Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni - Junho de 2018

IMPORTÂNCIA DE UMA CORRETA EXECUÇÃO DA CURA DO CONCRETO E SUA INTERFERÊNCIA NAS PEÇAS CONCRETADAS

Filipe Murta do Nascimento[*], Hamilton Costa Junior[**], Acly Ney Santiago
Pedro Emílio Amador Salomão

RESUMO

A qualidade na construção civil está ligada a serviços e processos construtivos, que devem ser metódicos quando executados. Entre esses processos executivos está a cura do concreto, que quando não é bem executada gera diversas patologias que tendem a comprometer a qualidade e segurança das edificações. O presente trabalho foi elaborado a fim de avaliar a real importância desse processo com ensaios de resistência à compressão, e de análise visual das patologias causadas pela não execução da cura, isso associado a uma revisão bibliográfica que aborda o tema. Para os ensaios, utilizou-se um traço de concreto desenvolvido por uma concreteira atuante na região, para uma resistência a compressão de 25 Mpa (Mega Pascal). Utilizado para moldar corpos de prova cilíndricos, que foram separados em três lotes, que por sete dias ficaram expostos a condições de cura diferentes: um lote curado em câmara úmida, outro com cura por irrigação/aspersão de água e o terceiro sem nenhum processo de cura. Após sete dias todos ficaram expostos ao ar livre sobe as mesmas condições e rompidos, obtendo o crescimento da resistência dos lotes e um levantamento comparativo entre eles, tendo alcançado diferenças consideráveis na resistência à compressão entre os lotes.

Palavras-chave: Cura. Concreto. Resistência.

ABSTRACT

The quality of construction is connected to building services and processes to be performed when methodical. Among these business processes is the cure of concrete, when it is not well executed generates various pathologies that tend to compromise the quality and safety of buildings. This study was designed to assess the real importance of this process with compressive strength tests, and visual analysis of diseases caused by non-execution of healing, that associated with a literature review that addresses the issue. For the tests used a concrete mix developed by an active concreteira in the region for a compressive strength of 25 MPa (Mega Pascals). Used to mold 27 bodies of cylindrical specimens, which were

[*] Acadêmico do 10º período do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni. E-mail: filipemn@hotmail.com
[**] Engenheiro Civil, MBA em Gerenciamento de Projetos, Professor do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni. E-mail: hamilton.engenharia@gmail.com
[***] Engenheiro Civil, Mestre, Professor do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni. E-mail: aclyney@gmail.com
[****] ,Químico, Mestre, Professor do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni. E-mail: pedroemilioamador@yahoo.com.br

divided into three lots, seven days were exposed to different curing conditions: a lot cured in a humid chamber, another with healing irrigation / water spray and the third without any process of cure. After seven days all were exposed to the open air under the same conditions and broken, obtaining the growth of the resistance of the lots and a comparative survey between them, having reached considerable differences in the compressive resistance between the lots.

Keywords: Healing. Concrete. Resistance.

1. Introdução

Nos últimos anos vivenciou-se uma enxurrada tecnológica em todas as áreas do cotidiano, expondo a sociedade a uma necessidade cada dia maior de buscar por desenvolvimento tecnológico. No meio dos negócios ficou explícita a missão de criar, de produzir sempre algo que desperte nos clientes o desejo de se obter determinado produto.

O ramo da construção civil não fugiu a esta regra, engenheiros e arquitetos sempre buscando oferecer ao seu cliente edificações que apresentem uma estética agradável, criteriosamente pensando na iluminação, ventilação, na ergonomia dos ambientes, na acessibilidade para melhorar ao máximo possível a rotina de pessoas que apresente algum tipo de deficiência física, entre outros. Porém, um item em especial deve ser destacado, a segurança das edificações.

Atualmente são inadmissíveis os desperdícios, então é constante a busca por uma edificação que nos apresente o menor custo e nos garanta a maior segurança, necessária às solicitações que determinada construção poderá vir a sofrer. Diante disso, projetos e planejamentos são revisados de forma incansável e sistemática, através de ferramentas e softwares desenvolvidos para auxiliar nessa demanda, se tornando parceiros fieis dos engenheiros, responsáveis pelo projeto estrutural que remete à ideia de segurança garantida.

Sempre ao executar o projeto deve-se estender esse critério de controle de qualidade aos canteiros de obra. Um processo construtivo simples em que a sua correta execução está diretamente ligada à garantia de qualidade de um projeto, com destaque, no caso de estruturas de concreto armado, para o controle da cura do concreto.

Denomina-se de cura o conjunto de medidas utilizadas com a finalidade de que se evite a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento, responsável pela pega e seu endurecimento. A Norma Brasileira NB-1/77 exige que

a cura se faça nos 7 primeiros dias contados do lançamento. Embora seja desejável que seja executada durante os 14 dias seguintes, para se ter garantias contra o aparecimento de fissuras devidas à retração (PETRUCCI, 2005).

Um problema presente entre os profissionais da área da construção civil, desde pedreiros, mestre de obra e até engenheiros, é ignorar total ou parcialmente a importância de uma correta execução da cura do concreto. E nessa mesma frequência, depara-se com patologias decorridas de tal comportamento, comprometendo a qualidade do produto final.

É comum encontrar peças concretadas com grandes fissuras de retração, carbonatação do concreto, apresentando um concreto mais poroso entre outros. Sabe-se que a hidratação do concreto está diretamente ligada à sua porosidade, fissuração, sua resistência mecânica, permeabilidade, capilaridade e etc.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo comparativo, com ensaios de laboratório e simulações das condições encontradas nos canteiros de obra, mostrando a diferença em relação à perda de resistência à compressão através de teste em corpos de prova expostos a três condições diferentes de cura: a cura ideal alcançada em laboratório, a cura por aspersão comum nos canteiros de obra, e a negligência ao processo de cura. A partir da análise das condições, serão relatadas as patologias encontradas nas amostras e os danos causados pelas mesmas.

Será feita também correlação dos resultados dos ensaios com execução da cura do concreto, mostrando a viabilidade de desprender maior atenção a esse processo construtivo, dentro de um plano de controle de qualidade ao desenvolver, planejar e executar determinado projeto, de modo que o mesmo apresente como produto edificações com qualidade, conforto, segurança, durabilidade e viabilidade financeira.

Um sistema de controle de qualidade deve adotar uma documentação técnica, estabelecer procedimentos, especificações, e responsabilidades que abranjam todas as etapas do processo de execução de uma edificação (HELENE; TERZIAN, 1992).

1.1 História da construção civil

A construção civil vem sendo relatada junto ao desenvolvimento da vida humana, homens que há muito tempo residiam em cavernas, foram movidos pelas suas necessidades, a buscar por uma melhora, onde o resultado dessa melhora trouxesse condições de fornecer abrigos dispostos de uma maior segurança, maior conforto, e a partir daí a busca por melhorias se tornou incessante. Utilizando-se primordialmente dos materiais assim como o encontravam na natureza, logo começaram a desenvolver técnicas de moldagem dessas matérias, de forma que pudessem satisfazer melhor às suas necessidades. O homem produzia seus abrigos a partir de madeiras, pedras e o barro, com o passar do tempo foram agregando matérias como fibras, vegetais, couro animal, e assim seguiram galgando em um lento processo de evolução.

Caminhando junto a essa evolução, também crescia as exigências humanas, maiores edificações, maiores vãos a serem vencidos, formas arquitetônicas diversas entre outros. Esses fatores impulsionaram para o emprego de materiais que se tem hoje, como o concreto armado, o concreto protendido e as estruturas metálicas, levando a uma constante evolução na construção civil, onde a busca por maior conhecimento do comportamento e características dos materiais utilizados, junto ao desenvolvimento de técnicas de aplicação dos mesmos, tem permitido sempre melhorias consideráveis aos métodos construtivos.

1.2 Concreto de Cimento Portland

O concreto é um material muito utilizado atualmente na construção civil, devido a suas várias qualidades como alta resistência à compressão, fácil acesso aos seus materiais constituintes, grande durabilidade, versatilidade e adaptabilidade. É um composto heterogêneo, que basicamente é constituído por um aglomerante, que no caso estudado foi o cimento portland, somados a um agregado miúdo (areia) e um agregado graúdo (brita), ambos inertes a água, que é utilizada na mistura do material, chamada água de amassamento. Outros materiais são utilizados a fim de agregar ao concreto características específicas quando necessário pelo uso da estrutura, podendo-se adicionar a sua composição aditivos, como são conhecidos, que oferecem aceleração ou retardo da pega, impermeabilidade, ganho de resistência, ganho de plasticidade, entre outras.

Para se obter um concreto de qualidade, durável, resistente, econômico e de bom aspecto após endurecido, o engenheiro deve estar atento a alguns fatores que influenciam diretamente ao quesito. O mesmo deve obter um conhecimento das propriedades de cada um dos materiais que o constituem, não desobedecer a relação água/cimento, identificar os fatores capazes de alterar as propriedades do concreto, obter um traço com proporcionamento ideal para cada situação, além de dispor de serviços de qualidade ao transportar, lançar, adensar, vibrar, curar e desformar as peças concretadas.

1.3 Cimento Portland

Para que se possa discorrer sobre o processo de cura no presente trabalho, é essencial que se fale sobre o aglomerante, constituinte fundamental do concreto que tem por finalidade a aglutinação dos demais agregados, a fim de conhecer melhor suas características.

Bauer (2000, p. 35) afirma que:

> Cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clinker constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.
> O clinker é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura daqueles materiais, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente[...].

Cimento é uma palavra provinda do latim *caementu*, que tem como significado, pedra proveniente de rochedos. Material de história remota com relatos que passam desde as majestosas pirâmides Egípicias onde se utilizavam uma espécie de gesso calcinado, quanto na antiga Grécia e Roma que também faziam o uso de um aglomerante hidráulico em suas edificações. Desenvolveu-se durante anos através de engenheiros pesquisadores como o inglês John Smeaton, e o francês Louis José Vicat, vindo somente se aproximar ao cimento que conhecido na atualidade através das pesquisas do construtor inglês Joseph Aspdin, que conseguiu um material pulverulento proveniente da experiência em que se utilizava da mistura, seguida queima e moagem de argila e pó de pedra calcária retirado das ruas. Quando Aspdin adicionava água a esse material era gerado uma argamassa, que ao secar, apresentava dureza como as das rochas. O produto foi então patenteado e

denominado a partir do ano de 1824 como Cimento Portland, em referência à semelhança da argamassa endurecida com as rochas da cidade de Portland na inglaterra. A partir de então veio sofrendo melhorias quando ao processo de fabricação e utilização de materiais que lhe acrescem novas características (BATTAGIN, 2016).

O cimento Portland é um material pulverulento, que em sua constituição apresenta silicatos de cálcio, com baixa presença da cal livre. Esses silicatos e aluminatos, quando em contato com água se hidratam e levam ao endurecimento da massa, podendo oferecer ou não elevada resistência mecânica (PETRUCCI, 2005).

Na composição química do cimento encontramos a sílica (SiO_2), a cal (CaO), o Óxido de ferro (Fe_2O_3), a alumina (Al_2O_3), a magnésia (MgO) e o anidro sulfúrico (SO_3), e em pequenas proporções podemos encontrar o óxido de potássio (K_2O), o óxido de sódio (Na_2O) o óxido de titânio (TiO_2) e mais algumas impurezas com menor influência. E é a partir da reação desses componentes quando em contato com a água que levam ao endurecimento da pasta, após a mistura de água ao cimento, forma-se uma solução supersaturada que posteriormente dará origem aos cristais do cimento, o anidro sulfúrico (SO_3) originado do sulfato de cálcio que é adicionado apenas após a moagem do clinker com a função de retardar a pega do cimento, aparece em pequenas proporções, enquanto o óxido de potássio (K_2O), o óxido de sódio (Na_2O) são impurezas presentes no cimento, conhecidos como álcalis do cimento, que podem reagir com componentes do concreto e gerar patologias, desde um concreto poroso, fissuras até perda de resistência à compressão (YAZIGI, 2008).

Uma propriedade importante do cimento portland é a sua finura, que está relacionada à sua moagem, a sua granulometria. Quanto maior a finura do cimento, maior qualidade será conferida ao mesmo, pois a finura está ligada a propriedades importantes do cimento, tanto da pasta fresca quanto endurecida. A finura do cimento interfere na trabalhabilidade, no fenômeno da exsudação, na resistência à compressão, no tempo de pega entre outros.

1.4 Tempo de pega

O Tempo de pega é a evolução das propriedades mecânicas da pasta do cimento, correspondendo ao tempo em que decorrido o processo químico de

hidratação, a pasta perde plasticidade. Ficando definido como início da pega o momento da adição da água, e fim da pega quando a pasta, argamassa ou concreto deixa de se deformar diante de pequenas cargas, a partir daí a massa segue com ganho de resistência e coesão, entrando na fase chamada de endurecimento.

1.5 Trabalhabilidade

É definida como o estado de manuseio de argamassas e concretos frescos, que na maioria das vezes é ligada de forma subjetiva diretamente à consistência do concreto, uma vez que vai além de apenas uma característica do concreto. Pode ser observada através de uma maior ou menor facilidade de lançamento do concreto ou argamassa, dependendo das condições impostas pela natureza da obra e dos métodos de execução utilizados.

1.6 Água de amassamento e relação água/cimento

A água de amansamento não precisa de um controle de qualidade como a água potável, assim como uma água que contenha grande quantidade de impurezas não é recomendável para o uso no concreto, podendo casar danos na superfície do concreto e corrosão às armaduras. A água de amassamento deve sempre obedecer a relação água/cimento definida na dosagem do traço utilizado para que não comprometa a qualidade do concreto, pois o excesso de água terá como resultado um concreto poroso, propenso ao surgimento de diversas patologias, inclusive a perda de resistência, carbonatação e etc. Caso a quantidade adicionada de água for inferior ao necessário, o concreto não alcançará um boa consistência, não apresentará uma homogeneidade na sua composição, e não terá água suficiente para as reações químicas responsáveis pelo endurecimento do concreto, provocada pela cristalização do cimento Portland.

Deve se lembrar de que a maioria dos defeitos causados pela água de amassamento, estão na maior parte das vezes ligados ao excesso de água, do que propriamente com os elementos presentes nela (PETRUCCI, 2005).

1.7 Exsudação

Como afirma Bauer (2008, p. 45) " A exsudação é um fenômeno de segregação que ocorre nas pastas de cimento". É um processo que ocorre nas pastas, argamassas e concretos, devido a densidade dos grãos de cimento ser maior que a da água, e quando a mesma é adicionada além do previsto pela dosagem do traço escolhido, leva o excesso a subir a superfície, deixando canais capilares e pequenas bolhas no concreto. Esse processo pode carear junto a água para a superfície pequenas partículas do cimento, formando uma nata que impede novas ligações de camadas do material, deixa também o concreto sujeito à desintegração devido a percolação de água, além de expor armaduras ou mesmo acumular água sobre as barras, diminuindo a aderência com o concreto e comprometendo o ancoramento das mesmas.

1.8 Cura do concreto

A construção civil engloba diversos serviços que necessitam de critérios ao serem executados. Para que se possa alcançar um produto final de qualidade, são necessários processos sistemáticos e sequenciais, que levam à uma obra bem executada. Um desses processos, que deve se desprender atenção ao mesmo é a cura das peças concretadas.

Qualquer peça de concreto em que o mesmo tenha sido confeccionado utilizando o cimento Portland deverá ser mantida umedecida por diversos dias após sua concretagem, pois a água é indispensável ás reações químicas que ocorrem durante o endurecimento (WALID,2008).

Após o tempo de pega os processos químicos que levam a cristalização do concreto continuam intensamente, e a água existente no concreto tende a se evaporar pelos poros presentes no material. Como antes foi dito esses processos necessitam de água para serem realizados, e essa evaporação pode comprometer essas reações do aglomerante, podendo trazer diversos problemas para o produto final, com menor volume de água do que necessita, o concreto pode perder resistência não atingindo os valores desejados, e o processo de retração pode ser maior que normal, sendo o responsável pelo aparecimento de diversas fissuras, que se não sanadas, contribuirão para a degradação da peça, por permitir a percolação

de água, ou por deixar a ferragem exposta podendo sofrer oxidação, um início de carbonatação do concreto caso o mesmo esteja exposto ao gás carbônico (CO_2), e a queda considerável da resistência característica à compressão do concreto.

Existem duas orientações sobre cura, uma da NB-1/77 que aconselha que a cura seja executada nos sete primeiros dias contados do lançamento do concreto, e outra na NBR 14931/2004 que diz que para elementos estruturais a cura deverá ser estendida até que o concreto atinja uma resistência à compressão de 15 Mpa. Entretanto nem todo canteiro de obra, e nem mesmo toda cidade nos dias atuais são munidas de um laboratório onde possa ser aferido esse crescimento da resistência do concreto, através de corpos de prova compostos de amostras retiradas do concreto utilizado. Com isso, muitas vezes o processo de cura viável é o de cura por irrigação/aspersão de água, hidratando a peça concretada impedindo que a água existente no concreto evapore, e comprometa as reações químicas do cimento. Então numa grande maioria das obras da região de Teófilo Otoni – MG, região onde foi realizado o presente trabalho, o método mais viável é a cura bem executada umedecendo as peças com água, visando atender as recomendações de sete dias para execução da cura como dita a NB-1/77, utilizando água que atenda as especificações da NBR 12.654.

De acordo com Carvalho e filho (2014, p. 32) “ Para peças usuais, a cura geralmente consiste em molhar as superfícies aparentes do concreto, ou mesmo molhar constantemente as faces das formas de madeira, evitando a secagem das mesmas ”.

Existem diversos métodos para se executar a cura além de aspergir água nas superfícies molhadas e fôrmas, usa-se também o chamado método de recobrimento, que consiste em cobrir com materiais encharcados de água para manter essa umidade, que podem ser mantas geotêxtis como o bidim, esponjas, sacos de estopa, linhagem ou até mesmo de cimento. Caso o método de recobrimento seja executado por materiais não permeáveis como plásticos ou semelhantes, esse material deve ser vedado nas juntas de emendas da cobertura, e nas extremidades de forma que impeçam a evaporação da água presente no concreto.

Outro método de cura, é o chamado cura por submersão que seria o método ideal para garantir que as peças se mantivessem sempre hidratadas durante o processo de cura, entretanto é um método de difícil execução, e só se faz possível

em contra pisos e lajes em que a utilização rápida dessas estruturas não se faz necessário.

Ainda existem as chamadas curas químicas que utilizam de tintas, resinas ou parafinas, que criam uma camada de proteção na superfície exposta da peça de forma a impedir a passagem da água, evitando a evaporação da mesma. Esse processo é executado aspergindo uma camada do material protetor, que deve ser retirado após o término do período de cura, pois sem a remoção total, pode impedir a fixação de argamassas de emboço, contra piso ou para que se possa assentar qualquer revestimento cerâmico, comprometendo a qualidade da fase de acabamentos da sua obra. Outro material empregado são as membranas de cura, que se desintegram após três ou quatro semanas após sua aplicação, demandando uma análise do local aplicado após o prazo de modo a garantir que nenhum vestígio do material venha causar complicações nas fases posteriores da obra.

2. **Métodos para os testes experimentais**

Com o objetivo de se obter a variação que a resistência à compressão de um concreto pode sofrer em relação à execução da cura do mesmo, e de obter um levantamento de como, ao desconsiderar a importância desse processo construtivo, pode-se comprometer todo o projeto, o presente trabalho propõe testes de resistência à compressão e o ensaio de inspeção visual/dimensional de patologias, a fim de simular situações corriqueiras nas obras, utilizando dois tipos de corpos de prova, e expondo-os a três condições diferentes, tomando as primeiras amostras com total controle de qualidade oferecido por um laboratório, e as seguintes expostas às condições climáticas e de cura encontradas no canteiro de obra.

Foi utilizado para testes o concreto disponível no mercado da construção civil da cidade de Teófilo Otoni – MG, de traço desenvolvido e comprovado através de ensaios de resistência à compressão por uma concreteira atuante no mercado da região.

O concreto de traço com resistência a compressão de 25 Mpa (Mega Pascal) seguiu a TAB. 01. Abaixo que contém sua composição quantitativa em massas (kg).

TABELA 01 - Traço do concreto utilizado por betonada.

Componente	Tipo utilizado	Massa (Kg)

Agregado miúdo	Areia industrializada	21,38
Agregado graúdo 1	Brita 0	5,12
Agregado graúdo 2	Brita 1	20,70
Aglomerante	Cimento Portland CP X	7,86

Relação Água/Cimento

Componente	Relação Água/Cimento (%)	Volume (L)
Água de amassamento	0,63	4,95

Fonte: Autoria própria (2016).

2.1 Ensaio de umidade do agregado miúdo.

Antes de rodar o traço, foi feito a avaliação do percentual de umidade do agregado miúdo (Areia industrializada), para que essa umidade não interfira na relação água /cimento do concreto. Então ao adicionar o volume de água determinado no traço foi descontada a quantidade de 1,36 litros por betoneira, obtido após realização do ensaio de umidade da areia, onde foi constatado que em cada quilograma de areia continha 63,83 g de água presente no agregado.

Esse teste foi desenvolvido de acordo os parâmetros regulamentados pela NBR 9939/1987 que regulamenta o teste para agregados graúdos, onde se coletou uma amostra da areia armazenada nas baias, que em seguida foi pesada para se determinar a massa de 1000 gramas para a amostra, sendo posteriormente colocada em um recipiente para ser aquecida até que esteja completamente seca. Após esse processo de secagem foi feita uma segunda aferição da massa dessa amostra, obtendo então o índice de 936,17 g, dando uma diferenciação da massa inicial de 63,83 g, referente ao volume de água presente no agregado.

$$U = \frac{Ma - Ms}{Ms} \times 100$$

Onde:

U = Teor de Umidade (%)

Ma = Massa inicial da amostra (g)

Ms = Massa seca da amostra (g).

$$U = \frac{1000 - 940}{940} \times 100$$

$$U = 6{,}38\ \%$$

2.2 Ensaio da consistência através do abatimento do concreto

Após rodar o traço, foi feito a determinação da consistência do concreto, já que está ligada diretamente à trabalhabilidade do mesmo, necessário para que facilite o lançamento e adensamento do concreto sem que se desrespeite a relação água/cimento.

Para os testes de abatimento do concreto (Slump Test), foi utilizado o molde com forma de um tronco de cone oco, com superfície interna lisa, livre de qualquer protuberância causada por parafusos, soldas ou rebites, apresentando as dimensões de 200 mm na base inferior, 100 mm na base superior e 300 mm de altura (todas as medidas podendo haver variação aceitável de ±2mm). Outro componente desse molde é a placa de base que serve de apoio do molde, é uma peça metálica quadrada com dimensões não menores a 500 mm x 500 mm e 3 mm de espessura (NBR NM 67, 2004).

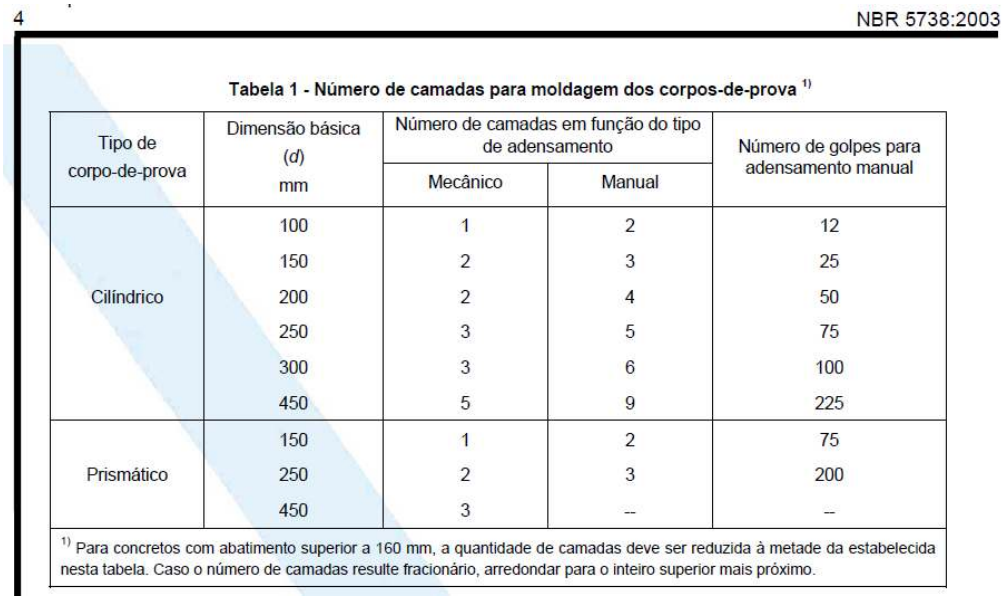
O adensamento foi feito de forma manual, utilizando-se de uma haste de adensamento, constituída de aço, com superfície lisa, seção cilíndrica e extremidades arredondadas, com comprimento entre 600 mm a 800 mm. (NBR 5738, 2003).

Ao final do ensaio o abatimento encontrado em todas as betonadas foi de 9 cm.

2.3 Moldagem dos corpos de prova (CP)

O Lançamento do concreto na fôrma e o adensamento foram feitos de forma manual, utilizando-se de uma colher de pedreiro, e de uma concha metálica de seção “U” para uma prévia mistura da amostra e o lançamento, e ainda uma haste de adensamento, constituída de aço, com superfície lisa, seção cilíndrica e extremidades arredondadas, contendo comprimento entre 600 mm a 800 mm. O número de camadas foi obtido a partir da Tabela 1 da NBR 5738/2003, como mostra a FIG. 01 a seguir:

FIGURA 01 - Tabela que determina o número de camadas para moldagem dos corpos de prova da NBR 5738:2003



4 NBR 5738:2003

Tabela 1 - Número de camadas para moldagem dos corpos-de-prova [1)]

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (*d*) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	--	--

[1)] Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 5738,2003).

Durante as moldagens fez-se vibração interna com doze golpes por camada nos moldes cilíndricos e externa nas laterais de ambas as fôrmas, por fim fez-se o rasamento na superfície das fôrmas utilizando uma colher de pedreiro para auxílio. Esse rasamento se fez necessário para que se eliminasse todo o excesso da amostra contido na forma, e não foi aceito nenhuma regularização do corpo de prova após essa etapa.

2.4 Ensaio de resistência à compressão

Os testes de resistência a compressão seguem os padrões normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, baseado e desenvolvido a partir de diversas normas da instituição.

2.4.1 Características das fôrmas e corpos de prova (CP)

Após o ensaio da consistência através do abatimento do concreto, foi retirada uma amostra para a moldagem de 09 corpos de prova cilíndricos, conforme a NBR NM 33. Nesse processo foram utilizados moldes cilíndricos de dimensões 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura, respeitando o que diz a ABNT (NBR 5738, 2003, p.2), “Devem ter altura igual ao dobro do diâmetro. O diâmetro deve ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. As medidas diametrais têm tolerância 1% e a altura, 2%. Os Planos das Bordas circulares extremas dos moldes devem ser perpendiculares ao eixo longitudinal do molde”. Os moldes são constituídos de aço, que se trata de um material que não sofre reação com o concreto, que não absorve ou permite a evaporação da água presente no concreto.

2.4.2 Desforma e cura dos CP’s

2.4.2.1 Ensaio de resistência à compressão com cura em câmara úmida.

Os corpos de prova foram desformados 24 horas após a moldagem, e após serem identificados, ficaram submetidos à um processo de cura em uma câmara úmida, com temperatura média e umidade relativa do ar controladas, durante sete dias. Após esse período serão armazenados ao ar livre até o momento dos ensaios de rompimento com 7, 14 e 28 dias, cumprindo assim as recomendações da NBR 5738/2003 e da NBR 5739/2007, que regem os procedimentos para corpos de prova cilíndricos e ensaios de compressão e de tração por compressão diametral.

2.4.2.2 Ensaio de resistência à compressão com cura por aspersão

Outros 09 CP’s também seguiram as recomendações da NBR 5738/2003, onde foram desformados 24 horas após a moldagem e colocados em local onde ficaram expostos as mesmas circunstâncias de estruturas concretadas, e receberam

a cura por aspersão por sete dias, simulando assim as condições reais encontradas nos parques de obras, que utiliza um processo de cura de maior acesso encontrado na região de Teófilo Otoni-MG, cidade onde foram executados os estudos. Eles apenas foram retirados do local onde permaneceram durante o processo de cura para ensaio com 7, 14 e 28 dias, e sempre seguindo os itens 8.3 ao 8.3.5 da NBR 5738/2003.

2.4.2.3 Ensaio de resistência à compressão com total negligência ao processo de cura

Em uma terceira simulação, mais 09 corpos de prova também foram moldados, e desformados após 24 horas, porém, para esse último lote, que teve como objetivo esboçar uma condição mais crítica, sendo expostos às intempéries sem que haja cura por aspersão, química, ou qualquer outro método que hidrate ou impeça a perca da água existente no concreto, simulando total negligência ao processo de cura. Os mesmos também foram rompidos com 7, 14 e 28 dias.

2.5 Ensaio de inspeção visual/dimensional de patologias

Houve também um Quarto ensaio, que foi baseado e desenvolvido a partir de diversas normas de duas instituições reguladoras, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT.

2.5.1 Características das fôrmas e corpos de prova (CP)

Desenvolvido a partir das normas técnicas NBR 5738/2003 e da DNIT 053/2004. Para esse teste foram usados 12 corpos de prova do tipo placa, a partir de moldes retangulares com dimensões de 200 mm por 500 mm e com 50 mm de espessura, constituídos de chapas de compensado fenólico revestida com tegofilme preto, o que garantiu uma estanqueidade aos corpos de prova, simulando as fôrmas

das peças concretadas nos canteiros de obra, onde também se faz uso desse material.

2.5.2 Desforma e cura dos CP's

Os corpos de prova do tipo placa foram submetidos às mesmas condições de cura dos corpos de prova destinados ao teste de resistência à compressão, dividido em três lotes com quatro exemplares cada, foram identificados e dispostos junto a cada um dos lotes dos ensaios de resistência à compressão, com a finalidade de serem expostos exatamente a mesma condição de cura das amostras do outro teste. Esses corpos de prova do tipo placa terão como objetivo analisar o comportamento do concreto em relação à cura de peças do tipo placa, que como referência mais comum temos as lajes. Diferente do ensaio anterior esse apresentará variação quanto à desforma dos mesmos. Partindo da ideia de simular as condições frequentemente encontradas nos canteiros de obra, a desforma ocorrerá apenas após 14 dias contados a partir da moldagem, quando será executado o segundo rompimento dos corpos de prova.

Esse tempo foi definido de forma análoga às desformas de laje de concreto armado, onde por medidas de segurança o escoramento só é retirado quando o concreto já atingiu uma resistência elevada. Fator que interfere diretamente no processo de cura, já que as fôrmas impedem a evaporação da água que se encontra dentro do concreto. Lembrando que, segundo a NBR 14931 (ABNT, 2004), o processo que envolve os serviços de escoramentos e desformas deve sempre obedecer aos parâmetros previamente estabelecidos pelo engenheiro responsável pelo cálculo estrutural, onde o mesmo deverá levar em conta os materiais utilizados, o ritmo de construção, o carregamento decorrente e a capacidade suporte das lajes anteriores, quando for o caso.

3. Resultados

No dia 16/09/2016 após as 14:00 horas deu-se início aos ensaios no laboratório em uma concreteira, localizada no município de Teófilo Otoni – MG, com um traço de concreto desenvolvido pela mesma, foi proporcionado para a capacidade da betoneira, que é limitada em 60 Kg por betonada, chegando então

num total de três betonadas com 09 cm de abatimento no Slump Test, para suprir o volume dos 27 corpos de prova que foram utilizados. Em cada Betonada foram concretadas 09 fôrmas e identificadas com adesivos circulares nas cores preta, vermelha e transparente, referenciando o primeiro, segundo e terceiro traço de concreto. De cada lote 03 unidades foram retiradas para a cura em câmara úmida, 03 para cura por irrigação/aspersão de água, e 03 que não foi executado nenhum processo para curar o concreto.

No dia 23/09/2016, sete dias contados a partir da moldagem dos corpos de prova, foi realizado o primeiro ensaio de resistência à compressão, onde antes do rompimento foi realizado a retificação das faces dos corpos de prova garantindo que a carga seja corretamente distribuída, em seguida foi rompida uma amostra de cada lote das betonadas para cada tipo de cura executada, com um total de 9 corpos de prova rompidos, apresentando na TAB. 02 os seguintes resultados:

TABELA 02 - Dados do primeiro ensaio de resistência à compressão 23/09/2016.

Lote da cura em câmara úmida		
Betonada	Carga resistida (KN)	Resistência adquirida (Mpa)
1ª	136,46	17,71
2ª	145,35	18,86
3ª	137,71	17,87
Resistência adquirida média do Lote (Mpa)		**18,15**
Lote da cura por irrigação/aspersão		
Betonada	Carga resistida (KN)	Resistência adquirida (Mpa)
1ª	143,80	18,66
2ª	152,41	19,78
3ª	139,56	18,11
Resistência adquirida média do Lote (Mpa)		**18,85**
Lote da cura negligenciada		
Betonada	Carga resistida (KN)	Resistência adquirida (Mpa)
1ª	143,92	18,67
2ª	134,84	17,50
3ª	149,24	19,36
Resistência adquirida média do Lote (Mpa)		**18,51**

Fonte: Autoria própria (2016).

A princípio os primeiros resultados contradizem tudo ao qual foi exposto até aqui pelo presente trabalho, embora, alguns aspectos devem ser considerados. O

primeiro é que a água de amassamento foi fundamental para a cura do lote negligenciado garantindo que o mesmo alcançasse uma resistência aproximada à dos outros lotes. Outro fator importante é que o lote da cura em câmara úmida, foi rompido ainda encharcado, o que faz com que a resistência do C.P. atinja um valor menor durante o ensaio, de forma que se o mesmo estivesse seco, o valor da resistência seria maior.

No dia 30/09/2016, o segundo ensaio foi realizado, seguindo estritamente os mesmos procedimentos prévios do primeiro ensaio, como retificação das extremidades dos corpos de prova, limpeza dos pratos da prensa hidráulica, e a separação de uma amostra de cada betonada para cada lote de cura, dando um total também de 9 corpos de prova ensaiados no dia. Os quais deram os seguintes resultados, apresentados na TAB. 03, a seguir:

TABELA 03 - Dados do segundo ensaio de resistência à compressão 30/09/2016.

Lote da cura em câmara úmida		
Betonada	Carga resistida (KN)	Resistência adquirida (Mpa)
1ª	182,14	23,64
2ª	164,57	21,36
3ª	182,31	23,66
Resistência adquirida média do Lote (Mpa)		**22,89**
Lote da cura por irrigação/aspersão		
Betonada	Carga resistida (KN)	Resistência adquirida (Mpa)
1ª	165,96	21,54
2ª	188,10	24,41
3ª	191,81	24,89
Resistência adquirida média do Lote (Mpa)		**23,61**
Lote da cura negligenciada		
Betonada	Carga resistida (KN)	Resistência adquirida (Mpa)
1ª	152,71	19,82
2ª	149,44	19,40
3ª	150,16	19,48
Resistência adquirida média do Lote (Mpa)		**19,57**

Fonte: Autoria própria (2016).

Após os sete dias do processo de cura todos os corpos de prova ficaram expostos ao ar livre, e sofrendo as mesmas ações de intempéries simulando a real

situação de um canteiro de obra. Com esse segundo ensaio já pode-se observar uma diferença de resistência considerável, mostrando claramente a importância de uma cura bem executada, onde o lote onde o processo de cura foi negligenciado teve aos 14 dias uma diferença entre as resistências médias dos lotes, de 16,96% de perda de ganho de resistência quando comparado ao da cura em câmara úmida e de 20,64% se comparado ao lote de cura por irrigação/aspersão.

E por fim, no dia 14/10/2016, completando 28 dias da moldagem do concreto, foi executado o terceiro e último ensaio de resistência à compressão com os últimos nove corpos de prova apresentando as resistências mostradas na TAB. 04, a seguir:

TABELA 04 - Dados do terceiro ensaio de resistência à compressão 14/10/2016.

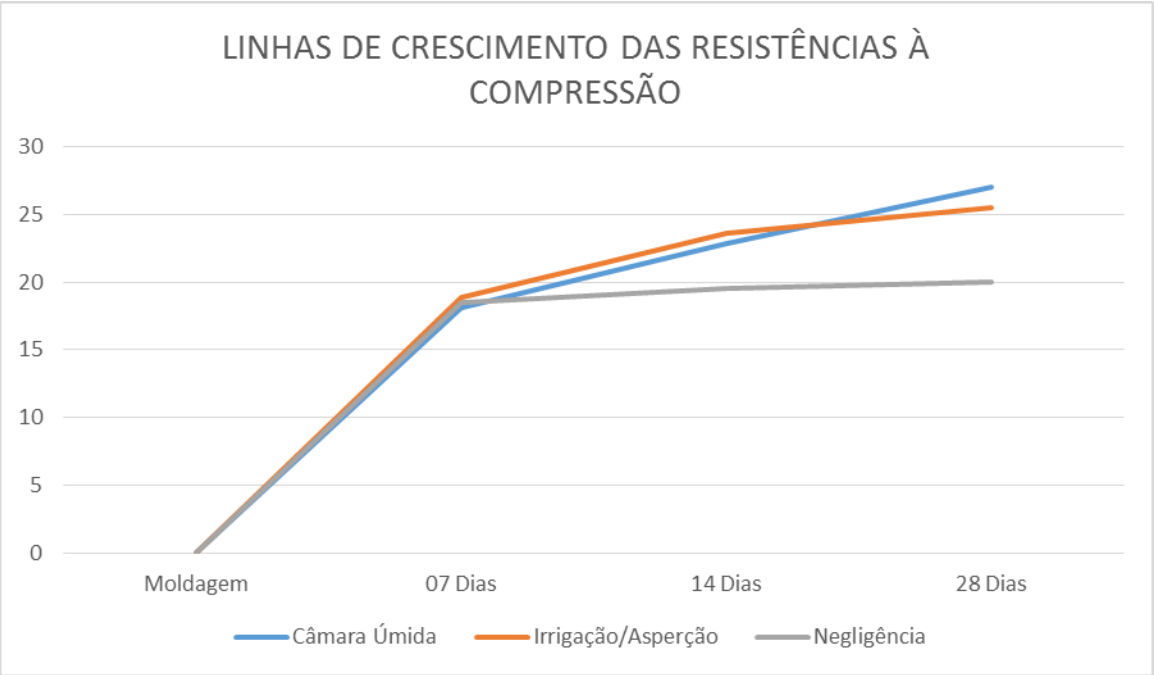
Lote da cura em câmara úmida		
Betonada	Carga resistida (KN)	Resistência adquirida (Mpa)
1ª	204,27	26,51
2ª	219,60	28,50
3ª	202,41	26,27
Resistência adquirida média do Lote (Mpa)		**27,09**
Lote da cura por irrigação/aspersão		
Betonada	Carga resistida (KN)	Resistência adquirida (Mpa)
1ª	198,52	25,77
2ª	194,75	25,28
3ª	197,68	25,66
Resistência adquirida média do Lote (Mpa)		**25,57**
Lote da cura negligenciada		
Betonada	Carga resistida (KN)	Resistência adquirida (Mpa)
1ª	154,49	20,05
2ª	155,60	20,19
3ª	153,23	19,88
Resistência adquirida média do Lote (Mpa)		**20,04**

Fonte: Autoria própria (2016).

Ao fim dos testes de resistência à compressão comprova-se a importância da cura em relação à resistência do concreto, finalizando aos 28 dias com uma perca do ganho de resistência do lote onde foi ignorado o processo de cura, após obter a resistência adquirida média desse lote comparou-se com as resistências médias dos lotes que as amostras foram curadas, atingindo uma diferença de 35,18% de perda

de ganho de resistência quando comparado ao da cura em câmara úmida e de 27,59% se comparado ao lote de cura por irrigação/aspersão.

GRÁFICO 01 - Linhas de crescimento das resistências à compressão.

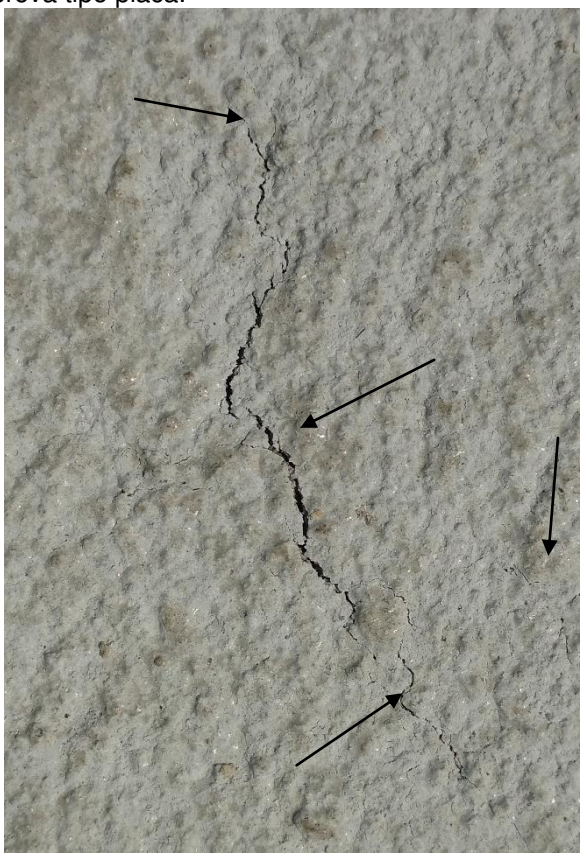


Fonte: Autoria própria (2016).

Com os corpos de prova do ensaio de inspeção visual de patologias, foi possível observar uma microfissuração das peças aos quais não foram curadas, tendo em vista que essa microfissuração agrava ainda mais a resistência das peças de concreto, podendo sofrer uma degradação em decorrência da percolação de água, assim como sofrer carbonatação caso o concreto fique exposto ao CO_2, exposição do aço, entre várias outras patologias como já foi citado temos também uma perca na questão estética das peças que apresentam tais patologias. Pode-se notar que a grande maioria das fissuras se formaram nas primeiras 24 horas, mostrando a importância do início da cura o quanto antes, ficando recomendada para logo após o adensamento do concreto, quando já se deu início ao processo de pega do cimento Portland.

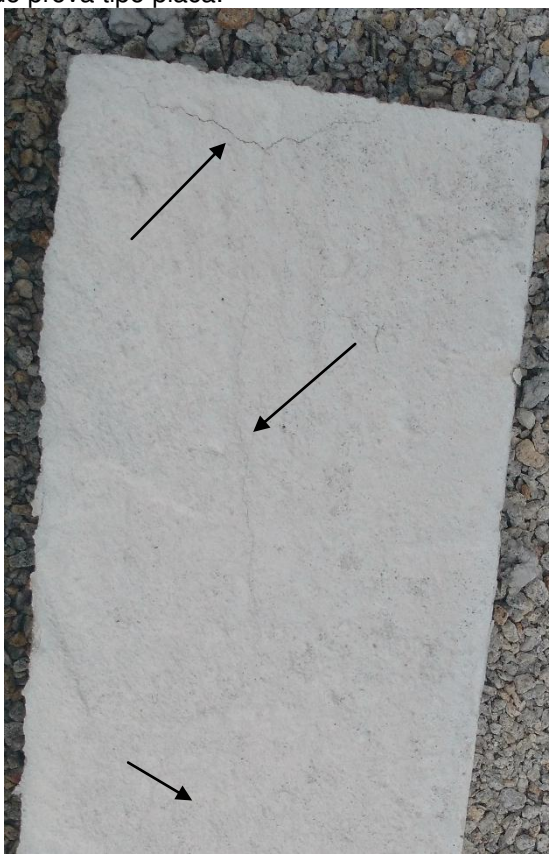
A seguir serão apresentadas imagens das fissuras que surgiram nas peças não curadas nas FIG. 02 e FIG. 03:

FIGURA 02 - Fissura de retração no corpo de prova tipo placa.



Fonte: Autoria própria (2016).

FIGURA 03 - Fissura de retração no corpo de prova tipo placa.



Fonte: Autoria própria (2016).

4. **Considerações finais**

Através desse estudo, somado ao que se pode levantar a literatura sobre o concreto, e aos resultados dos ensaios, tanto de resistência à compressão, quanto ao de análise visual das patologias encontradas decorrente ao fato de se negligenciar o processo de cura do concreto, podemos afirmar a importância desse processo construtivo. Tendo em mente que cada novo dia, os profissionais do ramo da engenharia, buscam otimizar custo, e majorar a qualidade das novas edificações, a garantia de manter hidratado as partículas do cimento Portland, vai proporcionar um ambiente favorável às reações químicas responsáveis pelo processo de cristalização do cimento, gerando como produto um concreto que alcançará melhor

desempenho em comparação aos que foram submetidos a condição contrária. Outro aspecto confortante é o fato de que o concreto bem curado atinge ou supera a resistência estimada quando o mesmo foi proporcionado, garantindo qualidade ao executar um projeto estrutural, e não correndo o risco de que ao se dimensionar uma estrutura ao qual se deva usar um concreto com a resistência à compressão de 25 Mpa, ela venha ter uma perca de 27,59% de resistência durante o processo de endurecimento, atingindo apenas 18,10 Mpa, levando a sua estrutura à um grande risco de colapso, com uma vida útil menor, favorecendo à mesma o surgimento de patologias, como fissuração, uma camada superficial fraca, porosa, permeável e vulnerável à elementos agressivos presentes no ambiente.

Pode-se comprovar que uma cura por Irrigação/aspersão durante um mínimo de sete dias se faz eficaz durante esse processo, desde que se mantenha as superfícies sempre molhadas e se evite choques térmicos, ao deixar a peça seca exposta a uma alta temperatura e molha-la nessas condições.

A cura é um processo simples, de fácil execução, e fundamental para garantir a qualidade esperada ao se projetar determinada estrutura.

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33:** Concreto - Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro: ABNT, fevereiro/1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67:** Concreto - Ensaio de Abatimento do Concreto. Rio de Janeiro: ABNT, fevereiro/1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:** Concreto de cimento portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação **–** procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12821:** Preparação de concreto em laboratório. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1:** Água para amassamento do concreto parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto**- ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, maio 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939:** Agregados- determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo. Rio de Janeiro: ABNT, agosto 1987.

BAUER, LUIZ ALFREDO FALCÃO. **Materiais de Construção**: Concreto Madeira Cerâmica Metais Plásticos Asfalto Novos Materiais para Construção Civil. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado.** 4.ed. São Carlos: Edufscar, 2014.

BATTAGIN, A. F. **Associação Brasileira de Cimento Portland**: Uma breve história do cimento portland. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/>. Acesso em: 13 set. 2016.

CIMENTO.ORG: Concreto. Disponível em: <http://cimento.org/concreto/>. Acesso em: 29 ago. 2016.

COMUNIDADE da Construção: Estrutura de concreto. Disponível em: <http://www.comunidadedaconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/3/concreto-preparado-na-obra/execucao/58/concreto-preparado-na-obra.html>. Acesso em: 05 set. 2016.

COMUNIDADE da Construção: Relação Água/cimento. Disponível em:<http://www.comunidadedaconstrucao.com.br/upload/ativos/75/anexo/2relac.pdf >. Acesso em: 10 out. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIT 053 - ME:** Método de ensaio - Determinação da retração do concreto por secagem. Rio de Janeiro: DNIT, novembro 2004.

EQUIPE de Obra: Reações Álcalis-Agregado em estruturas de concreto. Disponível em:<http://www.ecivilnet.com/artigos/reacoes_alcalis_agregado.htm>. Acesso em: 16 set. 2016.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1993.

TORAYA, Juan das Cuevas. **Cimento.Org**: A era do cimento. Disponível em: <http://cimento.org/a-era-do-cimento/>. Acesso em: 29 ago. 2016.

PETRUCCI, ELADIO G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 14. ed. São Paulo: Globo, 2005.

LOPES, Julio Cesar de Camargo. **Portal do Concreto**: Cimento Portland. Disponível em:<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/caementu.html>. Acesso em: 29 ago. 2016.

LOPES, Julio Cesar de Camargo. **Portal do Concreto**: Concreto. Disponível em:<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/concretos.html>. Acesso em: 02 set. 2016.

LOPES, Julio Cesar de Camargo. **Portal do Concreto**: Consistência do concreto. Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/slump.html>. Acesso em: 06 set. 2016.

SHEHATA, Ibrahim Abd El Malik. **Prof. Ibrahim Abd El Malik Shehata**: Propriedades do concreto. Disponível em:<http://wwwp.coc.ufrj.br/~ibrahim/propriedade.htm>. Acesso em: 02 set. 2016.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1998.

TOKUDOME, Naguisa. **Carbonatação do concreto**. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/carbonatacao-do-concreto/>. Acesso em: 07 out. 2016.

YAZIGI, WALID. **A Técnica de edificar**. 9. ed. São Paulo: Pini: SindusCon, 2008.