

Vantagens do controle da desforma de paredes de concreto **pelo método da maturidade** – Estudo de caso

CAIO FARTO FARINACIO - ENG. - <https://orcid.org/0000-0001-5590-796X> (caio.farinacio@desek.com.br) ;

EDUARDO ISSAMU FUNAHASHI JR. - ENG. - <https://orcid.org/0000-0002-7516-4195> | **Desek**

LUÍS BORIN - ENG. - <https://orcid.org/0009-0000-9940-0087> ;

LUÍS HENRIQUE C. BORIN - ENG. - <https://orcid.org/0009-0000-7242-0344> | **FALCÃO BAUER**

ROBERTO J. FALCÃO BAUER - PROF. - <https://orcid.org/0009-0008-4406-6526> | **UNITAU**

FABIO DOUDEK MAGALHÃES - ENG. - <https://orcid.org/0009-0001-0890-7454> | **TENDA**

RESUMO

O MÉTODO DA MATURIDADE PODE SER EMPREGADO NO CONTROLE DE DESFORMA EM PAREDES DE CONCRETO, PROPORCIONANDO VANTAGENS NA CONSTRUÇÃO CIVIL. BASEADO NO MONITORAMENTO DA TEMPERATURA DO CONCRETO, O MÉTODO PERMITE ESTIMAR SUA RESISTÊNCIA SEM ENSAIOS DESTRUTIVOS. O EMPREGO DO MÉTODO EM UMA EDIFICAÇÃO EM SÃO PAULO EVIDENCIOU SUA EFICÁCIA, SENDO POSSÍVEL TAMBÉM OTIMIZAR A DOSAGEM DO CONCRETO EMPREGADO. AS RESISTÊNCIAS ESTIMADAS PELO MÉTODO FORAM, EM MÉDIA, 70% SUPERIORES ÀS OBTIDAS POR ENSAIOS DE CORPOS DE PROVA. HOUE TAMBÉM UMA NOTÁVEL REDUÇÃO DE CUSTO COM O CONCRETO E NAS EMISSÕES DE CO₂ ASSOCIADAS À PRODUÇÃO DO CIMENTO, REDUZINDO CERCA DE 14 t/CO₂ A CADA 1000 m³ DE CONCRETO. ASSIM, O MÉTODO DA MATURIDADE SE MOSTROU UMA FERRAMENTA VALIOSA PARA OTIMIZAR O PROCESSO CONSTRUTIVO, AO MESMO TEMPO QUE PODE CONTRIBUIR PARA A OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA CONSTRUÇÃO.

PALAVRAS-CHAVE: MÉTODO DA MATURIDADE, PAREDES DE CONCRETO, CONTROLE TECNOLÓGICO.

1. INTRODUÇÃO

A construção em paredes de concreto no Brasil é uma realidade e em grande ascensão. O sistema traz ao construtor diversos benefícios, em especial o aumento da velocidade de execução, otimização da mão de obra, além do maior controle de qualidade devido à industrialização dos processos. O sistema consiste na montagem de fôrmas metálicas ou de madeiras pré-fabricadas, em todo ou parte do sistema de vedação e pilares do

pavimento, para serem concretados em única vez. Assim, é possível eliminar diversas etapas construtivas, como a execução de alvenarias, sejam elas estruturais ou de vedação.

Após a concretagem, dependendo do ciclo adotado pelo construtor, as paredes podem ser desformadas em poucas horas, liberando o jogo de fôrmas para dar continuidade ao ciclo. Em obras com ciclos de concretagem diários, as paredes geralmente são desformadas entre 12 e 16 horas após o final da sua execução.

Conforme a NBR 16055 [1], deve ser especificada a resistência à compressão mínima do concreto para realização da desforma, na idade necessária, considerando o ciclo construtivo da obra. A resistência de desforma deve ser verificada em obra como parâmetro de aceitação do concreto no estado endurecido, além da resistência característica do concreto (f_{ck}).

O controle de desforma das paredes de concreto pode ser feito pelo ensaio de resistência à compressão por meio da moldagem e ruptura dos corpos de prova (CP's) com concreto amostrado dos caminhões betoneira. Caso a idade de desforma seja menor que 24 horas, é necessário a instalação de prensa em obra, devido a necessidade de cura inicial dos CP's, conforme NBR 5738 [2], impedindo seu transporte até o laboratório terceiro.

Outra alternativa para controle de resistência de desforma das paredes de concreto indicado na NBR 16055 [1] é pelo método da maturidade, preconiza-

do pela ASTM C 1074 [3]. Este método de ensaio não destrutivo (END) consiste na estimativa do aumento da resistência à compressão do concreto da estrutura pelo monitoramento da evolução da sua temperatura, dispensando o rompimento de corpos de prova na idade especificada. Previamente à sua implementação em obra, é necessário o desenvolvimento da curva de calibração. Esta curva correlaciona a resistência à compressão dos CP's moldados com a evolução da temperatura dos mesmos a uma determinada condição de cura. Assim, monitorando a evolução das temperaturas do concreto da estrutura, estima-se a resistência à compressão de forma rápida, segura e econômica, sem a necessidade de ensaios destrutivos. Vale salientar que este método não se aplica como critério para aceitação da resistência característica de projeto (f_{ck}), prevalecendo os critérios da NBR 12655 [4].

O método da maturidade já é empregado no Brasil em algumas estruturas, como apresentado por Serafini *et al.* [5] no monitoramento da resistência à compressão do concreto de uma laje de edificação. No trabalho, os autores obtiveram diferenças menores que 13% entre resultados estimados pelo método da maturidade e corpos de prova rompidos e menores que 20% entre o método e corpos de prova removidos da estrutura, para idade de 28 dias. Segundo os autores, ficou evidente a diferença entre temperaturas que estão expostos os corpos de prova moldados e o concreto em condições reais de aplicação.

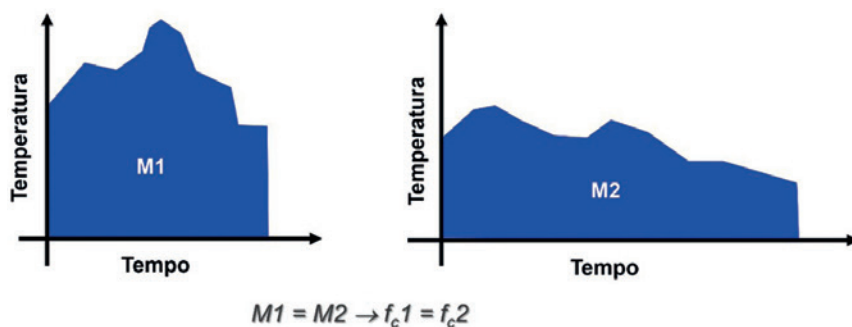


FIGURA 1

RELAÇÃO DA MESMA MATURIDADE ACUMULADA EM DOIS CENÁRIOS

2. MÉTODO DA MATURIDADE

O método da maturidade é empregado em estruturas de concreto desde a década de 50, quando surgiu na Europa através do trabalho desenvolvido por Saul [6]. Desde então, o método é empregado principalmente para estimativa de resistência de controle em idades iniciais, como em estruturas pré-fabricadas para decidir sobre a desmontagem de formas, em estruturas protendidas para liberação das cargas de protensão, em concreto projetado nos túneis para avanço das escavações, em lajes para remoção dos escoramentos, em pavimentos de concreto para liberação do tráfego de veículos, liberação para início do acabamento mecânico de pisos, além da utilização para controle da resistência de desforma no sistema de paredes de concreto.

A ASTM C 1074 [3] prevê o desenvolvimento prévio de uma curva de calibração em laboratório, onde são moldados corpos de prova para serem rompidos na compressão em diversas idades (a depender da idade de controle na estrutura) e em paralelo, o monitoramento da temperatura acumulada no tempo dos corpos de prova, para a posterior correlação entre tempo, temperatura e resistência. Isso deve-se ao fato de que cada dosagem apresenta um diferente desenvolvimento de temperaturas, que varia em função dos consumos e tipos de materiais constituintes do concreto (cimento e adições pozolânicas, brita, areia e aditivos químicos).

Para os cálculos, duas funções de maturidade podem ser utilizadas, a que utiliza o conceito de idade equivalente e a função que considera o fator temperatura-tempo. O fator temperatura-tempo aborda o conceito de que a mesma resistência seria atingida por concretos que apresentassem a

mesma maturidade, e leva em consideração que o concreto ganha resistência de maneira linear em função do desenvolvimento da temperatura. A Equação 1, presente na ASTM C 1074 [3], mostra a função para estimar a resistência do concreto em função do ganho de temperatura pelo método da maturidade com a função temperatura-tempo:

$$[1] \quad M(t) = \int_0^t (T_t - T_0) dt$$

Na qual $M(t)$ é a maturidade do concreto em °C.dias ou °C.horas, T_t é a temperatura do concreto na idade t , T_0 é a *datum temperature* (abaixo da qual não há ganho de resistência) e dt é o intervalo de tempo em dias ou horas. As temperaturas são dadas em °C.

Ainda, segundo Saul [6], a mesma mistura de concreto com um mesmo fator de maturidade (medido como função de temperatura e tempo), apresenta a mesma resistência, qualquer que seja a combinação de temperatura e tempo para atingir o fator de maturidade. Essa relação pode ser entendida como abordado na Figura 1, que apresenta o monitoramento da temperatura em duas estruturas de concreto (abordagem genérica), onde há a mesma maturidade acumulada nos dois cenários, portanto a resistência dos concretos é a mesma. Pode-se relacionar o cenário M1 com uma estrutura de concreto moldada no local onde

há um maior acúmulo de temperatura em menor tempo e o cenário M2, como sendo o acúmulo de temperaturas em um corpo de prova mais lentamente.

Devido a esta relação, percebe-se uma diferença entre a resistência à compressão ensaiada em corpos de prova moldados e a resistência do concreto na estrutura, devido ao calor acumulado entre ambos os concretos. Na estrutura concretada (Figura 1 – M1), há maior acúmulo do calor gerado pelas reações de hidratação do cimento, devido ao volume de concreto envolvido, enquanto no corpo de prova moldado (Figura 1 – M2) o acúmulo de calor é menor, tendo a mesma maturidade que a estrutura em um tempo maior.

Com o uso do método da maturidade em paredes de concreto é possível atender a especificação da resistência de desforma em um tempo menor quando comparada aos CP's rompidos em laboratório da obra. A aplicação do método resulta em ganhos na produtividade construtiva da obra com segurança e qualidade, assim como otimização da dosagem de concreto.

Dentre as vantagens já citadas, o objetivo do artigo foi demonstrar o uso e as vantagens do método da maturidade no controle da desforma de paredes de concreto moldadas no local, destacando sua eficácia, economia de recursos e contribuições para a sustentabilidade ambiental. O estudo de caso apresentado visa demonstrar a aplicação



FIGURA 2

EMPREENHIMENTO DE PAREDES DE CONCRETO EM SÃO PAULO/SP, EM CONSTRUÇÃO

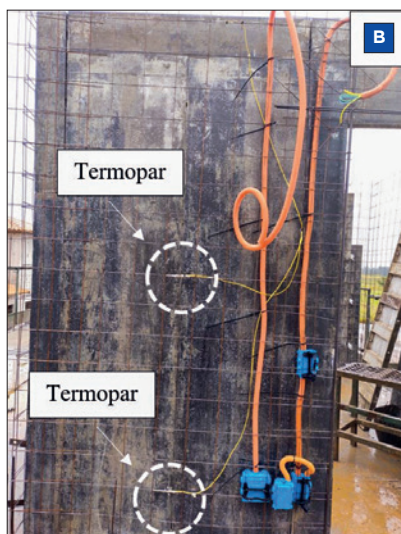


FIGURA 3

INSTALAÇÃO DO MONITORAMENTO DE TEMPERATURA NAS PAREDES DE CONCRETO (A) NO LADO EXTERNO DA FORMA E (B) NO LADO INTERNO DA FORMA

prática do método em uma edificação em São Paulo, fornecendo evidências de sua eficiência e impacto positivo no processo construtivo.

3. ESTUDO DE CASO - EDIFICAÇÃO SÃO PAULO/SP

O método da maturidade foi empregado para controle de resistência de desforma em uma obra de edificação, localizada em São Paulo/SP, com sistema de paredes de concreto moldadas no local. O empreendimento possui 2 torres com 25 pavimentos. O concreto das paredes foi especificado com $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$ e resis-

tência mínima de desforma de 3 MPa em 14 horas. O ciclo de concretagem adotado pela construtora nesta obra é diário, trazendo o desafio para a obra de que o concreto atinja, dentro de 14h após lançado, a resistência mínima de 3 MPa para desforma das paredes. A Figura 2 mostra uma das torres do empreendimento em fase de construção.

No início do monitoramento pelo método da maturidade, a obra empregava traço de concreto com consumo de cimento igual a 370 kg/m^3 (Traço A). Após alguns meses de monitoramento, percebeu-se que havia possibilidade de ajuste do traço de concreto devido às resistências de desforma e f_{ck} obtidas. Com isso, a obra passou a utilizar traço de concreto com consumo de cimento em 355 kg/m^3 (Traço B). Os traços de concreto constam da Tabela 1.

As curvas de calibração dos traços A e B foram realizadas em laboratório, considerando o emprego da função que adota o fator temperatura-tempo, conforme ASTM C 1074 [3].

O moni-

toramento dos concretos das paredes foi feito com o uso de (03) três sensores térmicos (tipo termopar) por concretagem e (01) um para monitoramento da temperatura ambiente. Os sensores instalados possuíam conexão remota para gravação de dados, permitindo que a obra obtivesse os dados de temperatura e estimativa da resistência do concreto da estrutura das paredes, de forma remota e ao vivo, com acesso em qualquer local com conexão à internet.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados dos monitoramentos da resistência de desforma das paredes de concreto do Traço A e do Traço B até a idade de 14 horas constam na Figura 4 e na Figura 5, respectivamente. De acordo com ciclo construtivo adotado, as concretagens foram realizadas no período da tarde e finalizadas por volta das 16:00. A desforma foi realizada na manhã do dia seguinte, próximo das 6:00. Foram utilizados dados de 12 concretagens, em um período de oito meses de monitoramento, com concretagens diárias de segunda-feira até sábado.

A Figura 4 mostra que o concreto das paredes (Traço A) atingiu a resistência de desforma especificada de 3 MPa na idade entre, aproximadamente, 6 e 7 horas após o final da concretagem.

Após o ajuste do traço de concreto (Traço B), os concretos atingiram a resistência especificada entre 7 e 11 horas,

TABELA 1

TRAÇOS DE CONCRETO EMPREGADOS NAS PAREDES DE CONCRETO

Materiais empregados	Consumo (kg/m^3)	
	Traço A	Traço B
CP V ARI RS	370	355
Areia natural	386	391
Areia industrial	578	586
Brita 0	852	852
Água	190	190
Aditivo 1 (polifuncional)	0,925	0,888
Aditivo 2 (superplastificante)	1,850	1,211
Microfibra de polipropileno	0,300	0,300
Relação água/cimento	0,51	0,54
Abatimento especificado	220 ± 30 mm	

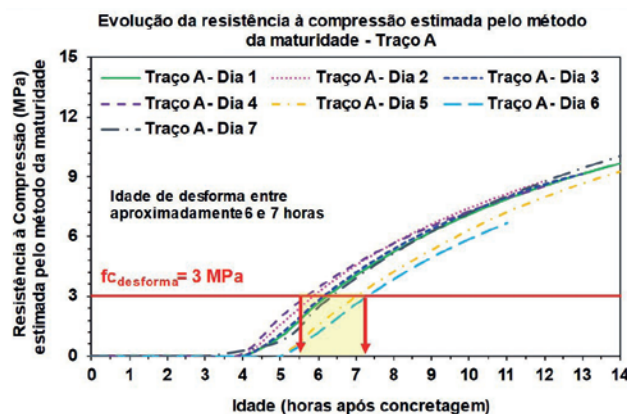


FIGURA 4

EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO ESTIMADA PELO MÉTODO DA MATURIDADE – TRAÇO A

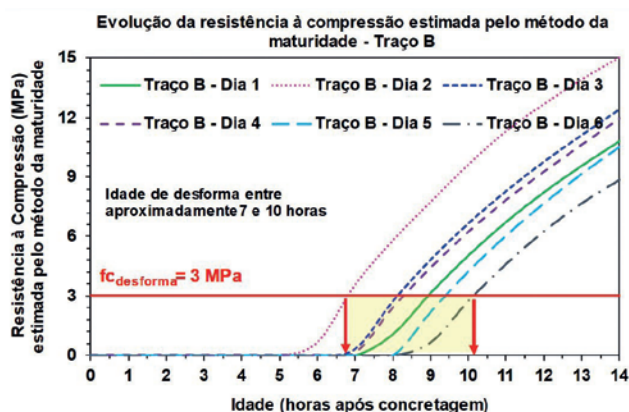


FIGURA 5

EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO ESTIMADA PELO MÉTODO DA MATURIDADE – TRAÇO B

aproximadamente, conforme mostra a Figura 5. Essa diferença de resistência entre concretagens se deu pela evolução de temperatura nas paredes de concreto, também influenciada pela temperatura ambiente.

Neste empreendimento, também havia sido instalado laboratório com prensa para ensaios de CPs na idade de desforma especificada. A Figura 6 e a Figura 7 apresentam as análises comparativas entre os resultados de resistência obtidos a partir dos ensaios de CP's moldados estimados pelo método da maturidade, nas mesmas idades, para o Traço A e o Traço B, respectivamente.

Com base nas análises comparativas realizadas, a resistência à compressão estimada pelo método da maturidade é superior àquelas determinadas pela ruptura dos CP's. Isto ocorre devido ao maior acúmulo do calor gerado pela hidratação do cimento e maior velocidade de desenvolvimento das resistências mecânicas

nos concretos das paredes de maior volume e dimensões, em relação aos corpos de prova, conforme esquema apresentado na Figura 1.

Nota-se que dependendo do dia da concretagem, em especial as condições de temperatura ambiente, as resistências dos corpos de prova moldados e da maturidade podem ser diferentes na mesma idade. É possível notar também que há uma maior variação nos resultados de resistência à compressão dos CP's rompidos, devido às possíveis variações nos processos de moldagem, adensamento e cura, além dos eventuais desvios durante o ensaio de ruptura. Já, na resistência estimada pelo método da maturidade, as diferenças podem se dar pela diferença de temperatura obtida em cada concretagem, podendo variar em função das condições climáticas.

Verifica-se que apesar dos resultados dos rompimentos dos CP's na idade de desforma e os estimados pela maturidade do Traço B serem maiores dos que os

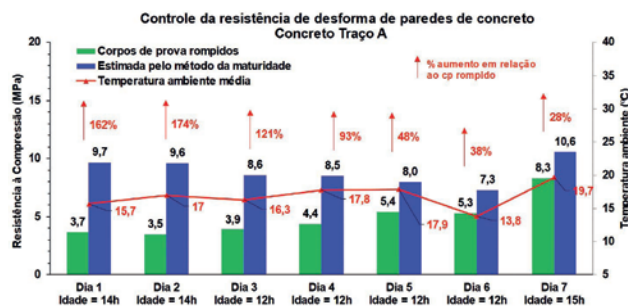


FIGURA 6

CONTROLE DA RESISTÊNCIA DE DESFORMA DE PAREDES DE CONCRETO – CORPOS DE PROVA ROMPIDOS X MÉTODO DA MATURIDADE – TRAÇO A

obtidos com o traço A, a idade com que o concreto obteve resistência suficiente para desforma, conforme especificação de projeto (3 MPa), foi maior para o Traço B, conforme visto na Figura 4 e na Figura 5. Isto se deu porque o tempo de início de hidratação do cimento é influenciado pela temperatura ambiente e temperatura de lançamento do concreto.

Após o ajuste do Traço B com a redução do consumo de cimento em 15 kg/m³, foram atendidas às resistências de desforma (3 MPa/12 horas) e à resistência característica de projeto (f_{ck}), conforme mostra a Figura 8.

5. CONCLUSÕES

A partir do controle da resistência à compressão dos concretos de paredes moldados no local pelo método da maturidade, é possível concluir que:

a) Obteve-se êxito no monitoramento da resistência à compressão necessária para desforma das paredes de concreto pelo método da maturidade;

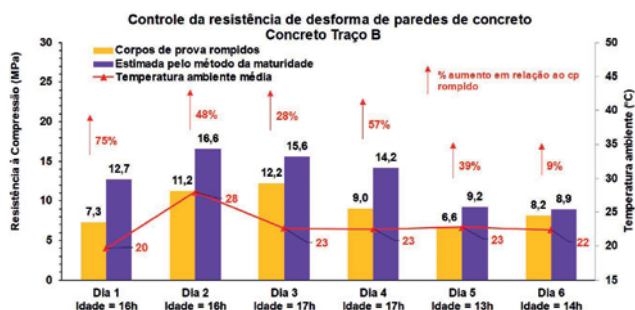


FIGURA 7

CONTROLE DA RESISTÊNCIA DE DESFORMA DE PAREDES DE CONCRETO – CPs ROMPIDOS X MÉTODO DA MATURIDADE – TRAÇO B

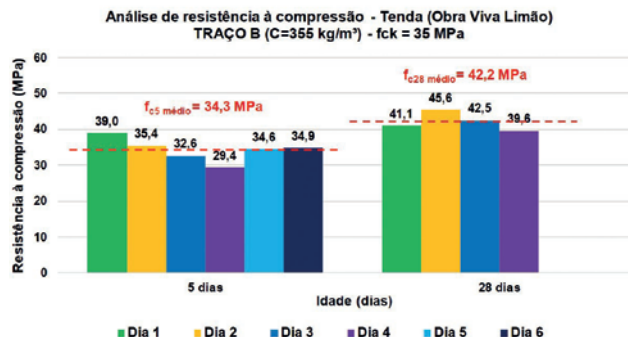


FIGURA 8

RESULTADOS DE CORPOS DE PROVA ROMPIDOS NAS IDADES DE 5 E 28 DIAS – TRAÇO B

b) As resistências obtidas por meio do método da maturidade, quando comparadas aos resultados dos corpos de prova rompidos para a idade de desforma, foram superiores, trazendo otimização do processo construtivo e ciclos de concretagens. Ressalta-se que é prudente que seja feita uma verificação entre a resistência estimada pelo método da maturidade e corpos de prova extraídos de estruturas monitoradas, quando da elaboração das curvas de calibração

na fase inicial de projeto. Contudo, deve-se avaliar o efeito de broqueamento quando da realização das extrações dos corpos de prova, que poderá ser maior em testemunhos com idades de até 24 horas em relação a concretos de maior idade e resistência;

c) Otimizou-se o controle tecnológico do concreto, trazendo resultados de resistência a cada hora, em tempo real;

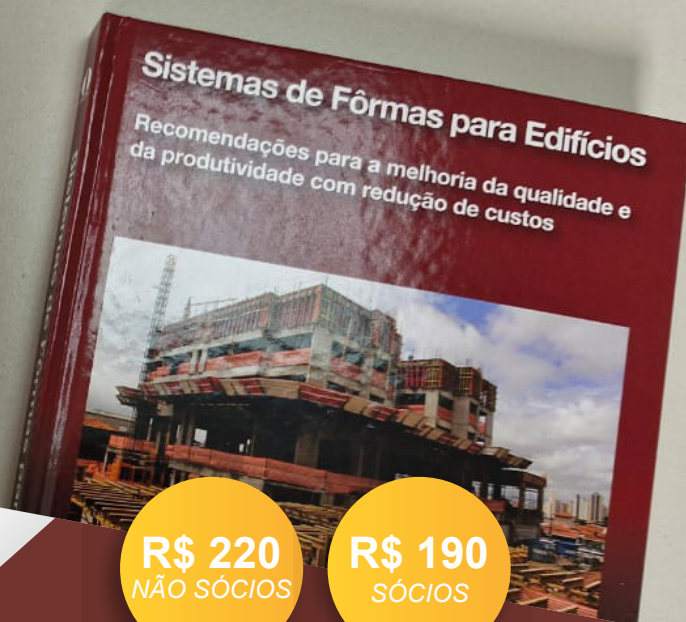
d) Foi possível ajustar o traço de concreto

da obra, reduzindo o consumo de cimento em 15 kg/m^3 , sem prejuízos no ciclo de concretagens do empreendimento, resultando na redução no custo do concreto fornecido;

e) De acordo com o SIDAC, considerando uma redução de 15 kg/m^3 de cimento CP V ARI no traço de concreto, a redução de emissão de CO_2 na atmosfera é de aproximadamente $14 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3$ de concreto produzido, ou 14 t/CO_2 a cada 1000 m^3 de concreto. ☹

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16055 – Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos. ABNT, 2022.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. ABNT, 2015.
- [3] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C 1074 – Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. ASTM, 2019.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. ABNT, 2022.
- [5] SERAFINI, Ramoel *et al.* Controle contínuo da resistência de estruturas de concreto pelo método da maturidade. *Concreto & Construções*, São Paulo, n. 98, p. 85-90, 2020. Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/1809-7197.2020.98.0009>.
- [6] SAUL, A. G. A. Principles underlying the steam curing of concrete at atmospheric pressure. *Magazine of Concrete Research*, 1951



COMBO

Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais + Sistemas de Fôrmas para Edifícios

R\$ 220
NÃO SÓCIOS

R\$ 190
SÓCIOS

ibracon.org.br/loja



O IBRACON FAZ ANIVERSÁRIO MAS VOCÊ É
QUEM RECEBE O PRESENTE!