

Influência da Cura na Resistência à Tração do Concreto *Influence of Curing in Concrete Tensile Strength*

Felipe Gomes da Silva (1); Giuseppe Ciaramella Moita (2); Maria de Lourdes Teixeira Moreira (3)

(1) Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Federal do Piauí

(2) Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Federal do Piauí

(3) Professora Doutora, Departamento de Estruturas, Universidade Federal do Piauí
Rua David Caldas, 2958, Pio XII, Teresina – Piauí. Email: engfelipeufpi@gmail.com. (86)99829 - 9900

Resumo

A água é indispensável às reações químicas que ocorrem durante o endurecimento do concreto, portanto deve-se evitar sua saída, principalmente durante as primeiras idades, o que exige a realização de procedimentos de cura. Este trabalho visou avaliar o processo e a duração da cura por aspersão do ponto de vista de sua influência sobre as resistências à compressão e à tração do concreto. Com essa finalidade foram moldados 72 corpos de prova, em duas épocas distintas, para serem ensaiados à compressão axial e diametral (tração indireta) aos 3, 7 e 28 dias. Os corpos de prova foram divididos em grupos, submetidos a três condições de cura distintas: cura a seco em ambiente interno (grupo 1); cura por imersão em água potável (grupo 2) e cura em ambiente externo, com molhagem 2 vezes ao dia durante 3 dias e submetidos à umidade ambiente (grupo 3). Os resultados obtidos foram comparados àqueles calculados através das formulações da NBR 6118/2014 para a determinação do $f_{ct,m}$, $f_{ctk,inf}$ e $f_{ctk,sup}$, utilizando-se, o valor médio da resistência à compressão do concreto, ou seja, $f_{c,m}$ e o $f_{ck,est}$. Analisando os resultados de resistência à tração indireta, nas duas etapas de testes, o grupo 3 apresentou maior resistência seguido do grupo 2. Comparando os resultados do ensaio de tração com os valores teóricos obtidos a partir dos resultados do ensaio de compressão aos 28 dias, na primeira etapa de ensaios, os valores permaneceram mais próximos do $f_{ct,m}$. Na segunda série, exceto para o grupo 1, os demais superaram os valores do $f_{ctk,sup}$. Portanto, verificou-se que o processo de cura bem executado é importante para garantir as resistências à tração e à compressão do concreto. Isso porque, os grupos de concreto que passaram por um processo de cura saturada ou parcial atingiram os valores de resistência à tração esperados.

Palavras-Chave: concreto. cura. resistência à tração.

Abstract

Water is indispensable to the chemical reactions that occur during the hardening of the concrete, so it should be avoided, especially during the early ages, which requires curing procedures. This work aimed to evaluate the process and the duration of curing by sprinkling from the point of view of its influence on compressive and tensile concrete strength. To this end, 72 specimens were molded, in two distinct periods, to be tested at axial and diametral (indirect traction) compression at 3, 7 and 28 days. The specimens were divided into groups, submitted to three different curing conditions: dry cure in the internal environment (group 1); Curing by immersion in water (group 2) and curing in external environment, wetting 2 times a day for 3 days and submitted to ambient humidity (group 3). The results obtained were compared to those calculated through the formulations of NBR 6118/2014 for the determination of $f_{ct,m}$, $f_{ctk,inf}$ and $f_{ctk,sup}$ using the compressive concrete strength mean value, that is, $f_{c,m}$ and $f_{ck,est}$. Analyzing the results of indirect traction, in the two test stages, group 3 presented higher resistance followed by group 2. Comparing the results of the tensile test with the theoretical values obtained from the results of the 28 day compression test, in the first step test, the values remained closer to $f_{ct,m}$. In the second step test, except for group 1, the others exceeded the values of $f_{ctk,sup}$. Therefore, it was found that the well-executed curing process is important to guarantee the tensile strength and compression strength of the concrete. This is because the concrete groups that underwent a saturated or partial curing process reached the values of tensile strength expected.

Keywords: concrete. curing. tensile strength.

1 Introdução

A resistência e a durabilidade do concreto são propriedades de suma importância, sendo necessário seu conhecimento para correta utilização como material portante em estruturas de concreto armado. A cura, elemento essencial no processo do controle tecnológico do concreto, deve ser bem executada, de modo a garantir seu desempenho máximo, sendo a resistência à compressão a propriedade mais fácil de ser mensurada, bem como a resistência à tração por meio do ensaio por compressão diametral.

A cura do concreto é de fundamental importância para que as reações químicas de hidratação dos compostos presentes na pasta de cimento ocorram. Estas reações são importantes para o ganho de resistência mecânica por parte do concreto e para a garantia da sua vida útil. Porém, apesar da importância deste processo, muitas vezes ele é negligenciado nas diversas obras civis, o que é altamente prejudicial à qualidade final do concreto.

Dessa forma, esta pesquisa visou quantificar a influência do processo de cura realizado em peças de concreto sobre a resistência à tração e, também, à compressão do concreto. Para isso, neste projeto, realizado em duas fases, submeteram-se corpos de prova, moldados com o mesmo traço, a três condições de cura diferentes, ensaiando-os em três idades diferentes medidos a partir da data da moldagem dos mesmos.

2 Concreto de cimento Portland

2.1 Propriedades mecânicas do concreto

Vários são os fatores que influem nas propriedades mecânicas do concreto, entre eles PINHEIRO (2004) destaca: tipo e quantidade de cimento, qualidade da água e relação água-cimento, condições de adensamento e de cura, idade do concreto, umidade, temperatura dentre outros. As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas. Cada uma delas será explicada a seguir, exceto o módulo de elasticidade, que foge ao escopo deste trabalho.

2.1.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão simples, denominada f_c , é a característica mecânica mais importante. Para estimar a resistência à compressão de um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova para ensaio segundo a *NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos de provas cilíndricos ou prismáticos de concreto* (ABNT, 2015). Estes corpos de prova são ensaiados segundo a *NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos* (ABNT, 2007). O corpo de prova padrão brasileiro é o cilíndrico, com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, e a idade de referência para o ensaio é 28 dias.

A resistência à compressão deve ser calculada através da seguinte expressão:

$$f_c = \frac{4.F}{\pi.D^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão, em megapascals (MPa);

F é a força máxima alcançada, em Newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros (mm).

2.1.2 Resistência à tração

Os conceitos relativos à resistência do concreto à tração direta, f_{ct} , são análogos aos expostos no item anterior, para a resistência à compressão. Portanto, tem-se a resistência média do concreto à tração, $f_{c,tm}$, valor obtido da média aritmética dos resultados, e a resistência característica do concreto à tração, $f_{c,tk}$ ou simplesmente f_{tk} , valor da resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado pelos resultados de um lote de concreto.

A diferença no estudo da tração encontra-se nos tipos de ensaio. Há três normalizados: tração direta, compressão diametral e tração na flexão. Dentre os quais se tratará do ensaio de compressão diametral que é normatizado pela *NBR 7222 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos* (ABNT, 2011).

Este ensaio é o mais utilizado. Também é conhecido internacionalmente como Ensaio Brasileiro. Foi desenvolvido por Lobo Carneiro, em 1943. Para a sua realização, um corpo de prova cilíndrico de 15 cm por 30 cm é colocado com o eixo horizontal entre os pratos da prensa (Figura 1), sendo aplicada uma força até a sua ruptura por tração indireta (ruptura por fendilhamento).

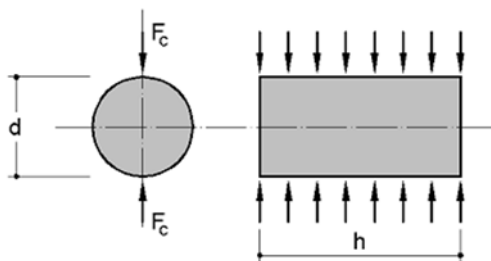


Figura 1 - Ensaio de tração por compressão diametral (PINHEIRO (2004))

Assim como no ensaio para determinação da resistência à compressão, no ensaio brasileiro a NBR 7222 (2011) estabelece que se deve determinar o diâmetro utilizado para o cálculo da área da seção transversal com exatidão de $\pm 0,1$ mm, pela média de dois diâmetros medidos ortogonalmente na metade da altura do corpo de prova e determinar a altura do corpo de prova medindo-se sobre seu eixo longitudinal, com precisão de 0,1

mm, incluindo o capeamento. Já a carga deve ser aplicada continuamente e sem choques, com crescimento constante da tensão de tração e com velocidade de carregamento de $0,05 \pm 0,02$ MPa/s até a ruptura.

A resistência à tração por compressão diametral deve ser calculada pela seguinte expressão:

$$f_{ct,sp} = \frac{2.F}{\pi.D.l} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$f_{ct,sp}$ é a resistência à tração por compressão diametral, em megapascals (MPa);

F é a força máxima alcançada, em Newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros (mm);

l é o comprimento do corpo de prova, em milímetros (mm).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a resistência a tração direta, f_{ct} , pode ser considerada igual a $0,9 f_{ct,sp}$, ou seja, 90% do resultado obtido a partir do ensaio de compressão diametral. A norma ainda estabelece que, na falta de ensaios para a determinação da resistência à tração indireta, a resistência à tração direta pode ser avaliado por meio do seu valor médio ou característico a partir da resistência à compressão, f_{ck} , valendo-se das seguintes equações:

$$f_{ct,m} = 0,3. f_{ck}^{2/3} \quad (\text{Equação 3})$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7. f_{ct,m} \quad (\text{Equação 4})$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3. f_{ct,m} \quad (\text{Equação 5})$$

Conforme MEHTA e MONTEIRO (2014), o concreto apresenta uma resistência à tração entre 7% a 11% da resistência à compressão. As fissuras propagam-se transversalmente à direção da aplicação da carga, com uma ruptura mais frágil que requer menos energia para gerar e aumentar as fissuras na matriz. É observada em especial na retração por temperatura, secagem e em esforços de flexão (comum em pavimentos rodoviários). Ainda segundo eles, existe uma relação entre as duas resistências do concreto: à medida que a resistência à compressão do concreto aumenta a resistência à tração aumenta, a uma velocidade decrescente.

2.2 Estudos experimentais

DINIZ e RIBEIRO (2010) analisaram a influência do processo de cura em concreto convencional. Os corpos de prova foram analisados em um período total de 70 dias sendo

rompidos em seis idades distintas simulando as atividades de desformas que ocorrem no canteiro de obras. Com a pesquisa concluiu-se que este procedimento influencia em média de 14% no ganho de resistência.

SILVA (2009) também estudou a influência do tipo de cura na resistência à compressão do concreto. O autor realizou o experimento valendo-se de 5 tipos de curas diferente: cura em câmara úmida, em cal saturada em água, em ambiente externo ao laboratório, em ambiente interno ao laboratório e em tanque com água potável. Aos 28 dias, constatou-se que os corpos de prova que estavam sendo curados em cal apresentaram a maior resistência dentre as demais curas, isso porque, segundo o autor, a cal possibilita uma hidratação precoce do cimento.

BATTAGIN et al.(2009) também estudaram a influência das condições de cura em algumas propriedades tanto do concreto convencional como do concreto de alto desempenho. Nessa pesquisa são mostrados os resultados da influência de ciclos de cura úmida e seca na resistência à compressão aos 28 dias em concretos com diferentes relações água/cimento. Os autores verificaram que em termos de desenvolvimento de resistência à compressão aos 28 dias, a cura úmida (ao ar saturado) dos concretos com a/c 0,30 mostrou-se tão necessária quanto para os concretos com a/c 0,45 e 0,65.

3 Metodologia

Para a realização da pesquisa, foi calculado o traço mais apropriado, para um concreto convencional, a fim de se atingir uma resistência característica à compressão (f_{ck}) de 25 MPa, conforme o método de dosagem de concreto da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), adaptado do método da ACI (American Concrete Institute) para agregados brasileiros.

A preparação e a caracterização dos materiais componentes, bem como a fabricação do concreto se deram no laboratório de concreto da Construtora Sucesso S/A. Foram realizadas duas etapas de testes, uma em janeiro e outra em junho do ano de 2016. Nas duas ocasiões utilizou-se o mesmo traço.

3.1 Materiais

Na fabricação do concreto, foi utilizado cimento pozolânico CP IV - 32, cuja massa específica é de 3100,00 kg/m³ e cuja resistência a ser atingida aos 28 dias é de 32 MPa.

O agregado miúdo empregado foi a areia grossa. A determinação da composição granulométrica do agregado miúdo foi feita pelo técnico responsável pelo laboratório de concreto da Construtora Sucesso, valendo-se do ensaio descrito pela norma NBR NM 248. A umidade da areia determinada imediatamente antes da produção na primeira e na segunda etapas de testes foi de 5,8% e 4,93%, respectivamente.

O agregado graúdo empregado foi do tipo seixo médio lavado, cujo diâmetro máximo encontrado foi de 25,4 mm. O material também foi ensaiado no laboratório de concreto da Construtora Sucesso seguindo os regimentos da NBR NM 248 e NBR 721.

A água empregada para a produção do concreto, em temperatura ambiente, foi medida em volume através de um dosador automático pertencente à central de concreto. Foi utilizada a água fornecida pela Agespisa S/A, concessionária responsável pela distribuição de água na cidade de Teresina.

3.2 Caracterização e produção do concreto

O concreto foi dosado conforme método ACI/ABCP para atingir um abatimento de 70 ± 10 mm, considerando sd (desvio padrão da dosagem referente à variabilidade prevalescente durante a construção) igual a 4 MPa. Nesta pesquisa todos os materiais foram dosados numa central de concreto. Em cada fase de testes foram moldados 72 corpos de prova com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura.

Para a produção do concreto, nas duas ocasiões, foi utilizado um caminhão-betoneira. Os materiais foram medidos através de um dispositivo dosador automático, sendo todos eles, com exceção da água, medidos em massa com precisão de 1 kg. Já água foi medida em volume com precisão de 10 l. Dessa forma, destaca-se a impossibilidade de colocar a medida exata dos materiais, devido à precisão do equipamento utilizado, o que ocasionou pequenas variações no traço do concreto.

Assim que o material estava pronto, foi executado o ensaio de abatimento (Slump Test), conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998) a fim de se obter o valor de abatimento dentro do intervalo estipulado no cálculo do traço. Após se conseguir isto, foram moldados 72 corpos de prova em moldes cilíndricos metálicos com 150 mm de diâmetro, 300 mm de altura, com volume de 5,3 l, aproximadamente, de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Na primeira etapa de testes, foi colocado o concreto na forma em 3 camadas, cada uma sendo adensada através de 25 golpes de um bastão cujas dimensões são normatizadas pela ABNT. Já na segunda etapa de testes, utilizou-se um vibrador mecânico, colocando o concreto em duas camadas e vibradas por um curto período de tempo para evitar a sedimentação. Os moldes com o concreto foram mantidos no laboratório da construtora, para evitar perda de umidade e, 24 horas depois, os corpos de prova foram desmoldados.

Após a desforma, os corpos de prova foram levados para o laboratório de resistência dos materiais do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Piauí e lá eles foram divididos em 2 grupos: um grupo seria submetido ao ensaio de compressão e o outro à tração e cada grupo foi subdividido em 3 grupos distintos (12 corpos de prova cada um), sendo que cada grupo configuraria uma condição de cura específica, são eles:

Quadro 1 – Grupos de corpos de prova caracterizados pela condição de cura

GRUPO	CONDIÇÕES DE CURA
1	Cura à seco em ambiente interno ao laboratório.
2	Cura em um tanque imerso com água potável
3	Cura à seco em ambiente externo ao laboratório, sendo estes molhados 2 vezes ao dia durante 3 dias e submetidos à umidade ambiente

A intenção de promover estas três situações de diferentes de curas teve por objetivo simular três situações distintas sendo elas:

- Grupo 1: Simulava uma situação não recomendada, na qual não se realiza o processo de cura do concreto;
- Grupo 2: Representava a situação de cura ideal;
- Grupo 3: Representava uma situação bastante recorrente nos canteiros de obras.

3.3 Ensaios de rompimento

Os ensaios de rompimento dos corpos de prova foram realizados no laboratório de Resistência dos Materiais da Universidade Federal do Piauí (UFPI), utilizando-se uma máquina computadorizada que fornece os valores das forças de rompimento dos corpos de prova tanto por compressão diametral como axial em quilograma-força.

Para o ensaio de rompimento do corpo de prova por compressão diametral (Figura 2) se seguiu os procedimentos previstos na norma 7222 (ABNT, 2011) e para o de compressão simples (Figura 3) baseou-se nos critérios da norma NBR 5738 (ABNT, 2015). Os testes foram realizados aos 3, 7 e 28 dias após a confecção dos materiais em cada etapa de testes. Em cada data foram rompidos 4 corpos de prova de cada grupo.



Figura 2 - Corpo de prova submetido ao ensaio de tração por compressão diametral (AUTOR (2016))



Figura 3 - Corpo de prova submetido ao ensaio de compressão simples (AUTOR (2016))

3.4 Análise dos dados

A análise estatística dos dados foi realizada de forma descritiva, utilizando o programa SPSS Statistics, versão 18.0 para o Windows. Para comparar os resultados entre as diferentes idades do concreto de cada grupo foi utilizado o teste T - Student Pareado e para fazer uma comparação entre os diferentes grupos foi utilizado o teste T - Student Independente, em ambos os casos se assumiu significância estatística de 5% ($p = 0,05$).

4 Resultados e discussão

4.1 Caracterização do concreto

O traço calculado para as condições apresentadas anteriormente, ou seja, f_{ck} igual a 25 MPa e abatimento igual a 70 ± 10 mm, pelo método ACI foi:

$$1 : 1,56 : 2,63 : 0,43$$

Onde:

Cimento (Kg): Agregado miúdo (Kg): Agregado graúdo (Kg): Água (L) ou fator
água/cimento

Na primeira etapa de testes, depois de produzido o concreto e submetendo uma amostra ao ensaio do abatimento, verificou-se um abatimento de apenas 40 mm. Assim, decidiu-se acrescentar mais 10 l de água, resultado em 120 l ficando o fator água/cimento igual a 0,46. O resultado do abatimento para essa condição foi de 45 mm. Resolveu-se adicionar mais 30 l, a fim de se obter o abatimento previsto nos cálculos de dosagem e usuais em obras correntes. Com isso resultou em 150 l de água, ficando o fator água/cimento igual a 0,58, sendo que nesta ocasião o abatimento do cone foi medido com 80 mm. Dessa forma, o lote de concreto desta amostra, que foi utilizado para a confecção dos corpos de prova, ficou um traço de:

$$1 : 1,67 : 2,65 : 0,58$$

No segundo momento da pesquisa não foi preciso adicionar água ao traço inicial já que o resultado do abatimento do cone, para a quantidade de água prevista, foi de 80 mm. Assim, o traço da segunda etapa de testes foi:

$$1 : 1,71 : 2,68 : 0,43$$

Observando os resultados dos traços produzidos na segunda etapa, percebe-se uma diferença para mais de 35% entre a quantidade de água calculada e aquela que efetivamente fez parte do concreto na primeira fase.

4.2 Rompimentos dos corpos de prova

Nos resultados mostrados abaixo, para os cálculos de $f_{ct,m}$, $f_{ctk,sup}$ e $f_{ctk,inf}$ foram utilizados, além do f_{ck} calculado com base na média e no desvio padrão dos resultados, aquelas três variáveis foram determinadas utilizando-se, também, o $f_{ck,est}$, este determinado de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015). Já o valor de resistência à tração do concreto, f_{ct} , foi considerado igual a $0,9 f_{ct,sp}$, ou seja, 90% do resultado obtido a partir do ensaio de compressão diametral.

Primeiramente, as tabelas 1 e 2 apresentam os resultados dos ensaios aos 3 dias de cura.

Tabela 1 – Tensões obtidas através dos ensaios destrutivos aos 3 dias - I

Tensão (MPa)	PRIMEIRA ETAPA			SEGUNDA ETAPA		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
f_{ct}	1,71	1,79	1,72	1,96	2,08	2,07
f_{ck}	10,96	9,16	9,02	9,91	9,00	10,27
$f_{ct,m}$	1,48	1,31	1,30	1,38	1,30	1,42
$f_{ctk,inf}$	1,04	0,92	0,91	0,97	0,91	0,99
$f_{ctk,sup}$	1,92	1,71	1,69	1,80	1,69	1,84

Tabela 2 – Tensões obtidas através dos ensaios destrutivos aos 3 dias - II

Tensão (MPa)	PRIMEIRA ETAPA			SEGUNDA ETAPA		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
f_{ct}	1,71	1,79	1,72	1,96	2,08	2,07
$f_{ck,est}$	10,62	9,25	8,71	9,21	8,43	10,08
$f_{ct,m}$	1,45	1,32	1,27	1,32	1,24	1,40
$f_{ctk,inf}$	1,01	0,93	0,89	0,92	0,87	0,98
$f_{ctk,sup}$	1,88	1,72	1,65	1,71	1,61	1,82

Na idade de três dias do concreto, com relação à tração, observou-se que a tensão no concreto, obtida através do ensaio de compressão diametral, do grupo 2 (cura ideal) é maior que nos demais grupos nas duas etapas de testes, enquanto que o grupo 1 (cura inadequada) apresentou a menor resistência dentre eles, mas, com base nos resultados do teste T – Student Independente, verificou-se que não há diferença estatisticamente

significativa entre os grupos ($p > 0,05$) em nenhuma das etapas de testes. Verificou-se, ainda, que os valores do $f_{ctk,sup}$ são estatisticamente semelhantes ($p < 0,05$) aos valores obtidos através do ensaio de tração no concreto em todos os grupos, nas duas etapas de testes.

A seguir, são apresentados nas tabelas 3 e 4 os resultados dos ensaios para o concreto com 7 dias de idade.

Tabela 3 – Tensões obtidas através dos ensaios destrutivos aos 7 dias - I

Tensão (MPa)	PRIMEIRA ETAPA			SEGUNDA ETAPA		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
f_{ct}	1,70	1,79	1,72	2,10	2,04	1,87
f_{ck}	10,02	11,87	14,42	9,35	12,46	9,30
$f_{ct,m}$	1,39	1,56	1,78	1,33	1,61	1,33
$f_{ctk,inf}$	0,98	1,09	1,24	0,93	1,13	0,93
$f_{ctk,sup}$	1,81	2,03	2,31	1,73	2,10	1,72

Tabela 4 – Tensões obtidas através dos ensaios destrutivos aos 7 dias – II

Tensão (MPa)	PRIMEIRA ETAPA			SEGUNDA ETAPA		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
f_{ct}	1,70	1,79	1,72	2,10	2,04	1,87
$f_{ck,est}$	11,30	11,36	13,57	9,87	11,92	8,02
$f_{ct,m}$	1,51	1,55	1,71	1,38	1,57	1,20
$f_{ctk,inf}$	1,06	1,09	1,19	0,97	1,10	0,84
$f_{ctk,sup}$	1,96	2,02	2,22	1,80	2,03	1,56

Analisando os resultados obtidos no ensaio de compressão diametral aos 7 dias de idade, verifica-se que houve um aumento bastante irrisório nos valores das resistências à tração nas duas etapas, podendo considerar que, de modo geral, não houve aumento de resistência, já que os resultados dos testes T – Student Pareado mostraram que, em todos os grupos, os valores de resistência à tração aos 3 dias de idade são estatisticamente semelhantes ($p > 0,05$) aos valores de resistência aos 7 dias de idade.

Comparando os valores obtidos no ensaio de tração e aqueles calculados valendo-se das equações da norma NBR 6118/2014 utilizando-se tanto o f_{ck} como o $f_{ck,est}$, verificou-se que os valores de resistência à tração dos três grupos de concreto da primeira etapa são estatisticamente semelhantes ($p > 0,05$) aos valores dos respectivos $f_{ct,m}$ de cada grupo, em contrapartida, os resultados da segunda fase são estatisticamente semelhantes ($p > 0,05$) aos valores dos respectivos $f_{ctk,sup}$ de cada grupo.

A seguir, são mostrados os resultados dos ensaios para o concreto aos 28 dias de idade.

Tabela 5 – Tensões obtidas através dos ensaios destrutivos aos 28 dias – I

Tensão (MPa)	PRIMEIRA ETAPA			SEGUNDA ETAPA		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
f_{ct}	1,79	1,78	2,32	1,79	2,57	2,66
f_{ck}	10,67	13,32	13,32	11,24	14,31	10,17
$f_{ct,m}$	1,45	1,69	1,69	1,51	1,77	1,41
$f_{ctk,inf}$	1,02	1,18	1,18	1,05	1,24	0,99
$f_{ctk,sup}$	1,89	2,19	2,19	1,96	2,30	1,83

Tabela 6 – Tensões obtidas através dos ensaios destrutivos aos 28 dias – II

Tensão (MPa)	PRIMEIRA ETAPA			SEGUNDA ETAPA		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
f_{ct}	1,79	1,78	2,32	1,79	2,57	2,66
$f_{ck,est}$	9,79	11,72	12,13	12,94	16,06	8,87
$f_{ct,m}$	1,37	1,55	1,58	1,65	1,91	1,29
$f_{ctk,inf}$	0,96	1,08	1,11	1,16	1,34	0,90
$f_{ctk,sup}$	1,78	2,01	2,06	2,15	2,48	1,67

Os resultados do ensaio por compressão diametral, após os 28 dias de cura, de modo geral, mostram que os valores de resistência à tração do concreto de todos os grupos, nas duas etapas de testes, aumentaram com o passar do tempo (exceto o grupo 1 da segunda etapa). Entretanto, comparando esses resultados com aqueles obtidos aos 3 dias de idade do concreto, através do teste T – Student Pareado, verificou-se que não há diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) entre os valores de resistência à tração do concreto de nenhum grupo de ambas as etapas de testes, exceto os resultados do Grupo 2 da segunda etapa, que se mostraram estatisticamente maior ($p = 0,043$) aos 28 dias comparando-os aos resultados obtidos aos 3 dias de idade. Esse fato mostra que, conforme a análise estatística utilizada, apenas o concreto do grupo que passou por um processo de cura dita como ideal (Grupo 2) aumentou sua resistência à tração ao longo do tempo.

Na primeira etapa de testes, fazendo uma comparação entre os grupos, através do teste T – Student Independente, verificou-se que a resistência à tração do concreto pertencente ao Grupo 3 é estatisticamente maior que a resistência à tração do concreto dos outros dois grupos ($p < 0,05$). Na segunda etapa de testes, constatou-se que há uma diferença estatisticamente significativa ($p = 0,021$) entre a resistência à tração do concreto do Grupo 2 e do Grupo 1, sendo que a resistência daquele é maior que a desse. A mesma situação foi constatada na comparação entre o Grupo 3 e o Grupo 1 ($p = 0,016$). Comparando, entretanto, os Grupos 2 e 3 verificou-se que a resistência à tração de ambos são estatisticamente semelhantes ($p = 0,296$).

Analisou-se também as diferenças dos resultados obtidos entre as etapas de testes. Constatou-se que apenas no concreto do Grupo 2 há uma diferença estatisticamente significativa ($p = 0,002$) entre a resistência à tração obtida na primeira etapa e aquela

obtida na segunda etapa, ou seja, a resistência obtida na segunda fase é maior que aquela obtida na primeira. Esse fato pode estar relacionado à diferença entre os métodos de adensamento, sendo que na primeira etapa foi feito o adensamento manual do concreto fresco e na segunda utilizou-se o adensamento mecânico.

Fazendo uma comparação dos resultados do ensaio de tração (f_{ct}) com os valores obtidos a partir dos resultados do ensaio de compressão aos 28 dias utilizando-se as formulações da NBR 6118 (2014), nas duas etapas de testes e com base tanto no f_{ck} como no $f_{ck,est}$, os valores permaneceram estatisticamente semelhantes ($p > 0,05$) aos valores de $f_{ctk,sup}$, de modo que, na maioria dos casos, manteve-se abaixo desta referência.

Utilizando-se a fórmula da norma para a determinação da resistência à tração direta a partir da resistência característica à compressão para a qual o concreto foi dosado, que é 25 MPa, encontram-se os seguintes valores:

$$\begin{aligned}f_{ct,m} &= 2,56 \text{ MPa} \\f_{ctk,inf} &= 1,80 \text{ MPa} \\f_{ctk,sup} &= 3,33 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Comparando os valores acima com os resultados obtidos através do ensaio de tração por compressão diametral, ou tração indireta, verifica-se que, o concreto produzido no primeiro momento de testes apresentou resistência sempre inferior ao $f_{ct,m}$ em todos os grupos, sendo que os grupos 1 e 2 apresentaram valores abaixo do $f_{ctk,inf}$, o que não ocorreu no grupo 3 que ficou mais próximo do $f_{ct,m}$. Em contrapartida, na segunda fase de testes, apenas o grupo 1 ficou ligeiramente abaixo do $f_{ctk,inf}$. Os outros dois grupos, que passaram por um processo de cura, apresentaram valores maiores que o $f_{ct,m}$. Destaca-se que essa diferença dos resultados entre as etapas pode estar relacionada à diferença entre os métodos de adensamento utilizados em cada uma das fases, como foi mencionado anteriormente. Além disso, pode estar relacionado também ao excesso de água que foi adicionado ao concreto, acima do estabelecido pelo traço, na produção do primeiro lote de concreto, o que não ocorreu na segunda ocasião.

Ressalta-se, ainda, o fato de que os valores obtidos no ensaio de tração, na segunda etapa de testes, atenderam as expectativas, tendo em vista que os resultados dos ensaios convergiram aos valores de resistência de referência relacionados ao f_{ck} ao qual o concreto tinha sido dosado de modo que isso foi verificado nas ocasiões em que o concreto passou por algum processo de cura.

5 Conclusão

Com base nos resultados obtidos, através desta pesquisa, é possível inferir que o processo de cura bem executado é de suma importância no que se refere à garantia das resistências à tração e à compressão do concreto, uma vez que foram constatados desníveis entre os valores dessas propriedades, encontrados por meio de ensaios normatizados, ao se comparar corpos de prova submetidos à cura em meio saturado com aqueles expostos em ambientes externos, onde não há controle da evaporação da água,

sendo que os valores de resistência dos primeiros foram sempre maiores que a dos últimos.

Verificou-se que os corpos de prova submetidos a um processo de cura semelhante ao que ocorre nas obras (Grupo 3), de um modo geral, apresentaram valores maiores de resistências à tração e à compressão que aqueles submetidos às demais situações nas três idades em que se realizaram os ensaios, inclusive aqueles submetidos a um processo de cura saturada, dita como ideal. Porém, esse fato só ocorreu na primeira etapa de testes, pois, na segunda etapa, os dois grupos de concreto que foram submetidos a algum processo de cura, saturada ou parcial, apresentaram resistência à tração, aos 28 dias, estatisticamente semelhantes. Entretanto, foi constatado que apenas no concreto do Grupo 2 da segunda etapa de testes houve um aumento da resistência à tração ao longo do tempo.

Além disso, os grupos de concreto que passaram por um processo de cura saturada ou parcial, na segunda etapa de testes, em que não houve excesso de água na mistura além do que tinha sido dosado, atingiram os valores de resistência à tração esperados, de acordo com a formulação exposta pela NBR 6118/2014.

Acredita-se que os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram a importância da prática adequada por todos os envolvidos na produção de concreto para que se este produto, ao longo de sua vida útil, proporcione às obras durabilidade e segurança, atendendo assim, aos requisitos básicos de todas as construções. Isso significa, que durante todo o processo, que vai desde a preparação e inspeção dos materiais que serão utilizados para a produção do concreto até o momento da concretagem das peças estruturais bem como o adensamento e a cura das mesmas, é de extrema importância para se ter obras, que se utilizam o concreto, com qualidade.

6 Referências

ARAÚJO. José Milton. **A Resistência à tração e energia de fratura do concreto**. 2 ed. Porto Alegre: Dunas, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto**, 2004.

_____. **NBR 5738: Moldagem e cura de corpos de provas cilíndricos ou prismáticos de concreto**, 2015.

_____. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**, 2007.

_____. **NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**, 2011.

_____. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**, 2015.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimentos**, 2014.

_____. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimentos**, 2015.

BATTAGIN, Arnaldo Forti; CURTI, Rubens; MUNHOZ, Flávio A. Cunha. **Influência das condições de cura em algumas propriedades dos concretos convencionais e de alto desempenho**. Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, 2009.

DINIZ, Alessandro Almeida; RIBEIRO, Janiele Alves Eugênio. **Influência do processo de cura em concreto convencional em seis idades**. Congresso Norte e Nordeste de Pesquisa e Inovação, Palmas, 2012.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projetos de edifícios**. 1ed. São Carlos: EECS, 2004.

SILVA, Bruno Araújo. **Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos de prova de concreto**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

YAZIGI, Walid. **A Técnica de Edificar**. 10 ed. São Paulo: Pini, 2009.