



## **Avaliação comparativa da resistência a compressão determinada pelo método da Maturidade ASTM C 1074, NBR 5739 - Ruptura de corpos de prova e NBR 7680 - Corpos de prova extraídos.**

**Luís Borin<sup>1</sup>, Roberto J. Falcão Bauer<sup>2</sup>, Patrícia Falcão Bauer<sup>3</sup>, Leonardo P.de Carvalho<sup>4</sup>, Luís Henrique C. Borin<sup>5</sup>, Saulo J.C. Almeida<sup>6</sup>**

- (1) Engenheiro Civil, Falcão Bauer/lborin@falcaobauer.com.br  
(2) Engenheiro Civil, UNITAU/robertofbauer@hotmail.com  
(3) Engenheiro Civil/patricia@falcaobauer.com.br  
(4) Engenheiro Civil /leonardo.pereira@falcaobauer.com.br  
(5) Engenheiro Civil /luis.cione@falcaobauer.com.br  
(6) Professor Dr. Departamento de Estruturas UNICAMP/saulojca@unicamp.br

### **RESUMO**

O controle da resistência à compressão dos concretos durante os primeiros dias após o seu lançamento, é fundamental para avanço de algumas etapas construtivas. O conceito de Maturidade do concreto é consagrado internacionalmente e sua aplicação reconhecida na ASTM C 1074:2021-The Standard test procedure to Maturity Method. Para a desforma das estruturas, o controle da resistência em baixas idades é realizado para atender ao mínimo especificado para continuidade dos serviços de sua remoção e montagem, para as próximas concretagens. Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre métodos relacionados a determinação da resistência a compressão do concreto sendo, por meio da ruptura de corpos de prova (ABNT NBR 5739), extraídos (ABNT NBR 7680) e pelo método da Maturidade (ASTM C 1074:2021). A resistência a compressão especificada para o avanço do túnel é de 15 MPa em 24 horas. Conforme resultados do presente trabalho, a resistência mínima determinada pelo método da Maturidade foi de 15,2MPa a 24 horas. Outrossim, os demais métodos atenderam a resistência especificada, exceto pelo método tradicionalmente utilizado (ABNT NBR 5739) com resultado de 6,6 MPa. Desta forma, para o presente caso investigado, utilizando-se o método da Maturidade foi possível antecipar a desforma da estrutura em 32 horas, quando comparado aos resultados determinados por meio da ruptura de corpos de prova conforme NBR 5739. Portanto, a aplicação adequada do método da Maturidade na execução de túneis aponta para o ganho de produtividade por meio da otimização da remoção de fôrmas com confiabilidade, eficiência e segurança.

*Palavra-Chave: Método da Maturidade; Resistência à compressão; Estudo de caso; Túnel.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Com o avanço da indústria da construção civil, é necessário acelerar a execução das etapas dos métodos construtivos para concluir os projetos nos prazos e com a garantia do resultado financeiro pré-estabelecidos. Na maioria das vezes a resistência do concreto nas primeiras idades é avaliada de

forma pouco criteriosa, desta forma, pode-se recair na remoção precoce dos escoramentos e conseqüentemente gerar o colapso estrutural. No que se refere ao controle tecnológico do concreto, o mesmo é realizado por meio de ruptura de corpos de prova (ABNT NBR 5739) e fornece a resistência potencial do concreto, ou seja, a resistência máxima potencialmente a ser atingida. Contudo, ressalta-se que as etapas de trabalho no canteiro de obras, como transporte interno, lançamento, adensamento e cura, influenciam no resultado de resistência a compressão do concreto aplicado na estrutura. Sendo assim, é imprescindível o conhecimento das propriedades estruturais em determinado instante, seja para a realização de desformas, retirada de cimbramento, execução de pretensões ou até mesmo para aplicação de cargas construtivas e de serviço, evitando a ocorrência de não conformidade dos valores mínimos de resistência pela estrutura, para a retirada de formas e escoramentos.

## 2. Método da maturidade

O procedimento para a aplicação do método da maturidade, é especificado conforme a ASTM C 1074:2021, a qual atesta que este método pode ser utilizado inclusive para estimar a resistência do concreto para liberação de etapas críticas da construção e que dependam da resistência do concreto, tais como remoção de fôrmas, aplicação de protensão e liberação de tráfego em estradas com pavimento de concreto. Previamente à utilização do método para estimar a resistência do concreto na estrutura, esta Norma estabelece o desenvolvimento de uma curva de calibração em laboratório. Isso deve-se ao fato de que cada dosagem apresenta diferente evolução de temperatura, variando em função dos materiais constituintes do concreto (cimento, adições pozolânicas, agregados e aditivos químicos) e de suas proporções. Há dois modelos de previsão de maturidade que podem ser utilizados, a saber, um que utiliza o conceito de idade equivalente e outro que considera o fator temperatura-tempo. O fator temperatura-tempo tem como fundamentação o conceito de que para um determinado nível de maturidade, concretos da mesma família (traço) devem atingir a mesma resistência, considerando que o concreto adquire resistência de maneira linear em função do desenvolvimento da temperatura. A equação 1 mostra a função para estimar a resistência do concreto em função do ganho de temperatura pelo método da maturidade com a função temperatura-tempo:

	$M(t) = \int_0^t (T_t - T_0) dt$	(Equação 1)
--	----------------------------------	-------------

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 temperatura datum (abaixo da qual não há ganho de resistência);

$dt$  é o intervalo de tempo em dias ou horas.

As temperaturas são dadas em °C.

Conforme Saul (1951) 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”.

A Equação 2 representa este conceito:

	$M(t) = \sum (T_a - T_0) \cdot \Delta t$	(Equação 2)
--	--	-------------

onde:

M (t) = Maturidade no tempo t, em °C.dias ou °C.horas;

$\Delta t$  = intervalo de tempo, em dias ou horas;

$T_a$  = média de temperatura do concreto durante o intervalo de tempo  $\Delta t$ , em °C;

$T_0$  = temperatura de referência, em °C.

A temperatura de referência pode ser calculada pela ASTM C 1074, e por definição é a temperatura na qual é cessado o ganho de resistência do concreto. Portanto, em períodos em que a temperatura se encontra igual ou abaixo desta referência, não haverá ganho de resistência. Geralmente, esta temperatura é da ordem de -10°C (ACI 325.11R-01, 2001). A equação de Nurse-Saul é a de maior relevância para a medida da maturidade, sendo o produto acumulado do tempo e temperatura (Figura 1).

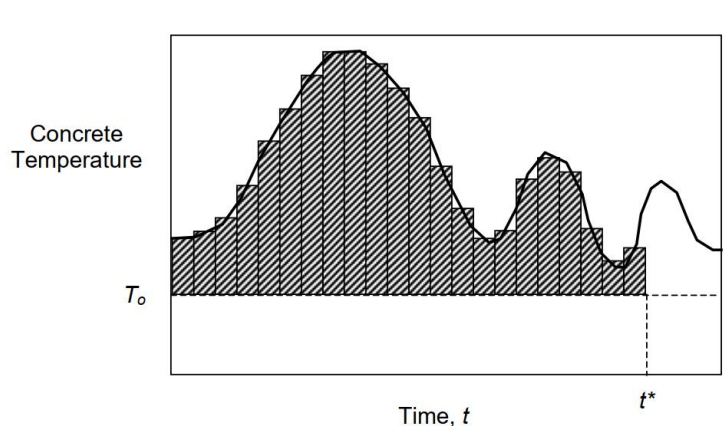


Figura 1 – Esquema do histórico de tempo x temperatura e temperatura de referência considerada pelo método (CARINO; LEW, 2001).

### 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Foi utilizado traço de concreto com resistência característica a compressão de 35 MPa, classe de consistência S160, teor de argamassa de 52% e resistência a compressão  $f_{c,24}$  de 15MPa. Após a definição do traço, foram avaliados três tipos de métodos para determinação da resistência a compressão, a saber, por meio da ruptura de corpos de prova (ABNT NBR 5739), extraídos (ABNT NBR 7680) e pelo método da Maturidade (ASTM C 1074:2021). A Tabela 1 apresenta a composição dos traços utilizados em função da resistência característica e do nível de abatimento.

Tabela 1 – Composição do traço de concreto

Material	Quantidade Kg/m <sup>3</sup>
Cimento	340
Sílica ativa	20
Areia fina	609
Areia Industrial	327
Brita 0	901
Água	168
Maxfluid NCA 110x	2,52
Techniflow 570	0,72

#### 3.1. Elaboração da Curva de Calibração

Após a definição do traço de concreto a ser utilizado na estrutura do túnel, realizou-se em laboratório o desenvolvimento da curva de calibração para permitir o controle das resistências in loco por meio do método da Maturidade. Foi utilizada a equação com fator temperatura-tempo no desenvolvimento da curva de calibração segundo a ASTM C1074 (2021). Para a determinação da curva de calibração, foram moldados 6 (seis) exemplares de corpos de prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e

200 mm de altura, a serem avaliados nas idades de 18h, 20h, 22h, 25h, 26h e 72h. A moldagem dos corpos de prova foi realizada em laboratório conforme a NBR 5738 (ABNT, 2016), utilizando-se o mesmo traço de concreto a ser aplicado no túnel. A Figura 2 apresenta a curva de calibração obtida em laboratório pelo método da Maturidade (fator temperatura-tempo).

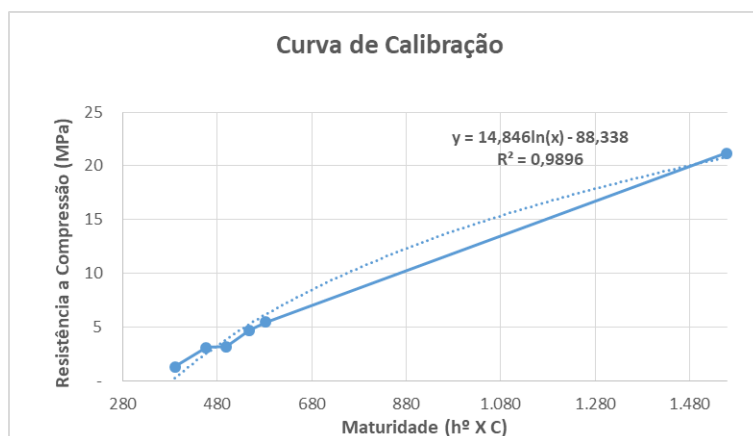


Figura 2 – Curva de calibração

### 3.2. INSTRUMENTAÇÃO

A estrutura foi instrumentada com termopar do tipo K, acoplado ao equipamento de aquisição de dados (Thermobauer), promovendo o registro de temperaturas do concreto a cada 30 minutos. Para a determinação da resistência a compressão do concreto pelo método da Maturidade, foram instalados no interior da estrutura 9 termopares para monitoramento das temperaturas. As posições dos termopares estão apresentadas nas Figuras 3 e 4, sendo, o feixe (composto por três termopares) situado na face interna da parede do túnel, posicionado a uma altura de 2,5m da laje de fundo, adentrando ao mesmo em uma extensão de 4,0m (L1). Os pontos de medições das temperaturas internas (na posição L1) para a parede a ser concretada foram posicionados ao longo da espessura (40cm) da mesma, sendo o primeiro ponto a 13,3cm de sua face interna e, sequencialmente na mesma direção, o segundo e terceiro pontos a 26,6cm e 39,9cm, respectivamente.

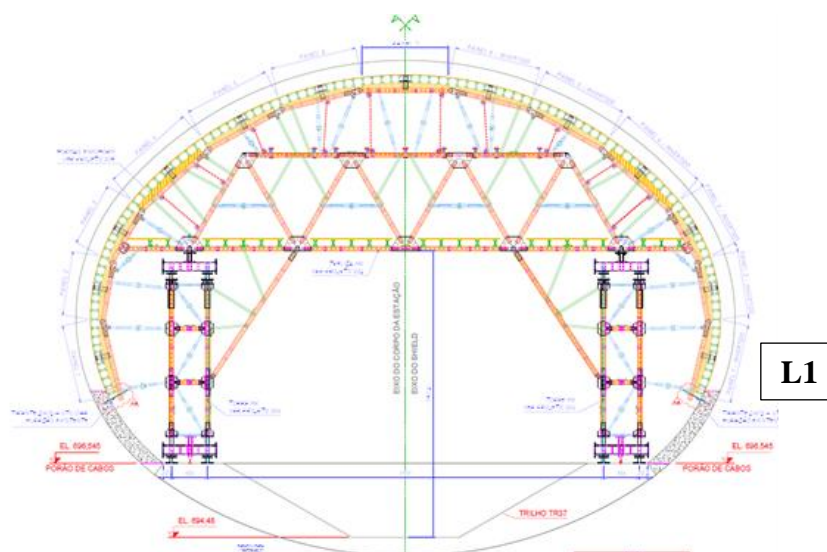


Figura 3 – Corte da Seção Transversal do Túnel

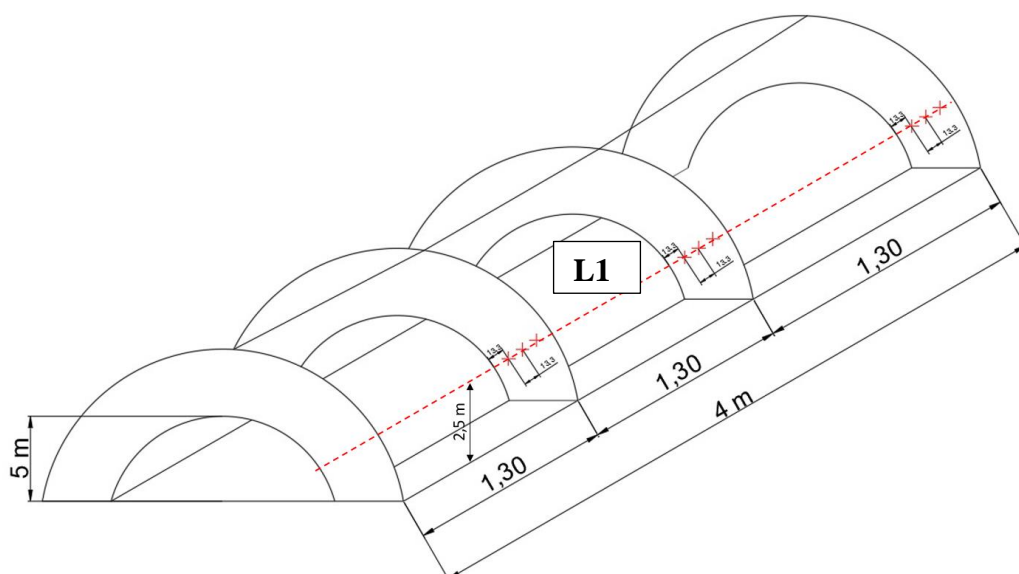


Figura 4 – Croqui de monitoramento

#### 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O comportamento da resistência à compressão axial para as idades iniciais foi analisado por meio da comparação entre os métodos da Maturidade, ruptura de corpos de prova (ABNT NBR 5739) e corpos de prova extraídos (ABNT NBR 7680).

##### 4.1. Comportamento da resistência a compressão pelo método da Maturidade

Para a determinação da resistência a compressão do concreto pelo método da Maturidade, foram instalados no interior da estrutura 9 termopares para monitoramento da temperatura. As leituras foram registradas a cada 30 min, por meio do Thermobauer, equipamento com capacidade de registrar e enviar remotamente em tempo real, as temperaturas para determinação dos parâmetros necessários para a determinação da resistência a compressão. (Figura 5).



Figura 5 – Indica os locais de instalação dos sensores do Datalogger e das extrações.

Os resultados obtidos para a resistência a compressão determinados por meio do método da Maturidade, apresentaram valores mínimo e máximo de 5,2 MPa e 10,7 MPa respectivamente para a idade de 16 horas e 15,2 MPa e 18,2 MPa, respectivamente para a idade de 24 horas. A resistência especificada para liberação do avanço da estrutura é de 15 MPa, sendo assim, as concretagens realizadas nos dias 26/11, 19/12 e 22/12, com 22 horas já apresentavam resistência suficiente para atendimento a especificação. Para a idade de 24 horas todas concretagens já estavam liberadas. A Figura 6 apresenta o comportamento das resistências determinadas pela Maturidade. Naturalmente, pelo fato do calor de hidratação diminuir ao decorrer do tempo, nota-se que para a idade de 16 horas

a dispersão entre os resultados é maior do que 24 horas. De acordo com os resultados da Figura 6, o valor obtido para o desvio-padrão foi de 2,06 MPa, e 1,3 MPa para as idades de 16 horas e 24 horas respectivamente.

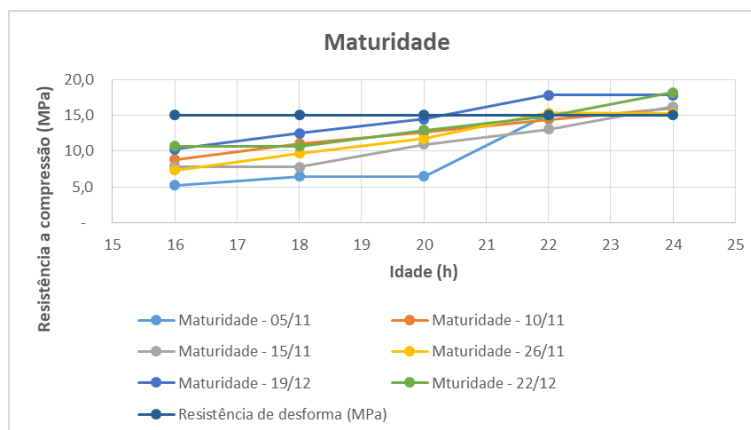


Figura 6 – Resistência do concreto no interior da estrutura

#### 4.2. Avaliação entre a determinação da resistência a compressão pelo método da Maturidade e a metodologia especificada conforme ABNT NBR 5739

Conforme Tabela 2, pode-se observar que os resultados de resistência à compressão axial determinados pelo método da Maturidade apresentam-se muito superiores àqueles determinados conforme ABNT NBR 5739. As diferenças entre os resultados para as idades de 16 horas e 24 horas foram de 41% (quarenta e um) e 153% (cento e cinquenta e três), respectivamente.

Tabela 2 – Resistência a compressão por meio da Maturidade e NBR 5739

Tempo horas	Resistência a compressão – Maturidade (°C x h)					
	Avanço 1	Avanço 2	Avanço 3	Avanço 4	Avanço 5	Avanço 6
16	5,2	8,8	7,8	7,3	10,3	10,7
18	6,5	11,1	-	9,7	12,5	-
20	6,5	12,6	10,9	11,8	14,5	12,9
22	15,2	14,4	13,1	15,3	17,8	14,9
24	-	16,0	16,2	15,3	17,8	18,2
	Resistência a compressão (NBR 5739)					
	Avanço 1	Avanço 2	Avanço 3	Avanço 4	Avanço 5	Avanço 6
16	3,7	4,1	9,5	-	-	-
18	4,6	4,9	-	4,6	3,8	-
20	5,4	5,6	11,3	5,7	5,7	3,8
22	6,0	6,1	-	6,6	7,3	4,4
24	-	-	14,5	-	-	6,6

Conforme ABNT NBR 5739, item 8.2.3, a temperatura dos corpos de prova curados em câmara úmida varia de 19°C a 30°C, ou seja, inferior a temperatura determinada para o concreto na estrutura, conseqüentemente, para a mesma idade, a resistência determinada pela NBR 5739 será menor àquela determinada pelo método da Maturidade. Além da influência da temperatura, ressalta-se também que para baixas resistências o processo de nivelamento das bases do corpo de prova (retifica), interfere no resultado de resistência a compressão. De acordo com a Tabela 2, para os resultados de resistência a compressão determinados conforme NBR 5739, somente o avanço 3 (três) apresentou resultado próximo a especificação, 14,5MPa à 24horas. Contudo é interessante destacar que os resultados referentes ao avanço 3 (três) ficaram mais próximos aos determinados pelo método da Maturidade,

pelo fato que, na concretagem deste evento foi utilizado cimento CPV, diferente do tipo de cimento especificado que é CP III. Analisando a distribuição e temperaturas monitoradas na estrutura e comparando com as temperaturas verificadas no interior dos corpos de prova utilizados na elaboração da curva de calibração, verifica-se que as temperaturas dos corpos de prova são menores que as observadas no interior da estrutura (Tabela 3). Sendo assim, a Maturidade desenvolvida nos corpos de prova será menor que a determinada na estrutura. Assim, para a mesma idade, as resistências obtidas por meio da ruptura de corpos de prova serão inferiores, às existentes no concreto no interior da estrutura.

Tabela 3 – Temperaturas referentes a curva de calibração e monitoramento

CURVA DE CALIBRAÇÃO		MONITORAMENTO 19/11/22	
IDADE	TEMPERATURA ° C	IDADE	TEMPERATURA ° C
18	22,1	16	49,6
21	21,7	18	53,2
23	21,2	20	56,1
25	20,5	22	58,0
26	20,6	24	59,3
72	22,0	-	-

Considerando que a liberação da estrutura para desforma é realizada por meio de corpos de prova rompidos conforme especificado na ABNT NBR 5739, tal fato, influenciará negativamente nesse processo. Nota-se que a ruptura de corpos de prova não é a melhor metodologia a ser utilizada considerando-se maior produtividade para a liberação da estrutura pois, a resistência é atingida em período de tempo maior, devido a Maturidade ser menor, conforme apresentado na Tabela 4. Desta maneira, com a aplicação do método da Maturidade obtém-se ganhos no cronograma de produção.

Tabela 4 – Resistência a compressão NBR 5739

CURVA DE CALIBRAÇÃO		
IDADE horas	TEMPERATURA ° C	RESISTÊNCIA (MPa)
18	22,1	1,3
21	21,7	3,1
23	21,2	3,2
25	20,5	4,7
26	20,6	5,5
72	22,0	21,2

#### 4.3. Corpos de Prova Extraídos (NBR 7680)

As extrações dos corpos de prova (ABNT NBR 7680) foram realizadas na estrutura utilizando-se perfuratriz mecânica. Os resultados obtidos por meio da extração de corpos de prova na estrutura representam a integridade da resistência a compressão do concreto (Figura 7).

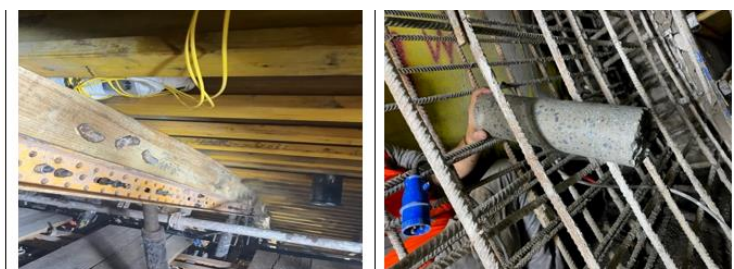


Figura 7 – Monitoramento e corpos de prova extraídos da estrutura

A Tabela 5 apresenta os resultados de resistência a compressão por meio de corpos de prova extraídos (NBR 7680) e Método da Maturidade.

Tabela 5 – Resistências determinadas por meio da Maturidade e corpos de prova extraídos

CONCRETAGEM – 5º AVANÇO			CONCRETAGEM 6º AVANÇO		
IDADE (horas)	EXTRAÍDO Resistência MPa	MATURIDADE Resistência MPa	IDADE (horas)	EXTRAÍDO Resistência MPa	MATURIDADE Resistência MPa
24	24,9	17,8	26	20,4	19,6
33	24,5	23,4			

Conforme apresentado na Tabela 5, para a idade de desforma de 24h, o resultado de resistência à compressão axial determinado por meio do método da Maturidade (ASTM C 1074) foi de 17,8 MPa, enquanto que para os corpos de prova extraídos da estrutura foi de 24,9 MPa, ambos superiores ao valor da resistência especificada para a desforma, 15 MPa. Para a idade de 33 horas os resultados de resistência a compressão axial obtidos pelo método da Maturidade e extraídos da estrutura respectivamente, são de 23,4 MPa e 24,5 MPa. A Figura 8 apresenta o comportamento das resistências determinadas por meio da Maturidade e extração de corpos de prova (ABNT NBR 7680). Nota-se que os corpos de prova extraídos da estrutura apresentam resultados de resistência a compressão maiores áqueles determinados por Maturidade em 40% (quarenta) referente a idade de 24 horas. Neste sentido, fica constatado que para o presente caso houve coerência entre os resultados dos métodos, extração de corpos de prova e maturidade. Não obstante, ressalta-se que ambos métodos de determinação da resistência a compressão atenderam a resistência especificada de 15 MPa para a idade de 24 horas. O fato da resistência a compressão determinada por meio de corpos de prova extraídos ser superior a determinada pela Maturidade pode ser pelo fato de que, quando se realiza a curva de calibração, utiliza-se toda água especificada no traço e durante o carregamento do concreto durante a concretagem, corta-se cerca de 20% da água do traço, implicando assim na redução da relação água/cimento e conseqüentemente a resistência a compressão será maior.

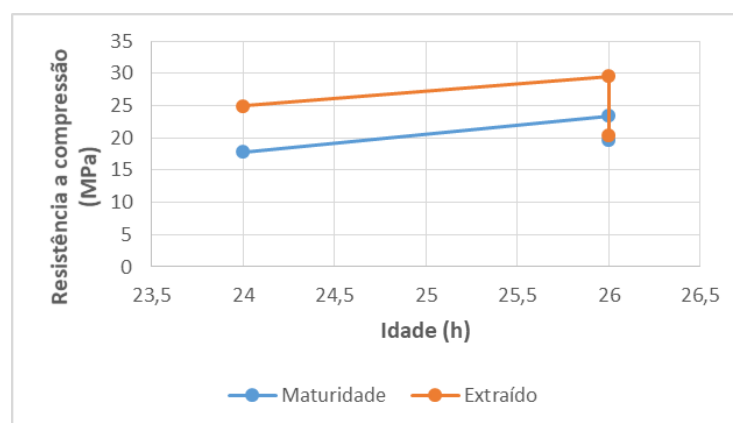


Figura 8 – Resistência por meio da Maturidade e corpos de prova extraídos

Dentre os métodos estudados somente o especificado conforme a ABNT NBR 5739 não atendeu a especificação de 15 MPa para deforma e avanço estrutura.

## 5. CONCLUSÃO

A utilização do método da maturidade apresentou-se como uma alternativa interessante quando comparada com os resultados de resistência à compressão de corpos de prova moldados em obra.



No caso apresentado, para se obter resistência à compressão na idade de 24 horas, os resultados obtidos permitiram verificar que, sabendo a resistência real da estrutura por meio do método da maturidade, obtém-se ganhos de cerca de 300% no tempo de desforma para avanço do túnel. O método da maturidade pode ser uma ferramenta de apoio importante, permitindo acelerar significativamente o processo de produção. Considerando que as temperaturas elevadas conduzem a uma aceleração no ganho de maturidade e, conseqüentemente, da resistência à compressão, conclui-se que, quando utilizados os resultados de compressão de corpos de prova para o avanço da produção destas peças, subestima-se o real valor de resistência da estrutura. Os resultados de resistência a compressão, determinados por meio de corpos de prova extraídos, estão aderentes ao determinado pelo método da Maturidade e que o método referente a ABNT NBR 5739 apresenta valor inferior aos demais métodos analisados. Ressalta-se que o método da Maturidade está mais favorável a segurança estrutural, pois considera a temperatura do concreto no interior da estrutura, conseqüentemente a resistência efetiva. Pelo fato do método da maturidade levar em consideração a geração de calor do concreto na estrutura e que, esse calor é maior que o do concreto moldado em formas de 100 mm x 200mm que é utilizado para a determinação da resistência a compressão conforme NBR 5739, tem-se que, para a mesma idade, a resistência será menor (NBR 5739) àquela determinada no interior da estrutura, devido as suas menores dimensões e maior dissipação do calor durante o ganho de resistência. Diante dos valores apresentados pode-se notar que o método da Maturidade está aderente aos resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova extraídos da estrutura e pode colaborar com a gestão do processo de desforma das estruturas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM C 1074-17: STANDARD PRACTICE FOR ESTIMATING CONCRETE STRENGTH BY THE MATURITY METHOD.

ABNT NBR 7680 – Concreto - Extração, preparo e ensaio de testemunho de concreto.

ABNT 5739:2018 – Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM C1074-19. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. Philadelphia, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5738, Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5739, Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118, Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

AZEVEDO, Ângela de et al. O método da maturidade e sua utilização em pavimentos de concreto: 50º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, IBRACON, Salvador, 2008.

PERES, L. D. P, BARBOSA, M. P., PINTO, R. C. A. Aplicação do método da maturidade na avaliação da resistência à compressão de peças pré-moldadas: