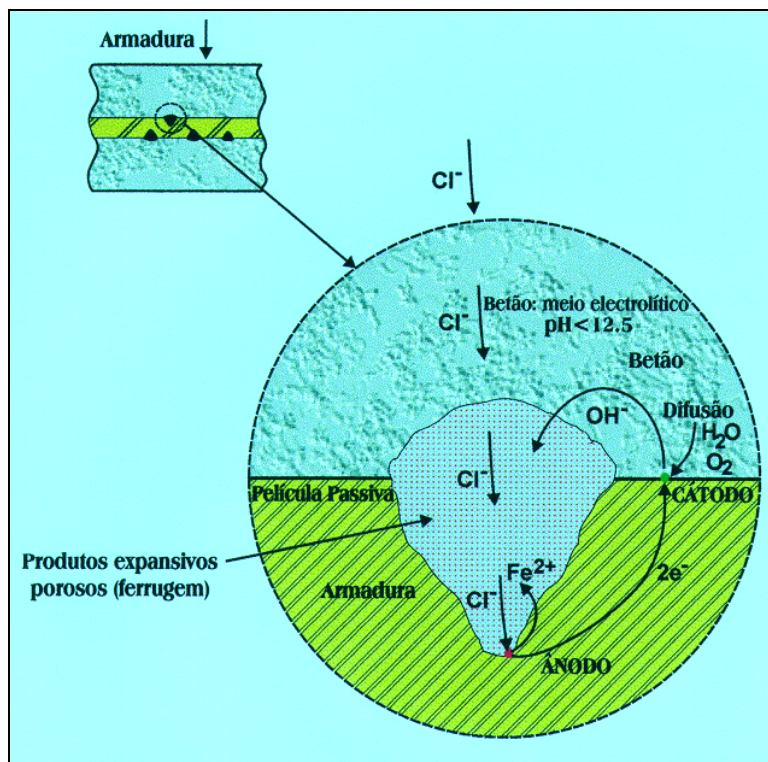
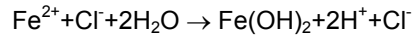
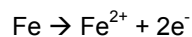
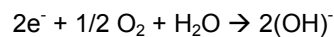


Figura 1.48 - Corrosão da armadura por "picadas" causada por cloretos (adaptado de Durar, 1997).

Na zona anódica (picada) verifica-se a dissolução do ferro, isto é, iões positivos de ferro passam à solução:



Os electrões formados nas armaduras combinar-se-ão, no cátodo com água e oxigénio, formando iões oxidrilo:



Estes iões oxidrilo, mais tarde ou mais cedo, combinar-se-ão formando ferrugem.