

# Conceitos essenciais sobre Patologias em Estruturas de Concreto

Conteudista:

Rogério Calazans Verly

Brasília, setembro de 2022.

# Conceitos essenciais sobre Patologias em Estruturas de Concreto

# Módulo 3

## Causas físicas

Conforme estabelece O Art. 11 da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 03/DNIT SEDE, DE 1º DE ABRIL DE 2022, o servidor que optar por receber a GECC relativa à elaboração de material didático, cede, tacitamente e em caráter irrevogável, a titularidade dos direitos patrimoniais relativos aos materiais produzidos em decorrência dessa percepção. Desta forma, tendo em vista o contido no Processo nº 50600.021235/2022-68, o DNIT poderá revisar o material cedido, adaptá-lo e utilizá-lo livremente em outros eventos que venha a promover, bem como o ceder a outros órgãos e entidades federais.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Causas físicas da deterioração do concreto .....	1
Figura 2 - Superfície de pavimento de concreto com abrasão severa e fissuras.....	2
Figura 3 - Superfície de pavimento de concreto com abrasão severa e fissuras.....	3
Figura 4 - Dano por cavitação no túnel da Barragem de Glen Canyon.....	3
Figura 5 - Elemento de concreto submetido a forças de tração provocadas pela redução de volume.....	5
Figura 6 - Fissuras formadas por diferentes tipos de esforços.....	7
Figura 7 - Recalque do apoio da direita provocou o surgimento de fissuras na viga de travamento.....	8
Figura 8 - Alteração nos momentos fletores provocados pelo recalque de um apoio. Estrutura da esquerda com carregamento e estrutura da direita com carregamento mais o recalque de apoio. ....	8
Figura 9 - Detalhe de pavimento de concreto fissurado (a) e reflexão de trincas do pavimento rígido no pavimento flexível (b).....	9
Figura 10 - Distribuição de tensões no tabuleiro com e sem aderência da laje (a) e detalhe da fissura avançando pelo pavimento de concreto e refletindo no pavimento flexível (b). ....	10
Figura 11 - Alterações de cor para concreto de alto desempenho (HPC) e concreto convencional (OC), bem como das respectivas argamassa e pasta de cimento.....	12
Figura 12 - Redução da resistência em função da temperatura alcançada e da cor do concreto após o incêndio.....	13



# SUMÁRIO

1.	APRESENTAÇÃO.....	1
2.	DESGASTE SUPERFICIAL .....	2
3.	FISSURAÇÃO .....	4
3.1	VARIAÇÃO VOLUMÉTRICA.....	5
3.2	CARREGAMENTO ESTRUTURAL .....	6
3.3	EXPOSIÇÃO A EXTREMOS DE TEMPERATURA .....	10
4.	REFERÊNCIAS.....	14



# 1. APRESENTAÇÃO

Os módulos anteriores se dedicaram à **compreensão dos procedimentos e de algumas técnicas para a realização do diagnóstico**, além das complexas reações que ocorrem durante a hidratação do cimento. A partir deste módulo serão abordadas as manifestações patológicas em si.

Para fins didáticos, as manifestações patológicas serão divididas com base em suas causas, que poderão ser **físicas ou químicas**. Tal divisão não acontece na prática, uma vez que a deterioração do concreto ocorre pela **colaboração simultânea de causas físicas e químicas**, de forma que o resultado de um fenômeno físico pode abrir caminho para outros processos. Um exemplo é a ocorrência de fissuras com abertura exagerada, que abrem caminho para a instalação do processo de corrosão das armaduras.

Este módulo se dedica à apresentação das causas físicas mostradas na Figura 1.

Figura 1 - Causas físicas da deterioração do concreto



Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2008).

## 2. DESGASTE SUPERFICIAL

O desgaste superficial das estruturas de concreto pode ocorrer por **abrasão, erosão e cavitação**, provocando perda progressiva de material. De acordo com Mehta e Monteiro (2008) o termo abrasão se refere ao atrito seco, provocando desgaste em uma superfície, como no caso do pavimento de concreto mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Superfície de pavimento de concreto com abrasão severa e fissuras



Fonte: Bautista e Basheer (2008).

O termo erosão é utilizado para descrever o desgaste por ação abrasiva de fluidos contendo partículas em suspensão, situação muito comum em rios com elevadas velocidades de correnteza. A colisão, o escorregamento ou o rolamento de partículas sólidas em suspensão causam o desgaste superficial, uma vez que a pasta de cimento não possui elevada resistência ao atrito. A Figura 3 mostra um elemento estrutural de ponte com as armaduras e agregados à mostra, resultado do processo de erosão a que o concreto foi submetido.

Figura 3 - Superfície de pavimento de concreto com abrasão severa e fissuras



Fonte: Autor.

O terceiro processo de perda progressiva de massa da superfície é a cavitação, com maior ocorrência em obras hidráulicas. O fluxo não linear, a elevadas velocidades, propicia a formação de bolhas de vapor por meio da redução da pressão, em determinados pontos, até a pressão de vapor da água. Essas bolhas acompanham o fluxo da água e, ao chegarem a regiões de maior pressão, implodem, causando danos na superfície do concreto. Esses danos podem alcançar grandes dimensões, como no caso do túnel mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Dano por cavitação no túnel da Barragem de Glen Canyon



Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

**TOME NOTA**

Os danos provocados por erosão e cavitação podem ser identificados da seguinte forma:

Erosão: superfície desgastada uniformemente

Cavitação: superfície irregular e corroída.

### 3. FISSURAÇÃO

De uma forma geral, as fissuras ocorrem quando o esforço aplicado é maior que a resistência do concreto. Assim, as fissuras podem ocorrer no concreto, tanto no estado **fresco quanto no estado endurecido**. Imediatamente, após o início da pega, o concreto possui baixa resistência, e até mesmo pequenas deformações (movimentação de formas ou assentamento plástico) podem introduzir tensões de tração.

Após atingir a resistência adequada, a estrutura de concreto entra em serviço. Mesmo assim, ela fica sujeita a esforços que podem provocar tensões que o material não pode suportar. Variações volumétricas e esforços podem ser previstos na fase de projeto e podem ser adequadamente considerados, seja por meio da liberação de algum movimento da estrutura (aparelhos de apoio, juntas etc.) ou por meio da inclusão de elementos para se contrapor aos esforços de tração (armadura ou algum outro tipo de reforço).

Por outro lado, a formação de produtos expansivos no interior do concreto, aqui tratado como causas químicas, provoca tensões de tração no concreto. Alguns exemplos são o **ataque por sulfatos, a reação álcali agregado e a corrosão de armaduras**, temas que serão tratados individualmente no próximo módulo.

Como pode ser observado, o assunto é bastante extenso e interessante, mas será abordado neste trabalho em três grupos, conforme mostrado na Figura 1, pertencentes às causas físicas de deterioração do concreto. A seguir serão comentados os três grupos.



**TOME NOTA**

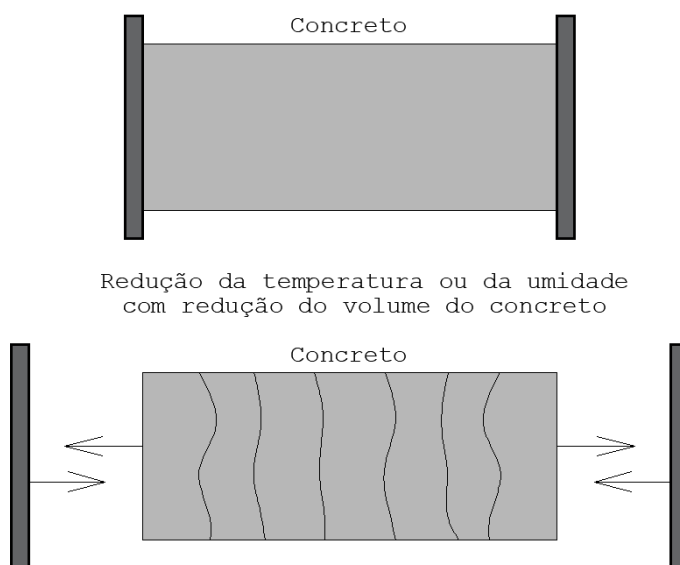
Em algumas publicações as fissuras são divididas entre aquelas que ocorrem no estado fresco e as que ocorrem no estado endurecido do concreto. No primeiro caso são provocadas por restrições à movimentação do concreto logo após o início da pega.

Dentre elas, podem ser elencadas as formadas por assentamento plástico (movimentação restringida pelas armaduras ou pelas fôrmas), por movimentação das fôrmas e por dessecação superficial. Neste módulo estão sendo tratadas apenas as fissuras que ocorrem no estado endurecido do concreto.

### 3.1 Variação volumétrica

Tanto na **redução de temperatura quanto na redução de umidade** (ver Módulo 2), o **concreto tende a reduzir seu volume**. Nos casos em que essa variação volumétrica é restringida, surgem forças de tração no elemento de concreto, podendo dar origem a fissuras (Figura 5).

Figura 5 - Elemento de concreto submetido a forças de tração provocadas pela redução de volume



Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

As setas mostradas na Figura 5 indicam as forças que surgem com a tendência de redução de volume do concreto. A deformação é restringida pelos elementos estruturais adjacentes (parte mais escura), provocando o aparecimento de forças de tração no elemento de concreto, material que não resiste muito bem à tração.

Além da temperatura e da variação da umidade, a **cristalização de sais nos poros do concreto e a ação contínua de ciclos de congelamento e descongelamento** podem provocar a formação de fissuras em elementos de concreto.

### 3.2 Carregamento estrutural

A essência das estruturas de concreto armado é o trabalho conjunto do concreto e do aço, em que o primeiro apresenta boa resistência à compressão e se vale do aço para complementar sua deficiência em resistir às tensões de tração. Além dessa complementação, o concreto se mostra uma excelente proteção para as armaduras quanto à corrosão.

As fissuras aparecem quando os esforços aplicados superam a capacidade resistente do elemento estrutural, o que pode ocorrer pela aplicação de um carregamento não previsto em projeto ou por falhas no projeto ou na execução.

A configuração das fissuras fornece indícios para auxiliar no diagnóstico do problema (Figura 6). As fissuras identificadas como “a” são formadas pela **ação de esforço cortante**, e possuem **inclinação próxima a 45°**. Geralmente aparecem nas **proximidades dos apoios**, onde o esforço cortante é maior.



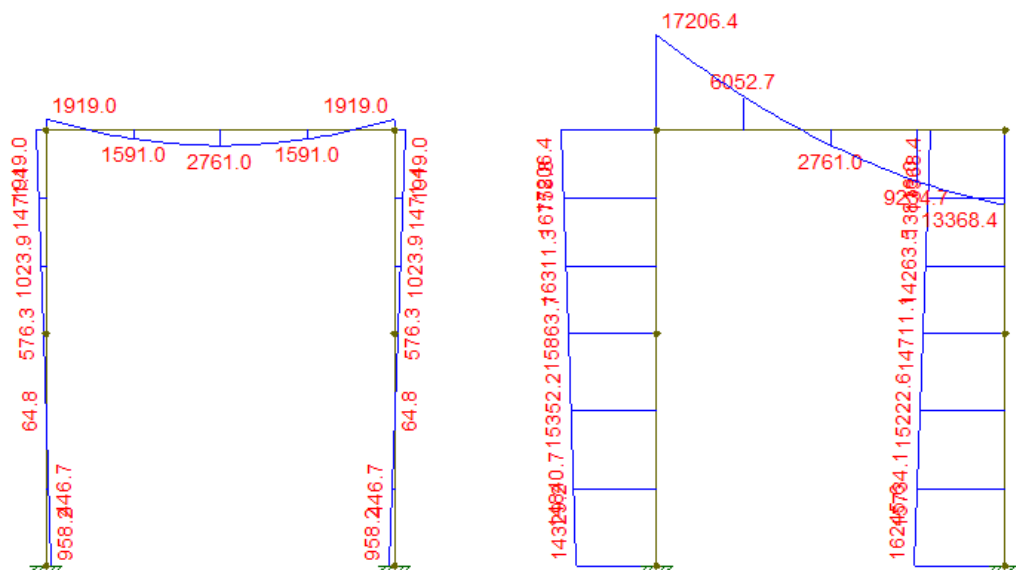
Figura 7 – O recalque do apoio da direita provocou o surgimento de fissuras na viga de travamento



Fonte: Autor.

Para exemplificar o surgimento dos esforços adicionais, a Figura 8 apresenta a mesma estrutura hipotética com mesmo carregamento vertical. A diferença é que na estrutura da direita foram adicionados os momentos fletores provocados pelo recalque de um dos apoios. O momento fletor na extremidade do elemento horizontal passou de 1.919,0 para 17.206,4, resultando em tensões de tração para as quais o elemento estrutural não foi dimensionado.

Figura 8 - Alteração nos momentos fletores provocados pelo recalque de um apoio. Estrutura da esquerda com carregamento e estrutura da direita com carregamento mais o recalque de apoio.



Fonte: Autor, elaborado com software Ftool.

Fissuras também podem ser encontradas nos **tabuleiros de pontes**, especificamente no **pavimento de concreto**. Essas fissuras passam uma sensação de insegurança ao usuário, que pode ter a sensação de que a própria laje de concreto está com problemas estruturais, correndo assim, risco de colapso.

O pavimento rígido executado sobre as pontes, também designado pelo Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT como sobrelaje, não tem suas características definidas por métodos de dimensionamento de pavimentos, diferente do pavimento rígido executado no restante da pista. Com o passar dos anos, o pavimento de concreto sobre algumas estruturas passou a apresentar fissuras, conforme mostrado na Figura 9 (a).

Figura 9 - Detalhe de pavimento de concreto fissurado (a) e reflexão de trincas do pavimento rígido no pavimento flexível (b).



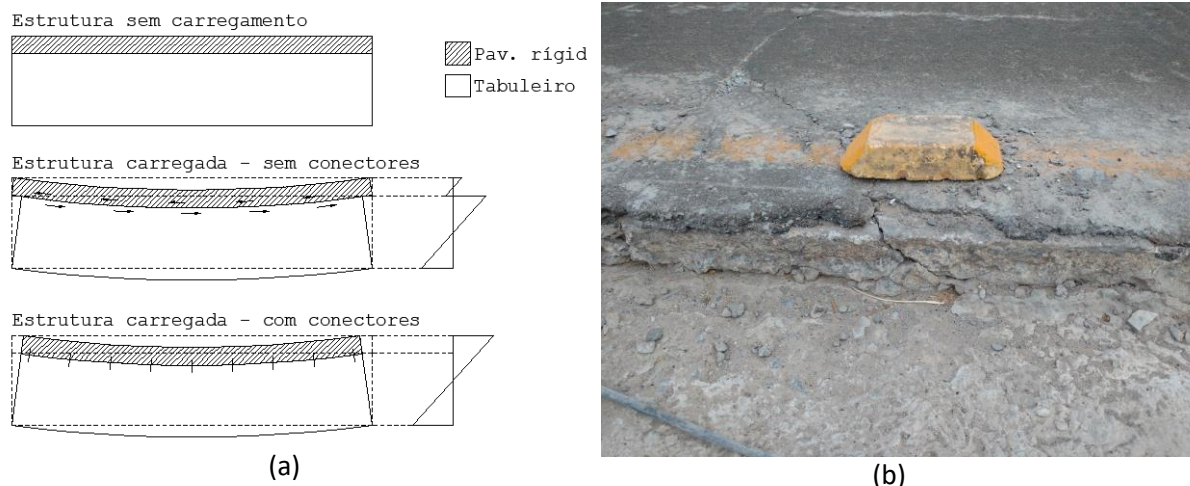
Fonte: Autor.

Uma solução corriqueiramente empregada é a aplicação de **pavimento flexível** (Concreto Betuminoso Usinado a Quente - CBUQ) diretamente sobre o pavimento danificado. Trata-se de uma **solução temporária**, uma vez que as fissuras são refletidas no pavimento flexível e o problema reinicia. Este comportamento pode ser observado na Figura 10 (b), que mostra a laje de concreto íntegra e a fissura passando pelo pavimento rígido e avançando para o pavimento flexível acima.

A distribuição de tensões na seção transversal é diferente nos casos do pavimento rígido estar ou não solidarizado à laje de concreto. A Figura 10 (a) mostra a estrutura sem carga móvel (veículos), portanto sem tensões provocadas por este

carregamento, e na sequência duas situações: sem conectores e com conectores entre o pavimento e a laje. Na situação “com conectores” a distribuição de tensões cresce de forma gradual, de modo que o pavimento fica totalmente comprimido, situação desejável para o concreto de cimento Portland.

Figura 10 - Distribuição de tensões no tabuleiro com e sem aderência da laje (a) e detalhe da fissura avançando pelo pavimento de concreto e refletindo no pavimento flexível (b).



Fonte: Autor.

Já na situação “sem conectores” há a possibilidade do pavimento rígido se deslocar em relação à laje, provocando a descontinuidade das tensões e o surgimento de tensões de tração no concreto da laje. Nos casos em que esses pavimentos **não possuem armadura para absorver os esforços de tração**, ou as armaduras são insuficientes, as fissuras surgem e se desenvolvem.

### 3.3 Exposição a extremos de temperatura

Alguns materiais de construção são mais sensíveis à ação do fogo do que outros. A madeira e o plástico são combustíveis e podem emitir gases tóxicos, prejudicando a evacuação de edificações sob ação de incêndio. Embora o **aço** suporte a ação do fogo por algum tempo, sua **resistência é afetada em curto prazo**, comprometendo ações de resgate com segurança, motivo pelo qual as estruturas metálicas recebem revestimento de outros materiais para garantir segurança estrutural por algum tempo.

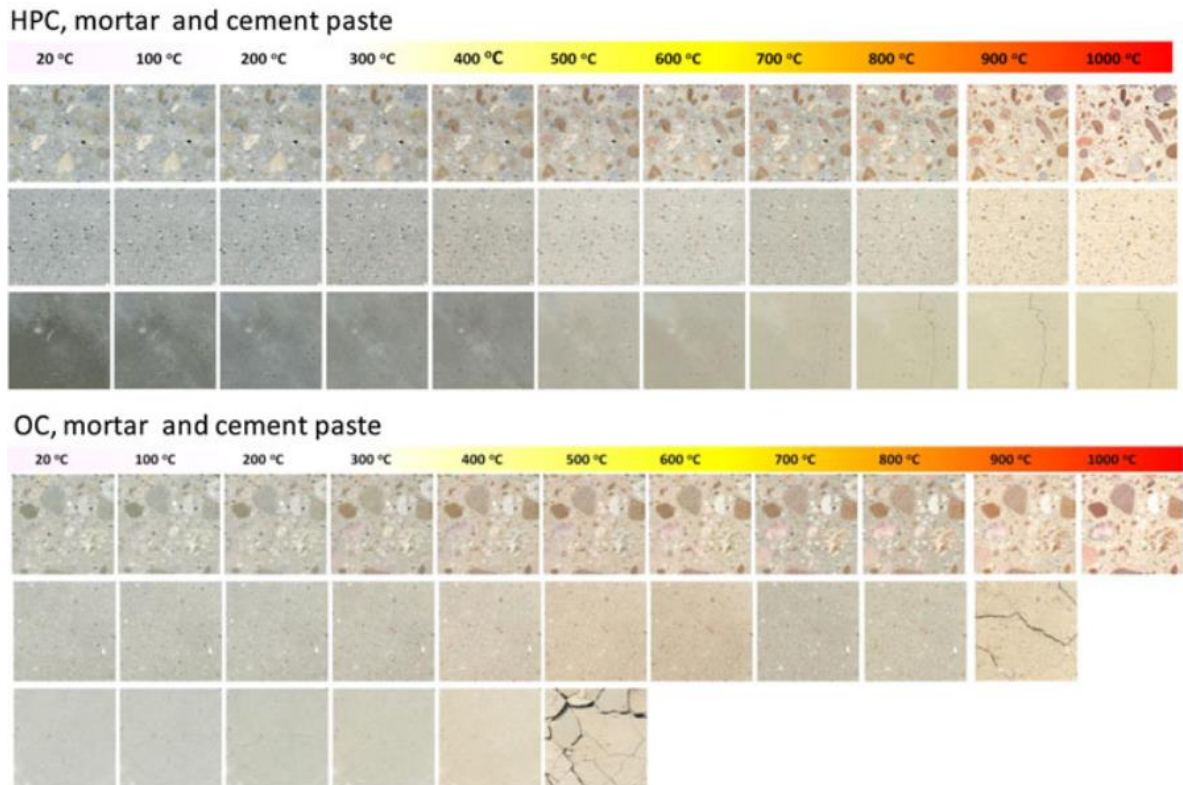
O **concreto também é afetado pela ação do fogo**. A depender da temperatura alcançada, tanto a pasta de cimento quanto os agregados se decompõem com o calor. Por consequência, não só a segurança imediata da estrutura, reflexo da perda de resistência dos elementos estruturais, é afetada. Podem ocorrer o surgimento de danos na estrutura, como **lascamento explosivo e o surgimento de fissuras**.

Ao ser submetido à ação do fogo, o concreto começa a ter sua temperatura aumentada. De início, a água evaporável existente no concreto é perdida rapidamente, o que garante que a temperatura do concreto não ultrapasse 100 °C. Nessa fase, se a taxa de aquecimento for elevada e a permeabilidade do concreto for baixa, o aumento da pressão do vapor no interior do concreto aumenta mais rapidamente que o alívio de pressão pela perda do vapor para a atmosfera, provocando lascamento do concreto. No caso de concretos de alto desempenho, o fato de possuírem estrutura menos porosa, podem apresentar lascamento explosivo. (Mehta e Monteiro, 2008).

Aos 300 °C a água interlamelar do C-S-H e parte da quimicamente combinada com o C-S-H e com os sulfoaluminatos hidratados também são perdidas. A decomposição do hidróxido de cálcio começa a 500 °C e a decomposição do C-S-H se completa aos 900 °C.

Após uma estrutura ser submetida a um incêndio, é possível inferir acerca da temperatura atingida por meio da coloração do material remanescente. A Figura 11 mostra as cores do concreto, da argamassa e da pasta de cimento após atingirem temperaturas de até 1000 °C.

Figura 11 - Alterações de cor parda, concreto de alto desempenho (HPC) e concreto convencional (OC), bem como das respectivas argamassa e pasta de cimento.

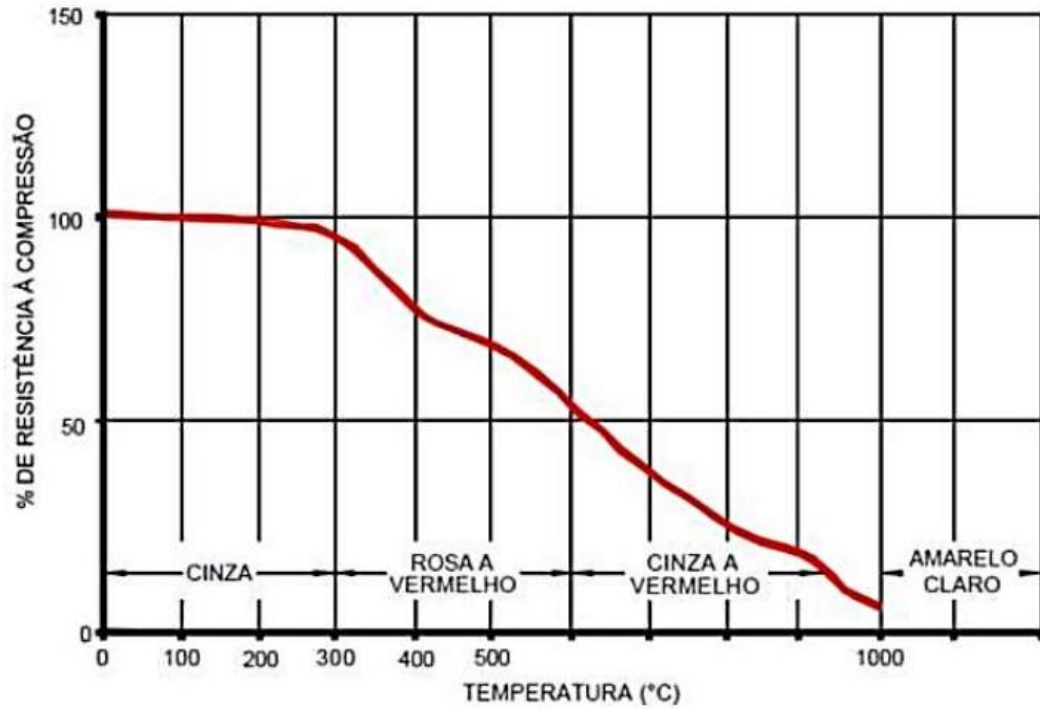


Fonte: Hager (2013).

Cánovas (1988) apresenta um gráfico (Figura 12) correlacionando a **redução relativa da resistência com a temperatura alcançada**. Cabe destacar que as cores e os valores apresentados podem sofrer alterações em função do tipo do agregado, do tipo e consumo de cimento, da relação água/cimento, dentre outros. Dessa forma, outras avaliações podem complementar a avaliação em casos severos de incêndio que afetem estruturas de concreto.



Figura 12 - Redução da resistência em função da temperatura alcançada e da cor do concreto após o incêndio.



Fonte: Cánovas (1988).

## 4. REFERÊNCIAS

HAGER, I. *Fire Technology: Colour Change in Heated Concrete*, v. 50, n. 4, 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.