



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA PARA OTIMIZAÇÃO DA CURA  
A VAPOR EM CONCRETO UTILIZADO EM INDÚSTRIAS DE PRÉ-  
MOLDADOS**

Ismael Luís Mädke

Lajeado, julho de 2018

Ismael Luís Mädke

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA PARA OTIMIZAÇÃO DA CURA  
A VAPOR EM CONCRETO UTILIZADO EM INDÚSTRIAS DE PRÉ-  
MOLDADOS**

Monografia apresentada na disciplina de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Douglas Ferreira Velho

Lajeado, julho de 2018

Ismael Luís Mádke

## **ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA PARA OTIMIZAÇÃO DA CURA A VAPOR EM CONCRETO UTILIZADO EM INDÚSTRIAS DE PRÉ- MOLDADOS**

A banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do Curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Me. Douglas Ferreira Velho – Orientador  
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Me. Ivandro Carlos Rosa – Avaliador  
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Me. Rodrigo Spinelli – Avaliador  
Universidade do Vale do Taquari

Lajeado, julho de 2018

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha família, em especial aos meus pais Celson e Maria Vernisa, a minha irmã Raquel, minha esposa Kátia e minha amada filha Ana Clara, que são incondicionalmente a razão de nunca ter desistido dos meus objetivos, me apoiando em todos os momentos desta conquista.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por iluminar meu caminho todos os dias da minha vida.

Aos meus pais Celson e Maria Vernisa, também a minha irmã Raquel, que foram as pessoas que me ensinaram a nunca desistir, em especial ao meu pai amado, pessoa que mais admiro na vida, por ser uma pessoa forte, honesta e batalhadora na qual pude me espelhar.

A minha esposa Kátia, pelo seu amor, carinho, lealdade e compreensão aos momentos que estive ausente me dedicando a este trabalho e mesmo assim sempre estando ao meu lado, me dando apoio e coragem.

A minha amada e querida filha Ana Clara, que é a razão do meu viver, pessoa que fez cada dia dessa árdua caminhada um prazer de se viver com o seu amor e carinho ao qual serei eternamente grato.

Ao meu orientador Prof. Me. Douglas Ferreira Velho, que foi além de sua função se tornando um grande amigo, pela sua disposição, dedicação e pelo enorme conhecimento a mim transmitido.

Enfim, expresso meu agradecimento e carinho a todos que fizeram e fazem parte da minha vida e que de uma maneira ou de outra, também fazem parte deste trabalho.

*“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande.  
Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de  
qualquer jeito!”*

*(Martin Luther King)*

## RESUMO

O constante crescimento e desenvolvimento no setor da construção civil faz com que elementos pré-moldados sejam cada vez mais utilizados, pois proporcionam maior economia financeira, agilidade, racionalização e industrialização quando comparado a técnicas convencionais de concreto armado. As indústrias do ramo de pré-moldados, por conta disso, buscam alternativas de otimização do processo produtivo a fim de torná-lo mais eficiente sem perdas de qualidade no produto acabado. Um fator relevante para essas indústrias é a agilidade na reutilização dos moldes visando à alta produtividade do sistema. O objetivo deste trabalho é avaliar a resistência à compressão axial e absorção de água de concretos submetidos a três condições de cura empregadas na prática pelas indústrias de pré-moldados, sendo elas: Cura Térmica 80°C convencional, Cura Térmica 80°C otimizada 1 e Cura Térmica 80°C otimizada 2. Esse trabalho propõe a otimização do processo de cura aplicado em estruturas de concreto armado. Para a obtenção dos resultados, foram analisadas a resistência à compressão axial do concreto nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias, e absorção de água do concreto na idade de 28 dias. Para alcance dos resultados foi utilizado concreto usinado com cimento Portland de alta resistência inicial CPV-ARI RS de uma indústria de pré-moldados localizada na cidade de Teutônia/RS. Os resultados obtidos aos 28 dias resultaram em uma queda na resistência a compressão de 33,7% para a cura otimizada 1 e de 45,7% para a cura otimizada 2 quando comparados com o método de cura convencional, já para a absorção de água aos 28 dias se teve um acréscimo na absorção de água de 0,3% para a cura otimizada 1 e de 1% para a cura otimizada 2 quando comparados com o método de cura convencional, tais resultados permitiram avaliar o melhor método de cura a ser empregado, visando acréscimos na durabilidade e na qualidade do concreto.

**Palavras-chaves:** Cura térmica, concreto armado, compressão axial, pré-moldado.

## LISTA DE ABREVIações

ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

A/C – Água Cimento

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Alumina

ARI – Alta resistência inicial

C3A – Aluminato Tricalcico

C3S – Silicato Tricalcico

CAA – Concreto autoadensável

CaO – Cal

CP – Cimento Portland

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Óxido de ferro

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NM – Norma Mercosul

SiO – Silica

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de Cura Térmica.....	34
Figura 2 – Cimento.....	39
Figura 3 – Areia média.....	39
Figura 4 – Areia fina.....	40
Figura 5 – Brita.....	40
Figura 6 – Resultados Analíticos da Água.....	41
Figura 7 – Aditivo.....	42
Figura 8 – Central dosadora de concreto.....	43
Figura 9 – Slumpflowtest.....	43
Figura 10 – Moldes para corpo de prova.....	44
Figura 11 – Termostato.....	45
Figura 12 – Câmara de cura.....	45
Figura 13 – Prensa hidráulica.....	46
Figura 14 – Câmara de cura a vapor.....	48
Figura 15 – Fluxograma.....	52
Figura 16 – Distribuição granulométrica da areia média.....	55
Figura 17 – Distribuição granulométrica da areia fina.....	56
Figura 18 – Distribuição granulométrica da brita 0.....	57
Figura 19 – Resistência à compressão ao longo da idade.....	61
Figura 20 – Queda na resistência em relação ao modelo convencional.....	62
Figura 21 – Absorção de água aos 28 dias.....	63

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ranking por tipo de obra .....	17
Quadro 2 – Possíveis vantagens e desvantagens do uso de pré-moldados.....	22
Quadro 3 – Características do Cimento CP V ARI-RS.....	38
Quadro 4 – Traço utilizado .....	47
Quadro 5 – Tolerância para a idade de ensaio .....	50
Quadro 6 – Caracterização física e granulométrica areia média.....	54
Quadro 7 – Caracterização física e granulométrica areia fina.....	55
Quadro 8 – Caracterização física e granulométrica areia fina.....	57
Quadro 9 – Resistência média à compressão, desvio padrão e coeficiente de variação, ao longo da idade .....	60
Quadro 10 – Absorção de água, aos 28 dias .....	62

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Objetivos da pesquisa .....</b>	<b>13</b>
1.1.1 Objetivo geral .....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
<b>1.2 Delimitações da pesquisa.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Pré-moldados .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Histórico do concreto pré-moldado.....	16
2.1.2 Tipos de pré-moldados.....	18
2.1.3 Vantagens e desvantagens do pré-moldado .....	20
<b>2.2 Concreto.....</b>	<b>23</b>
2.2.1 Composição do concreto.....	24
2.2.1.1 Cimento Portland.....	24
2.2.1.1.1 Tipos de cimento Portland.....	25
2.2.1.2 Agregados.....	27
2.2.1.3 Água.....	28
2.2.1.4 Aditivos.....	29
2.2.2 Concreto auto-adensável .....	30
<b>2.3 Cura do Concreto .....</b>	<b>31</b>
2.3.1 Cura ao ar .....	31
2.3.2 Cura úmida.....	32
2.3.3 Cura térmica.....	32
<b>2.4 Resistência do Concreto .....</b>	<b>34</b>
2.4.1 Influências na Resistência do Concreto .....	35
<b>2.5 Absorção de Água do Concreto.....</b>	<b>36</b>

<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1 Materiais.....</b>	<b>38</b>
3.1.1 Cimento.....	38
3.1.2 Areia média .....	39
3.1.3 Areia Fina .....	40
3.1.4 Brita .....	40
3.1.5 Água.....	41
3.1.6 Aditivo.....	41
<b>3.2 Equipamentos.....</b>	<b>42</b>
3.2.1 Central dosadora de concretos .....	42
3.2.2 Slumpflowtest.....	43
3.2.3 Moldes para corpo de prova.....	43
3.2.4 Caldeira a vapor .....	44
3.2.5 Termostato .....	44
3.2.6 Câmara de cura.....	45
3.2.7 Prensa hidráulica.....	45
<b>3.3 Métodos.....</b>	<b>46</b>
3.3.1 Dosagem.....	46
3.3.2 Moldagem dos Corpos de Prova .....	47
3.3.3 Cura.....	48
3.3.3.1 Cura Térmica 80°C Convencional .....	48
3.3.3.2 Cura Térmica 80°C Otimizada 1 .....	49
3.3.3.3 Cura Térmica 80°C Otimizada 2.....	49
3.3.4 Ensaio de Compressão .....	50
3.3.5 Ensaio de Absorção de Água .....	51
<b>3.4 Fluxograma .....</b>	<b>51</b>
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1 Caracterização dos Materiais .....</b>	<b>53</b>
4.1.1 Agregados .....	53
4.1.1.1 Areia média .....	53
4.1.1.2 Areia fina .....	55
4.1.1.3 Brita 0.....	56
4.1.2 Resistência à compressão .....	58
4.1.3 Absorção de água .....	62
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil, enquanto indústria, vive já há alguns anos um momento de busca pela qualificação. Há, especificamente no Brasil, um cenário de escassez de mão de obra qualificada, baixa produtividade e qualidade dos serviços, aliado à necessidade de racionalizar recursos. Dessa forma, a industrialização se faz cada vez mais presente e necessária na construção civil brasileira. Nesse contexto, a indústria de pré-fabricados cresce ano a ano, no intuito de aumentar a produtividade (ABCIC, 2013) .

Porém é necessário que se mantenham padrões de qualificação e, para se obter um produto com elevada qualidade, o seu processo de fabricação deve ser controlado minuciosamente. Um ponto importante nesse aspecto é a resistência à compressão do concreto. A negligência do valor mínimo desta resistência para cada diferente etapa, acarretará ao fim do processo, em danos muitas vezes irreparáveis. O que define, principalmente, a resistência à compressão do concreto é sua relação água/cimento, sendo influenciada por algumas variáveis. Uma delas é a cura, que apresentando variações, pode influenciar nas reações de hidratação do cimento, as quais conferem resistência ao sistema.

Existem diversas maneiras de executar a cura do concreto, podendo-se variar temperatura ou pressão no ambiente em que o material se encontra. Tais procedimentos incitam a hidratação do cimento, através do controle do tempo, temperatura e condições de umidade, imediatamente após a colocação do concreto nas formas. Com isso, busca-se evitar a perda de água de amassamento da mistura.

Quando bem realizada, a água é mantida no interior do concreto até que os espaços inicialmente ocupados por esta sejam ocupados pelos produtos da hidratação do cimento, colaborando para a redução da porosidade do concreto e, conseqüentemente, para o aumento da resistência mecânica e durabilidade do material (ABDI, 2015).

Para a realização desses procedimentos observou-se que existem normas legais que devem ser rigorosamente respeitadas. O dimensionamento de estruturas de concreto no Brasil, por exemplo, deve atender especificações da NBR 6118 (ABNT, 2014), assim como os parâmetros de durabilidade.

Outras normas observadas no presente trabalho: Instrução da NBR 9062 (ABNT, 2006) que estabelece diretrizes para o projeto e a execução de estruturas pré-moldadas, além da NBR 5738 (ABNT, 2008) que trata dos procedimentos para moldagem e cura dos corpos de prova, da NBR 5739 (ABNT, 2007) que trata do ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos e da NBR 7211 (ABNT, 2005) que estabelece especificações relativas a agregados para concreto.

## **1.1 Objetivos da pesquisa**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Realizar uma avaliação comparativa entre três diferentes métodos de cura térmica a vapor a ser empregado em concretos fabricados com cimento Portland de alta resistência inicial utilizados na fabricação de estruturas pré-moldadas.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Determinar a resistência à compressão axial nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias;
- Analisar o efeito dos diferentes métodos de cura térmica a vapor na absorção de água aos 28 dias;

- Correlacionar os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e absorção aos 28 dias.

## **1.2 Delimitações da pesquisa**

Para a realização deste estudo não foram consideradas geometrias e dimensões dos elementos na obtenção dos resultados de compressão axial e absorção de água. Os moldes utilizados nos ensaios foram corpos de prova com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura conforme preconiza NBR 5738 (ABNT,2008).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A industrialização no setor da construção civil se deu a partir do deslocamento dos processos convencionais para a fábrica, combinado com elementos da produção seriada por meio da pré-fabricação de componentes (LINNERBOCK, 2012 *apud* ABDI, 2015).

Tal fator representa um grande avanço na racionalização dos processos construtivos, estando associado tanto à produção dos componentes em ambiente industrial quanto na montagem em canteiros de obras, possibilitando assim melhores condições de controle e a adoção de novas tecnologias (ABDI, 2015).

### 2.1 Pré-moldados

Denominam-se estruturas pré-moldadas de concreto as estruturas que são moldadas em um local diferente do ponto de instalação, podendo ser moldadas em fábricas especializadas ou no próprio canteiro de obras. São elementos estruturais, como pilares, vigas, lajes, entre outros, que atingem determinada resistência antes da montagem final na obra. Por isso também são chamadas de estruturas pré-fabricadas (BRUMATTI, 2008).

Porém, segundo a NBR 9062 (ABNT, 2006) existem diferenças técnicas entre elementos pré-moldados e elementos pré-fabricados:

- elemento pré-moldado é o executado fora de seu local de utilização na estrutura e, posteriormente, montado;

- elemento pré-fabricado é o executado industrialmente, em condições mais rigorosas de controle de qualidade.

As estruturas pré-moldadas ainda podem ser divididas em concreto armado e concreto protendido. As estruturas em concreto armado, são chamadas assim, pois são feitas as armaduras passivas com aço, que posteriormente são levadas para dentro das formas onde são concretadas. Estes elementos possuem peso mais elevado, vãos menores e execução mais simples. Já os elementos em concreto protendido são peças submetidas a um sistema de força especial permanentemente aplicada (forças de protensão), que impedem ou limitam as fissuras do concreto e controlam suas deformações. Em uma simplificação, é possível entender certa sequência no processo: a pré-moldagem aplicada à produção em grande escala resulta na pré-fabricação, que por sua vez, é uma forma de buscar a industrialização da construção (ABCIC, 2015).

### **2.1.1 Histórico do concreto pré-moldado**

A industrialização na construção civil tem sua origem na década de 1920, e se relaciona diretamente com os conceitos de organização, produção em série e sustentabilidade.

Ao final da década de 80 Salas (1988) dividia a história da utilização do pré-fabricado de concreto em três fases:

- De 1950 a 1970 – nesse período, os pré-fabricados tiveram um importante papel na reconstrução das cidades devastadas devido à guerra. Essa época ficou conhecida como ciclo fechado de produção, uma vez que um mesmo fornecedor provia elementos pré-fabricados para comporem a reconstrução de escolas, hospitais e indústrias;
- De 1970 a 1980 – as construções massivas não apresentavam desempenhos mínimos, ocorrendo alguns acidentes com painéis pré-fabricados, o que provocou a redução na utilização desses elementos no ciclo fechado de produção e um processo de revisão de suas características e utilização;

- Pós 1980 – Esta etapa foi marcada pela demolição de edifícios pela rejeição social e por não terem funcionalidade. Além disso, foi caracterizada pela adoção de elementos pré-fabricados de ciclo aberto, à base de componentes compatíveis e de diferentes origens.

De lá pra cá, muita coisa mudou. Embora existam diversos exemplos de utilização de pré-moldados no Brasil desde a década de 50, tal produto demorou para ganhar popularidade em nosso país. El Debs (2000) destaca que algumas das razões para esta subutilização são o sistema tributário brasileiro que penalizou as indústrias de pré-fabricados, a vulnerabilidade econômica que dificultou o planejamento a longo prazo e um certo conservadorismo na área da construção civil.

Mais recentemente, com a ampliação do mercado da construção industrializada no Brasil, fundou-se, em outubro de 2001, a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC). A associação tem como objetivo desde então “difundir e qualificar os pré-moldados de concreto destinados a estruturas, fachadas e fundações” em nosso país (ABCIC, 2015).

Atualmente os segmentos que mais adotam tal solução de engenharia no Brasil são:

Quadro 1 – Ranking por tipo de obra

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1º	Indústrias	Indústrias	Indústrias	Shopping Centers	Shopping Centers	Indústrias
2º	Centros de distribuição e logística	Varejo	Shopping Centers	Indústrias	Indústrias	Shopping Centers
3º	Varejo	Shopping Centers	Centros de distribuição e logística	Infraestrutura e obras especiais	Varejo	Infraestrutura e obras especiais
4º	Edifícios Comerciais	Centros de distribuição e logística	Infraestrutura e obras especiais	Centros de distribuição e logística	Edifícios Comerciais	Varejo
5º	Shopping Centers	Infraestrutura e obras especiais	Varejo	Edifícios Comerciais	Centros de distribuição e logística	Centros de distribuição e logística
6º	Estádios de Futebol	Habitacional	Edifícios Comerciais	Varejo	Infraestrutura e obras especiais	Edifícios Comerciais
7º	Habitacional	Edifícios comerciais	Habitacional	Habitacional	Habitacional	Habitacional

Fonte: ABCIC (2017)

O quadro 1 mostra que após a consolidação do uso dos pré-fabricados de concreto em obras destinadas ao setor industrial, shopping centers, centros de distribuição e também na área habitacional, de infraestrutura e até de arenas esportivas, o segmento começa a marcar presença nos últimos anos em obras consideradas especiais, tais como: construção de torres de sustentação para usinas eólicas, espessadores para rejeitos industriais e instalações para o agronegócio e agroindústria (ABCIC, 2016).

Porto e Fernandes (2015) relatam em um cronograma sobre o concreto armado no Brasil que a NBR 6118 demorou 11 anos para ser revisada (de 2003 a 2014) e defendem a adoção de revisões a cada 5 anos das normas brasileiras relativas as estruturas de concreto armado, de modo a que novos conceitos sejam introduzidos de maneira gradativa, e para que a norma se adeque às novas tecnologias empregadas nos materiais e nas técnicas construtivas, para que, assim, a evolução do uso desse material mantenha-se constante em nosso país.

### **2.1.2 Tipos de pré-moldados**

O processo construtivo industrializado pode envolver componentes, elementos ou sistemas construtivos diferentes que podem ser contratados separadamente para compor uma solução construtiva. A Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2015, p. 44) entende que na produção da edificação e infraestrutura, é possível contratar diferentes tipos de sistemas construtivos, tais como:

**Sistema que utiliza técnicas ou métodos convencionais na produção dos elementos e componentes:** tal sistema, como o próprio nome diz, se caracteriza pela utilização métodos convencionais, nos quais há necessidade de mão de obra de forma intensiva, como na execução de formas e escoramentos de madeira e aço para pilares, vigas e lajes, na elevação de alvenarias e na execução de revestimentos de argamassa e outros serviços comuns a esse processo. Tais serviços em geral são realizados no canteiro, e o prazo de execução deve levar em conta os tempos de espera de recebimento e armazenamento de materiais e o seu transporte. Normalmente nesse processo há um percentual maior de perdas e um

menor controle na fase de execução. Existe ainda o problema de que os projetos de arquitetura, execução e os projetos complementares são desenvolvidos, muitas vezes, de maneira separada e independente uns dos outros.

**Sistema que utiliza técnicas e métodos racionalizados e pré-fabricados e industrializados a partir de elementos e componentes:** tal sistema é caracterizado por métodos e processos industrializados e abrange tanto os componentes quanto os elementos ou células com funções específicas a desempenhar. Nessa situação a fase de execução difere do método convencional, pois os componentes ou elementos já são projetados com dimensões moduladas no projeto e chegam prontos ao canteiro, onde há operações quase que somente de montagem. Há, dessa forma, um percentual menor de perdas no canteiro, um menor percentual de mão de obra *in loco* e menor prazo de execução.

**Sistema que utiliza parte do sistema convencional e parte de sistemas industrializados:** nesse sistema, integram-se soluções industrializadas e convencionais, como elementos industrializados de concreto armado e vedações de blocos cerâmicos, lajes pré-fabricadas mistas, executando *in loco* operações sobre estruturas de concreto armado moldado para, por exemplo, o preenchimento da capa e nervuras e sua finalização.

Já El Debs (2000) ratifica tal classificação, porém abre novos conceitos ao classificar o concreto pré-moldado nos seguintes tipos:

a) Com relação à fabricação

- Pré-moldado de fábrica: executado em instalações permanentes distantes da obra. Deve ser considerado o transporte do elemento da fábrica ao local de montagem;
- Pré-moldado de canteiro: o pré-moldado de canteiro é um elemento produzido em obra ou em local próximo, sendo necessárias estruturas provisórias para sua execução. Existe a tendência de possuir baixa capacidade de produção. Não possui tantos problemas com transporte e impostos referentes à produção industrial. Entretanto está sujeito a ter menor qualidade.

b) Com relação à seção

- Pré-moldado de seção completa: toda a seção resistente é formada fora do local de execução. É o caso de vigas e pilares pré-fabricados;
- Pré-moldado de seção parcial: apenas parte de sua seção resistente é moldada fora do local. O restante da seção resistente é moldado no local. É o caso das lajes alveolares com a capa de concreto moldada no local.

c) Com relação à carga

- Pré-moldado pesado: exige equipamentos especiais para montagem e transporte;
- Pré-moldado leve: não exige equipamentos especiais para montagem e transporte.

d) Com relação ao tipo

- Pré-moldado normal: não há preocupação com a aparência do elemento;
- Pré-moldado arquitetônico: elemento com acabamento, cor, forma ou textura definidos por uma arquitetura. Esses elementos podem ou não ter função estrutural, podendo esta tarefa ser manual como no caso das lajes treliçadas.

### **2.1.3 Vantagens e desvantagens do pré-moldado**

Segundo a ABCIC (2016) uma ampla variedade de fatores influencia a opção entre elementos pré-fabricados e construídos no canteiro de obras. Entre eles, é possível citar: planejamento contratual, requisitos funcionais, condições de delimitação, métodos de execução, projeto estrutural, custos, riscos, período de execução, manutenção, durabilidade, sustentabilidade e impactos ao meio ambiente. Tais fatores muitas vezes são correlatos e acrescentam complexidade ao processo da tomada de decisões.

Van Acker (2002) considera que o uso de pré-moldados de concreto apresenta muitas vantagens, dentre elas:

- produtos feitos em fábricas: o que agrega características da indústria ao processo produtivo, como racionalização de processos, especialização da mão de obra e controle de qualidade;
- otimização no uso dos materiais: o que confere aos pré-moldados maior potencial econômico, desempenho estrutural e durabilidade que o sistema convencional de construção;
- menor tempo de construção: uma vez que se pode trabalhar em várias fases da construção simultaneamente;
- qualidade: por ser um produto de características industriais, passa por um controle de qualidade maior que o moldado *in loco*;
- eficiência estrutural: oferecendo recursos como vãos grandes e redução da altura efetiva;
- construção menos agressiva ao meio ambiente: com menor desperdício de materiais, redução de energia e reciclagem do desperdício de concreto.

Ainda, Di Pietro (2002) defende que, para a pré-fabricação de elementos de concreto, os investimentos necessários em equipamentos, mão-de-obra e matéria prima não são muito elevados, justamente pela simplicidade e rapidez de sua produção, que é similar à de elementos moldados no local. O autor também destaca que os componentes construtivos pré-moldados podem, em alguns casos, representar um ganho relativo em material e mão-de-obra em comparação aos componentes moldados no local.

Também é preciso considerar que os processos construtivos industrializados podem oferecer melhores condições de maior controle do desempenho ambiental, com a redução da geração de resíduos, emissão de dióxido de carbono, uso de energia e água no processo de fabricação e no canteiro de obras (ABDI, 2015).

Estando definido que o processo de fabricação tem maior controle, a consequência óbvia é que torna possível realizar levantamentos e análise de dados que possam, por exemplo, avaliar o ciclo de vida (ACV), de modo a demonstrar com mais transparência o desempenho ambiental de produtos e processos. Dessa forma,

pode-se considerar que o uso de sistemas construtivos industrializados permite produzir em maior quantidade, com melhor qualidade, melhor controle e demonstração do desempenho ambiental e em um tempo menor comparativamente a outros tipos de sistemas construtivos (ABDI, 2015).

Clímaco (2015) reitera como vantagens a adaptabilidade do concreto, sua economia nas construções, sua durabilidade e resistência.

No Quadro 2 apresenta-se um resumo das principais vantagens e desvantagens do uso de pré-moldados:

Quadro 2 – Possíveis vantagens e desvantagens do uso de pré-moldados

Possíveis vantagens	Possíveis desvantagens
<b>Características Técnicas</b>	
Facilidade na elaboração de projeto, em especial na resolução de detalhes	Falta de monolitismo da construção, especialmente nas regiões sísmicas
Melhoria da qualidade dos trabalhos realizados mecanicamente, em comparação com os manuais	Necessidade de superdimensionar certos elementos, considerando situações desfavoráveis durante o transporte ou na montagem
Necessidade de menos juntas de dilatação que na construção tradicional	Devem ser respeitados os gabaritos de transporte
Facilidade para realizar o controle de qualidade	Grandes dificuldades para modificações nas distribuições dos espaços primitivos
Melhor aproveitamento das seções resistentes	Inadaptação à topografia e aos tipos de terrenos
Possibilidade de evitar as interrupções da concretagem	
Possibilidade de recuperação de elementos ou partes da construção em certas desmontagens	
Desaparecimento quase total do cimbramento e das formas	
<b>Características Econômicas</b>	
Evita a improvisação	É, em geral, mais cara que a tradicional
Ocasiona economia de tempo	O transporte dos produtos é mais caro que o das matérias-primas dos componentes
Produz economia reduzindo consideravelmente os custos	Necessita de investimentos, em geral, consideráveis, para iniciar a pré-fabricação
É mais apta para o cumprimento dos controles de recepção	Necessidade de uma demanda de volume adequada
É uma valiosa ferramenta de planificação	
<b>Características Sociais</b>	
Diminuem o número de acidentes de trabalho	Produz desemprego
É o meio mais real e efetivo que se tem ao alcance para tentar reduzir o déficit mundial de construção	Aparecem para os trabalhadores os inconvenientes próprios das linhas de produção
Trabalho protegido das intempéries climáticas	Especializa em excesso, incapacitando os trabalhadores para outros tipos de trabalho
Eleva a remuneração dos trabalhadores	

Fonte: El Debs (2000)

Por fim, Brumatti (2008) destaca que os elementos pré-moldados possuem rapidez de execução, grande controle de qualidade, diminuição das improvisações e dos desperdícios e menor rotatividade de mão-de-obra. Além disso, as obras realizadas com elementos pré-moldados contribuem com o meio ambiente, pois a montagem das obras é limpa, não gerando grande quantidade de resíduos, pelo fato da produção das peças não serem realizadas *in loco*, apenas a montagem das estruturas.

## 2.2 Concreto

Denomina-se concreto, em um sentido mais amplo, qualquer produto ou massa produzido através da hidratação do cimento. Mormente, considera-se como concreto a mistura de cimento, água, agregados (miúdos e graúdos) e aditivos (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Metha e Monteiro (2014) afirmam que o concreto, embora não seja tão duro nem tão resistente quanto o aço, é utilizado em uma escala muito maior na engenharia por três razões principais:

- Sua resistência à água. Diferente da madeira e do aço comum, a capacidade do concreto de enfrentar a ação da água sem graves deteriorações, torna-o um material ideal para a construção de estruturas de engenharia;
- A facilidade de obtenção dos elementos estruturais do concreto;
- O baixo custo, tanto de seus componentes quanto de sua manutenção.

Fusco (2008) entende que a economia de custos que o concreto promove na construção se dá pelo fato de que boa parte de seus componentes pode ser facilmente obtida em fontes locais. O autor ainda apresenta como características desse produto, a sua resistência às agressões químicas e físicas, além da sua adaptabilidade a qualquer forma de construção.

### 2.2.1 Composição do concreto

O concreto é um material de construção resultante da mistura, em quantidades controladas de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. A mistura do cimento com a água forma a pasta de cimento. Adicionando-se o agregado miúdo (areia), temos a argamassa de cimento. Com o acréscimo do agregado graúdo, tem-se o concreto simples. Em alguns casos são adicionados aditivos que modificam suas características físicas e químicas. Ao material composto de concreto simples e armaduras de aço denominamos concreto estrutural ou concreto armado (FUSCO, 2008).

Neville e Brooks (2013) entendem que a diferença entre um “bom concreto” e um concreto ruim é apenas *know-how*, visto que os ingredientes para sua produção são basicamente os mesmos. Para se obter um concreto resistente, durável, econômico e de bom aspecto, deve-se estudar:

- As propriedades de cada um dos materiais componentes;
- As propriedades do concreto e os fatores que podem alterá-las;
- O proporcionamento correto e execução cuidadosa da mistura;
- O modo de executar o controle do concreto durante a fabricação e após o endurecimento.

Para Metha e Monteiro (2014), concreto é um material compósito que consiste, basicamente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregados.

#### 2.2.1.1 Cimento Portland

Diversas qualidades de cimento podem ser empregadas na construção de estruturas de concreto. Mas os componentes básicos dos cimentos são sempre os mesmos, variando apenas a proporção que tais componentes compõem. Os componentes básicos do cimento são: cal (CaO), sílica (SiO), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (FUSCO, 2008).

Cimento Portland é o nome dado ao cimento obtido através da mistura de calcário, argila (ou outros materiais silicosos), alumina e materiais que contenham óxido de ferro. Tal mistura é levada a temperatura de clinquerização (próxima a 1.400°C), sendo que nenhum outro material, além de gipsita (sulfato de cálcio), água e agentes de moagem, pode ser adicionado após esse processo. Após o procedimento de queima acontece a moagem, que resulta em um pó fino, com cerca de  $1,1 \times 10^{12}$  partículas por quilograma, comercialmente utilizado no mundo inteiro (NEVILLE e BROOKS, 2013).

O cimento Portland porém não é um material genérico. Existem variações em sua produção, que quando hidratados podem apresentar propriedades diferentes, de modo a garantir a boa durabilidade do concreto sob uma variedade de condições. Por essa razão, é importante que se faça um balanço das necessidades e dos aspectos econômicos da produção na escolha do material mais adequado. De qualquer maneira, o Cimento Portland comum (Tipo I) é um excelente cimento de uso geral, sendo o cimento mais largamente utilizado. No Brasil, suas especificações são normalizadas pela NBR 5732/1991 (NEVILLE e BROOKS, 2013).

#### **2.2.1.1.1 Tipos de cimento Portland**

No Brasil, hoje, encontram-se normalizados cinco tipos de cimento Portland, dependendo do tipo e teor de adição, classificados em ordem crescente de CP-I a CP-V. Rodrigues (2006) especifica assim suas principais características:

- Portland Tipo I: é um cimento normal, utilizado com adição de Clinker e gesso. De uso geral em todos os trabalhos de engenharia onde não são requeridas características especiais. O prazo para alcançar 100% de sua resistência relativa é calculado em 28 dias;
- Portland Tipo II: é um cimento modificado para usos gerais. Resiste à ação dos sulfatos moderadamente, sendo também utilizado quando um calor moderado de hidratação é requerido. O cimento Tipo II adquire resistência mas lentamente que o Tipo I, mas ao fim alcança a mesma resistência. As características deste tipo de cimento são possíveis devido a modificações imponentes no conteúdo de Aluminato tricálcico (C3A) e Silicato tricálcico

(C3S) do cimento. É usado em sistemas de esgoto, tubos, áreas industriais.

- Portland Tipo III: é um cimento de alta resistência inicial, aconselhável quando da necessidade de uma resistência inicial alta. Desenvolve uma boa resistência em três dias, em velocidade bastante superior a dos tipos de cimentos I e II. Dada uma grande separação de calor, o Tipo de cimento III não deve ser usado em volumes grandes.
- Portland Tipo IV: cimento de baixo calor de hidratação, característica que é alcançada limitando a combinação que mais influencia na formação de calor de hidratação, C3A e C3S. Dado que estas combinações também produzem a resistência inicial da mistura de cimento, a mistura ganha resistência lentamente. O calor de hidratação do Cimento Tipo IV normalmente é mas ou menos 80% do Tipo II, 65% do Tipo I e 55% do Tipo III durante a primeira semana de hidratação. É usado em trabalhos com grandes massas.
- Portland Tipo V: cimento com resistência alta à ação dos sulfatos, é especificado quando houver intensa exibição aos sulfatos. As aplicações típicas entendem as estruturas hidráulicas expostas a águas com conteúdo alto de álcalis e estruturas expostas à água de mar. A resistência o sulfato do cimento tipo V é alcançado ao minimizar o conteúdo de C3A, porque esta combinação é mas suscetível ao ataque do sulfato.

Além desses, Rodrigues (2006) também apresenta os chamados “cimentos especiais”. São eles:

- Cimento portland branca: é mesma Portland regular. O que difere é a cor, obtida com a redução das matérias primas que levam ferro e óxido de magnésio que dão a coloração cinza ao cimento. Este cimento especificamente é usado para terminação arquitetônica.
- Cimento portland de escória de alto forno: obtido pela pulverização combinada do clínquer e escoria granulada, moído finamente com adição

de sulfato de cálcio. O conteúdo da escoria granulada de alto forno gira em torno de 15% e 85% da massa total.

- Cimento siderúrgico supersulfatado: obtido por meio da pulverização de escoria granulada de alto forno, com pequenas quantidades de sulfato de cálcio.
- Cimento portland pozolânico: obtido com o moído do clínquer com a pozolana. Ele tem resistência semelhante ao cimento e é resistente a ataques da água do mar, o que o torna aconselhável para construções litorâneas. O cimento pozolânico deve conter entre 15% e 50% da pozolana da massa total. O cimento pozolânico é usado em construções que entram em contato direto com a água, determinando sua resistência tão alta em meios úmidos.
- Cimento portland somada: obtido da pulverização do clínquer juntamente com materiais argilosos ou calcário-silicos-aluminosos.
- Cimento aluminoso: formado pelo clínquer aluminoso polvilhado que o dá a propriedade de ter alta resistência inicial. Também é resistente à ação dos sulfatos como às temperaturas altas.

### **2.2.1.2 Agregados**

Aproximadamente 75% do volume do concreto são ocupados pelos agregados, e tal percentual revela sua importância no processo. Os agregados não só limitam a resistência do concreto, como também afetam significativamente sua durabilidade e desempenho estrutural (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Os agregados tem diferentes classificações, sendo mais comuns a classificação por suas dimensões, a classificação petrográfica e a classificação segundo sua forma e textura.

No que tange a dimensão, os agregados são classificados como agregados miúdos ou agregados graúdos. Os agregados miúdos são a areia natural quartzosa, ou a areia artificial, proveniente do britamento de rochas estáveis, com diâmetro

máximo de 4,8 mm. Já os agregados graúdos são assim chamados o pedregulho natural ou a pedra britada, resultante do britamento de rochas estáveis, com diâmetro superior a 4,8 mm (FUSCO, 2008).

A norma brasileira NBR 7211/2009 estabelece 4,75 mm como a divisão entre agregados miúdos e agregados graúdos (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Já do ponto de vista petrográfico, os agregados podem ser classificados segundo grupos de rochas com características comuns. Tal classificação é importante ferramenta na determinação de sua qualidade e para comparar um novo agregado com um histórico conhecido. Tais grupos de rocha classificam-se em: Grupo Basalto, Grupo Granito, Grupo Calcário, Grupo Xisto, Grupo Flint, Grupo Arenito, Grupo Porfirítico, Grupo Gabro, Grupo Hornfels e Grupo Quartzito, sob os quais estão elencadas grande diversidade de rochas que podem ser utilizadas na produção do concreto (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Por fim, a classificação segundo a forma e textura leva em consideração suas características externas, que são fundamentais para as propriedades do concreto fresco e endurecido. Quanto à forma, tal classificação divide-se em: arredondado, irregular, lamelar, anguloso, alongado ou lamelar e alongado. Já a classificação quanto à textura superficial dos agregados é importante, pois tal característica exerce grande influência na demanda de água da mistura, na aderência do concreto (um agregado de textura mais áspera resulta em melhor aderência entre as partículas e a matriz de cimento) e também em sua resistência (NEVILLE e BROOKS, 2013).

### **2.2.1.3 Água**

A água a ser utilizada na composição do concreto deve, necessariamente, ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas. A água potável é, por presunção, considerada satisfatória, conforme a NBR 6118. No caso de utilizar água não potável, é preciso controlar o conteúdo da matéria orgânica, teores de sulfato e cloreto e os resíduos sólidos existentes (FUSCO, 2008).

Neville e Brooks (2013) entendem que, embora a utilização de água potável seja uma opção segura, o critério de potabilidade da água não é absoluto, visto que ela pode ser inadequada quando contiver uma alta concentração de sódio ou potássio. Por outro lado, mesmo águas não potáveis podem se mostrar adequadas. Assim, os autores sugerem que o critério de adequabilidade da água deva passar por testes de verificação.

#### **2.2.1.4 Aditivos**

Denominamos aditivos as substâncias empregadas no concreto durante sua preparação que objetivem reforçar ou melhorar certas características do concreto, inclusive seu preparo e utilização (PETRUCCI, 1983).

Há um grande número de aditivos para concreto no mercado, e por conta disso, há necessidade de um conhecimento prévio de suas diferenças e de seu potencial e uma fiscalização severa da qualidade em sua aplicação. Importante destacar a importância de que as diferentes remessas de aditivos para a obra sejam rigorosamente iguais àquelas com que foi feito o estudo inicial, ocasião em que se buscou conhecer as propriedades do produto (VILASBOAS, 2004).

Neville e Brooks (2013) relatam que os aditivos químicos são essencialmente assim subdivididos:

- Os redutores de água (plastificantes): utilizados para obter uma resistência mais elevada pela redução da relação água/cimento.
- Os retardadores de pega: o tempo de pega do concreto é aumentado pela adição do aditivo a mistura, diminuindo a resistência inicial sem influenciar no resultado final;
- Os aceleradores: são aditivos que aceleram o endurecimento ou o desenvolvimento da resistência inicial do concreto.

### 2.2.2 Concreto auto-adensável

O concreto auto-adensável (CAA) foi desenvolvido no Japão na década de 80 e tem a característica de se moldar nas formas por conta própria, preenchendo, sem necessidade de vibração ou compactação externa, os espaços a ele destinados (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

“Um concreto só será considerado auto-adensável se três propriedades forem alcançadas simultaneamente: fluidez, coesão necessária para que a mistura escoie intacta entre barras de aço (ou habilidade passante) e resistência à segregação” (EFNARC, 2002 *apud* TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008, p. 9).

Além de areia, agregados graúdos com dimensão máxima de 19 ou 25 mm, e cimento Portland, os ingredientes necessários para produzir concreto auto-adensável são: superplastificantes, aditivos modificadores da viscosidade e adições minerais finas. Com tal composição é possível produzir um concreto que demonstra pouca ou nenhuma permeabilidade, propriedade desejada para a longa durabilidade de estruturas expostas a ambientes corrosivos. Atualmente, os concretos auto-adensáveis têm sido utilizados no mundo inteiro, principalmente em fábricas de concreto pré-moldado, nas quais há um alto grau de controle de qualidade (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Neville e Brooks (2013) relatam que, para a obtenção de um concreto auto-adensável, é necessária uma relação água/cimento na proporção de aproximadamente 0,4, além da utilização de agregados graúdos em menor proporção que o usual (50% do volume de todos os sólidos), e agregados de boa forma e textura. Com isso, produz-se uma estrutura mais uniforme, com uma zona de transição menos porosa.

Tutikian e Dal Molin (2008) defendem o uso do concreto auto-adensável e apresentam dados que revelam que seu uso pode representar, além de um acréscimo de qualidade, uma redução direta no custo final da obra, por apresentar um custo global (materiais mais mão de obra) inferior, eliminando reparos na estrutura, aumentando a velocidade de concretagem, reduzindo ruídos e diminuindo o número de trabalhadores necessários para produzir a mesma quantidade de material.

## 2.3 Cura do Concreto

A cura do concreto é o nome dado aos procedimentos utilizados para promover a hidratação do concreto (conjunto de medidas esse que tem por finalidade evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento), de modo a desenvolver a pega e endurecimento do concreto. Os procedimentos da cura consistem em controlar a temperatura e o movimento da água, com o objetivo de manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível dessa condição até que os espaços inicialmente ocupados pela água sejam ocupados pelos produtos da hidratação do aglomerante (NEVILLE e BROOKS, 2013).

“A cura adequada é fundamental para que o concreto alcance o melhor desempenho, proporcionando uma redução de sua porosidade, contribuindo para aumentar a durabilidade da estrutura” (BARDELLA, BARBOSA, GLADIS, 2005, p 2).

No processo de produção de elementos pré-moldados a cura é a atividade mais lenta, por isso muitas vezes recebe a denominação de “tempo morto”. Para reduzir este tempo de espera na fabricação é necessário acelerar a cura do concreto. Isto pode ser feito de várias maneiras, tais como: utilizando cimentos de alta resistência inicial – ARI, aditivos aceleradores, e associando-se um sistema de cura eficaz (MELO, 1996 *apud* SALVADOR FILHO, 2001).

### 2.3.1 Cura ao ar

Denomina-se “cura ao ar” aquela na qual não são tomados cuidados especiais para se evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento. Nessa opção, o produto é mantido nas formas, sendo posteriormente desenformado e transportado para o setor de estocagem das fábricas de pré-moldados, de onde sairá apenas para a montagem da estrutura no canteiros de obras (BARDELLA, BARBOSA; GLADIS, 2005).

### **2.3.2 Cura úmida**

A cura úmida é realizada pela manutenção do concreto em contato com a água. Isso pode ser feito por aspersão ou represamento, ou pela cobertura do concreto com materiais absorventes que intermediem esse processo, tais como a areia, a terra, serragem ou palha úmida. Um fornecimento contínuo de água, é, porém, mais eficiente do que um intermitente (NEVILLE e BROOKS, 2013).

De acordo com a NBR 9479 (ABNT 1994) o ideal é que se providencie uma câmara para o desenvolvimento da cura com equipamentos que nebulizem água sobre os blocos. A câmara úmida consiste em um compartimento isolado e hermeticamente fechado, construída de material resistente não corrosivo, e que mantenha a atmosfera saturada de água (umidade não deve ser inferior a 95%) de modo a assegurar que as superfícies expostas dos elementos mantenham-se úmidas e a temperatura fique constante em torno dos 23°C.

### **2.3.3 Cura térmica**

A denominada cura térmica é o procedimento feito em câmaras que mantêm o concreto em altas temperaturas com atmosfera saturada de vapor, contribuindo para a otimização do traço ao mesmo tempo em que garante a umidade necessária ao concreto, acelerando a velocidade do ganho de resistência pelo aquecimento (CAMARINI; CINCOTTO, 1995).

Assim, a cura térmica funciona como aceleradora das reações de hidratação do cimento. A elevação da temperatura durante e depois do contato inicial entre o cimento e a água reduz a extensão do período de latência de modo que a estrutura total da pasta de cimento hidratada se define mais cedo, proporcionando enrijecimento mais rápido e reduzindo o tempo de início de pega (NEVILLE, 1997).

A cura térmica é considerada a cura mais eficiente, pois possibilita um melhor aproveitamento das formas, leitos de protensão, equipamentos e espaço para estocagem dos elementos. O aumento da velocidade no ganho da resistência conseqüentemente traz maior rapidez na entrega das peças em comparação com o processo de cura convencional (CAMARINI; CINCOTTO, 1995).

Porém, para utilizar este sistema de cura deve-se considerar o perigo das microfissuras que podem ocorrer no concreto por conta da evaporação de parte da água necessária à hidratação do cimento. Além disso, devido ao aumento da velocidade inicial de hidratação não há tempo para a difusão dos produtos para posições mais distantes das partículas de cimento, o que forma espaços intersticiais. Neste caso, o material terá maior porosidade e ainda que apresente resistência inicial elevada poderá apresentar menor potencial de desenvolvimento de resistência mecânica final (VERVECK; HELMUTH *apud* SALVADOR FILHO, 2001).

O principal objetivo da cura térmica é tornar mais rápido o processo de cura dos concretos e obter uma resistência mecânica mínima desejada, em um curto período de tempo. Tal procedimento é muito utilizado em empresas que trabalham com concreto pré-moldado, pois reduzindo o tempo de cura permite a utilização das formas, leitos de protensão e equipamentos de cura a intervalos mais frequentes, reduzindo as áreas de estocagem e permitindo colocar peças em serviço em um período menor ao que se teria se fosse utilizada a cura convencional (CAMARINI, 1995).

Na cura térmica as temperaturas não deverão exceder 80°C para não causar modificações na microestrutura do concreto. Para se evitar danos às peças, deve-se seguir um ciclo de cura (FIGURA 1) (CAMARINI, 1995).

No ciclo de cura da Figura 1 observam-se os seguintes períodos:

T1 → temperatura ambiente (°C).

T2 → temperatura máxima atingida no ciclo (°C).

t0 → período de espera (h:min). Período de tempo decorrido entre a mistura do aglomerante com a água e o início do aquecimento. Deve coincidir com o tempo de pega do concreto.

t1 → período de elevação da temperatura (h:min). Aumento controlado da temperatura de cura (em gradiente controlado), não podendo ser superior a 20 °C por hora) (NBR 9062/2006).

$t_2$  → período de manutenção da temperatura (h:min). Regime isotérmico até que se atinja a resistência desejada (definido de acordo com as necessidades de desforma e utilização).

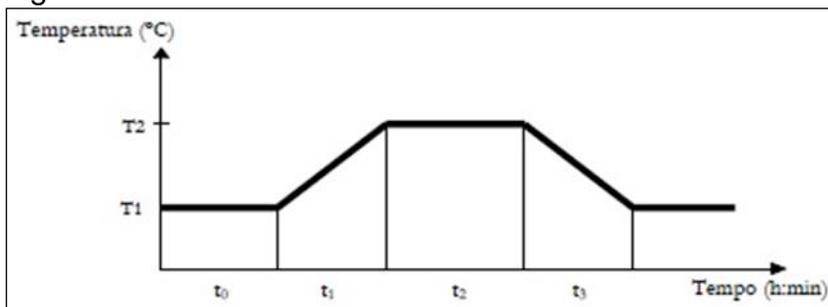
$t_3$  → período de esfriamento (h:min). Diminuição controlada da temperatura das peças até a temperatura ambiente (no máximo 30 °C por hora) (NBR 9062/2006).

G1 → Gradiente de aquecimento.

G2 → Gradiente de resfriamento.

Concretos curados termicamente a 80°C apresentam queda de resistência em relação a concreto curado por imersão após 28 dias (ALDEA *et al.*, 2000). Essa perda de resistência pode ser atribuída a uma distribuição não uniforme dos produtos de hidratação, por causa da rápida hidratação inicial dos compostos, ocasionando perda de resistência e aumento da porosidade (MARTINS, 2001; FERREIRA JUNIOR, 2003).

Figura 1 – Ciclo de Cura Térmica



Fonte: Camarini (1995).

## 2.4 Resistência do Concreto

A dosagem dos concretos objetiva fazer com que o concreto fabricado tenha determinada resistência à compressão. Nem todas as porções de concreto fabricado tem porém a mesma resistência. A efetiva resistência de cada porção de concreto vai depender dos materiais empregados, e das condições de mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura (FUSCO, 2008).

A resistência do concreto é a propriedade mais valorizada por profissionais de engenharia em seus controles de qualidade. Tal resistência pode ser definida como a capacidade que o material tem de resistir a tensão sem se romper, a tensão máxima que a amostra de concreto pode suportar (METHA e MONTEIRO, 2014).

Neville e Brooks (2013) entendem que a resistência não depende tanto da composição química e mais da estrutura física dos produtos de hidratação do cimento e de suas proporções volumétricas relativas. Os autores citam que tal resistência é diretamente adulterada pela presença de falhas, descontinuidades e poros na estrutura.

#### **2.4.1 Influências na Resistência do Concreto**

Neville e Brooks (2013) relatam os fatores que influenciam na resistência do concreto: a relação água/cimento, o grau de adensamento, a idade e a temperatura. Mas além desses, os autores ainda apresentam outros fatores que afetam tal resistência, como a relação agregado/cimento, a qualidade do agregado (granulometria, textura superficial, forma, resistência e rigidez), a dimensão máxima do agregado e a zona de transição.

Já Metha e Monteiro (2014) entendem que, embora outros fatores também influenciem à resistência, a relação água/cimento e o teor de ar incorporado no concreto são os fatores que devem ser levados em consideração primordialmente. Os autores ainda relatam que, dependendo do estado de umidade do agregado, podem ser necessárias correções nas quantidades da água de amassamento, areia e agregados graúdos, de modo a assegurar a resistência do produto.

Já Andrade e Tutikian (2011) especificam assim as influências na resistência do concreto:

- Relação água/cimento: relação entre a água adicionada e a massa do cimento, sendo que, para se obter uma hidratação completa essa relação deve ser de aproximadamente 0,40 (água/cimento). Tal fator influencia a resistência do concreto, pois uma quantidade de água superior à ideal traz maior volume de vazios e por consequência, menor resistência mecânica.

- Agregados: a utilização de agregados na composição do cimento influencia sua resistência, pois agregados de maior diâmetro apresentam zonas de transição mais fracas, aumentando a possibilidade de ocorrências de microfissuras.
- Tipo de cimento: cada tipo de cimento possui características físicas e químicas específicas, fazendo com que a resistência sofra diferentes influências em cada opção.

## 2.5 Absorção de Água do Concreto

A absorção de água por capilaridade é um fenômeno que ocorre em estruturas porosas e consiste na ação de forças de atração dos poros da estrutura sobre os líquidos que estão em contato com sua superfície. Através dessa absorção, é possível medir o volume dos poros (NEVILLE, 1997).

Entretanto, a absorção da água pelo concreto é um fator difícil de ser controlado, pois, além do diâmetro dos poros, ainda há a intercomunicação entre os capilares que, dependendo da rede de poros, pode tornar a estrutura do concreto um fácil caminho para que agentes agressivos migrem livremente entre o meio e a armadura de aço, iniciando processos de deterioração da mesma. Para minimizar o efeito da absorção, deve-se procurar interromper a continuidade dos poros, de maneira a impedir a passagem de líquidos entre eles, através do uso de aditivos incorporadores de ar (HELENE, 1993).

Outra maneira de controlar a absorção de água é a chamada absorção por imersão. Nessa situação, o material deve sofrer o processo de imersão em água à temperatura de  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ , seguida de permanência em água em ebulição durante 5h (ABNT, 2005).

Para Neville (1997), a absorção não pode ser usada como uma medida da qualidade do concreto, mas a maioria dos bons concretos apresenta absorção bem abaixo de 10% em massa.

A absorção capilar segue as recomendações da NBR 9779 (ABNT, 2012). Já a absorção por imersão tem suas diretrizes previstas na NBR 9778 (ABNT, 2005).

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Materiais

Os materiais utilizados neste programa experimental foram os mesmos empregados na produção de pré-moldados de concreto na fábrica onde foi desenvolvido este estudo.

#### 3.1.1 Cimento

Foi empregado o cimento Portland CPV – ARI RS (FIGURA 2), fabricado pela Intercement, unidade de Nova Santa Rita/RS, em conformidade com a norma NBR 5733 (ABNT, 1991), por este ser o tipo de cimento utilizado pela fábrica onde os testes foram realizados.

Suas características físicas e mecânicas estão apresentadas no Quadro 3:

Quadro 3 – Características do Cimento CP V ARI-RS

Cimento CP V ARI-RS	
Resistência a compressão (MPa) - 1 dia	23,2
Resistência a compressão (MPa) - 3 dias	33,4
Resistência a compressão (MPa) - 7 dias	37,0
Resistência a compressão (MPa) - 28 dias	44,5
# 200 (%)	0,1
Perda ao fogo (%)	3,4
Superfície específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	5030
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	3,05
Início de pega (min.)	231

Fonte: do autor

Figura 2 – Cimento



Fonte: autor (2018)

### 3.1.2 Areia média

A caracterização do agregado miúdo utilizado no trabalho é baseada na composição granulométrica, determinação do módulo de finura, massa específica teórica, massa unitária, percentual de material pulverulento e também a avaliação da curva granulométrica. Como agregado miúdo 1 (FIGURA 3) foi utilizado areia média lavada, conforme regulamentação existente na NBR NM 26 (ABNT, 2001) e NBR NM 36 (ABNT, 2003). O agregado foi submetido aos ensaios de caracterização estabelecidos pelas normas NBR 7211 (ABNT, 2009) e NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Figura 3 – Areia média



Fonte: autor (2017)

### 3.1.3 Areia Fina

Como agregado miúdo 2 (FIGURA 4) foi utilizado areia fina lavada, conforme regulamentação existente na NBR NM 26 (ABNT, 2001) e NBR NM 36 (ABNT, 2003). O agregado foi submetido aos ensaios de caracterização estabelecidos pelas normas NBR 7211 (ABNT, 2009) e NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Figura 4 – Areia fina



Fonte: autor (2017)

### 3.1.4 Brita

Como agregado graúdo (FIGURA 5) foi utilizado brita graduada nº 0, o agregado foi submetido aos ensaios de caracterização estabelecidos pelas normas NBR 7211 (ABNT, 2009) e NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Figura 5 – Brita



Fonte: autor (2017)

A brita 0 (ou pedrisco), por suas dimensões reduzidas, é bastante empregada na fabricação de vigas e vigotas, lajes pré-moldadas, tubos, blocos de concreto intertravado, jateamento em túneis e acabamentos em geral.

### 3.1.5 Água

A água utilizada no preparo do concreto foi água potável originária de poço artesiano da própria empresa. Tal produto é alvo de análises periódicas de modo a garantir sua qualidade, atendendo as determinações da Portaria 2917/2011 do Ministério da Saúde. A água utilizada é considerada potável conforme apresenta-se na Figura 6, podendo ser utilizada sem restrição para concreto e argamassa de acordo com o previsto na NBR 15900 (ABNT, 2009).

Figura 6 – Resultados Analíticos da Água

Parâmetro	Unidade	Resultado	LQ	VMP <sup>(1)</sup>	Metodologia
Cloreto	mg/L	4,02	0,1	NA	PO-005
Coliformes Termotolerantes	em 100 mL	Ausência	NA	NA	PO-054
Condutividade	µS/cm	377	1	NA	PO-006
Nitrato	mg/L	2,048	0,1	NA	PO-017
pH	.	7,3	NA	NA	PO-022
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	204	12	NA	PO-038
Sulfeto	mg/L	<0,1	0,1	NA	PO-028

Fonte: autor (2018)

### 3.1.6 Aditivo

Visando melhorar algumas características do concreto, especificamente a trabalhabilidade, o acabamento superficial e o ganho de tempo na aplicação, foi utilizado aditivo superplastificante de alto desempenho, a base de policarboxilatos, PCE – 650 da marca Builder (FIGURA 7).

Figura 7 – Aditivo



Fonte: autor (2017)

## 3.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados neste programa experimental foram os mesmos já empregados na produção de pré-moldados de concreto na fábrica onde foi desenvolvido este estudo.

### 3.2.1 Central dosadora de concretos

Central dosadora de concreto (FIGURA 8) é basicamente composta de silos de armazenamento de agregados, silo de armazenamento e balança de cimento, esteira de pesagem, esteira transportadora e dosadores de água/aditivo.

Figura 8 – Central dosadora de concreto



Fonte: autor (2018)

### 3.2.2 Slumpflowtest

Foi utilizado equipamento para medir o espalhamento do concreto auto-adensável (CAA) conforme NBR 15823 Parte 2 (ABNT, 2017), o equipamento é composto por um cone de abrams, um funil, uma chapa de base medindo 1000x1000 mm e uma escala de 1000 mm (FIGURA 9).

Figura 9 – Slumpflowtest



Fonte: autor (2017)

### 3.2.3 Moldes para corpo de prova

Os moldes utilizados para moldagem dos corpos de prova estão de acordo com as especificações da NBR 5738 (ABNT, 2008), sendo moldes cilíndricos de aço com diâmetro de 10cm e altura de 20cm (FIGURA 10).

Figura 10 – Moldes para corpo de prova



Fonte: autor (2017)

### 3.2.4 Caldeira a vapor

A empresa onde foi desenvolvido o estudo possui uma caldeira para produção de vapor com capacidade de produção máxima de 4000 kg/h, o equipamento foi utilizado no processo de aceleração da cura.

### 3.2.5 Termostato

Foram utilizados três termostatos modelo TIC-17RGTi da marca Full Gauge (FIGURA 11), para controle da temperatura do vapor a partir do momento que iniciou o processo de aceleração da cura nas respectivas câmaras de cura, além de um quarto termostato para monitoramento da temperatura ambiente, sua faixa de controle atua de -50 a 105 C<sup>o</sup>.

Figura 11 – Termostato



Fonte: autor (2018)

### 3.2.6 Câmara de cura

Os corpos de prova foram armazenados na câmara de cura do LATEC, Laboratório de Tecnologias de Construção da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES após 24 horas de sua moldagem (FIGURA 12) até o momento do ensaio de compressão axial conforme preconiza a NBR 5738 (ABNT, 2008).

Figura 12 – Câmara de cura



Fonte: autor (2018)

### 3.2.7 Prensa hidráulica

Para a realização dos ensaios de compressão axial foi utilizada uma prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC 200 CS (FIGURA 13) com capacidade nominal de 200 tnf devidamente calibrada conforme certificado de calibração nº

17082201RG de 22/08/2017 existente no LATEC, Laboratório de Tecnologias de Construção da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES.

Figura 13 – Prensa hidráulica



Fonte: autor (2018)

### 3.3 Métodos

Os métodos utilizados neste programa experimental foram os mesmos empregados na produção de pré-moldados de concreto na fábrica onde foi desenvolvido este estudo.

#### 3.3.1 Dosagem

A dosagem dos insumos para a fabricação do concreto utilizado no programa experimental foi realizado na fábrica de pré-moldados localizada no Município de Teutônia/RS. A referida fábrica possui uma central dosadora de concreto com misturador planetário de 0,5m<sup>3</sup>/ciclo da Marca Menegotti. Foi realizada a dosagem de um ciclo para a extração do concreto utilizado na moldagem dos corpos de prova.

O traço utilizado para a obtenção do concreto desejado, é apresentado no Quadro 4, sua composição é formada por um teor de argamassa de 60,78% e sua

relação água cimento de 0,56. Espera-se atingir uma resistência a compressão superior a 30 Mpa (Mega Pascal).

Quadro 4 – Traço utilizado

Material (unidade)	Consumos (kg/ciclo)	Traço Unitário (em massa)
Cimento CPV - ARI	146	1
Areia Média	223,6	1,52
Areia Fina	161,1	1,10
Brita 0	331	2,27
Aditivo PCE - 650	0,73	-
Água	82,72	0,56

Fonte: Autor (2018)

### 3.3.2 Moldagem dos Corpos de Prova

Para a moldagem dos corpos de prova foram utilizados moldes metálicos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. A moldagem seguiu os procedimentos determinados pela norma NBR 5738 (ABNT, 2008). As formas foram previamente lubrificadas com óleo desmoldante a base de óleo vegetal biodegradável.

Como o concreto utilizado foi do tipo auto-adensável (CAA) a norma NBR 5738 (ABNT, 2008) preconiza que para concretos com abatimento superior a 160 mm a quantidade de camadas utilizada para moldagem das amostras deve ser reduzida pela metade, sendo assim, a moldagem foi realizada em apenas uma camada sem a utilização de qualquer tipo de adensamento.

Foram moldados 18 corpos de prova para cada tipo de cura do programa experimental, totalizando 54 corpos de prova que serão submetidos a ensaios de compressão axial nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias e ensaio de absorção de água aos 28 dias de cura. Os demais corpos de provas foram reservados para substituição de um possível problema no decorrer dos experimentos.

### 3.3.3 Cura

Após a moldagem dos corpos de provas, os mesmos foram divididos em três grupos que foram submetidos a três condições de cura. Para o sistema de cura térmica foram utilizadas três câmaras (FIGURA 14) independentes com vedação hermética que produziram vapor d'água produzido pela caldeira existente na empresa. Para o controle de temperatura foi utilizado um termostato para cada câmara, desta forma, cada condição de cura seguirá o modelo de ciclo apresentado na Figura 1.

Figura 14 – Câmara de cura a vapor



Fonte: autor (2018)

#### 3.3.3.1 Cura Térmica 80°C Convencional

Os corpos de provas do primeiro grupo foram submetidos ao sistema de cura denominado como Convencional. Para este programa de cura foi seguido o modelo desenvolvido por Camarini (1995), apresentado na Figura 1 conforme parâmetros abaixo:

- **Tempo de espera (t<sub>0</sub>):** foi adotado o tempo de pega da pasta de cimento.
- **Gradiente de elevação da temperatura (t<sub>1</sub>):** foi aplicada uma elevação controlada da temperatura de 20°C/h.

- **Regime isotérmico (t2):** manutenção da temperatura máxima de cura. Foi adotado um período de 3 horas a uma temperatura de cura de 80°C.
- **Gradiente de resfriamento (t3):** foi aplicado um decréscimo da temperatura controlada de 30°C/h.

### 3.3.3.2 Cura Térmica 80°C Otimizada 1

Os corpos de provas do segundo grupo foram submetidos ao sistema de cura denominado como Otimizada 1. Para este programa de cura foram seguidos os parâmetros abaixo:

- **Tempo de espera (t0):** foi adotado a metade do tempo de pega da pasta de cimento.
- **Gradiente de elevação da temperatura (t1):** foi aplicada uma elevação controlada da temperatura de 20 °C/0,5h.
- **Regime isotérmico (t2):** manutenção da temperatura máxima de cura. Foi adotado um período de 3 horas a uma temperatura de cura de 80 °C.
- **Gradiente de resfriamento (t3):** foi aplicado um decréscimo da temperatura controlada de 30 °C/0,5h.

### 3.3.3.3 Cura Térmica 80°C Otimizada 2

Os corpos de provas do terceiro grupo foram submetidos ao sistema de cura denominado como Otimizada 2. Para este programa de cura foram seguidos os parâmetros abaixo:

- **Tempo de espera (t0):** para este período não foi considerado tempo de pega, desta forma foi aplicado o vapor imediatamente após a moldagem dos corpos de prova.
- **Gradiente de elevação da temperatura (t1):** foi aplicada uma temperatura de 80°C imediatamente após a moldagem dos corpos de

prova, ou seja, partiu-se da temperatura ambiente até o atingimento dos 80°C subitamente.

- **Regime isotérmico (t2):** manutenção da temperatura máxima de cura. Foi adotado um período de 3 horas a uma temperatura de cura de 80°C.
- **Gradiente de resfriamento (t3):** foi retirada a aplicação do vapor imediatamente após as 3 horas do regime isotérmico, ou seja, a temperatura de 80°C foi reduzida a temperatura ambiente subitamente.

### 3.3.4 Ensaio de Compressão

Os ensaios de compressão do concreto foram realizados no LATEC, Laboratório de Tecnologias de Construção da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, em prensa devidamente calibrada, localizada no município de Lajeado/RS.

A preparação e regularização das bases dos corpos de prova foi realizada através da retificação garantindo a uniformidade das faces conforme procedimento previsto na NBR 5739 (ABNT, 2007).

Foram realizados ensaios de compressão nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias nos lotes submetidos às três condições de cura, todos os procedimentos adotados foram realizados de acordo com a norma NBR 5739, respeitando as tolerâncias de idade de ensaio conforme apresentado no Quadro 5 (ABNT, 2007).

Quadro 5 – Tolerância para a idade de ensaio

<b>Idade de ensaio</b>	<b>Tolerância permitida H</b>
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48

NOTA: para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação.

Fonte: NBR 5739 (2007)

### 3.3.5 Ensaio de Absorção de Água

A determinação da absorção, foi realizada conforme as prescrições normativas da NBR 9778 (ABNT, 2005), após os 28 dias de idade. Foram submetidos aos ensaios três corpos-de-prova cilíndricos de cada grupo experimental, com 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. A cura dos corpos de prova, foi realizada com a mesma metodologia empregada para os corpos de prova do ensaio de resistência a compressão, cura em câmara úmida.

Passado o período de cura, os corpos de provas foram mantidos por um período de 72 horas em estufa a uma temperatura de  $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  para a secagem. Depois de secos os corpos de provas foram pesados e, imersos em água com temperatura de  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  logo após a pesagem. As amostras foram mantidas imersas durante um período de 72 horas, após completado este período, foram colocadas em um recipiente cheio de água, que foi levado a ebulição. O período de ebulição foi mantido por 5 horas, o volume de água do recipiente foi mantido constante.

A absorção de água de cada corpo-de-prova (A), em porcentagem, após 5 horas de imersão em água sob ebulição foi determinada pela expressão abaixo, conforme NBR 9778 (ABNT, 2005):

Onde:

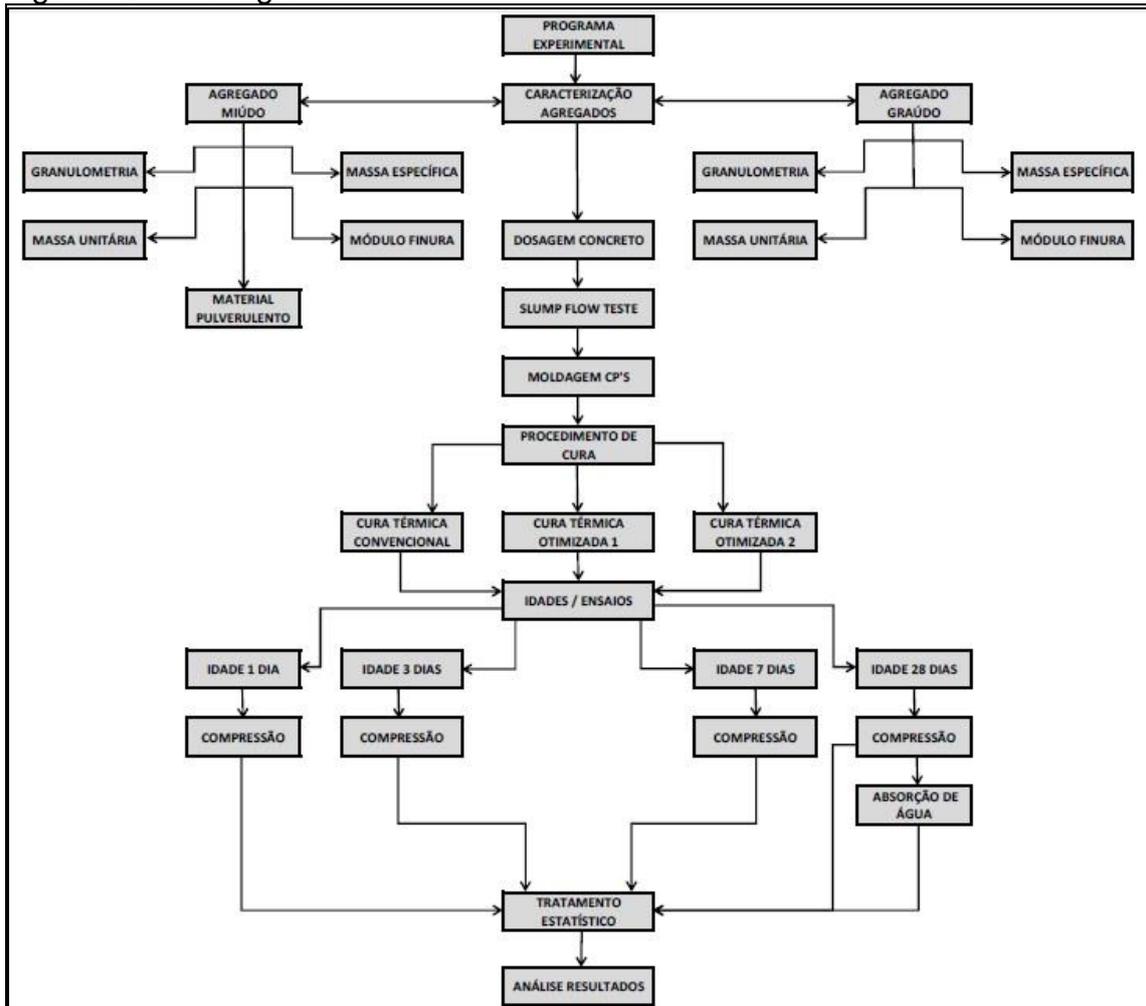
$$A = \frac{m_{\text{sat}} - m_{\text{s}}}{m_{\text{s}}} \times 100$$

- $m_{\text{sat}}$ : massa do corpo de prova saturado (g);
- $m_{\text{s}}$ : massa do corpo de prova seco em estufa (g).

### 3.4 Fluxograma

Na Figura 15 é possível verificar um fluxograma que representa as etapas que foram seguidas no processo:

Figura 15 – Fluxograma



Fonte: do autor

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo são apresentados os resultados encontrados com a realização dos ensaios descritos anteriormente e as respectivas análises de acordo com os dados obtidos.

### **4.1 Caracterização dos Materiais**

#### **4.1.1 Agregados**

Os agregados utilizados para a realização do programa experimental descrito anteriormente foram areia média, areia fina e brita basáltica tipo 0. Todos os agregados utilizados na mistura foram os mesmos que são utilizados na produção de concreto da empresa onde foi realizado o estudo.

##### **4.1.1.1 Areia média**

A caracterização do agregado miúdo seguiu todos os requisitos prescritos nas respectivas normas vigentes. Suas características físicas e granulométricas estão apresentadas no Quadro 6. Sua composição granulométrica está sendo comparada graficamente com os limites da NBR 7211 (ABNT,2009) na Figura 16.

Quadro 6 – Caracterização física e granulométrica areia média

Característica		Método de ensaio	Areia natural média
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )		NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,76
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )		NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,53
Dimensão máxima característica (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2013)	2,36
Módulo de Finura		NBR NM 248 (ABNT, 2013)	2,94
Material pulverulento (%)		NBR NM 46 (ABNT, 2003)	1,26
Abertura da Peneira (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2013)	Porcentagem retida acumulada (%)
Distribuição granulométrica	4,75		0,15
	2,36		1,84
	1,18		11,1
	0,60		26,9
	0,30		59,96
	0,15		94,52
	0,00		99,98

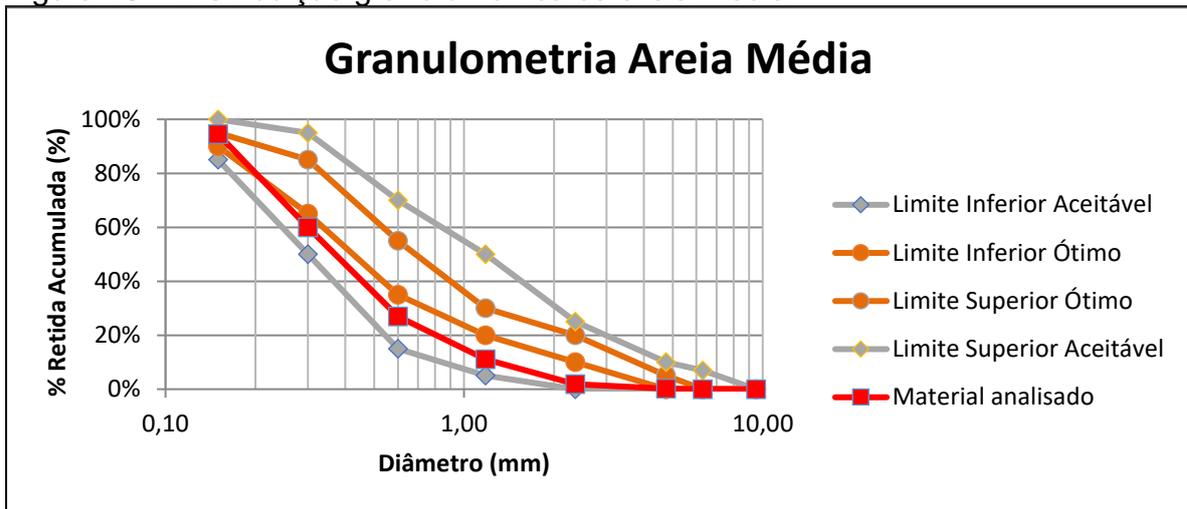
Fonte: autor (2018)

Conforme se verifica no Quadro 6 o resultado da granulometria da areia média resultou em 2,94 mm quanto ao módulo de finura, sua dimensão máxima característica resultou em 2,36 mm. Também foram avaliados sua massa específica, massa unitária e material pulverulento que resultaram em 2,76 g/cm<sup>3</sup>, 1,53 g/cm<sup>3</sup>, 1,26% respectivamente. Sua curva granulométrica pode ser verificada na Figura 16.

A distribuição granulométrica ficou dentro do limite aceitável para as peneiras 2,36, 1,18, 0,60, 0,30 e dentro do limite ótimo para a peneira 0,15.

Analisando a curva granulométrica obtida, observa-se que a areia média utilizada no programa experimental, encontra-se em de acordo com o recomendado para a execução de concretos em geral, conforme a NBR 7211(ABNT, 2009).

Figura 16 – Distribuição granulométrica da areia média



Fonte: autor (2018)

#### 4.1.1.2 Areia fina

A caracterização do agregado miúdo seguiu todos os requisitos prescritos nas respectivas normas vigentes. Suas características físicas e granulométricas estão apresentadas no Quadro 7. Sua composição granulométrica sendo comparada graficamente com os limites da NBR 7211 (ABNT,2009) encontra-se na Figura 17.

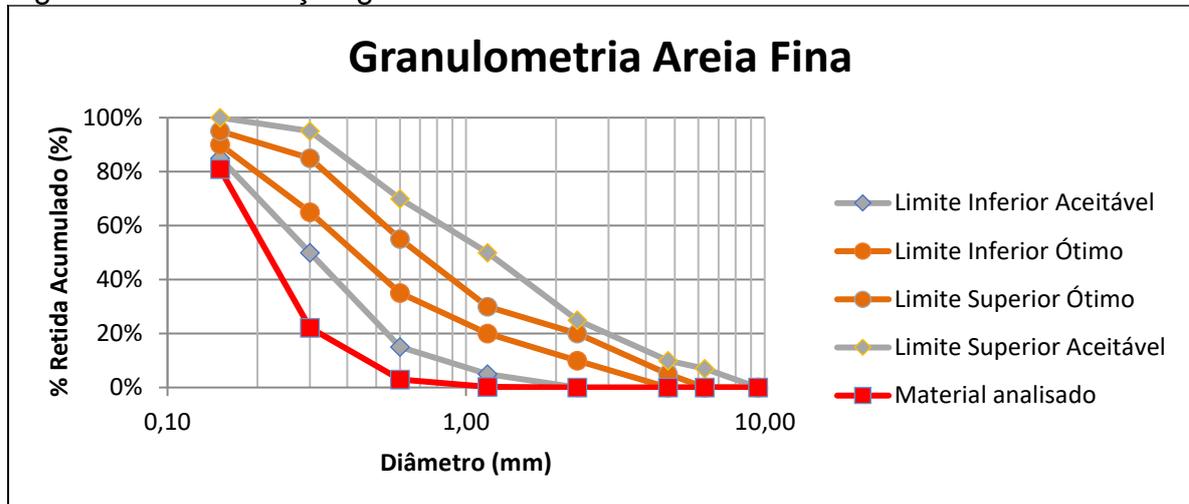
Quadro 7 – Caracterização física e granulométrica areia fina

Característica		Método de ensaio	Areia natural média
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )		NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,55
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )		NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,45
Dimensão máxima característica (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2013)	0,60
Módulo de Finura		NBR NM 248 (ABNT, 2013)	2,06
Material pulverulento (%)		NBR NM 46 (ABNT, 2003)	4,53
Abertura da Peneira (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2013)	Porcentagem retida acumulada (%)
Distribuição granulométrica	4,75		0,00
	2,36		0,00
	1,18		0,23
	0,60		2,92
	0,30		22,18
	0,15		80,9
	0,00		99,64

Fonte: autor (2018)

Conforme se verifica no resultado da granulometria da areia fina Quadro 7, o módulo de finura resultou em 2,06 mm, sua dimensão máxima característica resultou em 0,60 mm. Também foram avaliados sua massa específica, massa unitária e material pulverulento que resultaram em 2,55 g/cm<sup>3</sup>, 1,45 g/cm<sup>3</sup>, 4,53% respectivamente. Sua curva granulométrica pode ser verificada na Figura 17.

Figura 17 – Distribuição granulométrica da areia fina



Fonte: autor (2018)

A distribuição granulométrica ficou abaixo do limite inferior aceitável para as peneiras 1,18, 0,60, 0,30 e 0,15.

Analisando a curva granulométrica obtida, observa-se que a areia fina utilizada no programa experimental, encontra-se em desacordo com o recomendado para a execução de concretos em geral, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009). Desta forma recomenda-se que seja realizado a mesclagem com uma areia mais grossa a fim de torna-la apta para utilização, resultando em um melhor desempenho do concreto.

#### 4.1.1.3 Brita 0

A caracterização do agregado graúdo seguiu todos os requisitos prescritos nas normas. Tal caracterização, juntamente com suas características físicas e granulométricas são apresentadas no Quadro 8. Sua composição granulométrica está sendo apresentada e comparada graficamente com os limites da NBR 7211 (ABNT, 2009) na Figura 18.

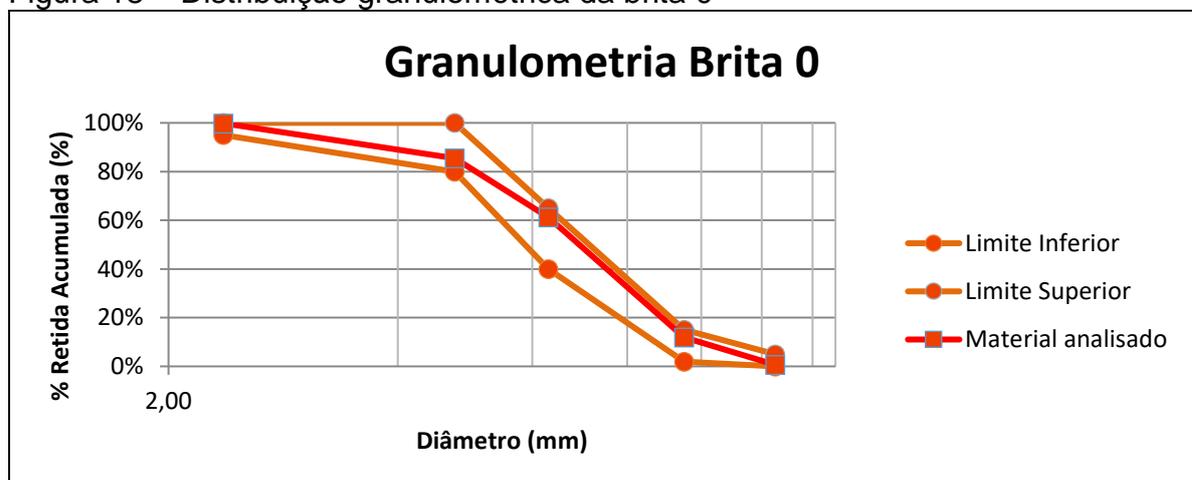
Quadro 8 – Caracterização física e granulométrica areia fina

Característica		Método de ensaio	Areia natural média
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )		NBR NM 53 (ABNT, 2009)	2,96
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )		NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,47
Dimensão máxima característica (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2013)	12,5
Módulo de Finura		NBR NM 248 (ABNT, 2013)	6,96
Absorção (%)		NBR NM 53 (ABNT, 2009)	2,6
Abertura da Peneira (mm)		NBR NM 248 (ABNT, 2013)	Porcentagem retida acumulada (%)
Distribuição granulométrica	25		0
	19		0
	12,5		0,65
	9,5		11,96
	6,3		61,25
	4,75		85,39
	2,36		99,78

Fonte: autor (2018)

O resultado da granulometria da brita 0 pode ser verificado no Quadro 8. O módulo de finura resultou em 6,96 mm e sua dimensão máxima característica resultou em 12,5 mm. Também foram avaliadas sua massa específica, massa unitária e absorção de água que resultaram em 2,96 g/cm<sup>3</sup>, 1,47 g/cm<sup>3</sup>, 2,60% respectivamente. Sua curva granulométrica pode ser verificada na Figura 18.

Figura 18 – Distribuição granulométrica da brita 0



Fonte: autor (2018)

A distribuição granulométrica ficou dentro dos limites aceitáveis para esse produto (entre 4,75 e 12,5 mm) conforme curva apresentada na Figura 17.

Analisando a curva granulométrica obtida, observa-se que a brita 0 utilizada no programa experimental, encontra-se de acordo com o recomendado para a execução de concretos em geral, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009).

#### **4.1.2 Resistência à compressão**

Os resultados obtidos no ensaio de resistência a compressão do concreto são apresentados no Quadro 9.

É possível verificar na análise dos dados que há um acréscimo de resistência à compressão ao longo do tempo, como era esperado. Também é possível observar que o método de cura convencional obteve resultado superior de resistência média à compressão em todas as idades, na comparação com os métodos otimizados 1 e 2.

Com 1 dia de idade, o método de cura convencional alcançou resistência média à compressão de 22,8 MPa. Nessa mesma idade, a cura otimizada 1 alcançou resistência de 13 MPa e a cura otimizada 2 obteve resistência de 10,6 MPa. Esse aumento da resistência obtido no método convencional em relação aos métodos otimizada 1 e 2 é resultante da aplicação da cura térmica a vapor somente após o período de espera  $t_0$  que tecnicamente é o período decorrido entre a mistura do aglomerante com a água de amassamento e o início de pega do concreto além dos períodos de elevação e esfriamento da temperatura. Este é um dos fatores fundamentais para que se tenha uma melhor eficiência do processo. Conforme (VERVECK; HELMUTH *apud* SALVADOR FILHO, 2001) é necessário se atentar para que não ocorra a evaporação da água necessária para hidratação do cimento precocemente, fator que resulta em microfissuras no sistema e conseqüentemente perda de desempenho no concreto. O autor também relata que, devido ao aumento da velocidade inicial de hidratação não há tempo para a difusão dos produtos para posições mais distantes das partículas de cimento, o que forma espaços intersticiais. Neste caso, o material terá maior porosidade e ainda que apresente resistência inicial elevada poderá apresentar menor potencial de desenvolvimento de resistência mecânica final.

Com 3 dias de idade, o método de cura convencional alcançou resistência média à compressão de 23,8 MPa. Nessa mesma idade, a cura otimizada 1 evoluiu a resistência para 17,3 MPa e a cura otimizada 2 obteve resistência de 13,3 MPa.

Aos 7 dias de idade, o método de cura convencional alcançou resistência média à compressão de 31,1 MPa. Nessa mesma idade, a cura otimizada 1 evoluiu a resistência para 18,1 MPa e a cura otimizada 2 obteve resistência de 15,2 MPa.

Finalmente, aos 28 dias de idade, o método de cura convencional alcançou resistência média à compressão de 33,3 MPa. Nessa mesma idade, a cura otimizada 1 evoluiu a resistência para 22,1 MPa e a cura otimizada 2 obteve resistência de 17,5 MPa. Tal resultado vai de encontro ao que dizem Bardella *et al* (2005) e Oliveira *et al* (2007) quando afirmam que o o tempo ótimo de espera seria o de tempo de início de pega, e dessa forma pode ser justificado.

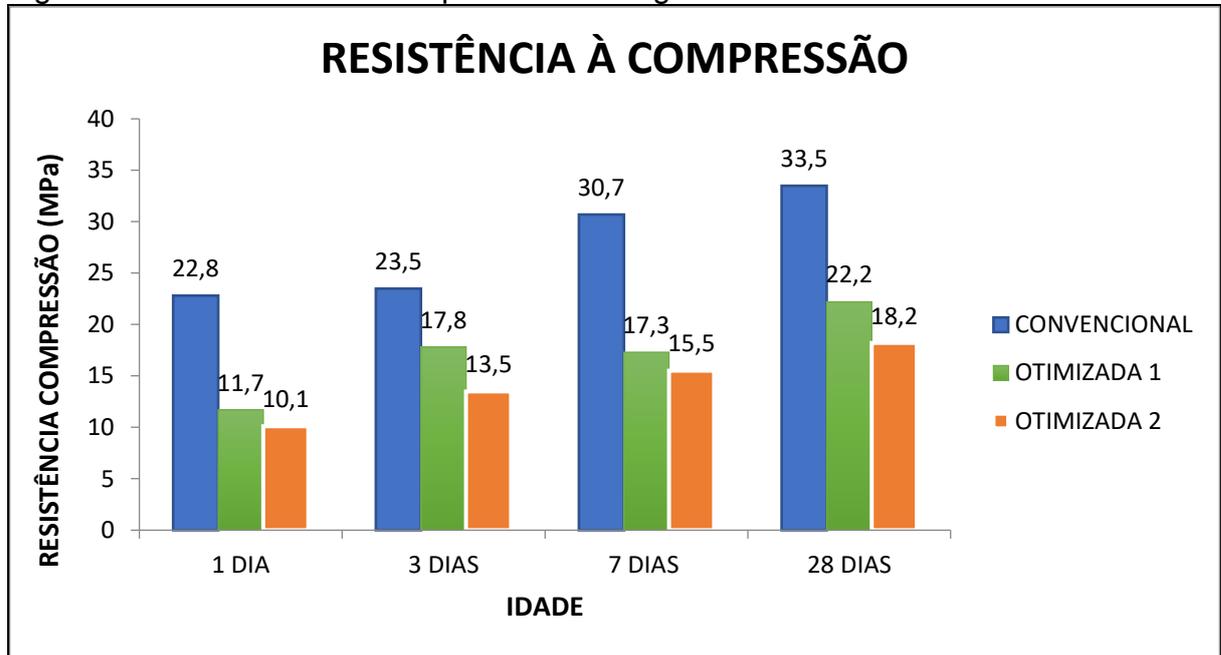
Quadro 9 – Resistência média à compressão, desvio padrão e coeficiente de variação, ao longo da idade

Tipo de Cura	Idade	Resistência à Compressão (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Padrão (Mpa)	Coeficiente de Variação (%)	Limites		Resistência à Compressão (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Padrão (Mpa)	Coeficiente de Variação (%)	Limites	
Convencional	1 dia	22,8	22,8	0,1	0,4	22,7	22,9	22,8	22,8	0,1	0,3	22,7	22,9
		22,8						22,8					
		22,9						22,9					
Otimizada 1	1 dia	12,7	13,0	2,3	18,0	10,6	15,3	12,7	11,7	1,3	11,1	10,4	13,0
		15,5						-					
		10,8						10,8					
Otimizada 2	1 dia	9,8	10,6	0,9	8,3	9,7	11,5	9,8	10,1	0,4	4,0	9,7	10,5
		10,4						10,4					
		11,6						-					
Convencional	3 dias	23,8	23,8	0,6	2,6	23,2	24,4	23,8	23,5	0,4	1,6	23,1	23,9
		24,5						-					
		23,2						23,2					
Otimizada 1	3 dias	17,5	17,3	1,0	5,9	16,3	18,3	17,5	17,8	0,5	2,9	17,3	18,4
		18,2						18,2					
		16,2						-					
Otimizada 2	3 dias	13,6	13,3	0,4	3,0	12,9	13,6	13,6	13,5	0,2	1,4	13,3	13,7
		12,8						-					
		13,3						13,3					
Convencional	7 dias	30,6	31,1	0,6	1,8	30,5	31,6	30,6	30,7	0,1	0,5	30,6	30,9
		30,9						30,9					
		31,7						-					
Otimizada 1	7 dias	17,0	18,1	1,3	7,2	16,8	19,4	17,0	17,3	0,4	2,5	16,9	17,8
		19,5						-					
		17,7						17,7					
Otimizada 2	7 dias	14,5	15,2	0,6	4,1	14,6	15,8	-	15,5	0,2	1,1	15,4	15,7
		15,4						15,4					
		15,7						15,7					
Convencional	28 dias	33,6	33,3	0,4	1,1	33,0	33,7	33,6	33,5	0,0	0,1	33,5	33,6
		32,9						-					
		33,5						33,5					
Otimizada 1	28 dias	22,1	22,1	0,2	0,9	21,9	22,3	22,1	22,2	0,1	0,4	22,2	22,3
		21,9						22,3					
		22,3						22,3					
Otimizada 2	28 dias	15,9	17,5	1,4	8,2	16,0	18,9	-	18,2	0,7	3,9	17,5	18,9
		18,7						18,7					
		17,7						17,7					

Fonte: autor (2018)

Para um melhor entendimento dos resultados apresentados no Quadro 9, foi gerado um gráfico com a média dos resultados do ensaio de resistência a compressão (FIGURA 19).

Figura 19 – Resistência à compressão ao longo da idade

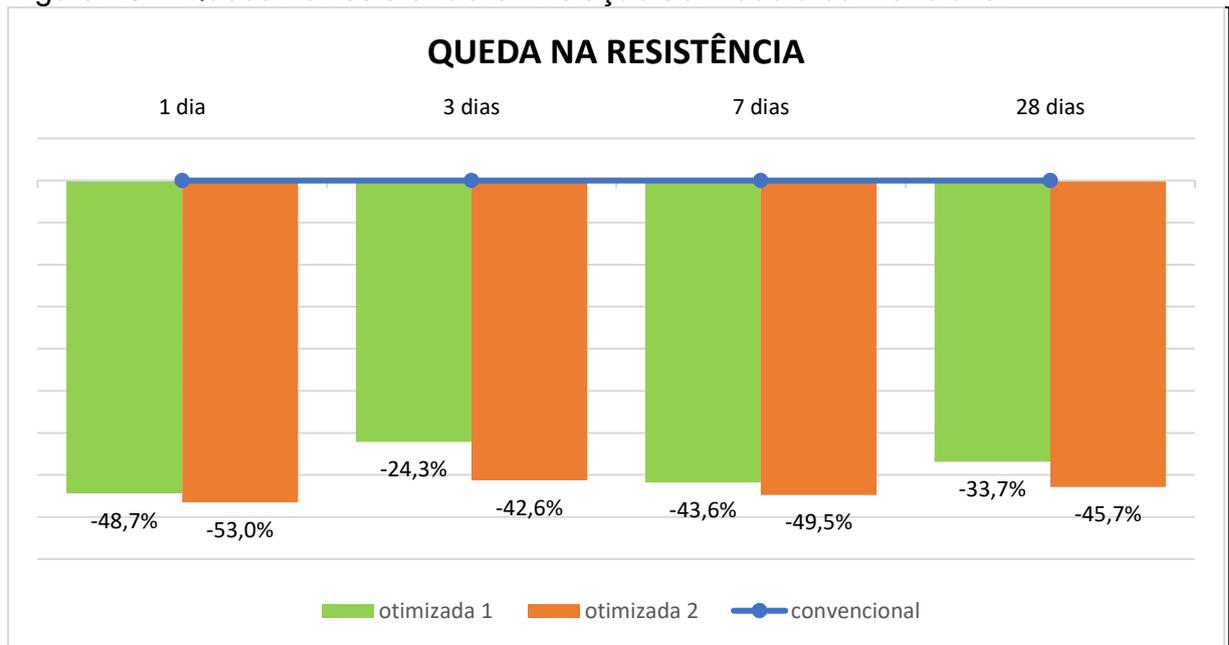


Fonte: autor (2018)

Após analisar os resultados obtidos, foi possível observar que a partir do momento em que se buscou acelerar o processo de cura a vapor através da redução do tempo de aplicação e acréscimo de temperatura, conseqüentemente teve-se uma queda na resistência a compressão do concreto de 48,7% para o método “otimizada 1” e 53% para o método “otimizada 2” em relação ao método convencional nas primeiras 24 horas.

Observa-se que esse comportamento se repetiu para as idades de 3 dias, 7 dias e 28 dias, onde a resistência a compressão aos 3 dias obteve uma perda de 24,3% para o método “otimizada 1” e 42,6% para o método “otimizada 2” em relação ao método convencional. Aos 7 dias de idade a perda de resistência a compressão ficou em 43,6% para o método “otimizada 1” e 49,5% para o método “otimizada 2” em relação ao método convencional e finalmente aos 28 dias de idade as perdas de resistência a compressão do concreto foram de 33,7% para o método “otimizada 1” e 45,7% para o método “otimizada 2” em relação ao método convencional.

Figura 20 – Queda na resistência em relação ao modelo convencional



Fonte: autor (2018)

Tal comportamento pode ser justificado pela elevação da temperatura e aplicação precoce do vapor nos métodos “otimizada 1” e “otimizada 2”. Nesse sentido, Neville e Brooks (2013) relatam que além da relação água/cimento, grau de adensamento e idade, a temperatura é um dos fatores que influenciam na resistência do concreto. Já Verbeck e Helmut (1968) *apud* Neville (1997) descrevem que a hidratação rápida do concreto em temperaturas mais altas produz uma distribuição não uniforme dos produtos de hidratação da pasta de cimento, prejudicando a resistência do concreto.

#### 4.1.3 Absorção de água

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água do concreto são apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Absorção de água, aos 28 dias

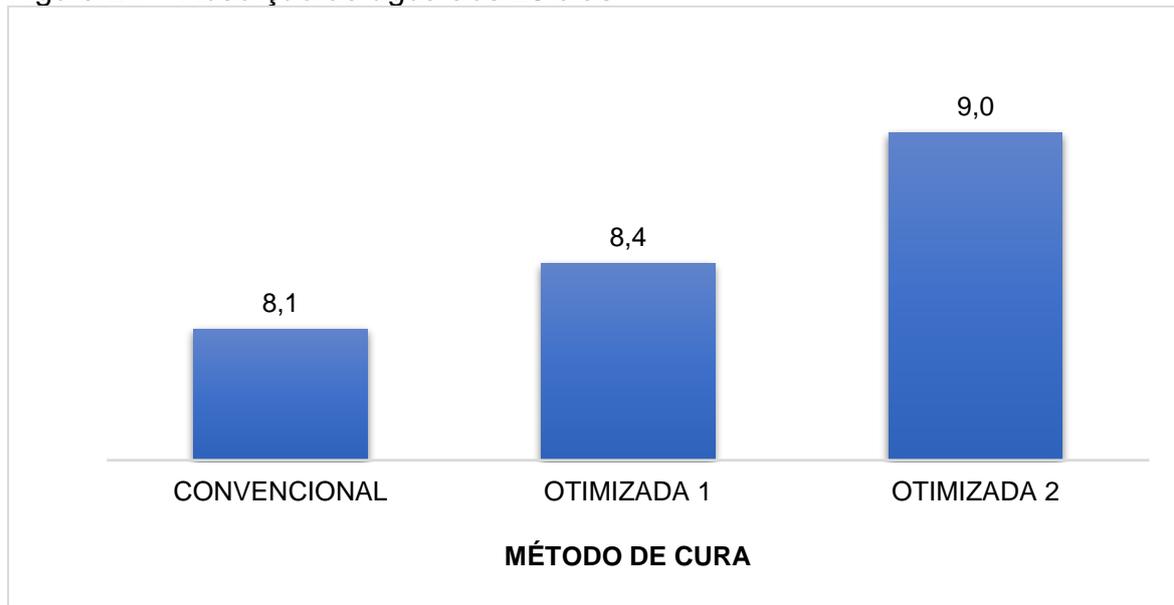
MÉTODO	MÉDIA (%)	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)	LIMITES (%)	
CONVENCIONAL	8,1	0,3	3,6	7,8	8,4
OTIMIZADA 1	8,4	0,2	2,0	8,2	8,6
OTIMIZADA 2	9,0	0,4	4,4	8,6	9,4

Fonte: autor (2018)

Quando a absorção de água, foi possível verificar que se obteve valores médios de 8,1%, 8,4% e 9,0% para os métodos de cura convencional, “otimizada 1” e “otimizada 2”, respectivamente.

Para um melhor entendimento dos resultados apresentados no Quadro 10, foi gerado um gráfico com a média dos resultados do ensaio de absorção de água (FIGURA 21).

Figura 21 – Absorção de água aos 28 dias



Fonte: autor (2018)

Após analisar os resultados obtidos, podemos observar que a partir do momento em que se tentou acelerar o processo de cura a vapor através da redução do tempo de aplicação e acréscimo de temperatura teve-se como consequência um aumento na absorção de água do concreto de 0,3% para o método “otimizada 1” e 1,0% para o método “otimizada 2” em relação ao convencional aos 28 dias de idade.

Esse comportamento pode ser justificado pelo fato de que quando se acelera o procedimento de cura do concreto, se tem uma evaporação precoce da água de amassamento o que resulta em um concreto mais poroso e permeável. Neville e Brooks (2013) relatam que o procedimento de cura deva ser mantido até que todos os espaços antes ocupados por água sejam preenchidos pelos produtos de hidratação resultando em um concreto mais impermeável fato que condiz com os resultados apresentados, uma vez que se acelerou o processo de cura se teve uma

evaporação de água precoce resultando em um acréscimo no percentual de absorção nos métodos “otimizada 1” e “otimizada 2”.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse trabalho era realizar uma avaliação comparativa entre três diferentes métodos de cura térmica a vapor a ser empregado em concretos fabricados com cimento Portland de alta resistência inicial utilizados na fabricação de estruturas pré-moldadas. Tal objetivo foi totalmente cumprido, e por conta disso, algumas conclusões puderam ser tiradas.

É evidente que a cura térmica contribui para que o concreto apresente uma resistência à compressão suficiente para antecipar a movimentação e utilização das peças, imediatamente após o ciclo. Tal processo pode reduzir o tempo de cura e conseqüentemente a área de estocagem das peças, possibilitando uma maior rotatividade dos moldes e das chapas.

Os resultados, porém, apontam para maiores perdas de resistência à compressão em longo prazo para os métodos que foram otimizados através da redução do tempo de exposição e acréscimos de temperatura. Comparando-se os resultados obtidos com os tempos de espera  $t_0$ , observou-se que, em todas as situações do estudo, que o método convencional, à longo prazo, apresentou melhores resultados de resistência à compressão e absorção de água.

Os dados apresentados neste estudo, embora divergentes de outras pesquisas consultadas, confirmam a importância de estabelecer o tempo ótimo de espera (aguardando o momento da pega) e respeitando os gradientes de temperatura a serem aplicados, quando se utiliza cura térmica.

Novos estudos poderiam focar em diferentes técnicas de cura térmica que possam ser usadas sistematicamente em uma fábrica de pré-moldados de modo a

alcançar melhor qualidade e desempenho; na utilização de outros tipos de cimento para a realização desse processo; e na análise da viabilidade econômica da implantação da cura térmica nessas organizações.

## REFERÊNCIAS

ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto. **Um novo rumo para a construção industrializada**. Informativo ABCIC. São Paulo, 2013.

ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto. **Pré-fabricado de concreto** - Curso básico ABCIC. 2015. Disponível em: <[http://www.abcic.org.br/pdfs\\_curso\\_basico/CursoPrefabricados\\_12\\_06.pdf](http://www.abcic.org.br/pdfs_curso_basico/CursoPrefabricados_12_06.pdf)>. Acesso em: 30 ago 2017.

ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto. **Revista Industrializar em concreto**. Nº 06. Dezembro/2015. Disponível em [www.abcic.org.br](http://www.abcic.org.br). Acesso em 24 set 2017

ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto. **Revista Industrializar em concreto**. Nº 09. Dezembro/2016. Disponível em [www.abcic.org.br](http://www.abcic.org.br). Acesso em 24 set 2017.

ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto. **Revista Industrializar em concreto**. Nº 11. Agosto/2017. Disponível em [www.abcic.org.br](http://www.abcic.org.br). Acesso em 24 set 2017.

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Manual da Construção Industrializada**. 2015. Disponível em <http://www.abramat.org.br/datafiles/publicacoes/manual-construcao.pdf>. Acesso em 24 set 2017.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto auto-adensável**. NBR 15823/2017: Rio de Janeiro, 2017.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland CP V ARI**. NBR 5733/1991: Rio de Janeiro, 1991.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. NBR 5738/2008: Rio de Janeiro, 2008.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto**. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. NBR 5739/2007: Rio de Janeiro, 2007.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. NBR 6118/2014: Rio de Janeiro, 2014.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado para concreto**– Especificação. NBR 7211/2005. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados** - Determinação da composição granulométrica. NBR NM 248/2003. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré Moldado**. NBR 9062/2006. Rio de Janeiro: 2006.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9479/1994: **Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos de prova de argamassa e concreto**. ABNT: Rio de Janeiro, 1994.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos** - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. NBR 9778/2005. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos** - Determinação da absorção de água por capilaridade. NBR 9779/2012. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Amostragem**. NBR NM 26/2001. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem**. NBR NM 46/2003. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Água para amassamento do concreto Parte I - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2009. NBR 15900/2009. Rio de Janeiro, 2009.

ALDEA, C. M.; YOUNG, F. B.; SHAH, S. P. (2000). **Effects of curing conditions on properties of concrete using slag replacement**. Cement and Concrete Research, v.30, n. 3, p. 465 – 472, march.

ANDRADE JJO. TUTIKIAN BF. **Concreto: ciência e tecnologia**. Resistência mecânica do concreto. São Paulo: IRACON, 2011.

BARDELLA, PS; BARBOSA DC, GLADIS, C. **Sistemas de Cura em Concretos Produzidos com Cimento Portland de Alto-Forno com Utilização de Sílica Ativa**. Campinas, UNICAMP: 2005.

BRUMATTI, Diono O. **Uso de pré-moldados**: estudo e viabilidade. Universidade Federal De Minas Gerais, 2008. Disponível em: <<http://www.pos.demc.ufmg.br/2015/trabalhos/pg1/Monografia%20Dioni%20O.%20Brumatti.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2017.

CAMARINI, G.; CINCOTTO, M.A. **Cura térmica de argamassas e concretos por agentes térmicos** – Aspectos Gerais. In: Seminário Nacional sobre Desenvolvimento Tecnológico dos Pré-moldados e Autoconstrução. FAU-USP, Anais, p.141-51, maio 1995.

CAMARINI, G. (1995). **Desempenho de misturas de cimento Portland e escória de alto-forno submetidas à cura térmica**. Tese (Doutorado). EPUSP. Escola Politécnica de Universidade de São Paulo. São Paulo.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado**: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2015.

DI PIETRO, J. E. **Crêterios para otimização da produção e controle de qualidade para elementos pré-fabricados em concreto**. In: Encontro nacional de engenharia de produção, 22., 2002, Curitiba: ABEPRO, 2002. p. 1-6. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002\\_TR21\\_1323.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR21_1323.pdf)>. Acesso em: 07 set 2017.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. São Carlos: Escola da Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP), 2000.

FERREIRA JUNIOR, E. L. **Avaliação de propriedades de concretos de cimento Portland de alto-forno e cimento Portland de alta resistência inicial submetidos a diferentes condições de cura**. Dissertação (Mestrado). FEC/UNICAMP. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia de concreto estrutural**: tópicos aplicados. São Paulo: Editora Pini, 2008.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. São Paulo. 1993. Tese (Livre docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1993.

MARTINS, A. R. (2001). **Efeito da cura térmica e de cimentos com escória granulada de alto-forno na durabilidade do concreto de cobrimento**.

Dissertação (Mestrado). FEC/UNICAMP. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo JM. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2014.,

NEVILLE, AM. BROOKS, JJ. **Tecnologia do concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2ª ed. Traduzido por Salvador E. Giammuso. São Paulo: Pini, 1997.

OLIVEIRA, I. R. GARCIA, J. R. PANDOLFELLI, V.C. **Cinética de hidratação de ligantes à base de alumina hidratável ou aluminato de cálcio**. Cerâmica 53. 2007

PETRUCCI, E.G.R. PAULON, V.A. **Concreto de cimento Portland**. 10. ed Porto Alegre: Globo, 1983.

PORTO, Thiago Bomjardim; FERNANDES, Danielle SG. **Curso básico de concreto armado**: conforme NBR 6118/2014. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Projetos e Critérios Executivos de Pavimentos Industriais de Concreto Armado**. São Paulo: IBTS, 2006.

SALAS, S. J. **Construção Industrializada**: Pré-fabricação. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas, 1988.

SALVADOR FILHO, J. A. A. **Cura Térmica dos Concretos de Alto Desempenho: Análise das propriedades mecânicas utilizando o método da maturidade**. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

TUTIKIAN, BF; DAL MOLIN, DC. **Concreto auto-adensável**. São Paulo: Pini, 2008.

VAN ACKER, A. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. São Paulo: Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2002.

VILASBOAS, J.M.L. **Durabilidade das edificações de concreto Armado em salvador**: uma contribuição para a Implantação da NBR 6118:2003. Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo. Universidade Federal da Bahia. 2004.



**UNIVATES**

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09