

**UNIVERSIDADE TIRADENTES**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**KALLINY ESTEVÃO DE ARAUJO**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS TIPOS DE CURA NAS CARACTERÍSTICAS DO  
CONCRETO.**

Aracaju  
2018

**KALLINY ESTEVÃO DE ARAUJO**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS TIPOS DE CURA NAS CARACTERÍSTICAS DO  
CONCRETO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tiradentes como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador: Prof. Esp. Aislan Silva Primo**

**Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. MSc. Andréa Quaranta Barbosa**

Aracaju  
2018

**KALLINY ESTEVÃO DE ARAUJO**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS TIPOS DE CURA NAS CARACTERÍSTICAS DO  
CONCRETO.**

Trabalho de Conclusão de  
Curso apresentado ao Curso de  
Graduação em Engenharia Civil da  
Universidade Tiradentes como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

---

Prof. Esp. Aislan Silva Primo  
Orientador – Universidade Tiradentes

---

Prof. Dr. Diego Melo Costa  
Banca Examinadora – Universidade Tiradentes

---

Prof. Dr. Anderson da Conceição Santos Sobral  
Banca Examinadora – Universidade Tiradentes

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Cúpula do Panteão de Roma, com uso de cal hidratada e argila.....	15
<b>Figura 2</b> – Agregado miúdo.....	20
<b>Figura 3</b> – Agregado graúdo.....	20
<b>Figura 4</b> – Tipos de transporte mais utilizados.....	24
<b>Figura 5</b> – Controle total de concretagem.....	26
<b>Figura 6</b> – Determinação da consistência do concreto por meio do <i>Slump test</i> .....	27
<b>Figura 7</b> – Segregação do concreto.....	30
<b>Figura 8</b> – Exsudação na superfície do concreto recém lançado.....	31
<b>Figura 9</b> – Molhagem do concreto recém lançado.....	37
<b>Figura 10</b> – Aplicação da cura química.....	38
<b>Figura 11</b> – (A) Baias para separação dos agregados. (B) Dosagem dos agregados.....	39
<b>Figura 12</b> – Caminhão betoneira para mistura e transporte do concreto.....	40
<b>Figura 13</b> – Aparelhagem para execução do ensaio.....	41
<b>Figura 14</b> – Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone.....	42
<b>Figura 15</b> – Formas para moldagem dos corpos de prova.....	44
<b>Figura 16</b> – Transporte dos corpos de prova.....	45
<b>Figura 17</b> – Prensa hidráulica utilizada no ensaio de compressão axial.....	46
<b>Figura 18</b> – Retificação dos corpos de prova.....	47
<b>Figura 19</b> – Prensa hidráulica utilizada no ensaio de compressão diametral.....	49
<b>Figura 20</b> – (A) e (B) dispositivo para posicionamento do corpo de prova na prensa.....	50
<b>Figura 21</b> – (A) Preenchimento do molde. (B) Adensamento das camadas. (C) Retirada do molde.....	52
<b>Figura 22</b> – Resultado do abatimento.....	53
<b>Figura 23</b> – (A) Preenchimento do molde. (B) Adensamento das camadas. (C) Retirada do molde.....	54
<b>Figura 24</b> – Corpos de prova desmoldados.....	55
<b>Figura 25</b> – (A) CP's sem processo de cura. (B) CP's submetidos a cura úmida. (C) Aplicação da cura química.....	56
<b>Figura 26</b> – Nota fiscal emitida pela empresa fornecedora do concreto.....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Relação entre trabalhabilidade e grandeza de abatimento.....	43
<b>Tabela 2</b> – Força máxima alcançada pelos corpos de prova aos 7 dias.....	57
<b>Tabela 3</b> – Resistência à compressão dos corpos de prova aos 7 dias.....	57
<b>Tabela 4</b> – Resultado da resistência media (fcm) e do desvio padrão (Sd) aos 7 dias.	58
<b>Tabela 5</b> – Força máxima alcançada pelos corpos de prova aos 28 dias.....	59
<b>Tabela 6</b> – Resistência à compressão dos corpos de prova aos 28 dias.....	59
<b>Tabela 7</b> – Resultado da resistência media (fcm) e desvio padrão (Sd) aos 28 dias.	61
<b>Tabela 8</b> – Força máxima alcançada pelos corpos de prova no ensaio aos 7 dias.....	62
<b>Tabela 9</b> – Resistencia à tração dos corpos de prova aos 7 dias.....	62
<b>Tabela 10</b> – Resultado da resistência média (fcm) e do desvio padrão (Sd).....	63
<b>Tabela 11</b> – Força máxima alcançada pelos corpos de prova aos 28 dias.....	64
<b>Tabela 12</b> – Resistência à tração dos corpos de prova aos 28 dias.....	64
<b>Tabela 13</b> – Resultado da resistência média (fcm) e do desvio padrão (Sd).....	65
<b>Tabela 14</b> – Resultados obtidos através do ensaio de absorção .....	66

## LISTA DE SIGLAS

<b>CP</b>	Corpo de Prova
<b>Kg</b>	Quilo
<b>MPa</b>	Mega Pascal
<b>N</b>	Newton
<b>M<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>Fck</b>	Resistência característica a compressão
<b>Fcm</b>	Resistência média
<b>Mm</b>	Milímetro
<b>M</b>	Metro
<b>Cm</b>	Centímetro
<b>Sd</b>	Desvio padrão

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
3.1 O CONCRETO .....	14
3.2 HISTÓRICO E CONCEITO .....	15
3.3 CONSTITUINTES DO CONCRETO.....	16
<b>3.3.1 Água</b> .....	<b>17</b>
<b>3.3.2 Cimento</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3.3 Agregados</b> .....	<b>19</b>
3.3.3.1 <i>Agregado Miúdo</i> .....	19
3.3.3.2 <i>Agregado Graúdo</i> .....	20
<b>3.3.4 Aditivos</b> .....	<b>21</b>
3.4 PRODUÇÃO DO CONCRETO .....	21
<b>3.4.1 Mistura</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4.2 Transporte</b> .....	<b>23</b>
<b>3.4.3 Lançamento</b> .....	<b>24</b>
<b>3.4.4 Adensamento</b> .....	<b>25</b>
<b>3.4.5 Rastreabilidade do Concreto</b> .....	<b>26</b>
3.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO .....	27
<b>3.5.1 Trabalhabilidade e Consistência</b> .....	<b>27</b>
<b>3.5.2 Massa Específica</b> .....	<b>28</b>
<b>3.5.3 Segregação</b> .....	<b>29</b>
<b>3.5.4 Exsudação</b> .....	<b>30</b>
3.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO .....	31
<b>3.6.1 Porosidade</b> .....	<b>32</b>
<b>3.6.2 Absorção e Permeabilidade</b> .....	<b>32</b>
<b>3.6.3 Resistência à Compressão</b> .....	<b>33</b>
<b>3.6.4 Resistência à Tração</b> .....	<b>34</b>
3.7 CURA .....	35
<b>3.7.1 Cura Úmida</b> .....	<b>36</b>
<b>3.7.2 Cura Química</b> .....	<b>37</b>
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>39</b>
4.1 VERIFICAÇÃO DA CONSISTENCIA.....	39
<b>4.1.1 Concreto utilizado</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1.2 Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone</b> .....	<b>40</b>
4.2 MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA.....	43
4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	46
4.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	49
4.5 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	50

<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
5.1 CONSISTÊNCIA DO CONCRETO.....	52
5.2 MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA.....	54
5.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	56
<b>5.3.1 Rompimentos dos corpos de prova aos 7 dias.....</b>	<b>56</b>
<b>5.3.2 Rompimentos dos corpos de prova aos 28 dias.....</b>	<b>58</b>
5.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	61
<b>5.4.1 Rompimentos dos corpos de prova aos 7 dias.....</b>	<b>61</b>
<b>5.4.2 Rompimentos dos corpos de prova aos 28 dias.....</b>	<b>63</b>
5.5 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO.....	66
<b>6. CONCLUSAO .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>



## RESUMO

A indústria da construção civil procurando atender a demanda dos centros urbanos e na tentativa de obter redução de custo e tempo de construção nas obras, por vezes, apresentam dificuldades para acompanhar as novas demandas e focar em certos aspectos de produção, e conseqüentemente este crescimento é feito sem o devido cuidado e precauções para garantir a qualidade e a segurança das edificações. Sendo assim, sabendo-se que o concreto é formado pela mistura de cimento, água, areia e brita, pode-se afirmar que sua vida útil está relacionada com sua composição, sendo necessário analisar as propriedades dos materiais constituintes, bem como sua produção. Neste contexto, o presente trabalho buscou analisar as características do concreto usinado quando submetido a processos de cura diferentes. Contudo, o estudo foi feito através de ensaios de resistência à compressão e à tração, além da análise absorção de água do concreto, quando aplicado processos de cura úmida, química ou sem realizar a cura. Assim, com o presente trabalho foi possível perceber que o comportamento do concreto aos 7 e 28 dias de idade favoreceu ao concreto com cura úmida, o que justificou a sua menor absorção de água. Entretanto, através da pesquisa, notou-se que independente do método de cura utilizado, a inspeção de qualidade na fabricação do concreto é um ponto de fundamental importância na característica final do mesmo. Por fim, diante dos resultados, é possível eliminar o processo de cura como responsável pelos valores obtidos dos ensaios, no que se diz respeito à resistência a compressão, à tração e referente a absorção de água do concreto.

**Palavras-chave:** Concreto. Cura. Compressão. Tração. Absorção.

## **ABSTRACT**

The construction industry seeking to meet the demand of urban centers and in an attempt to obtain cost reduction and construction time in the works sometimes present difficulties to keep up with the new demands and to focus on certain aspects of production, and consequently this growth is done without proper care and precautions to ensure the quality and safety of buildings. Therefore, since it is known that concrete is formed by mixing cement, water, sand and gravel, it can be said that its useful life is related to its composition, and it is necessary to analyze the properties of the constituent materials as well as their production. In this context, the present work sought to analyze the characteristics of the concrete machined when submitted to different curing processes. However, the study was carried out through tests of compressive and tensile strength, as well as the analysis of the water absorption of concrete, when applied to wet, chemical or non-curing curing processes. Thus, with the present work it was possible to perceive that the concrete behavior at 7 and 28 days of age favored the concrete with wet curing, which justified its lower water absorption. However, through the research, it was noticed that regardless of the curing method used, the quality inspection in the concrete manufacturing is a point of fundamental importance in the final characteristic of the same. Finally, in view of the results, it is possible to eliminate the curing process as responsible for the values obtained from the tests, with respect to the compressive strength, the traction and referring to the water absorption of the concrete.

**Key-words:** Concrete. Cure. Compression. Traction. Absorption.

## 1 INTRODUÇÃO

Com a modernização da indústria da construção civil, e as novas demandas do século XXI, a construção civil tem sofrido diversas mudanças desde o seu modelo tradicional. O tempo de construção tornou-se consideravelmente menor e aspectos como barateamento de custo, redução de resíduos e resistência às intempéries se tornou prioridade.

A necessidade de adequação as variadas demandas do mercado exercem uma pressão adicional nas indústrias exigindo das mesmas a garantia de qualidade, segurança operacional e ambiental em suas obras. Por vezes, as indústrias apresentam dificuldades para acompanhar as novas demandas e ao focar em certos aspectos de produção, acabam por comprometer outros.

Aspectos como redução de custo e tempo de construção em obras tornam-se a prioridade em muitos casos e sobrepõe-se à qualidade e segurança durante o processo de construção. As consequências dessa abordagem refletem-se no produto final que além de usualmente não atender as normas de segurança e qualidade, acabam por expor o usuário final à riscos que variam em gravidade.

Este processo é a principal causa para edifícios problemáticos que podem apresentar desde problemas de rachaduras à potencial de desabamento, pondo em risco de vida seu usuário final. Assim, as economias vistas no processo produtivo repercutem-se de forma negativa levando a prejuízos no somatório final.

Para evitar os potenciais danos causados por esses processos, com o passar dos anos desenvolveu-se diversas normas e protocolos que buscam padronizar a qualidade dos materiais utilizados e garantir a segurança das construções. No Brasil, a principal agência reguladora é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que por meio de suas Normas Brasileiras (NBRs) determina todos os aspectos técnicos que envolvem o processo de construção civil (ROSA E LOPES, 2016).

As NBRs englobam desde procedimento metodológico e protocolo de construção até testes para verificação da qualidade dos materiais obtidos. Similarmente, a International Standard Organization (ISO) propõe os mesmos dados

em uma escala global, padronizando a qualidade dos produtos, processos e materiais de forma a garantir a segurança indiferente de onde se aplique o processo.

Desta forma, as empresas procuram obter certificações ISO como um marco que garante sua qualidade e competitividade no mercado. Além disso, entende-se que uma empresa que apresente certificações ISO e que siga as normas da ABNT para o processo que desenvolve estará em conformidade com os aspectos mais modernos de seu processo produtivo e garantirá o melhor serviço possível.

Assim, a verificação da qualidade dos produtos e serviços oferecidos atualmente está diretamente relacionado com os testes e valores apresentados e disponibilizados pelas NBRs, indiferente do processo em consideração.

Dentro da construção civil, as normas estão presentes em diversas etapas da cadeia produtiva e são de particular interesse no que envolve a produção de insumos para construção civil. Dado a grande variedade de técnicas e materiais disponíveis, padronizar por meio de normas que todos os edifícios disponham de recursos de qualidade similar garante ao usuário final a segurança esperada.

Dentre os aspectos regulamentados na construção civil, o processo de produção do concreto utilizado tem sido de particular interesse. É possível, por meio das normas, determinar a composição ideal para cada tipo de construção, a durabilidade em diversas condições ambientais diferentes ou ainda as características essenciais recomendadas de cada produto utilizado (MEDEIROS *et al.*, 2017).

Assim, as NBRs se tornam uma ferramenta que permitem de forma objetiva e altamente específica realizar testes e adequações no processo produtivo. Além disso, desde que atenda os requisitos da norma, o fabricante tem a liberdade de variar composição, material ou processo produtivo buscando encontrar soluções mais econômicas ou ainda ambientalmente correta (por exemplo o uso de resíduos como suplementos na construção civil).

Por fim, o presente trabalho busca por meio de testes de resistência à compressão e à tração, além do teste de absorção de água especificados nas NBRs, determinar a qualidade do concreto utilizado quando o mesmo é submetido a diversos tipos de cura (sem realizar cura, cura com água, cura química), buscando entender a influência do tipo de cura no material final obtido, além de analisar a qualidade do material fornecido e sua viabilidade para o processo proposto.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as características do concreto submetido aos processos de cura úmida e cura química, além da análise do material sem a execução da cura.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a consistência do concreto utilizado.
- Moldar corpos de prova com concreto estrutural usinado.
- Verificar a influência dos processos distintos de cura na resistência à compressão do concreto.
- Avaliar o comportamento da resistência à tração por compressão diametral do concreto com diferentes tipos de cura.
- Averiguar se o processo de cura influencia na absorção de água por imersão dos concretos endurecidos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 O CONCRETO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, presente na maioria das edificações devido a sua durabilidade, resistência e trabalhabilidade (NEVILLE; BROOKS, 2013). Segundo a ABESC (2007), o concreto é composto por uma mistura de cimento, areia, pedras britadas e água, além de ser opcional a adição de compostos que visam a melhoria física e estrutural do concreto.

De acordo com Petrucci (1998), o concreto é um material de construção constituído pela mistura de um aglomerante, diferentes tipos de agregados e água, proporcionando condições de plasticidade que facilita o manuseio, e através das reações entre aglomerante e água, fornece coesão e resistência ao material. Neville e Brooks (2013) complementam que, atualmente o concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento além de outros tipos de aglomerantes, aditivos, polímeros e fibras.

Ademais, o concreto pode ser considerado um dos materiais mais importantes da construção civil, além de ser um dos produtos mais fabricados no mundo em termos de volume. Tal significância atingida por este composto se deve, à excelente resistência à água, facilidade de uso e disponibilidade da matéria-prima (MEHTA E MONTEIRO, 2008). Desse modo, o Brasil contribui na soma total deste montante com a fabricação de 30 milhões de toneladas ao ano. O concreto produzido atualmente tem tão difundido devido a sua resistência perante a ação da água. Diferentemente do aço e da madeira que se danificam com a presença de umidade no meio, o concreto pouco se danifica em contato com a água, sendo historicamente comprovado através da utilização desse material em cisternas e aquedutos pelos romanos, além da sua plasticidade, que permite construções das formas mais variadas possíveis, sendo um grande aliado da arquitetura contemporânea (ISAIA, 2005; MEHTA E MONTEIRO, 2008).

A vida útil de um concreto está relacionada com sua composição sendo necessário analisar as propriedades destes, e como eles podem ser afetados com o tempo e suas intempéries. Sendo assim, é fundamental proporcionar e executar

corretamente a mistura do concreto, bem como este deve ser transportado, lançado, adensado e curado, para que a hidratação completa do cimento evite o comprometimento da estrutura com trincas e fissuras (ALMEIDA, 2002).

### 3.2 HISTÓRICO E CONCEITO

A origem do concreto data do século XIX, após o registro de patente do cimento Portland por John Aspdin, em 1824. No entanto, um concreto primitivo, à base de cal hidratada e argila, foi utilizado na construção do Panteão (Figura 1) pelos romanos, por volta de 125 d.C. Todavia, a evolução do concreto em comparação a outros materiais, foi através do surgimento do concreto armado, elaborado inicialmente por Gustav Ways, posteriormente patentado por Thaddeus Hyatt e aperfeiçoado por pesquisadores como Vicat, Le Châtelier e Férét, levando ao produto atualmente conhecido como concreto de cimento Portland (ISAIA, 2005).



**Figura 1– Cúpula do Panteão de Roma, construída em concreto simples, com uso de cal hidratada e argila.**

**Fonte: ISAIA, 2005.**

Sabe-se que o primeiro material estrutural que o homem usou nas suas edificações foi a pedra que tinha como fatores limitantes a baixa resistência à tração,

dificuldades no corte e no transporte. Este problema foi resolvido com o surgimento de cimento obtidos pelos romanos, constituído por cinzas vulcânicas e cal, e posteriormente, com o cimento Portland a partir do qual foi possível a fabricação do concreto, um material moldável capaz de adquirir o tamanho e formato desejável (HELENE E TERZIAN, 1993; PEDROSO, 2009).

Na antiguidade, os romanos se destacaram no uso de concretos e argamassas, o que possibilitou a criação de peças em formato de arco, abóbadas e cúpulas de grandes dimensões. Ao incorporar o concreto com tijolos de argila e outros materiais naturais, eles conseguiram produzir obras suntuosas, que lhes trouxeram grande desenvolvimento (BASTOS, 2011).

Isaia (2005) também afirma que, o concreto é uma pedra artificial que emolda a inventividade construtiva do homem, permitindo o desenvolvimento de um material que depois de endurecido, tem resistência similar às das rochas naturais, e no estado fresco é um composto plástico que possibilita sua modelagem em formas e tamanhos variados. Assim, o concreto é o material estrutural, considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade.

Segundo Helene e Levy (2010), o concreto é uma rocha artificial com propriedades similares aos agregados de origem. Dessa forma é possível aprimorar o material levando a uma enorme evolução nas últimas décadas, onde foram desenvolvidas diversas pesquisas sobre inovações tecnológicas do mesmo, dentre elas a adição de fibras de vidro e aço na sua composição, tornando-o um material mais versátil e de alta resistência.

### 3.3 CONSTITUINTES DO CONCRETO

Como já citado anteriormente, o concreto é um material constituído normalmente de agregados envoltos em uma matriz de pasta de cimento, podendo incluir aditivos. Além disso, o concreto pode ser caracterizado em nível micro estrutural por 3 fases: sólida, formada pelos agregados (gráudo e miúdo), pasta de cimento hidratada e pela interface pasta-agregado (zona de transição). No entanto, as características finais do concreto podem diferir daquelas apresentadas pelos



elementos que o constituem, pois sofrem influência constante do meio ambiente (BAUER, 2012).

Sendo assim, é de fundamental importância entender a participação de cada componente na formação do concreto, entendendo como estes modificam as propriedades finais do concreto e as consequências físicas e econômicas dos mesmos. Desta forma, os principais compostos do concreto serão discutidos brevemente nos tópicos a seguir.

### **3.3.1 Água**

Á água é um elemento fundamental na formação do concreto. Ela pode ser classificada como água de amassamento, utilizada para fazer a mistura do cimento com os agregados ou água de cura importante no processo de endurecimento do concreto, evitando que fatores externos como temperatura do meio ambiente, ventos e umidade do ar, influenciem na resistência do mesmo (MAGALHÃES, 2011).

Como responsável pelas reações de endurecimento do concreto, ela funciona como meio para hidratação do cimento, formando a estrutura resistente do material, permitindo a ligação entre os componentes do concreto e fornecendo plasticidade na mistura, chegando a representar 20 % do volume total do concreto (PACHECO E HELENE, 2011). Segundo a NBR 6118/2003, a relação água/concreto (a/c) varia de acordo com a classe de agressividade do ambiente, sendo menor ou igual a 65% para ambientes não agressivos e menor ou igual a 45% para ambientes com alto grau de agressividade. Logo, Isaia (2005) afirma que quanto maior for a relação a/c, menor será a resistência do concreto.

Neste ponto, a qualidade da água é de extrema importância afetando diretamente a qualidade final do concreto. Desta forma, a água deve ser limpa e livre de impurezas, não podendo apresentar pH menor que 5,0 (água ácida) e teor de sulfato superior a 2000 mg/L. As impurezas presentes na água podem afetar na pega do cimento, e interferir desfavoravelmente na resistência do concreto, acarretando no manchamento de suas superfícies, ou ainda levar à corrosão das armaduras. Assim, é necessário realizar adequada verificação da água a ser utilizada, tanto para o

amassamento, quanto para a cura do concreto (NBR 15900-1, ABNT, 2009; ISAIA, 2005).

### **3.3.2 Cimento**

Cimento é um material pulverulento, constituído pela mistura de calcário e argila, onde a matéria prima passa por um processo de queima, formando o composto conhecido como clínquer. Podem ser adicionados outros materiais na sua composição, como o gesso, que aumenta o tempo de pega; escória, que aumenta a durabilidade na presença de sulfato e argila pozolânica, que confere maior impermeabilidade ao concreto (NEVILLE E BROOKS, 2013).

Para Isaia (2005), o cimento é uma substância ligante, capaz de unir materiais sólidos em um único corpo mais compacto e resistente, podendo-se citar como exemplo o cimento Portland altamente recomendado para uso na construção civil.

O Cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer que consiste em silicatos de cálcio hidráulicos e não necessita de outros materiais tais como pozolanas para reagir, nem para desenvolver sua propriedade de resistência à água (MEHTA E MONTEIRO, 2008) (NBR 12655, ABNT, 2015).

Assim, é possível manipular as propriedades físicas do cimento, podendo ser produzidos variados tipos de cimento. Quando utilizados na formação do concreto, o cimento pode variar apresentando maior ou menor impermeabilidade, como maior ou menor resistência final ou inicial (BAUER, 2011). Uma variedade de tipos de cimento proposto pelas NBRs pode ser vista no Quadro 1.

**Quadro 1 – Tipos de cimento e seus componentes**

TIPOS DE CIMENTO	SIGLA	NORMA	ADIÇÕES (% em massa)	CLASSE DE RESISTÊNCIA (MPA)
Cimento Portland Comum	CP I	NBR 5732	-	25 / 32 / 40
Cimento Portland Comum com Adição	CPI - S	NBR 5732	Escória, pozolana ou filer (até 5%)	25 / 32 / 40
Cimento Portland Composto	CP II - E	NBR 11578	Escória (6 - 34%)	25 / 32 / 40
	CP II - Z		Pozolana (6 - 14%)	25 / 32 / 40
	CP II - F		Filer (6 - 10%)	25 / 32 / 40
Cimento portland de Alto-Forno	CP III	NBR 5735	Escória (35 - 70%)	25 / 32 / 40
Cimento Portland Pozolânico	CP IV	NBR 5736	Pozolana (15 - 50%)	25 / 32
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	CP V	NBR 5733	Filer (até 5%)	-
Cimento Portland Branco	CP - B	NBR 12989	Filer (25 - 50%)	25 / 32 / 40
Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação	CP - BC	NBR 13116	A adição dos componentes depende do tipo de cimento original a ser derivado	25 / 32 / 40
Cimento Portland Resistente a Sulfatos	CP - RS	NBR 5737		25 / 32 / 40

Fonte: Adaptado da NBR 5732/1991; NBR 5733/1991; NBR 5735/1991; NBR 5736/1991; NBR 11578/1991; NBR 5737/1992; NBR 12989/1993; NBR 13116/1994.

### 3.3.3 Agregados

Quanto aos agregados, estes constituem uma elevada porcentagem do concreto, de modo que suas características influenciam na trabalhabilidade, aderência e resistência do concreto. Devem ser isentos de impurezas e ter resistência sempre maior que a da pasta. Os agregados lisos facilitam a mistura e adensamento e os de superfície áspera aumentam a resistência à tração (GONÇALVES; ALMEIDA; SHEHATA, 1994).

Quanto à classificação granulométrica dos agregados, podem ser divididos em miúdos (as areias) e graúdos (as britas). Conforme sua origem, podem ainda ser naturais, aqueles que já se encontram na forma particulada e em condição de uso na natureza, formados por processos de abrasão, intemperismo ou por britagem, sem precisar passar por processos industriais, tais como o cascalho e a areia; e o artificiais que sofrerão algum processo antropológico para se adequar ao uso na engenharia, por exemplo, pedra britada (BAUER, 2008; FUSCO, 2008; MEHTA E MONTEIRO, 2008).

#### 3.3.3.1 Agregado Miúdo

Para Tutikian e Dalmolin (2008), define-se agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante de britagem de rochas estáveis – ou a misturas de ambas,

com dimensões entre 4,8mm e 0,075mm, podendo ser usadas tanto em sua forma natural como as artificiais (Figura 2).



**Figura 2 - Agregado miúdo.**

Fonte: STAVIAS, 2014.

### 3.3.3.2 Agregado Graúdo

A NBR 7211 (ABNT, 2009) define agregado graúdo como pedregulho ou pedra brita cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm (Figura 3). Os agregados devem apresentar boa qualidade, visto que ocupam grande parte do volume do concreto, limitando sua resistência (PETRUCCI, 2005; NEVILLE, 2013).



**Figura 3 - Agregado Graúdo.**

Fonte: STAVIAS, 2014.

Para Neville e Brooks (2013) é possível atingir uma economia financeira utilizando uma maior quantidade de agregados e diminuindo o consumo de cimento nos traços de concreto. Porém, esta economia deve ser balanceada com as

propriedades requeridas de modo a manter a qualidade necessária para o concreto sem abrir mão da resistência almejada.

### **3.3.4 Aditivos**

Para Neville (1997), aditivo é um produto químico acrescido à mistura de concreto, em teores não maiores do que 5% em relação à massa de cimento. O uso do aditivo como constituinte do concreto tem crescido amplamente, devido as melhorias físicas que pode conferir ao concreto.

Os aditivos podem variar quanto à sua composição química e muitos desempenham mais de uma função. Adicionalmente, existem tipos que começam a agir instantaneamente ou algumas horas após a sua adição na mistura. Apesar de se dividirem em várias categorias, os aditivos carregam em si dois objetivos fundamentais: o de ampliar as qualidades do concreto, ou de minimizar seus pontos fracos. São dosados como porcentagem da massa de cimento presente na mistura, e a eficiência dos mesmos pode variar de acordo com a dosagem e também com os constituintes da mistura, especialmente com as propriedades do cimento (NEVILLE, 1997).

Existem uma infinidade de aditivos comercializados, entretanto os que mais se destacam são os polifuncionais. Estes, tem a função de reduzir ou manter o consumo de água do concreto, conferir maior plasticidade, boa consistência e trabalhabilidade, além de aumentar a resistência final do concreto. São dosados a partir da central de concreto, sem a necessidade de executar dosagens depois da chegada do caminhão betoneira ao canteiro de obra (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

## **3.4 PRODUÇÃO DO CONCRETO**

Para Petrucci (1998), a produção do concreto envolve a mistura, o transporte, o lançamento, o adensamento e finalmente a cura desse material. Sua produção deve acatar aos requisitos necessários para obtenção de um concreto fresco que seja lançado no molde e que com o tempo, se torne endurecido.

A produção do concreto pode ser feita em obra ou em centrais especializadas a depender do volume a ser utilizado. O concreto dosado em central surgiu com o objetivo de suprir a necessidade de grandes volumes de concreto em um curto período de tempo. As vantagens do seu uso são: a velocidade de preparação e transporte, racionalização dos canteiros de obras e controle da qualidade. As centrais de concretos oferecem inúmeros tipos de concreto, cada um com a sua finalidade na construção civil, podendo ser: convencionais, de alto desempenho, bombeável, de alta resistência inicial, concreto pesado, concreto projetado, concreto leve estrutural, concreto fluido, concreto rolado, concreto colorido, concreto resfriado com gelo, concreto auto adensável, entre outros (MASCOLO, 2012).

O processo de produção deve atender às quantidades corretas de cimento, agregados e água, sendo então misturados manualmente ou mecanicamente, e o resultado desse processo é transportado até seu destino final, onde é lançado nas formas e adensado através da vibração para a obtenção de uma massa densa e compacta (NEVILLE E BROOKS, 2013).

### **3.4.1 Mistura**

A mistura se dá através do contato entre seus materiais constituintes, gerando uma massa homogênea. Contudo, no caso de que não seja formado um material homogêneo, haverá um decréscimo na resistência mecânica do concreto (PETRUCCI, 1998; MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Além disso, segundo Petrucci (2005), na mistura manual o agregado miúdo e o aglomerante são misturados até obter-se uma coloração uniforme e posteriormente, é adicionado o agregado graúdo que também deve ser homogeneizado. Feito isso, a água da mistura é adicionada e é feito o amassamento de modo a obter um concreto uniforme. Já para a mistura mecânica, que é feita com o auxílio de máquinas específicas (e.g. betoneiras), elas podem ser intermitentes ou contínuas, sendo que o que as diferem é o fato de precisar ou não interromper o funcionamento para fazer seu carregamento.

Se tratando de pequenas construções, Mehta e Monteiro (2008) afirmam que o amassamento pode ser realizado no canteiro da obra, ou seja, *in loco*, por meio

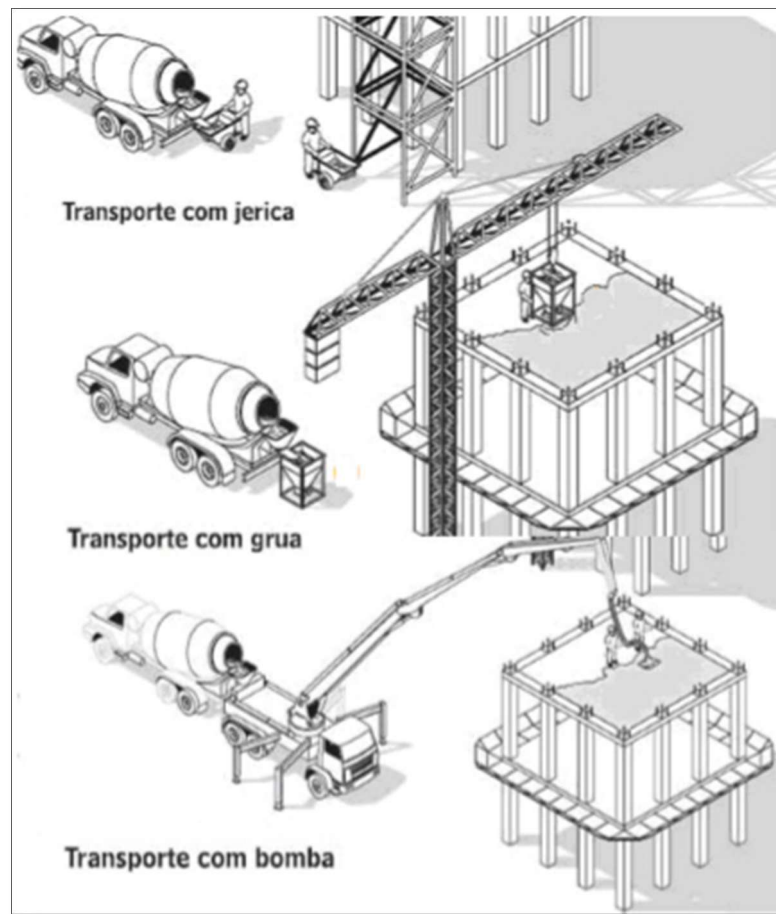
de betoneiras móveis ou estacionárias, sendo a primeira a mais utilizada para obras desse porte.

Segundo Neville e Brooks (2013), quando se faz a mistura do concreto *in loco*, existe uma possibilidade maior de realizar o amassamento de forma muito rápida. Além disso, os autores afirmam que misturas com tempo inferior a um minuto são insuficientes para produzir um material de qualidade satisfatória, e acima de dois minutos não acrescentam melhorias significativas na qualidade final do material. No entanto, segundo a NBR 12655/2006 é recomendado que o tempo mínimo de mistura para betoneiras seja de um minuto.

### **3.4.2 Transporte**

Segundo Petrucci (1998), o concreto deve ser conduzido do local da mistura para o local de lançamento o mais breve possível. Neste sentido é também recomendado pela NBR 14931/2004 um limite de 150 min entre a mistura e a finalização da concretagem. Finalmente, de acordo com Neville e Brooks (2013), o concreto deve ficar coeso e não segregar durante o processo de transporte.

Para Bastos (2011), a grande apreensão durante o transporte interno do concreto na obra é para evitar a segregação dos materiais, ou seja, evitar que a massa fique heterogênea de modo que aconteça a descida dos agregados graúdos e a ascensão dos miúdos e da água (exsudação). Logo, se tratando de obras de pequeno porte, na maioria das vezes o transporte é feito por carrinhos de mão ou jericas, devendo evitar solavancos e dar preferência ao uso de carrinhos de pneu com câmara de ar. Porém, quando utilizado o transporte vertical, o que normalmente ocorre em obras com mais de um pavimento, são usados os guinchos, que transportam os carrinhos, ou as guias, que transportam caçambas com descarga por comporta de fundo (capacidade até 2,0 m<sup>3</sup>), ou até mesmo através de bombas conforme ilustra a Figura 4.



**Figura 4 - Tipos de transportes mais utilizados.**

**Fonte: BASTOS, 2011.**

Segundo Bastos (2011), o bombeamento ocorre através de tubulações que são montadas pelas usinas fornecendo assim o concreto pronto, e com esse método pode-se conseguir uma produção, em concretagens de 100, 200 e até 300 m<sup>3</sup> por dia.

### **3.4.3 Lançamento**

O lançamento é o processo que consiste na colocação do concreto nas formas ou local de aplicação, nesta etapa o maior cuidado é que seja evitado incrustações de argamassa nas paredes das formas e nas armaduras, logo deve ser lançado o mais próximo possível de sua posição final. O concreto deve ser lançado e adensado de modo que toda a armadura, sejam adequadamente envoltas na massa



de concreto. Não deve ser realizado o lançamento do concreto após o início da pega ou contaminação do mesmo com solo ou outros tipos de materiais (NBR, 14931, ABNT, 2004; MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Segundo Bauer (2008), o tempo de lançamento do concreto não deve ser superior a uma hora após o amassamento, quando houver necessidade de aumentar esse intervalo devem ser utilizados aditivos que retardem a pega e o endurecimento do mesmo. Além disso, após o prazo de lançamento o concreto começa a perder a trabalhabilidade por meio da exsudação da água ou pelo escorregamento entre o agregado e a água de amassamento.

O concreto deve ser lançado em camadas uniformes, sem formação de montes com altura máxima de lançamento não devendo ultrapassar 2 metros. Quando a altura do lançamento for superior ao seu limite, utilizam-se anteparos ou funis, evitando a desagregação do concreto. Quando o lançamento for submerso, o concreto deve ter no mínimo 400 kg de cimento por metro cúbico, ter consistência plástica e ser levado por uma tubulação submersa, mantendo-se a ponta do tubo imersa no concreto já lançado (NBR, 14931, ABNT, 2004; BAUER, 2008).

Para garantir que os requisitos de lançamento sejam atendidos, devem ser tomadas algumas precauções, tais como, evitar o arrastamento do concreto, padronizar as velocidades de lançamento e adensamento, toda camada lançada deve ser totalmente adensada antes do próximo lançamento, evitar o impacto entre o concreto e as formas, bem como estabelecer uma sequência para concretagem (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

#### **3.4.4 Adensamento**

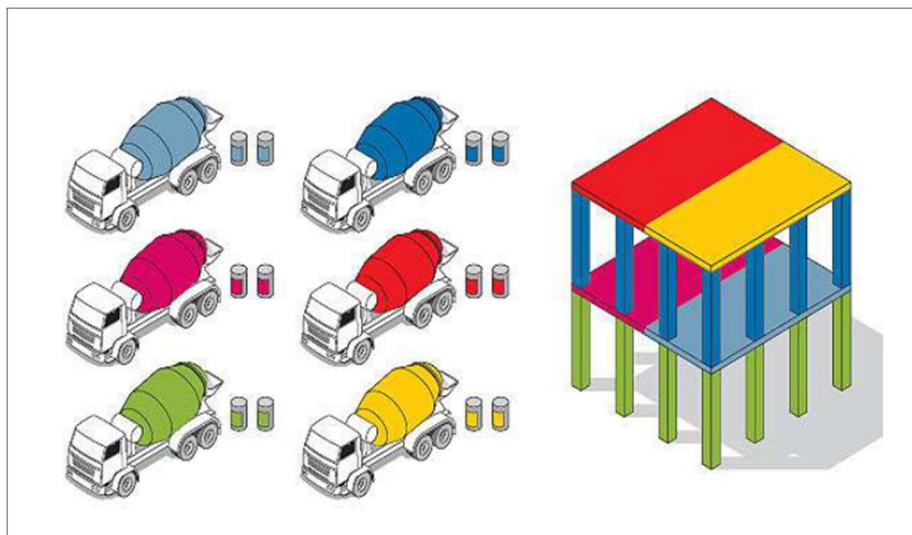
Segundo Mehta e Monteiro (2008), o adensamento é o processo que torna o concreto mais compacto possível, provocando a saída do ar aprisionado no seu interior e facilitando a arrumação interna dos agregados. Pode ser feito através de um processo de imersão de vibradores no concreto fresco, a fim de eliminar o máximo de vazios sem que se provoque a segregação dos materiais. A NBR 14931/2004, estabelece recomendações técnicas para a utilização de vibradores de adensamento. Dentre elas, a norma estabelece que o adensamento deve ser feito tanto durante

quanto imediatamente após o lançamento do concreto, sendo vibrado para que preencha todos os cantos das formas.

### 3.4.5 Rastreabilidade do Concreto

A rastreabilidade é uma ferramenta essencial em todas as obras que utilizam concreto, pois proporcionará a identificação do local em que foi lançado algum concreto que esteja possivelmente em desacordo com a resistência solicitada. Essa rápida identificação permite atuar diretamente no problema, ou seja, reduzindo os gastos de uma possível busca por concreto defeituoso, uma vez que só sabemos a qualidade e resistência do material depois de vários dias (ABESC, 2007).

Segundo Lima (2003), a rastreabilidade consiste em um mapeamento do concreto lançado (Figura 5), cada caminhão betoneira que chega a obra inicia a concretagem, logo após é retirada uma amostra do concreto para moldagem de corpos de prova e em seguida é feito um croqui mapeando cada região onde o concreto foi utilizado.



**Figura 5 – Controle total da concretagem.**

**Fonte: TÉCHNE, 2009.**

### 3.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

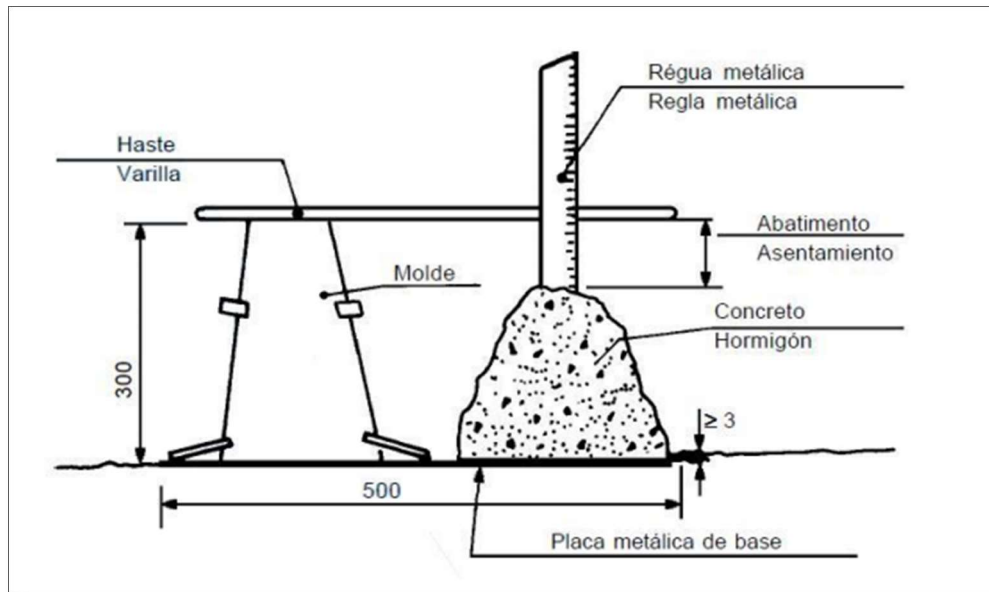
O concreto no estado fresco, segundo a NBR 12655/2006, é definido como sendo o concreto totalmente misturado e ainda plástico, capaz de ser adensado. Embora tenha interesse apenas transitório, a sua resistência final pode ser seriamente influenciada pelo seu grau de adensamento.

As principais propriedades do concreto no estado fresco são trabalhabilidade, segregação, exsudação e massa específica. Todas essas propriedades devem estar presentes no concreto para que o mesmo apresente boas características físicas e mecânicas (NEVILLE, 2013; MEHTA E MONTEIRO, 2008).

#### 3.5.1 Trabalhabilidade e Consistência

Para Guimarães (2005), a trabalhabilidade é definida como sendo a facilidade e homogeneidade com que o concreto fresco pode ser manipulado desde a mistura até o acabamento. A trabalhabilidade pode afetar tanto no custo quanto na qualidade do concreto, pois concretos pouco trabalháveis, podem causar segregação ou exsudação tornando-os mais caros pelo acabamento final e menos duráveis. Vale ressaltar que, para que o concreto atinja o melhor adensamento é necessário expulsar ao máximo o ar aprisionado sem o desagregar.

Dentre os fatores que influenciam a trabalhabilidade, a consistência é um dos preponderantes, porém estes dois conceitos não devem ser confundidos. A consistência é o grau de umidade do concreto e pode ser medida através do ensaio de abatimento de tronco de cone, também conhecido como *Slump test* (Figura 6), apresentando um índice de fluidez do material (PETRUCCI, 2005).



**Figura 6 - Determinação da consistência do concreto por meio do *Slump Test*.**

**Fonte: ABNT NBR NM 67, 1998.**

A medida de trabalhabilidade é de difícil obtenção, não existindo nenhum método específico para determiná-la. Os principais fatores internos que influenciam a trabalhabilidade são: consistência, traço, forma dos grãos e aditivos plastificantes, já os fatores externos são: tipos de mistura, transporte, lançamento, adensamento e dimensões da armadura da peça a executar (PETRUCCI, 2005).

### 3.5.2 Massa Específica

A massa específica do concreto é definida como a massa do material por unidade de volume, incluindo os vazios. Quando se conhece a massa específica, o volume do concreto pode ser obtido pela massa dos componentes e a partir disso estimar o volume produzido, por exemplo, por uma betoneira (NEVILLE E BROOKS, 2013; PETRUCCI, 1998).

Segundo Bauer (2008) a massa específica do concreto sofre também influência do meio ambiente em que são mantidos. De acordo com a massa específica o concreto pode ser dividido em três categorias: leve, normal e pesado. O de peso normal é o mais usado geralmente para peças estruturais e sua massa específica varia entre 2300 e 2500 kg/m<sup>3</sup>. Os concretos leves, da ordem de 1800 kg/m<sup>3</sup>, são

produzidos com a utilização de agregados leves. Já os concretos pesados são produzidos a partir de agregados de alta densidade e geralmente pesam mais do que  $3200 \text{ kg/m}^3$ .

Propriedade de extrema importância para dosagem do concreto, também podendo ser chamada de massa específica absoluta é a relação entre a massa e o volume de cheios, isto é, o volume dos grãos, incluindo os poros internos das partículas, que variam de 10 a 40 por cento para arenitos e calcários. Além disso, os poros dos agregados podem ser permeáveis ou não, dessa forma, existem diversas massas específicas (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

### **3.5.3 Segregação**

A segregação, consiste na separação dos constituintes do concreto, dificultando a obtenção de características de uniformidade razoáveis. Ela é consequência do excesso de vibração no concreto ou da dosagem inadequada. Existem dois tipos de segregação: no primeiro os grãos maiores tendem a separar-se dos demais, já no segundo tipo as misturas são muito plásticas, onde é nítida a separação da pasta (BAUER, 2011).

Mehta e Monteiro (1994), também afirmam que a segregação é definida como sendo a separação dos componentes do concreto fresco, de tal forma que a sua distribuição não é mais uniforme. Não existem ensaios para medida da segregação, a observação visual e a inspeção por testemunhos extraídos do concreto endurecido são, geralmente, adequados para determinar se a segregação é um problema em uma dada situação (Figura 7). As principais causas para a ocorrência da segregação são: quantidade excessiva de agregados graúdos, pouca quantidade de partículas finas e métodos impróprios de adensamento e lançamento.



**Figura 7 - Segregação do concreto.**

**Fonte: ABESC, 2007.**

#### **3.5.4 Exsudação**

A exsudação, segundo Petrucci (1998), é uma forma de segregação causada pelas características dos componentes do concreto, onde ocorre a saturação da água na mistura. Quando ocorre, a água da mistura tende a elevar-se à superfície do concreto recém-lançado, tornando a superfície mais porosa e menos resistente, ficando sujeita à desintegração. A exsudação pode causar, também: enfraquecimento da aderência pasta-agregado e aumento de permeabilidade.

Neville (1997), complementa que a tendência à exsudação (Figura 8) está ligada as propriedades do cimento. Por exemplo, quanto mais fino, mais rápido se hidrata e menor é sua velocidade de sedimentação, diminuindo a chance de exsudação. Além disso, estas propriedades podem ser controladas ainda na fase de dosagem do concreto, evitando-se o emprego de água além do necessário. Ocasionalmente, corrige-se a exsudação adicionando-se grãos relativamente finos, que compensam as deficiências dos agregados.



**Figura 8 - Exsudação na superfície do concreto recém lançado.**

**Fonte: MAGALHÃES, 2011.**

A determinação da quantidade de água que exsuda de uma amostra de concreto fresco, pode ser medida por dois métodos de ensaio. O primeiro método é realizado apenas por compactação normal, sem posterior vibração, simulando um concreto lançado, que não foi sujeito a vibração; enquanto o segundo método é ensaiado com vibrações periódicas, simulando condições às quais o concreto, após lançado, é submetido a vibrações intermitentes. Os métodos de ensaio diferem principalmente no grau de vibração ao qual a amostra é submetida (NBR 15558, ABNT, 2008).

### 3.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Segundo a NBR 12655/2006, o concreto endurecido é definido como concreto no estado sólido que desenvolveu resistência mecânica. O processo de endurecimento do concreto ocorre a partir do início da pega do cimento. As

propriedades do concreto no estado endurecido podem variar em função da idade e das condições à que o mesmo é submetido.

As principais propriedades mecânicas do concreto são a resistência à compressão, à tração, permeabilidade, absorção e porosidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios executados em condições específicas para controle de qualidade e atendimento às especificações. Os principais fatores que afetam a resistência mecânica são: relação água/cimento; idade; forma e graduação dos agregados; tipo de cimento; forma e dimensão dos corpos de prova; velocidade de aplicação da carga de ensaio e duração da carga (PETRUCCI, 2005).

Segundo Neville e Brooks (2013), uma resistência à compressão adequada é considerada como principal exigência deste estado, sendo que isso se deve ao fato de a resistência ser uma propriedade que pode ser medida com facilidade e também é uma maneira fácil de certificar que o concreto empregado na obra atende as especificações contratadas.

### **3.6.1 Porosidade**

A porosidade é um fator de grande importância para a resistência do concreto, é definida como o volume de vazios presentes na pasta do cimento, que ficam no sólido após a cura. O volume de vazios está diretamente relacionado com a relação água/cimento a qual é fundamental para o desenvolvimento da resistência do concreto. Dentre os fatores que aumentam a porosidade podem ser destacados, o excesso de água para a hidratação do cimento. Neste processo, a água evapora, deixando vazios no concreto e o ar incorporado ao concreto durante a mistura, uma vez que estes poros formados no interior do concreto estabelecem ligações entre si, este se torna permeável a água (NEVILLE E BROOKS, 2013; MAGALHÃES, 2011).

### **3.6.2 Absorção e Permeabilidade**

A absorção é a propriedade física do concreto que retém água nos poros e condutos capilares, sendo assim ela é diferente da permeabilidade, que é a propriedade que identifica a possibilidade de passagem de água através do concreto.



A permeabilidade provoca diversas manifestações patológicas nas estruturas, uma vez que a água que penetra no concreto carrega substâncias que podem ser nocivas, sobretudo às armaduras – no caso de concreto armado ou protendido (MEHTA E MONTEIRO, 2008; MAGALHÃES, 2011).

Essas propriedades podem ser definidas por meio de ensaios não destrutivos, feitos em corpos de prova. Os ensaios para determinação da permeabilidade do concreto são: determinação da penetração de água sob pressão e determinação do coeficiente de permeabilidade à água. Já os ensaios de absorção são: determinação da absorção de água por imersão e determinação da absorção de água por capilaridade (NBR, 9778, ABNT, 2009; NBR, 10787, ABNT, 2011; NBR, 9779, ABNT, 2012; NBR, 10786, ABNT, 2013).

Em função do método de cura utilizado, o concreto deve ser protegido contra a perda de água a depender do tipo de cimento, das proporções da mistura, da resistência desejada, do tamanho e forma da peça e das condições ambientais. Assim, a redução do período de cura resulta em maior porosidade e concretos mais permeáveis (VALIN; LIMA, 2009).

### **3.6.3 Resistência à Compressão**

A resistência à compressão, pode ser definida como a capacidade do concreto de resistir a um determinado esforço de tensão sem se romper, é adotada por ocasião do dimensionamento da estrutura e assim, está diretamente ligada a segurança. É uma propriedade extremamente importante, seus ensaios podem ser capazes de indicar problemas no concreto. Em geral, quando se obtém uma boa resistência à compressão provavelmente se terá as demais propriedades atendidas de forma satisfatória. O ensaio para determinação da resistência à compressão do concreto é realizado segundo ABNT NBR 5739:2018, geralmente após 28 dias da moldagem do corpo de prova (MEHTA E MONTEIRO, 2008; PACHECO E HELENE, 2013; NBR, 5739, ABNT, 2018).

No que se refere às características mecânicas do concreto, a resistência à compressão é uma das principais, sendo que a mesma está associada ao tempo de cura do concreto. A cura é a última etapa do processo de produção do concreto e deve

ser bem executada, pois quanto maiores os cuidados com a cura do concreto, melhor é o seu desempenho mecânico e a sua resistência aos agentes agressivos do meio ambiente (VALIN; LIMA, 2009).

Mehta e Monteiro (1994) explicam que a resistência à compressão é basicamente influenciada pela porosidade do sistema. Os principais fatores que afetam a resistência à compressão são: a relação água/cimento, afetando a porosidade tanto da matriz pasta de cimento como da zona de transição entre a matriz e o agregado; adição de vazios ao sistema, através de aditivos incorporadores de ar, adensamento inadequado do concreto; tipo de cimento; tamanho, forma, textura da superfície, granulometria e mineralogia dos agregados e a qualidade da água de amassamento, que pode afetar a resistência pelo excesso de impurezas, causando eflorescência ou corrosão da armadura.

#### **3.6.4 Resistência à Tração**

Embora a resistência à tração do concreto não seja a propriedade de melhor desempenho deste material, sua mensuração faz-se fundamental em algumas situações como quesito de aceitação e de segurança das estruturas. O conhecimento da resistência à tração permite estimar a carga para a qual ocorre a fissuração e, desse modo, estimar a durabilidade do concreto (MAGALHÃES, 2011)

Segundo NEVILLE (1997), a resistência à tração do concreto corresponde a 10% da sua resistência à compressão, embora não exista uma proporcionalidade direta entre esses dois tipos de resistência, sendo ambos dependentes do nível de resistência do concreto. Dessa forma, se a resistência à compressão aumenta é esperado que a resistência à tração também aumente, mas dentro de uma relação decrescente.

Em determinadas estruturas, as solicitações predominantes são de tração na flexão, como pavimentos de rodovias e de aeroportos, lajes e vigas, ou tração pura, como os tirantes. As fissuras ocorrem depois que a capacidade de tração do concreto tiver sido esgotada, o que faz dessa uma importante propriedade no que diz respeito à durabilidade de membros estruturais (BASTOS, 2011).

A resistência à tração depende de vários fatores, principalmente da aderência dos grãos dos agregados com a argamassa. Para o estudo da tração existem três tipos de ensaios: tração direta, compressão diametral (NBR 7222 - 2011), também conhecido internacionalmente como Ensaio Brasileiro, pois foi desenvolvido por Lobo Carneiro, em 1943 e tração na flexão (NBR 12142 - 2010).

A tração direta do concreto raramente é aplicada, principalmente porque os dispositivos de fixação dos corpos-de-prova introduzem tensões secundárias que não podem ser ignoradas. Os resultados são influenciados pela forma de se proceder à tração na máquina de ensaio (ALMEIDA, 2002).

### 3.7 CURA

Quanto às funções da cura, a NBR 14931/2004 estabelece que a mesma evita a perda de água, assegura uma superfície com resistência adequada e assegura a formação de uma capa superficial durável.

Os procedimentos de cura consistem em controle de temperatura e movimento de água de dentro para fora do concreto e vice-versa. A cura é necessária uma vez que a hidratação do cimento ocorre somente em capilares preenchidos de água, por essa razão tem-se a preocupação de evitar a perda de água pelos poros do concreto. No entanto, existem inúmeras técnicas de cura, porém levando-se em consideração questões econômicas e culturais a cura normalmente vista em pequenas construções consiste unicamente na molhagem do concreto (HELENE E LEVY, 2013; NEVILLE E BROOKS, 2013).

A importância do processo de cura para o concreto está no auxílio na melhora da durabilidade e resistência. Para a NBR 6118/2003, a cura deve ser feita durante os primeiros 7 dias contados do lançamento, enquanto a NBR 12655/2006 estabelece sua manutenção até que o concreto atinja a resistência mínima de 15 MPa, recomendando para tal, dentre diversas técnicas, a cura úmida (NEVILLE E BROOKS, 2013).

Vale ressaltar que para a obtenção de um bom concreto, deve-se realizar uma cura de maneira cuidadosa, principalmente em concretos com adição de sílica ativa. A cura tem como objetivo manter o concreto saturado, não permitindo a perda

d'água até que os espaços da pasta de cimento fresca, inicialmente preenchidos com água, tenham sido preenchidos pelos produtos da hidratação do cimento (HELENE E LEVY, 2013).

O período de cura do concreto é de pelo menos 7 dias, podendo ser estendido até 28 dias dependendo das condições locais. Essa recomendação é sempre a mesma, o que significa que o tempo de cura não é influenciada pelo tipo de cimento usado ou pelo fator água/cimento. Assim, este processo deve se desenvolver continuamente durante o tempo mínimo suficiente para que o concreto atinja no mínimo 70% da resistência especificada. Este tempo irá depender do tipo de cimento empregado e presença ou não de aditivos (AİTCIN, 2000).

A elevação da temperatura do concreto aumenta o risco de fissura térmica, principalmente concretos com adição de sílica ativa, aumentando a permeabilidade do concreto. Neste caso, é importante levar em conta as condições térmicas estimadas para o uso final do concreto na etapa de realização de testes de cura (SALIM, 2016).

Neville (1997) garante que o aumento da temperatura acelera as reações químicas de hidratação, favorecendo as resistências iniciais do concreto, mas desfavorecendo as mesmas em idades posteriores. Isto se dá porque a hidratação inicial rápida aparentemente forma produtos com uma estrutura fisicamente mais pobre, mais porosa, de modo que uma pequena parte desses poros nunca será preenchida.

### **3.7.1 Cura Úmida**

Segundo Bauer (2008), a cura úmida é um dos métodos mais simples para proteger o concreto. Consiste na molhagem com água da superfície do concreto fresco, com o intuito de impedir a evaporação da água de amassamento, responsável pela hidratação do cimento (Figura 9).

Helene e Levy (2013), afirma que a cura úmida pode impedir a evaporação precoce da água de hidratação, controla a temperatura do concreto até atingir a resistência desejada. Além disso é possível fornecer um suplemento de água para as reações de hidratação.



**Figura 9 - Molhagem do concreto recém lançado.**

**Fonte: TÉCHNE, 2013.**

### **3.7.2 Cura Química**

A cura química consiste na aplicação de aditivos químicos que ao secar, forma uma membrana impedindo a saída de água pela superfície do concreto, evitando-se a evaporação desta. Os produtos mais comuns são soluções de resinas de hidrocarbonetos sintéticas dissolvidas em solventes muito voláteis (NEVILLE, 1997).

O produto de cura química deve ser aplicado depois de cessada a ascensão de água à superfície do concreto (exsudação), mas antes que a superfície seque (Figura 10). Neste caso, vale ressaltar que concretos que possuem sílica ativa, não apresentam exsudação e por isso a membrana de cura deverá ser aplicada rapidamente, pois se o composto de cura for aplicado sobre uma superfície já seca, o produto penetrará no concreto impedindo a hidratação na região externa (NEVILLE, 1997).



**Figura 10 – Aplicação da cura química.**

**Fonte: ALPHAPISO, 2018.**

As membranas de cura mantêm a impermeabilidade superficial do concreto por um certo período de tempo, em geral 3 a 4 semanas, evitando, assim, a rápida secagem do concreto (BAUER, 2012).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA

#### 4.1.1 Concreto Utilizado

Para realização do estudo foi utilizado um concreto usinado com resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) de 35 MPa, fornecido pela empresa A, responsável pela produção do concreto dosado em central, localizada no estado de Sergipe.

O concreto foi produzido conforme recomendações da ABNT NBR 7212:2012 – Execução de concreto dosado em central — Procedimento. O aglomerante utilizado no concreto foi o cimento CII - F – 40 e os agregados usados foram as britas 0 e 1, além disso o mesmo possuiu um aditivo polifuncional conforme solicitado pela empresa contratante.

Os agregados para a produção do concreto estavam separados pela granulometria e armazenados em baias, evitando a contaminação ou a mistura com elementos indesejáveis. A dosagem dos agregados foi realizada separada do cimento e medida em balanças específicas, conforme Figura 11.



Figura 11 - (A) Baias para separação dos agregados. (B) Dosagem dos agregados.

O concreto foi misturado no caminhão betoneira ainda na usina (Figura 12) e levado até à obra. Foi coletado então o horário que o concreto foi misturado na usina, assim como o horário da chegada do caminhão à obra, além da distância percorrida pelo mesmo, para assim fazer a verificação do tempo de amassamento, pois segundo a NBR 7212/1984, para execução de concreto dosado em central estipula o tempo máximo para que o concreto seja descarregado (aplicado) completamente em 150 min.



**Figura 12 – Caminhão betoneira para mistura e transporte do concreto.**

#### **4.1.2 Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone**

Foi utilizado o molde com a forma de um tronco de cone oco para o corpo de prova de ensaio, feito de metal, com seu interior liso e espessura aproximada de 1,5 mm. O molde possui as seguintes dimensões, o diâmetro da base inferior medindo  $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ , diâmetro da base superior medindo  $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  e uma altura de  $300 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ , além de conter abas laterais para melhor travamento na placa de



base. A haste para compactação é um bastão de seção circular, reto, feito em aço, com comprimento aproximado de 600 mm, sendo que suas extremidades são arredondadas. Placa metálica para apoio do molde, sendo essa placa quadrada, medindo aproximadamente 500 mm, com apoio para suspensão na lateral, conforme ilustrado na Figura 13. Outros materiais utilizados foram a colher de pedreiro e uma trena metálica de 5 m.



**Figura 13 - Aparelhagem para execução do ensaio.**

A consistência do concreto foi verificada através do *Slump Test*, utilizando a forma de abatimento tronco cônica, seguindo as recomendações da ABNT NBR NM 67:1998 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

No processo de execução do *Slump Test*, o molde de abatimento foi molhado internamente e colocado sobre a placa de base, que também foi molhada. Uma vez apoiado sobre a placa, o molde foi preenchido com concreto em três camadas iguais. Cada camada foi golpeada 25 vezes com a haste de compactação,

onde os golpes foram distribuídos uniformemente sobre toda seção de cada camada a fim de obter o adensamento do mesmo, conforme ilustrada na Figura 14.

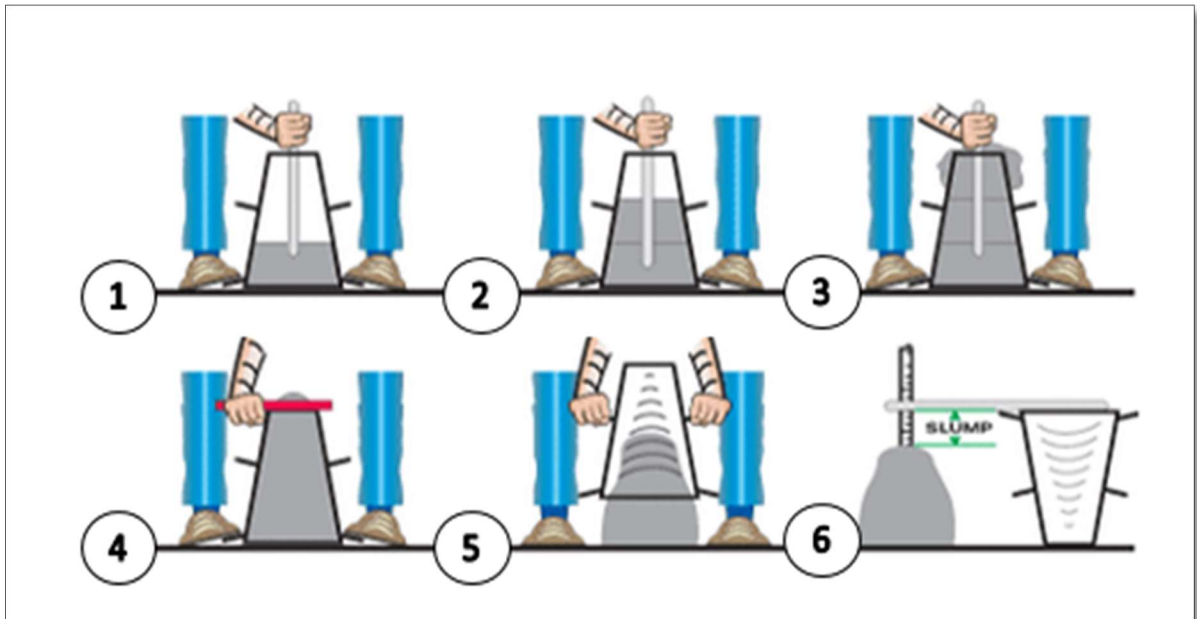


Figura 14 - Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Fonte: MAPA DA OBRA, 2017.

A primeira camada foi compactada com 13 golpes em espiral até o centro e 12 golpes distribuídos uniformemente em toda a seção, as demais camadas foram golpeadas 25 vezes, tomando o cuidado para que os golpes apenas penetrassem na camada anterior. Após o adensamento de todas as camadas foi feito o acabamento final com a colher de pedreiro, retirando o concreto em excesso sobre a superfície do molde. A placa da base foi limpa e o molde foi retirado, levantando-o verticalmente com cuidado. Essa operação de retirada do molde foi realizada no intervalo de tempo entre 5 s e 10 s, com um movimento constante para cima, sem que o concreto sofresse movimentos de torção lateral.

Após a retirada do molde, o cone foi colocado invertido ao lado do concreto, com a ajuda da haste e da trena foi determinada a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova, obtendo assim o resultado do *Slump Test*:

Com o resultado do *Slump Test* foi possível obter a relação entre o abatimento e a trabalhabilidade do concreto, usando como base a relação proposta por Neville (1997), apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre trabalhabilidade e grandeza do abatimento

TRABALHABILIDADE	ABATIMENTO (mm)
Abatimento zero	0
Muito baixa	5 a 10
Baixa	15 a 30
Média	45 a 75
Alta	80 a 155
Muito Alta	160 ao desmoronamento

Fonte: NEVILLE, 1997.

#### 4.2 MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

As amostras foram coletadas do caminhão betoneira conforme a ABNT NBR 12655:2015 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, após ter sido feito o *Slump Test* e, para a moldagem o concreto foi armazenado em um carrinho de mão.

A amostragem foi feita em corpos de prova moldados em formas metálicas de 10x20 cm conforme ilustradas na Figura 15, fornecidas pelo Centro Tecnológico de Engenharia e Arquitetura (CTEA) da Universidade Tiradentes. Os moldes estavam limpos e com uma demão de desmoldante para evitar assim que o concreto aderisse a parede do molde.

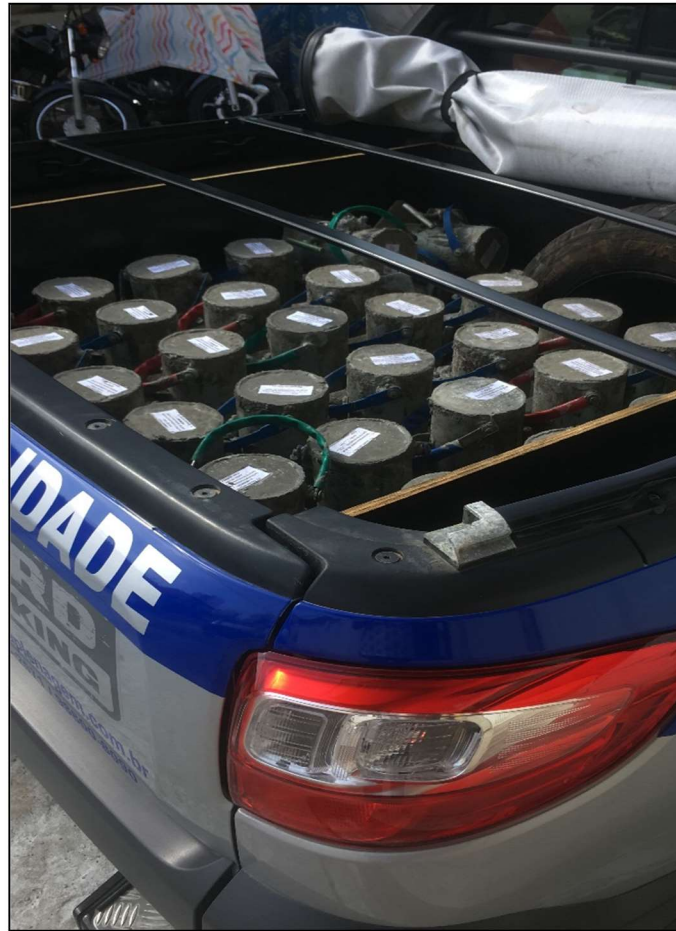


**Figura 15 - Formas para moldagem dos corpos de prova.**

A execução da moldagem foi realizada seguindo os critérios determinados pela ABNT NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Com uma concha de seção U, o molde foi preenchido com duas camadas de concreto de volume aproximadamente igual, adensadas manualmente em toda a sua espessura com a haste metálica, sendo aplicado 12 golpes em cada camada, por toda superfície da forma. Após o adensamento bateu-se levemente na face externa do molde até o fechamento de eventuais vazios e foi feito o acabamento final com a colher de pedreiro.

Estes moldes permaneceram armazenados na obra em um local coberto e isolado por um período de 24 horas, onde passaram pelo processo de endurecimento,

e posteriormente foram levados para a empresa A (Figura 16), onde foram desmoldados.



**Figura 16 – Transporte dos corpos de prova.**

Os corpos de prova (CP's) destinados ao ensaio de resistência à compressão permaneceram na empresa A, e foram separados pelo tipo de cura. Os CP's submetidos ao processo de cura química e os CP's sem nenhum tipo de cura foram armazenados no laboratório da empresa, e os CP's submetidos a cura úmida foram colocados no tanque de cura (água) conforme recomendações da ABNT NBR 9479:2006 – Câmara Úmidas e tanques para cura de corpos de prova. A cura úmida foi feita em um compartimento estanque, abastecido com água potável livre de impurezas, construído de material resistente, durável e não corrosivo.

Os CP's destinados aos ensaios de resistência à tração por compressão diametral e absorção de água por imersão foram levados ao laboratório do Centro Tecnológico de Engenharia e Arquitetura (CTEA) da Universidade Tiradentes, onde parte das amostras permaneceram sem cura, e os demais foram submetidos à cura úmida e cura química, até atingir a idade de execução dos ensaios.

#### 4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A avaliação da resistência à compressão foi feita no laboratório da empresa A, realizada através do rompimento dos corpos de prova em uma prensa hidráulica da marca FORTEST, modelo FT 01, com capacidade de 100 toneladas, conforme apresentada na Figura 17.

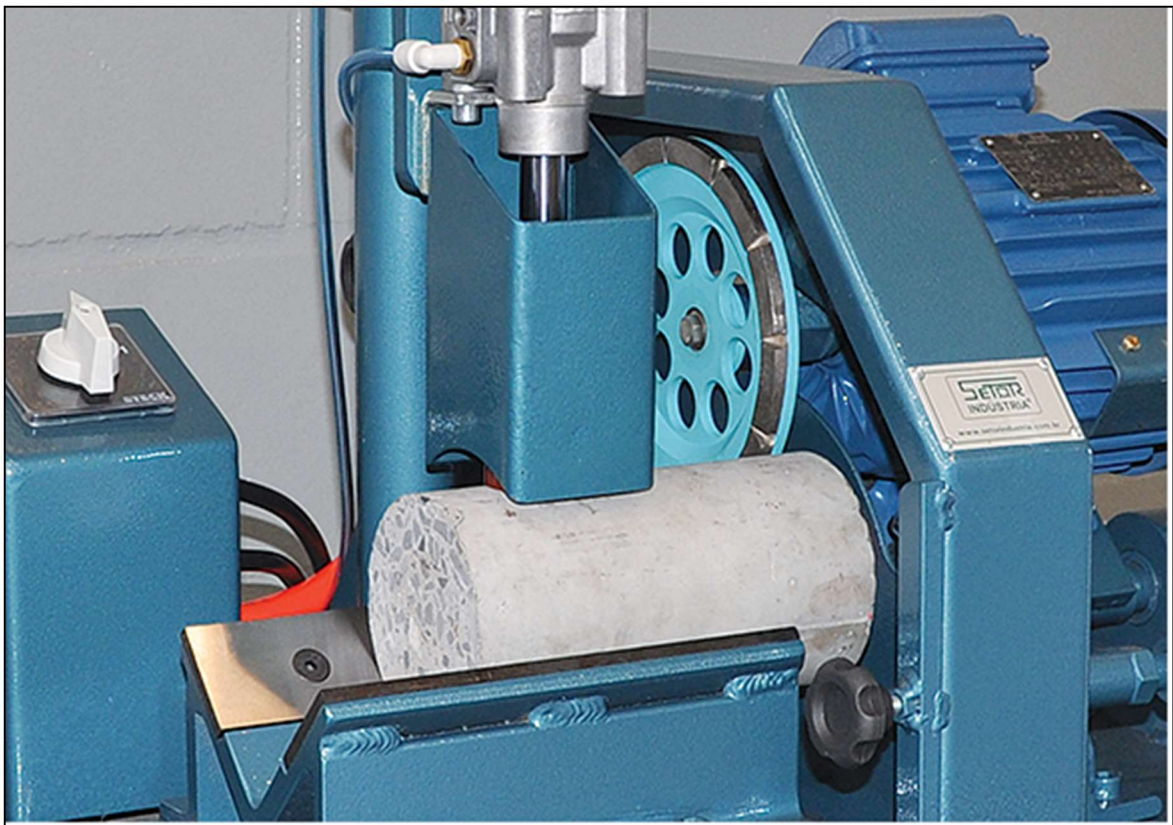


**Figura 17 – Prensa Hidráulica utilizada no ensaio de compressão axial.**

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado seguindo as recomendações da ABNT NBR 5739:2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Suas resistências foram analisadas aos 7 dias de idade,

através de 18 corpos de prova, sendo que desses, 6 amostras não foram submetidas ao processo de cura, outras 6 amostras foram submetidas a cura úmida, e as amostras restantes foram submetidas a cura química. Além disso, para verificação da resistência final aos 28 dias, a mesma quantidade de corpos de prova foi analisada nas mesmas condições de cura citadas para os 7 dias.

Para o processo de ruptura, as bases do CP's foram retificadas (Figura 18) para tornar a sua superfície plana e perpendicular, como recomenda a ABNT NBR 5738:2015. Após a retificação foi feita a limpeza dos pratos da máquina de ensaio, para colocação dos corpos de prova no centro da máquina, de modo que, o seu eixo permanecesse no eixo central da máquina, fazendo com que a resultante das forças passasse pelo centro.



**Figura 18 – Retificação dos corpos de prova.**

**Fonte: SETOR, 2018.**

Os corpos de prova foram inseridos na prensa hidráulica, onde foi aplicada uma carga até acontecer o rompimento do mesmo. Após o rompimento foi possível a

obtenção dos resultados referentes a resistência à compressão dos corpos de prova para as técnicas de cura as quais foram submetidos.

A resistência média foi calculada com a finalidade de comparar as resistências alcançadas pelos diferentes tipos de cura. Obtida através da média aritmética simples, sendo resultado da divisão do somatório da resistência de cada corpo de prova, pela quantidade de corpos de prova ensaiados, conforme Equação 1.

$$f_{cm} = \frac{\sum f_i}{n} \text{ (MPa)} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$f_{cm}$  = Resistência Média

$n$  = Número de corpos de prova ensaiados

$f_i$  = Resistência de cada exemplar

Além disso para analisar a variação dos resultados das resistências foi estimado o desvio padrão ( $sd$ ), que é uma medida de dispersão que indica a conformidade de um conjunto de dados em função da média aritmética, conforme Equação 2.

$$sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - f_{cm})^2}{n-1}} \text{ (MPa)} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$f_{cm}$  = Resistência Média

$n$  = Número de corpos de prova ensaiados

$f_i$  = Resistência de cada exemplar



#### 4.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A avaliação da resistência à tração por compressão diametral foi feita no laboratório do Centro Tecnológico de Engenharia e Arquitetura (CTEA) da Universidade Tiradentes, realizada através do rompimento dos corpos de prova em uma prensa hidráulica da marca CONTENCO, modelo I – 3025 – H, com capacidade de 100 toneladas, conforme apresentada na Figura 19.



**Figura 19 – Prensa Hidráulica utilizada no ensaio de tração por compressão diametral.**

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado seguindo as recomendações da ABNT NBR 7222:2011 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova. Suas resistências foram analisadas aos 7 dias de idade, através de 12 corpos de prova, sendo que desses, 4 amostras não foram submetidas ao processo de cura, outras 4 amostras foram submetidas a cura úmida, e as amostras restantes foram

submetidas a cura química. Além disso, para verificação da resistência final aos 28 dias, a mesma quantidade de corpos de prova foi analisada nas mesmas condições de cura citadas para os 7 dias.

Para o processo de ruptura foi utilizado um dispositivo feito em aço (Figura 20) com o intuito de facilitar o posicionamento do corpo de prova na prensa, como recomenda a ABNT NBR 7222:2011. Com o dispositivo ajustado na prensa foi inserido o corpo de prova na posição horizontal, de modo que, o CP mantivesse a sua posição, sem movimentações.



**Figura 20 – (A) e (B) Dispositivo para posicionamento do corpo de prova na prensa.**

Após inserir o CP no dispositivo foi aplicada uma carga contínua e sem choques, com uma velocidade de  $(0,05 \pm 0,02)$  MPa/s até a ruptura do CP, onde foi possível obter os resultados referentes a resistência à tração dos corpos de prova para as técnicas de cura as quais foram submetidos. Além disso foi calculada a resistência média e o desvio padrão, seguindo os mesmos parâmetros do ensaio de resistência à compressão axial.

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA

A determinação da absorção de água por imersão foi feita no laboratório da SONDA ENGENHARIA, localizada em Aracaju/SE, seguindo as orientações da ABNT

NBR 9778:2005 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

O ensaio foi realizado aos 28 dias de idade, através de 9 corpos de prova, a cura dos CP's seguiu a mesma metodologia dos ensaios de resistência, sendo que, 3 amostras não foram submetidas ao processo de cura, outras 3 amostras foram submetidas a cura úmida, e as amostras restantes foram submetidas a cura química.

Após atingir os 28 dias de idade os corpos de prova foram levados até a SONDA ENGENHARIA, onde foram mantidos na estufa durante 72 h a uma temperatura de aproximadamente  $105 \pm 5$  °C para secagem dos CP's. Depois de secos os CP's foram pesados e em seguida foi registrada a sua massa.

Para a etapa de saturação os CP's foram imersos em água a uma temperatura de  $23 \pm 2$  °C por 72 h, posteriormente foram colocados em um recipiente, onde água foi levada à ebulição e mantida nessa condição por 5 h. Em seguida o material passou pelo processo de resfriamento até atingir a temperatura de  $23 \pm 2$  °C. Finalmente, os CP's foram retirados da água e foi registrada a sua massa saturada, após a determinação da massa seca e saturada foi calculada a porcentagem de absorção.

A absorção média foi calculada com a finalidade de comparar os resultados alcançadas pelos diferentes tipos de cura. Obtida através da média aritmética simples, sendo resultado da divisão do somatório da absorção de cada corpo de prova, pela quantidade de corpos de prova ensaiados, conforme Equação 3.

$$A_m = \frac{\sum A}{n} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

*A<sub>m</sub>* = Porcentagem de absorção média

*n* = Número de corpos de prova ensaiados

*A* = Porcentagem de absorção de cada exemplar

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CONSISTÊNCIA DO CONCRETO

A mistura do concreto foi feita na central, às 9:20 hrs e o caminhão betoneira percorreu aproximadamente 16 km, chegando na obra às 9:54 hrs, e conseqüentemente o ensaio de consistência foi realizado às 10:03 hrs, assim que o caminhão betoneira liberou o material para sua realização. As fôrmas já estavam separas, limpas e umedecidas, ou seja, prontas para iniciar o preenchimento do molde. O preenchimento foi iniciado (Figura 21(a)) e já durante os primeiros golpes para adensamento (Figura 21(b)) foi notório que o concreto estava com uma consistência fluida, o que foi confirmado ao retirar o tronco de abatimento, onde o concreto apresentou alta fluidez a sair do molde na tentativa de espalhamento conforme ilustra a Figura 21(c), evidenciando assim que o valor de *slump* zero era impossível.



Figura 21 – (A) Preenchimento do molde. (B) Adensamento das camadas. (C) Retirada do molde

Após a retirada total do molde, o valor do teste foi obtido, o que confirmou as primeiras evidências durante seu adensamento com resultado de abatimento de

160 mm. O comportamento do concreto após o teste de abatimento pode ser visto na Figura 22.



**Figura 22 – Resultado do Abatimento.**

Sendo assim, conforme Neville (1997) foi possível determinar que o concreto possuiu uma trabalhabilidade considerada muito alta. E, além disso, segundo a ABNT NBR 8953:2015 – Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência, esse tipo de concreto é geralmente empregado em elementos estruturais com lançamento bombeado, o que foi aplicado para este material.

## 5.2 MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

Para o presente estudo, foram utilizados 69 moldes metálicos, consequentemente foram obtidos 69 corpos de provas. O concreto para moldagem foi retirado apenas uma vez de uma única betonada, onde foi utilizado o mesmo concreto em todos os CP's, para que o material utilizado tivesse as mesmas características nas 69 amostras, principalmente o fator água/cimento. Vale ressaltar que a moldagem foi dividida em três partes: preenchimento dos moldes (Figura 23(a)), adensamento (Figura 23 (b)) e por fim o acabamento da face (Figura 23 (c)) atendendo aos critérios estabelecidos na norma.



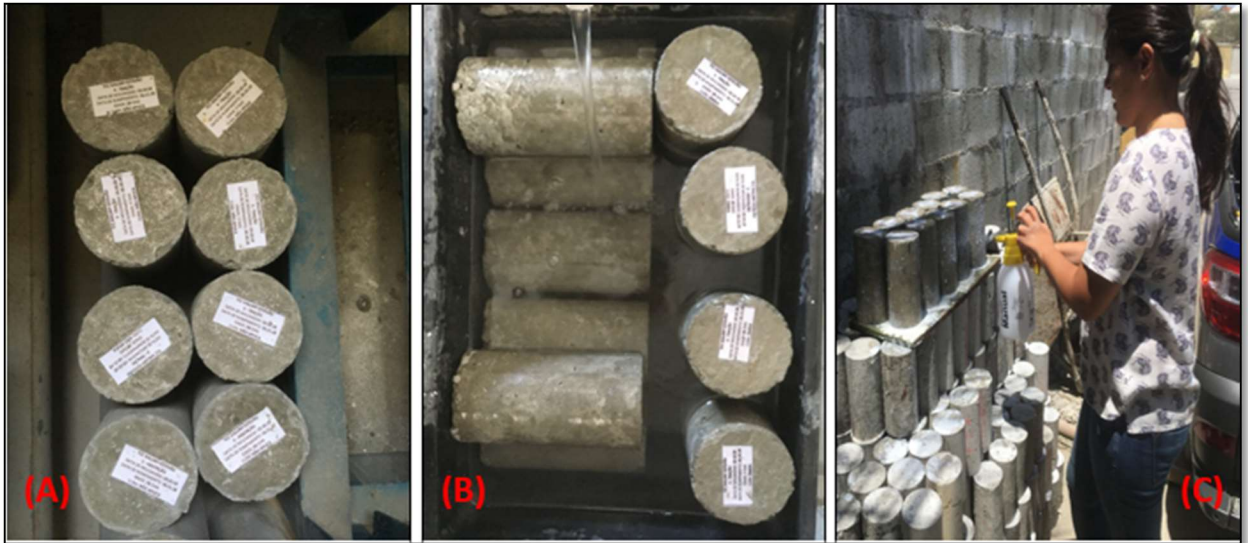
Figura 23 – (A) Preenchimento do molde. (B) Adensamento. (C) Acabamento da face.

Após o período de endurecimento do concreto (24 hrs) os CP's foram desmoldados e foi possível perceber que ocorreu um excelente adensamento, pois os mesmos estavam lisos e sem porosidade expostas, sendo possível observar (Figura 24) que não apresentaram nenhum tipo segregação ou deformação, o que tornou os resultados da moldagem satisfatórios.



**Figura 24 – Corpos de prova desmoldados.**

A etapa de cura não foi realizada em 23 amostras (Figura 25(a)), porém outras 23 amostras foram submetidas a cura úmida (Figura 25(b)) e as amostras restantes ao procedimento de cura química (Figura 25(c)). Assim, as amostras permaneceram nessas condições até a idade da execução dos ensaios, sendo possível verificar a influência da cura na resistência de cada corpo de prova.



**Figura 25 – (A) CP's sem processo de cura. (B) CP's submetidos a cura úmida. (C) Aplicação do agente de cura química.**

### 5.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

#### 5.3.1 Rompimentos dos corpos de prova aos 7 dias

Após os 7 dias de idade, 18 corpos de prova foram retificados e destinados ao ensaio de verificação da resistência à compressão, onde foram analisadas 6 amostras sem cura, 6 amostras com cura úmida e 6 amostras com cura química. Vale ressaltar que a quantidade de amostras escolhidas seguiu as recomendações da ABNT NBR 5739:2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, que recomenda para análise de resistência à compressão no mínimo 3 amostras. Sendo assim, foi possível obter por meio do rompimento axial os resultados referentes a resistência à compressão, de modo que o equipamento utilizado fez a leitura da força máxima alcançada pelos CP's em toneladas, conforme apresentado na Tabela 2



Tabela 2 – Força máxima alcançada pelos corpos de prova aos 7 dias.

FORÇA APLICADA EM TONELADAS			
CORPO DE PROVA	SEM CURA	CURA ÚMIDA	CURA QUÍMICA
1	20,58	21,87	20,72
2	19,54	22,32	19,91
3	20,63	19,55	21,35
4	19,77	21,50	21,14
5	20,23	23,11	20,86
6	20,59	23,02	20,62

A transformação das unidades foi feita conforme detalhado na Tabela 3, e vale ressaltar que a ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, recomenda que no ensaio de 7 dias de idade, o concreto deve possuir 70% da sua resistência final ou no mínimo 22,715 MPa de resistência à compressão, de acordo com o tipo de cimento que foi utilizado. Foi adotado como parâmetro para resistência aos 7 dias o valor de 70% da resistência final ou seja 24,5 MPa.

Tabela 3 – Resistência à compressão dos corpos de prova aos 7 dias.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			
CORPO DE PROVA	SEM CURA	CURA ÚMIDA	CURA QUÍMICA
1	25,698	27,308	25,872
2	<b>24,399</b>	27,870	24,861
3	25,760	24,411	26,659
4	24,686	26,846	26,397
5	25,261	<b>28,857</b>	26,047
6	25,710	28,744	25,747

De todas amostras analisadas, pôde-se observar que a cura úmida obteve em sua quinta amostra o maior valor de resistência à compressão dos CP's analisados, chegando a 82,45% da resistência final, já a segunda amostra dos corpos

de prova sem cura obteve o menor valor quando comparado com todos os outros. Analisando pontualmente essa amostra a mesma não atingiu o esperado pela norma, pois obteve 69,71% da resistência final. Contudo, levando em conta que esta amostra não realizou o processo de cura adequado, o resultado era esperado, pois segundo Bauer (2008), a realização da cura tem o intuito de impedir a evaporação da água de amassamento, responsável pela hidratação do cimento. E por conseguinte, se tratando da cura úmida apenas um CP não obteve resistência acima dos 70% esperados.

Com os resultados apresentados foi possível calcular a resistência média e o desvio padrão para todos as amostras, conforme mostrado na Tabela 4.

**Tabela 4 – Resultado da resistência média ( $f_{cm}$ ) e do desvio padrão ( $S_d$ ) aos 7 dias.**

<b>RESISTÊNCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO (MPa)</b>			
	<b>SEM CURA</b>	<b>CURA ÚMIDA</b>	<b>CURA QUÍMICA</b>
<i>f<sub>cm</sub></i>	25,252	27,340	25,931
<i>S<sub>d</sub></i>	0,343	2,675	0,389

Após a análise da Tabela 4 pôde-se perceber que a cura úmida é o meio mais significativo para obter maiores ganhos de resistência à compressão, pois com ela a hidratação do cimento é feita com maior eficiência, e mesmo que tenha obtido o maior valor de desvio padrão, pois isso aconteceu pela influência de apenas um corpo de prova, e vale lembrar que, esses resultados são referentes ao sétimo dia idade, ou seja, o concreto ainda estava sofrendo reação para obtenção da resistência final.

### **5.3.2 Rompimentos dos corpos de prova aos 28 dias**

Após os 28 dias de idade, foi realizado os ensaios seguindo o mesmo parâmetro dos ensaios de 7 dias, com a mesma quantidade de corpos de prova para cada tipo de cura. De modo que o equipamento fez a leitura da força máxima alcançada pelos CP's em toneladas, conforme apresentado na Tabela 5

Tabela 5 – Força máxima alcançada pelos corpos de prova aos 28 dias.

FORÇA APLICADA EM TONELADAS			
CORPO DE PROVA	SEM CURA	CURA ÚMIDA	CURA QUÍMICA
1	24,49	24,52	22,67
2	23,79	23,85	23,96
3	24,00	24,16	23,17
4	23,08	24,16	23,95
5	22,66	23,52	24,01
6	22,28	24,92	22,59

A transformação das unidades foi feita conforme detalhado na Tabela 6, vale ressaltar que no ensaio de 28 dias de idade, o concreto deve possuir 100% da sua resistência final desejada em projeto, que nesse estudo equivale a 35 MPa.

Tabela 6 – Resistência à compressão dos corpos de prova aos 28 dias.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO ( MPa)			
CORPO DE PROVA	SEM CURA	CURA ÚMIDA	CURA QUÍMICA
1	30,580	30,617	28,307
2	29,706	29,781	29,918
3	29,968	30,168	28,932
4	28,819	30,168	29,906
5	28,295	29,369	29,980
6	<b>27,820</b>	<b>31,117</b>	28,207

Além disto, o material analisado deve estar em conformidade com a nota fiscal (Figura 26) da empresa responsável pela produção do concreto.


[REDACTED]		NF-e											
DATA DE RECEBIMENTO	IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA DO RECEBEDOR		Nº: 66361 Série: 1										
[REDACTED]		<b>DANFE</b> Documento auxiliar da Nota Fiscal Eletrônica Saída: 1 Entrada: 0 <input type="checkbox"/> 1 FL 1 / 1 Nº: 66361 Série: 1											
[REDACTED]		 CHAVE DE ACESSO 2818 1019 4006 0700 0197 5500 1000 0663 6115 3983 6667 Consulta de autenticidade no portal nacional da NF-e www.nfe.fazenda.gov.br ou no site da Sefaz Autorizadora											
NATUREZA DA OPERAÇÃO OUTRAS SAIDAS E OU SERVIÇOS		PROTOCOLO DE AUTORIZAÇÃO DE USO 328180014396608 19/10/2018 09:22:04											
INSCRIÇÃO ESTADUAL	INSCRIÇÃO ESTADUAL SJB. TRIBUTÉRIA	CNPJ											
DESTINATÁRIO/REMETENTE		CNPJ/CPF	DATA DA EMISSÃO										
[REDACTED]		[REDACTED]	19-10-2018										
ENDEREÇO	BAIRRO/DISTRITO	CEP	DATA DA ENTRADA/SAÍDA										
[REDACTED]	[REDACTED]	49.160-000	19-10-2018										
MUNICÍPIO	FONE/FAX	UF	INDICADOR IE										
[REDACTED]	[REDACTED]	SE	1-Contribuinte										
INSCRIÇÃO ESTADUAL		HORA DA ENTRADA/SAÍDA											
[REDACTED]		09:20:00											
CÉLCULO DO IMPOSTO													
BASE DE CÉLCULO DE ICMS	VALOR DO ICMS	BASE DE CÉLC. DE ICMS ST	VALOR DO ICMS ST	VALOR TOTAL DOS PRODUTOS									
0,00	0,00	0,00	0,00	1.573,04									
VALOR DO FRETE	VALOR DO SEGURO	DESCONTO	OUTRAS DESP. ACESSÓRIAS	VALOR DO IPI	VALOR TOTAL DA NOTA								
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.573,04								
TRANSPORTADOR/VOLUMES TRANSPORTADOS													
RAZÃO SOCIAL		FRETE POR CONTA	CI DÍGITO ANTT	PLACA VEÍCULO	UF								
[REDACTED]		3 - Próprio Rem		[REDACTED]	SE								
ENDEREÇO		MUNICÍPIO	UF	INSCRIÇÃO ESTADUAL									
[REDACTED]		[REDACTED]	SE	[REDACTED]									
QUANTIDADE	ESPÉCIE	MARCA	NUMERAÇÃO	PESO BRUTO	PESO LÍQUIDO								
DADOS DO PRODUTO/SERVIÇO													
CI D. PROD.	DESCRIÇÃO DO PRODUTO/SERVIÇO	NCM/SH	CST	CFOP	UNID	QTD.	VLR.UNIT.	VLR.TOTAL	BC.ICMS	VLR.ICMS	VLR.IPI	ALÍQUOTAS ICMS	IP
22	FCK 35 MPA BOMBEADO CIMENTO CPII-F40 AF B0 B1 AD. POLIFUNCIONAL	38160090	040	5949	M <sup>3</sup>	8,0000	196,6300	1.573,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 26 – Nota fiscal emitido pela empresa fornecedora do concreto analisado.

De todas as amostras analisadas, pôde-se observar que a cura úmida obteve em sua última amostra o maior valor de resistência à compressão dos CP's analisados, chegando a 88,91% da resistência final. Contudo, esses resultados de compressão são insatisfatórios pois o valor mínimo a ser alcançado era de 35 MPa. Analisando os corpos de prova que não passaram por nenhum processo de cura, foi possível observar que a sua última amostra obteve o menor valor de resistência à compressão quando comparado com todos os outros, chegando somente a 79,49% da resistência final que deveria ser alcançada.

Analisando os corpos de prova de maneira geral, os resultados obtidos foram desfavoráveis visto que nenhum CP alcançou a sua resistência final

recomendada. Logo, as possíveis causas para que os resultados esperados não tenham sido alcançados são, a dosagem incorreta dos constituintes do concreto e a má qualidade do cimento utilizado. Sendo assim, fica claro por meio destes testes a importância de realizar testes de compressão axial e a relevância dos dados obtidos com o mesmo. O uso de concretos inadequados ou que não atendem os requisitos mínimos da norma podem comprometer a qualidade da sua construção levando a riscos indesejáveis.

Com os resultados apresentados foi possível calcular a resistência média e o desvio padrão para todas as amostras, conforme mostrado na Tabela 7.

**Tabela 7 – Resultado da resistência média ( $f_{cm}$ ) e do desvio padrão ( $S_d$ ) aos 28 dias.**

<b>RESISTÊNCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO (MPa)</b>			
	<b>SEM CURA</b>	<b>CURA ÚMIDA</b>	<b>CURA QUÍMICA</b>
<i><math>f_{cm}</math></i>	29,198	30,203	29,208
<i><math>S_d</math></i>	1,124	0,377	0,695

Após a análise da Tabela 7, pôde-se perceber que a cura úmida continua sendo o meio mais significativo para obter maiores ganhos de resistência à compressão valendo ressaltar que obteve o menor desvio padrão, embora este também não tenha alcançado a resistência final esperada.

#### 5.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

##### 5.4.1 Rompimentos dos corpos de prova aos 7 dias

Após os 7 dias de idade, 12 corpos de prova foram destinados ao ensaio de verificação da resistência à tração, onde foram analisadas 4 amostras sem cura, 4 amostras com cura úmida e 4 amostras com cura química. Vale ressaltar que a quantidade de amostras escolhidas seguiu as recomendações da norma. Sendo assim, foi possível obter por meio do rompimento diametral onde os resultados iniciais obtidos pelo equipamento apresentando a força máxima alcançada pelos CP's em toneladas, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Força máxima obtida pelos corpos de prova no ensaio aos 7 dias.

FORÇA APLICADA EM TONELADAS			
CORPO DE PROVA	SEM CURA	CURA ÚMIDA	CURA QUÍMICA
1	9,41	8,41	10,22
2	9,81	7,83	7,04
3	6,99	6,59	10,00
4	7,24	9,38	8,25

A transformação das unidades foi feita conforme detalhado na Tabela 9, e como parâmetros de análise dos valores obtidos, e segundo Neville (1997) a resistência à tração final do concreto corresponde a 10% da sua resistência final a compressão. Logo, como o concreto utilizado tinha como resistência final à compressão 35MPa entende-se através da afirmação do autor que, o mesmo deve obter aproximadamente 3,5MPa de resistência final à tração aos 28 dias. Igualmente, a resistência a compressão que para 7 dias deve ser de 70% da sua resistência final, leva a estimativa desse percentual também para a resistência à tração nessa mesma idade, ou seja, aos 7 dias a resistência à tração deveria ser de aproximadamente 2,45MPa.

Tabela 9 – Resistência à tração dos corpos de prova aos 7 dias.

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)			
CORPO DE PROVA	SEM CURA	CURA ÚMIDA	CURA QUÍMICA
1	2,937	2,625	<b>3,190</b>
2	3,062	2,444	2,198
3	2,182	<b>2,057</b>	3,122
4	2,260	2,928	2,575

Contudo, de todas amostras analisadas, pôde-se observar que a cura úmida obteve em sua terceira amostra o menor valor de resistência à tração quando comparado com todos os outros CP's analisados. Já a primeira amostra dos corpos de prova com cura química obteve o maior valor, chegando a 9,11% da resistência à

compressão final. Logo, da totalidade de amostras analisadas, apenas 5 amostras ficaram abaixo do esperado, sendo 2 amostras sem cura, 2 amostras com cura úmida, e apenas uma amostra da cura química.

Com os resultados apresentados foi possível calcular então a resistência média e o desvio padrão para todas as amostras, conforme mostrado na Tabela 10.

**Tabela 10 – Resultado da resistência média ( $f_{cm}$ ) e do desvio padrão ( $S_d$ ).**

<b>RESISTÊNCIA MÉDIA E DESVIO PADRÃO (MPa)</b>			
	<b>SEM CURA</b>	<b>CURA ÚMIDA</b>	<b>CURA QUÍMICA</b>
<i>f<sub>cm</sub></i>	2,610	2,514	2,771
<i>S<sub>d</sub></i>	0,206	0,132	0,222

Após a análise da Tabela 10, pôde-se perceber que, mesmo com procedimento de curas diferentes, todas as médias de resistência à tração aos 7 dias passaram da resistência esperada. Além disso, notou-se que a cura química foi o método com maior resultado para a resistência média a tração, obtendo cerca de 7,76% da resistência à compressão final, passando assim do esperado que era de 7% (70% aos 7 dias, referente aos 10% da resistência final à compressão).

#### **5.4.2 Rompimentos dos corpos de prova aos 28 dias**

Após os 28 dias de idade, foram destinados ao ensaio de verificação da resistência à tração a mesma quantidade de corpos de prova do ensaio aos 7 dias de idade, seguindo os mesmos parâmetros e recomendações. Sendo assim, foi possível obter por meio do rompimento diametral os resultados de modo que o equipamento utilizado fez a leitura da força máxima alcançada pelos CP's em toneladas, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Força máxima alcançada pelos corpos de prova aos 28 dias.

CARGA APLICADA EM TONELADAS			
CORPO DE PROVA	SEM CURA	CURA ÚMIDA	CURA QUÍMICA
1	9,29	8,82	9,40
2	9,75	8,49	8,07
3	6,46	9,56	9,83
4	8,40	9,53	6,86

A transformação das unidades foi feita conforme detalhado na Tabela 12, e como parâmetros de análise dos valores obtidos. Sendo assim, seguindo a afirmação anterior de Neville (1997), entende-se que a resistência à tração final do concreto deve ser de aproximadamente 3,5MPa aos 28 dias.

Tabela 12 – Resistência à tração dos corpos de prova aos 28 dias.

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)			
CORPO DE PROVA	SEM CURA	CURA ÚMIDA	CURA QUÍMICA
1	2,900	2,753	2,934
2	3,044	2,650	2,519
3	<b>2,017</b>	2,984	<b>3,069</b>
4	2,622	2,975	2,141

Analisando as amostras, pôde-se observar que a cura química obteve em sua terceira amostra o maior valor de resistência à tração quando comparado com todos os outros CP's analisados, já a terceira amostra dos corpos de prova sem cura obteve o menor valor, sendo essa 5,76% da resistência à compressão final. Logo, de todas as amostras analisadas, nenhuma atingiu à resistência esperada, assim como no ensaio de resistência à compressão. Estes dados eram esperados uma vez que o aumento ou a diminuição da resistência à compressão afeta diretamente nos resultados de tração, visto que existe linearidade entre ambos os resultados. Foi possível observar a disparidade de valores nos ensaios de 7 e 28 dias dos CP's, onde



no primeiro ensaio realizado aos 7 dias de idade, a cura química apresentou um ótimo desempenho de resistência à tração, já no segundo realizado aos 28 dias de idade teve uma diminuição na sua resistência.

Com os resultados apresentados foi possível calcular a resistência média e o desvio padrão para todas as amostras, conforme mostrado na Tabela 13.

**Tabela 13 – Resultado da resistência média ( $f_{cm}$ ) e do desvio padrão ( $S_d$ ).**

<b>DESVIO PADRÃO E RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)</b>			
	<b>SEM CURA</b>	<b>CURA ÚMIDA</b>	<b>CURA QUÍMICA</b>
<i>f<sub>cm</sub></i>	2,646	2,841	2,666
<i>S<sub>d</sub></i>	0,206	0,028	0,177

Após a análise da Tabela 13, pôde-se perceber que, mesmo com procedimento de curas diferentes, todas as médias de resistência à tração aos 7 dias não atingiram a resistência esperada, ou seja, não chegaram aos 3,5 MPa. Além disso, notou-se que a cura úmida foi o método com maior resultado para a resistência média a tração.

Resultados similares foram encontrados por Rosa e Lopes (2016) ao analisar concretos fornecidos em obras de pequeno porte na cidade de Maringá-PR. Em seus estudos, ao analisar o teste de compressão, os valores finais obtidos foram igualmente insatisfatórios, não atingindo o valor mínimo recomendado, mesmo após transcorridos os 28 dias. Por meio de análises *in situ*, os autores notaram que a preparação do concreto utilizado apresentava um erro experimental, onde para aumentar a fluidez do produto e facilitar seu bombeamento, era feito uso excessivo de água. Como discutido previamente em revisão bibliográfica, o excesso de água na composição do concreto contribui para o aumento da fragilidade do material (MEDEIROS, 2017), o que pode ser a justificativa para o problema encontrado no presente estudo.

## 5.5 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO

Com o intuito de verificar se o procedimento de cura influencia na capacidade de absorção do concreto, as amostras sem cura, com cura úmida e com cura química foram analisadas após seus 28 dias de idade, e dessa forma foi possível obter as massas e absorção de água, por meio da secagem e saturação das amostras, conforme Tabela 14.

**Tabela 14 – Resultados obtidos através do ensaio de absorção.**

TIPO DE CURA	CORPOS DE PROVA (CP)	MASSA SECA (g)	MASSA SATURADA (g)	ABSORÇÃO (%)	ABSORÇÃO MÉDIA (%)
SEM CURA	CP 1	3521,63	3730,74	5,94	6,22
	CP 2	3452,00	3685,05	6,75	
	CP 3	3548,52	3760,09	5,96	
CURA ÚMIDA	CP 1	3595,40	3761,32	4,61	5,62
	CP 2	3488,93	3712,12	6,40	
	CP 3	3537,07	3743,73	5,84	
CURA QUÍMICA	CP 1	3449,39	3678,63	6,65	6,36
	CP 2	3519,62	3729,73	5,97	
	CP 3	3476,03	3700,30	6,45	

Analisando as amostras, pôde-se observar que a cura química obteve com o maior valor médio da absorção de água, sendo este 6,36%, quando comparado com todos os outros CP's analisados.

Esses resultados comprovam a afirmação de Sabatini (1984), que quanto maior é a absorção de água, menor é a resistência a compressão. De acordo com os resultados dessa pesquisa, as amostras sem cura e com cura química apresentaram maior permeabilidade, e dessa forma, suas resistências foram menores conforme visto nos resultados de resistência à compressão. Logo, por mais que todos os corpos

de provas ensaiados tenham passado pela estufa, as amostras em cura úmida perderam menos a água de amassamento, pois estavam saturadas em meio aquoso. Dessa forma obtiveram uma média de massa seca equivalente a 3540,46g, que representa uma massa maior que a média das duas outras amostras, que foram de 3.507,38g para as amostras sem cura e 3.481,68g para as amostras com cura química.

Resultados similares foram encontrados por Calvani (2018) quando propondo a elaboração de uma nova espécie de cimento com dosagens variadas de pó de serra em sua composição. Conforme estudos realizados, notou-se que a medida que a dosagem de pó de serra era aumentada, os valores suportados no processo de compressão do concreto eram inferiores, reduzindo sua capacidade inicial de 32 MPa. Neste caso, o pó de serra era considerado como alternativa ao uso de agregados miúdos e proposto como uma forma de reutilização de resíduos.

No presente trabalho, levando-se em conta a similaridade dos resultados obtidos indiferente do tipo de cura aplicado, é possível deduzir que situação similar é vista. Desta forma, a composição do concreto utilizado possivelmente apresenta uma dosagem excessiva de agregados miúdos, o que contribui negativamente e justificaria os resultados insatisfatórios encontrados.

Contudo, maiores estudos para identificar de forma adequada o problema na preparação do concreto utilizado é indispensável. De acordo com Machado e Piccinini (2018), o uso de agregados miúdos variados, como concreto de pós reativos (CPR) – que não leva agregado graúdo, pode garantir melhor empacotamento do concreto. No estudo realizado por estes, o concreto apresentando adição de CPR possui uma resistência de compressão superior a 70 MPa e por meio de análises microscópicas, atribuiu-se essa melhora significativa a maiores teores de empacotamento do material.

Por fim, considerando os resultados obtidos para ensaios de absorção, testes de compressão e tração aplicados nas amostras analisadas, é evidente que o material precisa ser analisado em maiores detalhes de forma a identificar a etapa falha e sanar os possíveis problemas em sua elaboração.

## 6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento das normas da ABNT permite a padronização dos materiais e garante a qualidade dos produtos fornecidos na construção civil. Por garantir que os materiais utilizados durante a construção civil estejam todos de acordo com a norma certifica-se a segurança estrutural do edifício. Assim, o presente trabalho buscou por meio de testes regulamentados de compressão, tração por compressão diametral e absorção de água por imersão determinar a qualidade do concreto fornecido para análise.

Dada a simplicidade dos testes propostos, os resultados foram obtidos para análise dentro de um período de 28 dias e comparados com a norma e os valores estimados para o uso final do concreto. Por meio destes ficou claro que o produto fornecido não atingiu de forma satisfatória o valor mínimo de 35 MPa em nenhum dos casos analisados. Buscava-se com o presente trabalho determinar as vantagens e melhorias alcançadas com os vários tipos de curas propostos (cura úmida, química e sem cura). Contudo, notou-se que os resultados apresentam em média uma alteração de apenas 10% nos valores obtidos para os testes aplicados.

Assim, a alteração no método de cura não representou uma alternativa viável para melhora do concreto estudado. De fato, o presente trabalho comprovou que o custo adicional da aplicação de curas variadas (tais como a cura química) não representa vantagem comercial para o fabricante. Mais importante, por meio das análises realizadas ficou comprovado que em nenhum dos casos estudados, houve resultados satisfatórios quanto à resistência à compressão.

Neste caso, sugere-se que novos estudos, analisando variações na composição do concreto, sejam realizados. O intuito dessa análise seria de determinar as possíveis causas para este desempenho do concreto utilizado procurando sanar e adequar o produto final.

Assim, o presente trabalho foi capaz de identificar o uso de concreto de qualidade inferior à recomendação estabelecida em Norma ABNT pela empresa escolhida. Considerando os riscos associados com o uso de tal material, sugere-se a correção da composição, ou realização de maiores estudos para identificação e solução do problema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÍTCIN, P. C. Concreto de alto desempenho. São Paulo: PINI, 2000

ALMEIDA, L. C. Concreto. Monografia (Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL (ABESC). Manual do concreto dosado em central. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15900 - 1: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9479: Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5733: Cimento Portland alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12989: Cimento Portland branco. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 11578: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5732: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13116 Cimento Portland de baixo calor de hidratação. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5736: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5737: Cimento Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15558: Concreto - Determinação da exsudação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12142: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

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 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10787: Concreto endurecido — Determinação da penetração de água sob pressão. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10786: Concreto endurecido — Determinação do coeficiente de permeabilidade à água. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 67: Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739: Ensaios de Compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7212: Execução de concreto dosado em central — Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

BASTOS, P. K. X. Construção de Edifícios. Universidade Federal de Juiz de Fora – MG, 2011.

BAUER, L. A. F. Materiais da construção. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BAUER, L. A. F. Materiais de Construção 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2008.

BAUER, L. A. F. Materiais de Construção 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2012.

BAUER, L. A. F. (Coord.). Materiais de construção. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2011.

BAUER, L. A. F. A CURA DO CONCRETO: Métodos e Materiais. Boletim nº 32, São Paulo, 33p. 1991.

CALVANI, C. C. Aproveitamento do pó de serra no concreto: avaliação das propriedades físicas e mecânicas, Journal of experimental techniques and instrumentation, v.1, n.3, 2018.

FARIA, R. Concreto não conforme. Revista Técnica, novembro, 2009. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/152/artigo287700-2.aspx>>. Acessado em: 21 de Setembro de 2018.



FUSCO, P. B. Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados. 1 ed. São Paulo, SP: PINI, 2008.

GONCALVES, J. R.; ALMEIDA, I.R.; SHEHATA, L. C. D., “Influência do Tipo de Agregado Graúdo nas Propriedades do Concreto de Alta Resistência”, Anais, 36ª Reibrac – Instituto Brasileiro do Concreto, Porto Alegre-RS, 1994.

GUIMARÃES, A. T. C.. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. Rio de Janeiro, RJ: IBRACON, 2005.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: PINI; Brasília: SENAI, 1992.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R. Manual e dosagem e controle do concreto. São Paulo: PINI, 1993.

HELENE, P.; LEVY, S. Boletim Técnico – Cura do Concreto. Mérida, México: ALCONPAT, 2013. Disponível em:<<http://alconpat.org.br/wpcontent/uploads/2012/09/B8-Cura-do-concreto.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2018

ISAIA, G. C. Concreto ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

LIMA, F.B. Produção e controle de qualidade do concreto. Maceió, Brasil. Ed. EDUFAL, 2003.

MACHADO, G. F.; PICCININI, A. C.; Análise experimental do comportamento do concreto de pós reativos – CPR com.e sem fibras. Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil (UNESC), v. 1, n. 1, 2018.

MAGALHÃES, FÁBIO.C. Concreto de cimento Portland – Especificações e ensaios. Rio Grande do Sul: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – campus Rio Grande, 2011.

MASCOLO, R. Concreto Usinado: Análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira. 2012. 130 f. Tese (mestrado em engenharia civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MEDEIROS, M. H. F.; ROCHA, F. C.; MEDEIROS – JUNIOR, R. A.; HELENE, P.; Potencial de corrosão: influência da umidade, relação água/cimento, teor de clores e cobrimento. Revista IBRACON de estruturas e materiais, v. 10, n. 4, 2017.

MEHTA, P K.; MONTEIRO, P. J M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: PINI 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 1ª Edição, São Paulo, IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

NEVILLE, A. M. Tecnologia do concreto. 2. Ed. – Porto Alegre: BOOKMAN, 2013.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5. ed. Porto Alegre: BOOKMAN 2016.

NEVILLE, A. M., BROOKS J. J. Tecnologia do Concreto; tradução: Ruy Alberto Cremonini. – 2. ed. – Dados eletrônicos. - Porto Alegre: BOOKMAN, 2013.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2. ed. Porto Alegre: BOOKMAN, 2013.

PACHECO, J. E HELENE P, Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: Geraldo C. Isaia (Org). Concreto: Ciência e Tecnologia. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Revista Concreto e Construção: IBRACON, n. 53, 2009.

PETRUCCI, E. Concreto de cimento Portland. São Paulo: Ed. GLOBO 1998.

PETRUCCI, E. Concreto de Cimento Portland. 14 ed., revisado por Vladimir A. Paulo São Paulo: Ed. GLOBO, 2005.

ROSA, F. A.; LOPES, A. A. Análise de resistência à compressão e características do concreto produzido em obras de pequeno porte na região norte da cidade de Maringá – PR, vol. 28, n. 3, 2016.

SALUM, P. L. Efeito da elevação de temperatura sobre a resistência à compressão de concretos massa com diferentes teores de cinza volante. 2016. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SEFRIAN, HUGO. P. Conheça as alternativas para fazer a cura de elementos de concreto. Revista Técnica, dezembro de 2015. Disponível em:< <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/201/conheca-as-alternativas-para-fazer-a-cura-de-elementos-de-302570-1.aspx>> Acessado em: 21 de Setembro de 2018.

STRAVIA. Areia. Disponível em:< <http://www.stavias.com.br/produto/areia/>> Acesso em 21 de Setembro de 2018.

TARTUCE, R. Dosagem experimental do concreto, 1ª ed. São Paulo, PINI: IBRACON, 1989.

TUTIKIAN, B.; DAL MOLIN, D. C. Concreto auto-adensável. São Paulo: PINI, 2008.

VALIN JR, M. O.; LIMA, S. M. Influência dos procedimentos de cura na resistência e absorção do concreto. In: 51º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO/IBRACON, 2009. Curitiba. Disponível em:< <http://www.mvalin.com.br/products/influ%C3%Aancia-dos-procedimentos-de-cura-na-resist%C3%Aancia-e-absor%C3%A7%C3%A3o-do-concreto/>>. Acesso em: 12 ago. 2018.