

# ARTIGOS ABRASFE

## **Método da Maturidade do Concreto** *Ensaio Auxiliar para Fases Construtivas Críticas*

Breno Santos



**ABRASFE**  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994  
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 – Sala 101  
São Paulo/SP - CEP 04045-003

[www.abrasfe.org.br](http://www.abrasfe.org.br)

## Considerações Iniciais

O conhecimento do desenvolvimento da resistência à compressão de elementos estruturais em idades precoces é um dos fatores predominantes quando das fases críticas do projeto. O concreto necessita ter adquirido rigidez e resistência suficientes para evitar deformações e/ou fissurações indesejáveis, ou até mesmo o colapso local ou global da estrutura. A estimativa da resistência à compressão é obtida na obra e durante a construção utilizando-se o Método da Maturidade a partir da mensuração da evolução da temperatura ao longo do tempo e com base em curvas de calibração pré determinadas realizadas para a mistura específica do concreto e desenvolvidas em laboratório.

Quando utilizado um mesmo traço no desenvolvimento de uma obra, torna-se possível programar atividades construtivas a partir do monitoramento de características do concreto. Estas características podem ser correlacionadas com parâmetros desejados, como por exemplo, a resistência à compressão.

O Concreto recém concretado adquire resistência devido as reações químicas entre a água e os materiais cimentícios na mistura. A taxa da reação de hidratação é influenciada pela temperatura do concreto, onde, um aumento na temperatura provoca um aumento na taxa da reação. Para isto é necessária a garantia de umidade suficiente, a partir de um processo de cura eficaz. A resistência em qualquer idade depende do histórico da temperatura do concreto.

O método da maturidade é uma técnica para estimar o ganho de resistência do concreto com base na temperatura medida durante a cura. Os efeitos combinados do tempo e da temperatura sobre o ganho da resistência são quantificados por meio de uma função de maturidade. O conceito de maturidade é governado pela hipótese de que as amostras de concreto de uma dada mistura possuem a mesma resistência, quando elas têm o mesmo índice de maturidade. Por exemplo, o concreto curado a uma temperatura de 15°C durante 7 dias pode ter o mesmo índice de maturidade de um concreto curado a 30°C durante 3 dias e, por conseguinte, resistências semelhantes serão obtidas. O ganho de resistência de uma mistura de concreto específica é estimada utilizando a maturidade medida e a correlação entre a resistência e relação de maturidade para esta mistura.

O Método da maturidade é um método de ensaio não destrutivo, que pode ser utilizado para estimar a resistência do concreto no local, fornecendo a base para o início das atividades construtivas críticas, tais como: remoção do escoramento e inserção do reescoramento; pós-tensionamento das estruturas; término da proteção térmica do concreto quando temperaturas muito baixas; a reabertura das estradas ao tráfego; movimentação do sistema trepante, dentre outros fatores.

Métodos de maturidade são usados como um indicador mais confiável da resistência do concreto in loco durante a construção (para idades precoces), ao invés de corpos de prova cilíndricos curados em câmara úmida e com temperatura e umidade constantes. O método da maturidade utiliza o conceito fundamental de que as propriedades do concreto são desenvolvidas a partir do tempo de hidratação do cimento e consequente liberação de calor. A taxa de desenvolvimento da resistência em idades precoces está relacionada com a taxa de hidratação do cimento. O calor gerado a partir da reação de hidratação será registrada como um aumento de temperatura no concreto. A principal vantagem do método da maturidade é que este utiliza a temperatura real do concreto na estrutura para estimar a sua resistência no local, sendo um método não destrutivo e com a possibilidade de fornecer várias medições por dia. A abordagem tradicional de utilizar cilindros curados não reflete o mesmo perfil de temperatura do concreto no local, comumente não fornecendo a resistência real com acurácia, sendo um método pouco preciso para as fases críticas ocorridas em idades prematuras. Com os métodos de maturidade as informações de resistência são fornecidas em tempo real devido ao fato de que as medições de maturidade são feitas no local e a qualquer momento. Como resultado, o fluxo de trabalho de construção pode ser otimizado, e o tempo da atividade construtiva pode ser baseada em informações de resistência de forma mais precisa e mais simplista (no local).



**ABRASFE**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DE FÓRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994  
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101  
São Paulo/SP - CEP 04045-003

[www.abrasfe.org.br](http://www.abrasfe.org.br)

### **Breve Histórico**

Por volta de 1950, foi proposta uma abordagem para explicar os efeitos combinados de tempo e temperatura sobre o desenvolvimento da resistência do concreto. A motivação foi a necessidade de um método para estimar os efeitos de tratamentos de cura a vapor sobre o desenvolvimento da resistência. Subsequentemente, a aplicação do método foi estendido para condições de cura normais. Foi proposto que o histórico da temperatura medida, durante o período de cura pode ser utilizada para computar um fator que seria indicativo da resistência do concreto. Saul nomeou este fator de "maturidade", e propôs a conhecida "regra de maturidade" para estimar a resistência do concreto.

A pesquisa inicial do National Bureau of Standards NBS, agência governamental americana, realizada na década de 70, confirmou que o método da maturidade pode ser utilizado para estimar o desenvolvimento de resistência à compressão e outras propriedades mecânicas do concreto, sob temperaturas de cura diferentes. Neste trabalho inicial, a temperatura inicial do concreto foi a mesma para todas as amostras e as amostras foram transferidas para diferentes câmaras de temperatura após a moldagem ter sido completada.

Em um estudo posterior, realizado pela própria NBS, a aplicabilidade do método da maturidade foi investigado para condições de campo simuladas. Três misturas diferentes de concreto foram utilizadas para fabricar lajes que contêm moldes cilíndricos curados no ambiente da obra. Além disso, moldes cilíndricos foram preenchidos com concreto e armazenadas numa sala de cura úmida. As lajes foram curadas ao ar livre (durante a primavera). O objetivo foi determinar se as relações de resistência-maturidade para o concreto nos cilindros curados no campo seriam os mesmos que aqueles para os cilindros curados por laboratório. Os resultados deste estudo foram desconcertantes: para uma mistura houve boa concordância entre as resistências dos corpos de prova curados no campo e os curados em laboratório para os mesmos prazos. Para as outras duas misturas houveram diferenças significativas. O exame dos históricos de temperatura de todos os corpos de prova revelou que, para essas duas misturas, os corpos de prova curados ao ar livre experimentaram temperaturas concretas em idade precoce diferentes do que os corpos de prova curados em laboratório.

Em 2 de Março de 1973, partes de um edifício de múltiplos andares em construção no condado de Fairfax, sofreu um colapso. Quatorze trabalhadores foram mortos e 34 ficaram feridos no acidente. O National Bureau of Standards (NBS) foi solicitado pela Segurança e Administração de Saúde Ocupacional (OSHA) para ajudar a determinar a causa técnica do colapso. O relatório do NBS concluiu que a causa mais provável da falha foi a remoção prematura do escoramento que resultou em tensões de cisalhamento que excederam a capacidade do concreto jovem. No momento da ruptura, o concreto na laje do pavimento, onde acredita ter se iniciado a falha possuía apenas quatro dias de idade. Durante esse período, a temperatura média registrada em um aeroporto nas proximidades era de cerca de 7°C. Os investigadores da NBS encontraram dificuldades em utilizar dados publicados do desenvolvimento da resistência obtidos em condições de temperatura constante para obter uma estimativa confiável da resistência do concreto no local no momento da falha. Isto provocou um interesse em uma abordagem relativamente nova conhecida como o método de maturidade para estimar o desenvolvimento da resistência no local sob condições de temperatura variável.

Em 27 de abril de 1978, houve uma grande falha na construção de uma torre de resfriamento em Willow Island. O incidente resultou na morte de 51 trabalhadores, que estavam no sistema de andaimes que estava ancorado a estrutura parcialmente concluída. A NBS foi novamente solicitado para ajudar OSHA para determinar a causa técnica da falha. Os investigadores concluíram que a causa mais provável do colapso era a insuficiente resistência do concreto para suportar as cargas construtivas aplicadas. No momento do colapso, a etapa anterior de concreto possuía apenas um dia de idade e tinha sido exposta a uma temperatura ambiente média estimada inferior a 10 °C. Esta falha convenceu pesquisadores NBS que havia uma necessidade urgente de normas para a estimativa da resistência do concreto no local durante a construção. Assim a equipe da NBS iniciou um estudo aprofundado do método maturidade. O objetivo era obter uma



compreensão da causa do efeito "cruzado" e desenvolver procedimentos alternativos para eliminar o problema. A pesquisa NBS lançou as bases para o desenvolvimento da primeira norma mundial sobre a aplicação do método da maturidade, o ASTM C 1074.

Hoje, o método de maturidade é visto como uma ferramenta útil e simples para representar, aproximadamente, os efeitos complexos do tempo e da temperatura sobre o desenvolvimento da resistência. O método é utilizado em idades prematuras do concreto e não é aplicável a estruturas de concreto existentes. Várias normas e práticas recomendadas que lidam com a cura, proteção de tempo frio, e remoção de fôrmas referem-se ao método de maturidade, como o ASTM C 1074, o ACI 228.1R, o Ciria Guide 136 – Formwork Striking Times, o Handbook on Non Destructive Tests, NEN-5970, Guide To Flat Slab Formwork and Falsework.

### ***Etapas do Método da Maturidade***

O método maturidade baseia-se na história da temperatura medida do concreto para estimar o desenvolvimento da resistência durante o período de cura, quando a umidade está disponível para hidratação do cimento.

Como é bem conhecido, a resistência de uma dada mistura de concreto, o qual foi adequadamente concretado, consolidado, e curado, é uma função da sua idade e da história da temperatura. Em idades precoces, a temperatura tem um efeito dramático sobre o desenvolvimento da resistência. Esta dependência da temperatura apresenta problemas na tentativa de estimar a resistência no local com base em dados de desenvolvimento de resistência obtidos em condições de laboratório padrão.

O método da maturidade envolve as seguintes etapas:

- Determinar uma relação resistência-maturidade para a mistura de concreto que será utilizada na estrutura. Monitorar a história de temperatura das amostras de ensaio do corpo de prova, utilizando sensores de temperatura incorporado em um ou mais dos cilindros. Medir a resistência à compressão dos cilindros de ensaio padrão curados em várias idades. Estes dados são utilizados para estabelecer a função de maturidade (Nurse-Saul, Arrhenius, De Vree ou outra função validada no meio técnico).
- Medir a história da temperatura do concreto na estrutura através da incorporação de sensores em locais críticos em termos de condições de exposição e requisitos estruturais.
- Calcular o índice de maturidade a partir da temperatura registrada e idade registradas.
- Estimar a resistência do concreto no local a partir do índice de maturidade calculado e a relação de resistência-maturidade predeterminada (Figura 1).



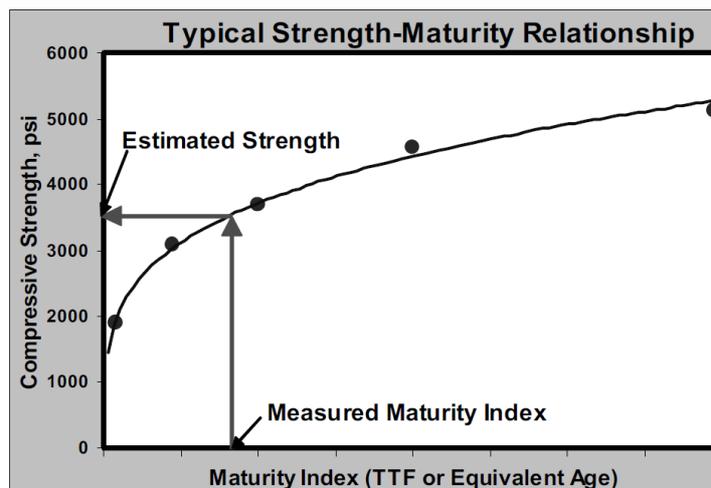
**ABRASFE**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DE FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994  
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101  
São Paulo/SP - CEP 04045-003

[www.abrasfe.org.br](http://www.abrasfe.org.br)



**Figure 1:** Strength-Maturity Relationship from lab tests used to estimate in-place strength from measured maturity index.

Algumas das limitações dos métodos de maturidade que pode levar a uma estimativa errada da resistência no local são:

- Concreto utilizado na estrutura não é representativo do que o utilizado para os testes de calibração no laboratório - devido a mudanças em materiais, precisão da dosagem, teor de ar, etc.
- Altas temperaturas iniciais, irá resultar em previsão incorreta da resistência a longo prazo;
- O concreto deve ser devidamente colocado, consolidado e curado - estas condições devem permitir a contínua hidratação do cimento;
- Uso de valores para o histórico da temperatura ou da energia de ativação que não são representativos para mistura de concreto.

Pontos (a) e (b) acima são limitações inerentes de métodos de maturidade. O ASTM C 1074 sugere que testes complementares devem ser realizados antes das operações críticas, como a remoção da fôrma ou o pós-tensionamento. Embora estes testes adicionais não são sempre necessários, é uma boa idéia verificar periodicamente se a relação resistência-maturidade estabelecida para a mistura de concreto específica ainda é válido.

É importante salientar que a relação resistência-maturidade, o histórico da temperatura e a energia de ativação são específicos para a mistura de concreto que ocorreu a calibração. Portanto, quaisquer modificações significativas na mistura ou na fonte de material deverá ser acompanhada por uma recalibração desses valores.

Vários dispositivos de maturidade estão comercialmente disponíveis para medir continuamente a temperatura do concreto, calcular a maturidade e exibir o índice de maturidade digitalmente a qualquer momento. Um número ilimitado de locais pode ser monitorados em simultâneo. É importante escolher um sistema que é robusto, fornece dados ininterruptos e inalteráveis, suporta a função de maturidade sendo usado para o projeto, e permite o ajuste das constantes de maturidade.

### **Conclusão**

Atualmente, existe uma crescente evolução dos estudos sobre métodos não destrutivos, por conta das diversas vantagens na obtenção de características dos materiais da estrutura, sem a necessidade da retirada de testemunhos. Os ensaios são mais rápidos e práticos, se comparados aos métodos destrutivos, além de permitirem uma estimativa de características da estrutura in loco. Estes motivos trazem uma aceitabilidade



cada vez maior para os métodos não destrutivos na engenharia, motivo pelo qual merecem uma maior atenção no estudo de suas aplicações.

O monitoramento do concreto em tempo real é um processo inovador que permite a tomada de decisões com base em medições da resistência à compressão nas idades iniciais do concreto. Esta técnica permite que o Engenheiro Responsável da obra utilize medições reais ao invés de estimativas. O método da maturidade é mais um passo a frente na "filosofia de construção integralizada", provendo a otimização do processo nas fases críticas construtivas.

Especialmente para otimizar a mistura de concreto, utilizando a massa necessária de cimento- o método da maturidade inclui um alto benefício para a empresa de construção e o contratante. O monitoramento de concreto em tempo real é uma ferramenta de gestão de qualidade eficiente e uma oportunidade de ir na direção de utilizar uma mistura de concreto baseada na performance necessária.

É importante perceber que a maturidade não se destina a substituir os ensaios de corpos de prova cilíndricos. O método da maturidade, utilizado em conjunto com outros ensaios não destrutivos deve facilitar a tomada de decisões sobre as operações construtivas. Pode ser uma boa ferramenta para o controle de qualidade e ao mesmo tempo reduzir a quantidade de testes destrutivos para aferir a resistência à compressão do concreto. Devido ao método da maturidade, os projetos ao redor do mundo estão a obter melhores resultados, a partir de um método construtivo mais rápido, seguro e econômico, devido ao resultado de se possuir a informação certa e no lugar e na hora certos.

### **Referências**

- Concrete in Practice – What, Why & How? – CIP 39 – Maturity Methods to Estimate Concrete Strength NRMCA
- Real Time Monitoring of Hydration Temperature and Compressive Strength Development of Concrete- Alexander REINISCH, Wilko van der MEER
- Estudo do ensaio da maturidade para avaliação da resistência à compressão do concreto autoadensável - B. Tutikian, C.E. Braun, F. Pacheco, R. Curra
- American Society for Testing Materials - ASTM. ASTM C 1074-11: standard practice for estimating concrete strength by the maturity method
- American Concrete Institute – ACI. ACI 228.1R-03: In-Place Methods to Estimate Concrete Strength
- Ciria Guide 136: Formwork Striking Times
- Handbook on Nondestructive Testing of Concrete- V. M. Malhotra, N. J. Carino
- Guide to flat slab formwork and falsework, P. Pallett



**ABRASFE**  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DE FÓRMAS, ESCORAMENTOS E ACESSO

11 2276-7994  
contato@abrasfe.org.br

Av. Jabaquara, 2049 - Sala 101  
São Paulo/SP - CEP 04045-003

[www.abrasfe.org.br](http://www.abrasfe.org.br)