



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
*CAMPUS DO SERTÃO*  
ENGENHARIA CIVIL

NÁIADE NARA FERREIRA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO  
ESTRUTURAL DEVIDO À PERDA DE ÁGUA NA MISTURA DO CONCRETO NO  
SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Delmiro Gouveia/AL

2016

NÁIADE NARA FERREIRA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO  
ESTRUTURAL DEVIDO À PERDA DE ÁGUA NA MISTURA DO CONCRETO NO  
SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito final à conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, *Campus* do Sertão.

Orientador: Profº. Msc. Alexandre Nascimento de Lima

Delmiro Gouveia/AL

2016

N237a Santos, Náide Nara Ferreira dos

Análise da variação da resistência à compressão do concreto estrutural devido à perda de água na mistura do concreto no semiárido nordestino / Náide Nara Ferreira dos Santos. - 2016. 119f.: il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2016.

Orientação: Prof. Msc. Alexandre Nascimento de Lima.

1. Concreto estrutural. 2. Perda de Água. 3. Semiárido Nordeste.

CDU 624

NÁIADE NARA FERREIRA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO  
ESTRUTURAL DEVIDO À PERDA DE ÁGUA NA MISTURA DO CONCRETO NO  
SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Alagoas – UFAL, *Campus* do Sertão  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Data de aprovação: 20/05/16

**Banca Examinadora**

Alexandre Nascimento de Lima

Prof. Msc. Alexandre Nascimento de Lima  
Universidade Federal de Alagoas - UFAL  
Orientador

Karlisson André Nunes da Silva

Prof. Msc. Karlisson André Nunes da Silva  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Examinador

Rafaela Faciola Coelho de Souza

Prof.ª. Dra. Rafaela Faciola Coelho de Souza – EESC/USP  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Examinadora

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este estudo à minha família, em especial aos meus pais por terem fornecido o alicerce no qual pude construir meus objetivos, e proporcionado o impulso necessário para que eu pudesse alcançá-los.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças e coragem para seguir em frente nesta longa jornada, guiando meus passos e iluminando o meu caminho.

Aos meus pais, Paulo Lúcio e Lídia Maria por tudo que fizeram e fazem para que eu me torne uma pessoa melhor a cada dia, por todo esforço e dedicação, por todo amor e confiança depositados em mim e por terem acreditado na minha capacidade de chegar até aqui e mais além.

Aos meus familiares, que mesmo distantes contribuíram de certa forma para o meu desenvolvimento pessoal e profissional. E em especial aos meus avós, João e Josefa, por todo cuidado e apoio fornecidos e que foram essenciais para minha formação.

Ao meu esposo, Jaime Ferreira, com quem compartilho minha vida, meu amor, minhas decisões e conquistas. E que sempre está ao meu lado me incentivando.

Aos meus colegas de curso, com os quais vivi momentos de alegrias e companheirismo.

Ao meu orientador Alexandre Nascimento por ter confiado em meu potencial, por ter compartilhado comigo suas experiências e por estar sempre disposto a ajudar e orientar seus alunos sendo ao mesmo tempo mestre e amigo.

À toda equipe da empresa Arconst por ter fornecido a oportunidade de estagiar e vivenciar na prática parte daquilo que aprendi durante a graduação.

À todos os professores que fizeram parte da minha vida acadêmica por terem dedicado tempo e sabedoria necessários para uma formação profissional de qualidade.

Enfim, agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui e daqui poder enxergar mais alto e chegar mais longe.

## **EPÍGRAFE**

Assim como a planta é um projeto da construção civil, o sonho é um projeto de construção de vida.

(Autor desconhecido)

## RESUMO

O estudo do concreto em seu estado fresco é de fundamental importância para garantir sua qualidade no estado endurecido, pois é no estado fresco em que ele está mais sujeito as ações que possam comprometer o desempenho de suas propriedades, tais como erros de dosagem, manipulação, transporte, aplicação, além de sua exposição aos fatores climáticos como a temperatura e a umidade do ar. Os locais de clima quente e seco favorecem a perda de água de amassamento devido à aceleração das reações de hidratação do cimento e à evaporação. É comum, principalmente em obras de pequeno porte, a existência de um grande intervalo de tempo entre a produção e a aplicação do concreto na estrutura. Com o passar do tempo a mistura do concreto vai aumentando sua consistência e perdendo sua trabalhabilidade, o que torna necessário a adição de água para correção do abatimento. O excesso de água na mistura aumenta o fator água/cimento e reduz a resistência do concreto. Este trabalho objetiva analisar a variação da consistência e da resistência à compressão do concreto estrutural ocasionada pela ação de fatores intervenientes capazes de alterar suas propriedades e que atuam na mistura do concreto devido ao tempo de exposição às condições climáticas do ambiente, no semiárido nordestino. Essa análise foi feita por meio de ensaios de abatimento e resistência à compressão, realizados com amostras de concreto fresco, expostas, por tempo variável, às ações da temperatura e da umidade do ar registradas no local. A partir da análise dos resultados obtidos foi concluído que o concreto produzido na cidade de Petrolina-PE apresentou maiores resistências no período do inverno, caracterizado como quente e seco, sendo os menores resultados obtidos no mês mais úmido. Além disso, concluiu-se que o concreto fresco sofre influência dos fatores climáticos da região que contribuem para a redução da resistência.

**Palavras-chave:** Concreto fresco; Resistência à compressão; Fatores intervenientes; Semiárido nordestino.



## ABSTRACT

The study of concrete in its fresh state has fundamental importance to ensure quality in its hardened state because the concrete in the fresh state is more susceptible to actions that can compromise the performance of its properties such as dosing errors, manipulation, transportation, application, and its exposure to climatic factors such as temperature and humidity. The hot and dry climates favor the loss of mixing water due to the acceleration of the cement hydration reactions and evaporation. It is common especially in small constructions, the existence of a large time interval between the production and application of the concrete structure. After some time the concrete mix increases losing its consistency and workability, which necessitates the addition of water for the abatement correction. Excess water in the mix factor increases the water / cement ratio and reduces the strength of concrete. This paper aims to analyze the variation of consistency and compressive strength of the structural concrete caused by the action of intervening factors that are capable to change the concrete properties and that work in the concrete mix due to its time of exposure to ambient weather conditions in the northeastern semi-arid. This analysis was done through reduction tests and compressive strength, performed with samples of fresh concrete exposed for a variable time to actions of temperature and humidity recorded on site. From the analysis of the results it was concluded that the concrete produced in the city of Petrolina-PE had higher resistance in the winter period, characterized as warm and dry, and the lowest results was in the wetter month. In addition, it was concluded that the fresh concrete is influenced by climatic conditions in the region contributing to the reduction of resistance.

**Keywords:** Fresh Concrete; Compressive Strength; Intervening Factors; Semi-arid Northeast.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ruínas do Zigurate de Aqarqui (Kaefer, 1998).....	23
Figura 2.2 – Aqueduto PontduGard (Carvalho, 2008).....	24
Figura 2.3– Ruínas da Basílica de Constantino (Carvalho, 2008).....	24
Figura 2.4 – Trecho da estrada Via Apia (Carvalho, 2008).....	25
Figura 2.5 – Joseph-Louis Lambot e o protótipo original de seu barco (Carvalho, 2008 apud Lambot, 2008).....	26
Figura 2.6 – Influência da relação água/cimento e idade de cura úmida sobre a resistência do concreto (Mehta e Monteiro, 2008 apud Design and Control of Concrete Mixtures, 1988).....	49
Figura 2.7 – Influência da relação água/cimento, ar incorporado e consumo de cimento na resistência do concreto (Mehta e Monteiro, 2008 apud Concrete Manual, 1981 e Cordon, 1979).....	50
Figura 2.8 – Influência das condições de cura sobre a resistência (Mehta e Monteiro, 2008 apud Concrete Manual, 1981).....	54
Figura 2.9 – Medida do índice de consistência média com o passar do tempo (Teixeira e Pelisser, 2007).....	56
Figura 2.10 – Medida do índice de consistência média com o passar do tempo (após 2,5 horas) (Teixeira e Pelisser, 2007).....	57
Figura 2.11 – Resistência à compressão média com o passar do tempo (Teixeira e Pelisser, 2007).....	57
Figura 2.12 – Resistência à compressão média com o passar do tempo (após 2,5 horas) (Teixeira e Pelisser, 2007).....	58
Figura 2.13 – Curva de tendência resistência x fator a/c (Dutra et al., 2014).....	59
Figura 2.14 – Curva de tendência resistência x fator a/c adição calda 1:1 (Dutra et al., 2014).....	59
Figura 2.15 – Etapas de execução do slump test.....	62

Figura 2.16 – Mapa do Nordeste com a localização do Semiárido. (Moura et al., 2007).....	67
Figura 2.17 – Climatologia da precipitação mensal da região Nordeste do Brasil. (Moura et al., 2007).....	68
Figura 2.18 – Normais de radiação solar global do período de 1968 a 2009 em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).....	71
Figura 2.19 – Normais de insolação do período de 1968 a 2009 em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).....	72
Figura 2.20 – Normais de temperatura máxima, média e mínima do ar no período de 1968 a 2009 da estação agrometeorológica de Bebedouro, em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).....	73
Figura 2.21 – Normais de umidade relativa do ar no período de 1968 a 2009 da estação agrometeorológica de Bebedouro, em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).....	74
Figura 2.22 – Normais de velocidade do vento no período de 1968 a 2009 da estação agrometeorológica de Bebedouro, em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).....	74
Figura 2.23 – Histograma de evaporação do tanque Classe “A” no período de 1968 a 2009 da estação agrometeorológica de Bebedouro, em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).....	75
Figura 2.24 – Histogramas de precipitação pluvial do período de 1968 a 2009 da estação agrometeorológica de Bebedouro, em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).....	76
Figura 2.25 – Histogramas de deficiência hídrica do período de 1968 a 2009 da estação agrometeorológica de Bebedouro, em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).....	76
Figura 3.1 – Localização em mapa da cidade, da empresa e do edifício.....	77
Figura 4.1 – Betoneira utilizada para produção do concreto.....	80
Figura 4.2 – Transporte do concreto.....	81
Figura 4.3 – Aplicação do concreto.....	81
Figura 4.4 – Determinação do abatimento do concreto pelo slump test.....	82
Figura 4.5 – Moldagem e cura dos corpos de prova.....	83
Figura 4.6 – Relógio digital medidor de temperatura e umidade.....	83
Figura 4.7 – Esquema que resume as etapas dos testes experimentais.....	84

Figura 5.1 – Percentual de ganho de resistência para o concreto dosado na concreteira e na obra no período do verão e do inverno.....	88
Figura 5.2 – Percentual de ganho de resistência para o concreto dosado na obra no mês mais quente, frio, seco e úmido.....	89
Figura 5.3 – Variação da consistência do concreto ao longo do intervalo de tempo.....	91
Figura 5.4 – Variação da resistência do concreto ao longo do intervalo de tempo.....	92
Figura 5.5 – Variação da resistência devido ao tempo de exposição do concreto entre sua produção e aplicação.....	93
Figura 5.6 – Variação da consistência do concreto em relação à temperatura.....	95
Figura 5.7 – Variação da resistência do concreto em relação à temperatura.....	95
Figura 5.8 – Variação da consistência do concreto em relação à umidade do ar.....	97
Figura 5.9 – Variação da resistência do concreto em relação à umidade do ar.....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Principais tipos de concreto e suas características (adaptado de ABESC, 2007).....	28
Tabela 2.2 – Principais tipos e características do cimento utilizado no Brasil (adaptado de Pedroso, 2009).....	31
Tabela 2.3 – Principais tipos, efeitos, vantagens e desvantagens dos aditivos (adaptado de ABESC, 2007).....	36
Tabela 2.4 – Resistência relativa aproximada do concreto, segundo a influência do cimento (adaptado de GALVÃO, 2003).....	51
Tabela 2.5 – Fatores que intervêm na resistência à compressão do concreto (adaptado de SELEGIN, 2013 apud TÉCHNE, 2009).....	60
Tabela 2.6 – Classes de consistência (NBR 7212, ABNT 2012).....	63
Tabela 2.7 – Classificação das consistências do concreto (ANDOLFATO, 2002).....	63
Tabela 2.8 – Números de camadas para moldagem dos corpos de prova (NBR 5738, ABNT 2008).....	65
Tabela 2.9 – Fator de correção h/d (NBR 5739, ABNT 2007).....	66
Tabela 2.10 – Valores médios mensais e anuais observados na Estação Meteorológica de Bebedouro, Petrolina-PE, durante o período de 1965 a 2005. (MOURA et al., 2007).....	69
Tabela 4.1 – Intervalo de tempo adotado entre a moldagem dos pares de corpos de prova em cada teste.....	85
Tabela 5.1 – Valores das resistências obtidas no verão e no inverno.....	87
Tabela 5.2 – Abatimentos e resistências obtidas em cada teste.....	90
Tabela 5.3 – Registros de temperaturas e respectivos valores de consistência e resistência obtidos.....	94
Tabela 5.4 – Registros de umidades do ar e respectivos valores de consistência e resistência obtidos.....	96

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de CimentoPortland
ABESC	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Relação água/cimento
B <sub>cc</sub> (T)	Função que representa a evolução da resistência no tempo
D	Diâmetro do corpo de prova
E	Evaporação do tanque Classe A
F	Força máxima alcançada para determinar a resistência à compressão
f <sub>c</sub>	Resistência à compressão
f <sub>ck</sub>	Resistência característica à compressão
f <sub>ckj</sub>	Resistência característica à compressão na idade de j dias
f <sub>cm</sub>	Resistência média aos 28 dias de idade
f <sub>ct,m</sub>	Resistência média à tração do concreto
f <sub>ctk,inf</sub>	Resistência característica inferior do concreto à tração
f <sub>ctk,sup</sub>	Resistência característica superior do concreto à tração
h	Altura do corpo de prova
IH	Índice hídrico
IU	Índice de umidade
K <sub>1</sub> e K <sub>2</sub>	Constantes empíricas da lei de Abrams
P	Precipitação
PE	Estado de Pernambuco
S	Coefficiente que varia de acordo com o tipo de cimento utilizado no concreto
S <sub>d</sub>	Desvio padrão
T <sub>máx.</sub>	Temperatura do ar máxima

$T_{med}$	Temperatura do ar média
$T_{min}$	Temperatura do ar mínima
UR	Umidade relativa do ar
$\delta$	Coefficiente de variação

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>07</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>08</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>09</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>13</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1. OBJETIVOS E IMPORTÂNCIA DESTE ESTUDO.....</b>	<b>21</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1. CONCRETO.....</b>	<b>22</b>
2.1.1. HISTÓRIA DO CONCRETO.....	22
2.1.2. TIPOS E APLICAÇÕES DE CONCRETO.....	27
<b>2.2. COMPOSIÇÃO E DOSAGEM DO CONCRETO.....</b>	<b>30</b>
2.2.1. CIMENTO PORTLAND.....	30
2.2.2. AGREGADOS.....	33
2.2.2.1. AGREGADOS MIÚDOS.....	34
2.2.2.2. AGREGADOS GRAÚDOS.....	34
2.2.3. ÁGUA.....	35
2.2.4. ADITIVOS.....	36
2.2.5. DOSAGEM.....	38
<b>2.3. PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO E APLICAÇÃO DO CONCRETO....</b>	<b>39</b>
2.3.1. MISTURA.....	40
2.3.2. TRANSPORTE.....	41
2.3.3. LANÇAMENTO.....	41
2.3.4. ADENSAMENTO.....	42
2.3.5. CURA E RETIRADA DE FÔRMAS E ESCORAS.....	43
<b>2.4. PRINCIPAIS PROPRIEDADES DO CONCRETO.....</b>	<b>43</b>
2.4.1. CONCRETO FRESCO.....	44
2.4.1.1. HOMOGENEIDADE.....	44
2.4.1.2. CONSISTÊNCIA.....	44
2.4.1.3. TRABALHABILIDADE.....	45



2.4.2.	CONCRETO ENDURECIDO.....	45
2.4.2.1.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	46
2.4.2.2.	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.....	47
<b>2.5.</b>	<b>FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA DO CONCRETO.....</b>	<b>48</b>
2.5.1.	CARACTERÍSTICAS E PROPORÇÕES DOS MATERIAIS.....	48
2.5.1.1.	FATOR ÁGUA/CIMENTO.....	48
2.5.1.2.	AR INCORPORADO.....	49
2.5.1.3.	TIPO DE CIMENTO.....	50
2.5.1.4.	AGREGADO.....	51
2.5.1.5.	ÁGUA DE AMASSAMENTO.....	52
2.5.1.6.	ADITIVOS E ADIÇÕES.....	52
2.5.2.	CONDIÇÕES DE CURA.....	53
2.5.2.1.	TEMPO.....	53
2.5.2.2.	UMIDADE.....	54
2.5.2.3.	TEMPERATURA.....	54
2.5.3.	PARÂMETROS DE ENSAIO.....	60
<b>2.6.</b>	<b>FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA DO CONCRETO.....</b>	<b>61</b>
2.6.1.	SLUMP TEST.....	61
2.6.2.	MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	63
2.6.3.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO.....	65
<b>2.7.</b>	<b>HISTÓRICO DO CLIMA SEMIÁRIDO NORDESTINO.....</b>	<b>67</b>
2.7.1.	HISTÓRICO CLIMÁTICO NA REGIÃO DE PETROLINA-PE.....	69
<b>3.</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>77</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>79</b>
4.1.	MATERIAIS.....	79
4.2.	DOSAGEM DO CONCRETO.....	80
4.3.	PRODUÇÃO, TRANSPORTE E APLICAÇÃO DO CONCRETO.....	80
4.4.	ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE.....	82
4.5.	MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	82
4.6.	REGISTRO DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR.....	83
4.7.	TESTE EXPERIMENTAL.....	84
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>87</b>

<b>5.1. VARIÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO ESTRUTURAL.....</b>	<b>87</b>
5.1.1. Quanto ao período do verão e do inverno.....	87
5.1.2. Quanto ao mês mais quente, frio, seco e úmido.....	88
<b>5.2. VARIÇÃO DA CONSISTÊNCIA E DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO ESTRUTURAL.....</b>	<b>90</b>
5.2.1. Quanto ao tempo de exposição do concreto às condições climáticas.....	90
5.2.2. Quanto à variação da temperatura.....	94
5.2.3. Quanto à variação da umidade relativa do ar.....	96
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>99</b>
<b>6.1. QUANTO AO PERÍODO DO VERÃO E DO INVERNO.....</b>	<b>99</b>
<b>6.2. QUANTO AOS MESES COM MÁXIMA E MÍNIMA TEMPERATURA E UMIDADE DO AR.....</b>	<b>99</b>
<b>6.3. QUANTO AO INTERVALO DE TEMPO ENTRE A PRODUÇÃO E A APLICAÇÃO DO CONCRETO.....</b>	<b>99</b>
<b>6.4. QUANTO À AUSÊNCIA DO ADITIVO RETARDADOR DE PEGA.....</b>	<b>100</b>
<b>6.5. QUANTO À INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA UMIDADE.....</b>	<b>100</b>
<b>6.6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>100</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO 1 – REGISTRO DE RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DO CONCRETO ESTRUTURAL OBTIDAS NO PERÍODO DO VERÃO E DO INVERNO.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO 2 – REGISTRO DE RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DO CONCRETO ESTRUTURAL OBTIDAS NO MÊS MAIS QUENTE, FRIO, SECO E ÚMIDO.....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE A – RESULTADOS OBTIDOS NO TESTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>115</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Por ser um material que permite ser moldado em diversas formas, conferir resistência à peça moldada, possuir materiais constituintes abundantes na natureza, baixo custo de fabricação e possibilidade de, com uso de aditivos e adições, potencializar ou adquirir propriedades de acordo com as exigências da situação, o concreto é o material mais utilizado na construção civil. Porém seu uso exige muitos cuidados, principalmente quando utilizado nas estruturas, pois suas propriedades são alteradas por diversos fatores, o que torna necessário o uso de parâmetros normativos que regulamentam a sua utilização de forma eficiente e segura.

A trabalhabilidade, no estado fresco, e a resistência mecânica, no estado endurecido, são as características mais importantes para que se tenha um elemento concretado com qualidade e durabilidade satisfatória. A trabalhabilidade é a facilidade de manipulação do concreto e a resistência mecânica é a capacidade deste resistir aos esforços solicitados pela estrutura. Há diversos fatores que interferem na adequabilidade dessas propriedades, como por exemplo, as características e proporções dos materiais utilizados, os métodos de produção, transporte, aplicação e cura empregada e as condições climáticas da região.

Geralmente, principalmente nas obras de pequeno porte, há um elevado intervalo de tempo entre a produção e a aplicação do concreto na estrutura, devido aos fatores intervenientes característicos da própria obra, como por exemplo, o pequeno número de trabalhadores destinados à execução das etapas de concretagem, a falta de planejamento do processo de concretagem, a disponibilidade de apenas um elevador para realizar o transporte do concreto até a estrutura a ser concretada e dos outros materiais necessários para realização de outras atividades da obra, falta de comunicação entre as equipes de produção e aplicação, além de eventuais problemas mecânicos na betoneira, no elevador e nos vibradores que podem ocorrer durante a concretagem.

Com o passar do tempo o concreto fresco reduz sua fluidez e perde sua trabalhabilidade, pois este vai perdendo água por meio das reações de hidratação do cimento e por evaporação, principalmente nos locais de clima predominante quente e seco, como o semiárido, pois altas temperaturas e baixa umidade do ar aceleram as reações de hidratação e aumenta a taxa de evaporação da água presente na mistura. Devido a essa perda de água, há a necessidade de acrescentar mais água à mistura para que esta adquira novamente a consistência adequada para sua aplicação. Em muitos casos não há um acompanhamento da produção do concreto pelo profissional responsável pela obra, ficando por conta dos

funcionários esse acréscimo de água. O excesso de água no concreto fresco aumenta o fator água/cimento e compromete a resistência do concreto endurecido.

Uma forma de obter um tempo maior entre a produção e a aplicação do concreto sem comprometer sua resistência é através do uso dos aditivos, como os retardadores de pega, que prolongam o tempo de pega e favorecem o aumento da resistência. No entanto, é aconselhável que o concreto seja aplicado o mais rápido possível na estrutura, logo após ser descarregado da betoneira.

O concreto, quando não apresenta conformidade com as normas que regulamentam sua utilização e os parâmetros do projeto, acarreta prejuízos financeiros para a obra, principalmente em relação a resistência, pois quando esta se mostra inferior a resistência mínima adotada, devem ser tomadas medidas, quando possível, que reforcem a estrutura, o que demanda tempo e despesas, ocasionando atrasos ao cronograma e elevando o custo da obra. Para evitar esse tipo de situação, se faz necessário um estudo das características do concreto a serem obtidas quando produzido sob as circunstâncias da obra e da região, de modo a garantir a produção e a aplicação de um concreto de qualidade que resulte em uma estrutura segura e durável.

## **1.1. OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo analisar a variação da consistência e da resistência à compressão do concreto estrutural devido à perda de água na mistura do concreto durante o intervalo de tempo existente entre sua produção e aplicação.

## **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a influência da temperatura e da umidade do ar características da cidade de Petrolina-PE, situada na região do semiárido nordestino, na resistência do concreto;
- Avaliar a variação da consistência e da resistência à compressão do concreto devido ao tempo de exposição deste aos fatores climáticos da região;
- Observar os resultados obtidos para a resistência à compressão do concreto em concretagens realizadas nos períodos do verão e inverno;
- Observar os resultados obtidos para a resistência à compressão do concreto em concretagens realizadas nos meses de máxima e mínima temperatura e umidade do ar;
- Verificar o efeito causado na resistência do concreto dosado com o uso do aditivo retardador de pega, devido à sua ausência no traço produzido.

## **1.3. IMPORTÂNCIA DESTE ESTUDO**

Esse estudo tem grande relevância, pois permite conhecer o comportamento do concreto em determinadas situações antes de sua aplicação nas estruturas, uma vez que a resistência à compressão é obtida por meio de ensaios realizados com corpos de prova moldados logo após a produção do concreto, não levando em consideração os fatores intervenientes capazes de alterar as propriedades do concreto durante o tempo de exposição às condições climáticas. Esse tipo de estudo visa garantir maior confiabilidade, segurança e durabilidade nas estruturas de concreto, assegurando a adequabilidade das suas propriedades no momento de sua aplicação no elemento estrutural.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. CONCRETO**

Pimenta (2012) define o concreto como sendo uma rocha artificial obtida, inicialmente, pela mistura de um aglomerante, água, agregado miúdo, agregado graúdo, com adição ou não de aditivos químicos. Com a mistura desses materiais, o concreto é produzido por meio de várias operações executadas e controladas de modo que após o seu endurecimento resista aos esforços solicitados pelos mais variados carregamentos a que esteja submetido.

De maneira sucinta, pode-se afirmar que o concreto é uma pedra artificial que se molda à inventividade construtiva do homem. Este foi capaz de desenvolver um material que, depois de endurecido, tem resistência similar às das rochas naturais e, quando no estado fresco, é composto plástico: possibilita sua modelagem em formas e tamanhos os mais variados. (PEDROSO, 2009).

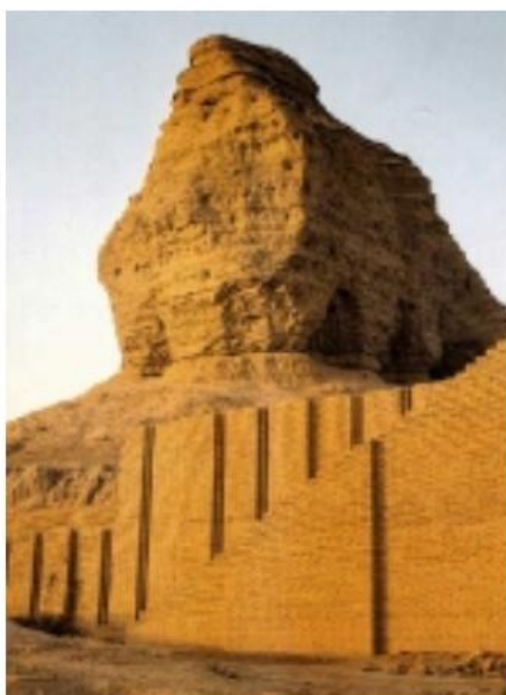
De acordo com Galvão (2003) o concreto não é tão resistente quanto o aço, porém possui considerável resistência à água, ao contrário da madeira e do aço, o que o torna um material ideal para construção de estruturas destinadas a controlar, armazenar e transportar água. Em seu estado fresco, tem consistência plástica, o que lhe permite fluir pelas fôrmas de modo a facilitar o processo de concretagem dos elementos estruturais das mais diversas formas e tamanhos. Após algumas horas, a mistura de concreto se solidifica e endurece, tornando-se uma massa resistente.

#### **2.1.1. HISTÓRIA DO CONCRETO**

Até o final do século XIX, os sistemas construtivos usuais eram as estruturas em madeira e em alvenaria. Apesar de abundante na época, a madeira apresentava problemas de durabilidade e combustão, por isso a alvenaria de pedras ou de tijolos foi o sistema estrutural empregado nas obras mais importantes. Desde as primeiras experiências com a alvenaria de pedras, as civilizações buscaram um material que unisse de forma coesa essas pedras. Inicialmente usaram a argamassa de barro e posteriormente, uma argamassa mais resistente e durável, a argamassa de cal. É nesse contexto que se inicia a história da cal, do cimento e do concreto: como aglomerantes para argamassas de alvenarias. (CARVALHO, 2008).

Segundo Kaefer (1998), em Israel por volta de 12.000.000 a.C. reações entre calcário e argila xistosa durante combustão espontânea formaram um depósito natural de compósitos de cimento, chamado de cimento natural e que foi o primeiro utilizado pelo homem.

Inicialmente, a arquitetura da Mesopotâmia empregou tijolos de barro cozido, maleáveis, porém pouco resistentes, o que justifica o alto grau de desgaste das construções encontradas. Posteriormente, na época dos primeiros povos sumérios, surgiram suas obras mais representativas, chamadas de zigurates ou templos em forma de torre, que formavam um tipo de pirâmide de faces escalonadas e dividida em várias câmaras (figura 2.1). Como já sabiam da fragilidade dos tijolos, utilizaram esteiras de fibras vegetais para reforçar a estrutura, combatendo os esforços de tração que tendem a desmoronar o maciço, surgindo assim à ideia de combinar materiais frágeis e dúcteis. (KAEFER, 1998).



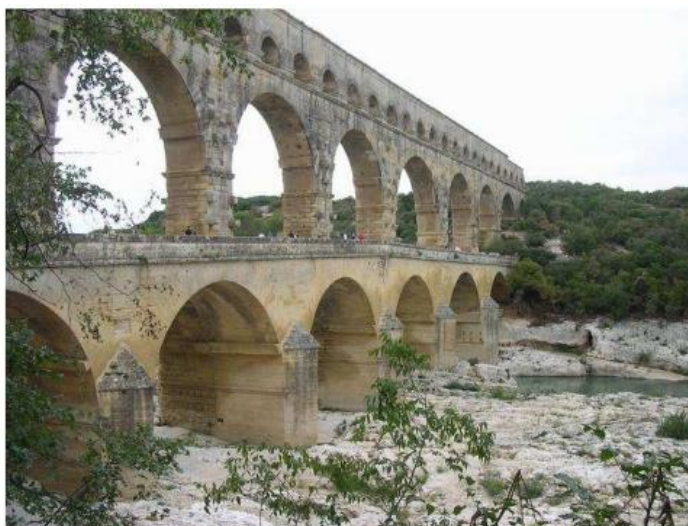
**Figura 2.1 – Ruínas do Zigurate de Aqarqui (Kaefer, 1998).**

De acordo com Carvalho (2008) a mais antiga aplicação de cal como aglomerante foi encontrada na Sérvia, nas ruínas de uma casa datada de 5.600 a.C., mas começou a surgir com frequência nas construções a partir da civilização egípcia. O material de vedação da Pirâmide de Quéops (2.700 a.C.) mostrou que os egípcios tinham experiência na sua utilização. Na pirâmide do faraó Tutancâmon (1.450 a.C.), há uma porta construída com enormes pedras rebocadas com argamassa. Com isso pode-se considerar que o cimento, como é conhecido hoje, tem sua origem com a argamassa egípcia constituída por uma mistura de gesso calcinado.

Kaefer (1998) diz que os romanos, ao misturarem uma cinza vulcânica (pozolana) com cal hidratada, obtiveram um aglomerante que endurecia sob a água.

Os romanos já usavam a cal como aglomerante desde 600 a.C., mas a grande descoberta que alavancou a engenharia romana e possibilitou dotar as cidades dessa infraestrutura foi um novo material de construção: o Opus Caementicium, cujo componente principal era uma cinza pozolânica que misturada à argamassa de cal produzia um material de características semelhantes ao cimento atual. (CARVALHO, 2008).

Segundo Carvalho (2008) essa argamassa (cimento) foi utilizada para construir o aqueduto PontduGard (figura 2.2), o Pantheon, grande parte das construções do Fórum Romano, o Coliseu, as famosas Termas e Banhos Romanos, a Basílica de Constantino (figura 2.3), além de várias estradas (figura 2.4), aquedutos e prédios.

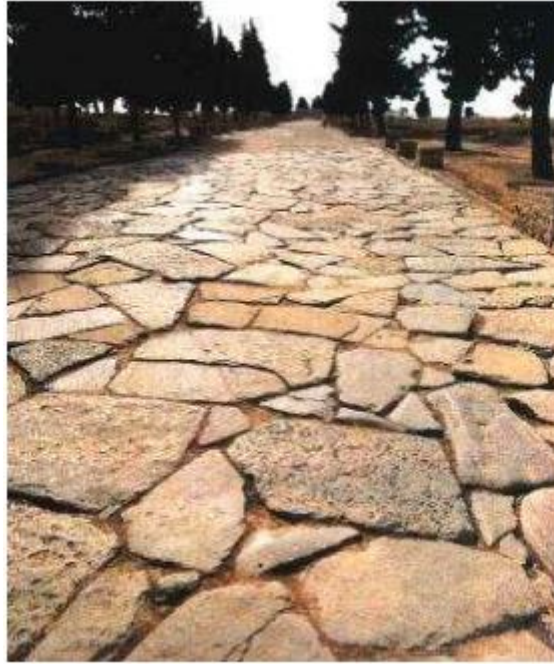


**Figura 2.2 – Aqueduto PontduGard (Carvalho, 2008).**



**Figura 2.3 – Ruínas da Basílica de Constantino(Carvalho, 2008).**





**Figura 2.4 – Trecho da estrada Via Apia(Carvalho, 2008).**

Carvalho (2008) ressalta ainda que os povos romanos copiavam e adaptavam às suas necessidades tudo aquilo que consideravam útil dos povos conquistados. A partir dessa iniciativa surgiu a indústria da construção, com legislação específica para regular alguns aspectos da construção, como o controle de qualidade dos materiais, e normas de serviços de mão de obra. E apesar dessa espécie de cimento descoberto pelos romanos ser frequentemente utilizado como argamassa de assentamento nas alvenarias de pedras, em alguns casos, como nas estradas e em algumas obras de coberturas, essas pedras eram muito pequenas, como a brita atual, tornando essa mistura muito semelhante à argamassa de concreto atual.

Segundo Kaefer (1998) em 1796, na Inglaterra, o engenheiro James Parker patenteou um cimento hidráulico natural obtido da calcinação de nódulos de calcário impuro contendo argila. Este material ficou conhecido como Cimento de Parker ou Romano. Mais tarde o engenheiro francês Louis Vicat investigou os fatores que poderiam resultar numa argamassa capaz de endurecer abaixo da água. Em seus experimentos misturando cal, gesso e argilas de diferentes tipos e em diferentes proporções, Vicat concluiu que a produção de um cimento mais resistente dependia do tipo e dosagem dos materiais. Além disso, Vicat desenvolveu um método para determinação do tempo de pega e endurecimento do cimento, este método ainda é utilizado e consiste na penetração de uma agulha numa amostra de cimento fresco.

Posteriormente, conforme salienta Kaefer (1998), o cimento inventado por Vicat foi substituído pelo Cimento Portland, criado em 1824 por Joseph Aspdin a partir da queima de

calcário e argila finamente moídos e misturados a altas temperaturas até a retirada total do gás carbônico (CO<sub>2</sub>). No entanto este cimento não se trata do cimento Portland conhecido atualmente, pois duvida-se que este tenha sido queimado a uma temperatura alta o suficiente para produzir o clínquer e não há definições das proporções dos materiais empregados para sua produção. Com o desenvolvimento de fornos capazes de suportar temperaturas cada vez mais altas e a introdução, em 1871, de análises químicas sistemáticas de toda matéria-prima utilizada, o cimento foi melhorando sua qualidade.

O ano de 1849 é considerado como a data do descobrimento do concreto armado. JosephLouis Lambot (1814-1887) um agricultor francês que construía tanques de cimento reforçado com ferros, construiu um barco usando o mesmo sistema e o testou em lagoas de sua propriedade agrícola (figura 2.5). Observa-se, porém, que o tipo de concreto usado nesse barco, no início do século 20, passou a ser denominado ferro-cimento ou cimento armado, que no Brasil conhecemos como argamassa armada. Este barco chamou aatenção de Joseph Monier, um rico comerciante de plantas ornamentais, que vislumbrou a possibilidade de substituir seus vasos de madeira ou cerâmica, que apodreciam ou quebravam com muita facilidade, por vasos feitos com aquele novo material, mais resistente e durável. Com o sucesso obtido iniciou a produção de vários artefatos e estruturas de concreto armado, registrando várias patentes de cimento armados com ferro: de vasos de cimento para horticultura e jardinagem (1867), de tubos e tanques (1868), de painéis decorativos para fachadas de edifícios (1869), de reservatório de 130 m<sup>3</sup> (1872), de construção de pontes e passarelas (1873 e 1875) e de vigas de concreto armado (1878). (CARVALHO, 2008).



**Figura 2.5 – Joseph-Louis Lambot e o protótipo original de seu barco(Carvalho, 2008 apud Lambot, 2008).**

Carvalho (2008) ressalta ainda que as pontes construídas anteriormente à descoberta de Monier eram feitas em arcos sucessivos com pedra artificial, o que configura o concreto simples trabalhando à compressão. Já a ponte de Monier, a primeira em concreto armado, configura o concreto trabalhando à compressão e a armadura à tração.

A grande importância de Monier foi entender as características, as vantagens e desvantagens dos materiais para combiná-los adequadamente, aproveitando as melhores características de cada material. Monier percebeu que o concreto era facilmente obtido e moldado, e tinha considerável resistência à compressão e ao esmagamento, porém apresentava deficiências em relação ao cisalhamento e à tração; por outro lado o aço era extremamente resistente à tração e era facilmente encontrado em formas simples como barras longas. Dessa forma, a grande colaboração de Monier ao concreto armado foi, mesmo que de forma empírica e intuitiva, dispor as armaduras corretamente de forma que seus elementos de concreto armado tivessem resistência à compressão, à tração e ao cisalhamento. (CARVALHO, 2008).

### **2.1.2. TIPOS E APLICAÇÕES DE CONCRETO**

Segundo Pedrosa (2009) o concreto é dividido em três classes básicas, de acordo com a massa específica obtida a partir da dosagem dos materiais na mistura. São elas:

- Concreto de densidade normal: encontrado com frequência nas obras em geral, este tipo de concreto possui massa específica entre 2000 e 2800 kg/m<sup>3</sup>;
- Concreto leve: este tipo de concreto é obtido com a utilização de agregados de baixa massa específica, sendo inferior a 2000 kg/m<sup>3</sup>;
- Concreto pesado: para sua obtenção utiliza-se agregados de alta densidade, o que faz sua massa específica ser superior a 2800 kg/m<sup>3</sup>. É utilizado como alternativa à proteção contra a radiação.

De acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015), o concreto também é classificado conforme sua resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ), sendo divididos em dois grupos:

- Grupo I: concretos com resistências entre 20 e 50 MPa, considerados de baixa resistência, não sendo adequado a utilização para fins estruturais o concreto com resistência inferior a 20 MPa;
- Grupo II: concretos com resistências entre 55 e 100 MPa, considerados de alta resistência.

Conforme a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil (ABESC), a definição do tipo de concreto a ser utilizado numa obra é um fator determinante para o sucesso de uma construção. A tabela 2.1 reúne os principais tipos de concreto e suas características.

**Tabela 2.1 – Principais tipos de concreto e suas características (adaptado de ABESC, 2007).**

<b>Tipo</b>	<b>Características</b>
Rolado	Aplicado em barragens, pavimentação rodoviária (base e sub-base) e urbana (pisos, contra-pisos). Possui maior durabilidade.
Bombeável	Utilizado em obras de difícil acesso. Necessidade de vencer alturas elevadas ou longas distâncias. Maior rapidez na concretagem. Otimização da mão-de-obra e equipamentos.
Resfriado	Utilizado em peças de elevado volume como bases ou blocos de fundações. Permite o controle da fissuração.
Colorido	Utilizado em estruturas de concreto aparente, pisos (pátios, quadras e calçadas), guarda-corpo de pontes etc. Substitui gasto com revestimento. Evita o custo de manutenção de pinturas.
Projetado	Utilizado no reparo ou reforço estrutural, revestimento de túneis, monumentos, contenção de taludes, canais e galerias. Dispensa a utilização de fôrmas.
Alta Resistência Inicial	Utilizado em estruturas convencionais ou protendidas, pré-fabricados (estruturas, tubos etc.). Melhor aproveitamento das fôrmas. Rapidez na desforma. Ganhos de produtividade.
Fluido	Utilizado em peças delgadas, elevada taxa de armadura, concretagens de difícil acesso para a vibração. Reduz a necessidade de adensamento (vibração). Rapidez na aplicação.

Pesado	Utilizado como lastro, contra-peso, barreira à radiação (câmaras de raios-X ou gama, paredes de reatores atômicos) e lajes de subpressão. Redução do volume de peças utilizadas como lastro ou contra-peso, substituição de painéis de chumbo (radiação).
Leve (600 kg/m <sup>3</sup> a 1200 kg/m <sup>3</sup> )	Utilizado em elementos de vedação (paredes, painéis, rebaixos de lajes, isolante termo-acústico e nivelamento de pisos). Redução do peso próprio da estrutura. Isolamento termo-acústico.
Leve estrutural	Peças estruturais, enchimento de pisos e lajes, painéis pré-fabricados. Redução do peso próprio da estrutura.
Pavimentos Rígidos	Utilizado em pavimentos rodoviários e urbanos, pisos industriais e pátios de estocagem. Maior durabilidade, menor custo de manutenção.
Alto Desempenho (CAD)	Possui elevada resistência (mecânica, física e química), utilizado em pré-fabricados e peças protendidas. Melhora aderência entre concreto e aço.
Convencional (a partir de 20 MPa)	Uso corrente na construção civil. O concreto dosado em central possui controle de qualidade e propicia ao construtor maior produtividade e menor custo.
Submerso	Utilizado em plataformas marítimas. Resistência à agressão química.
Com fibras e aço, plásticas ou de polipropileno	Reduz a fissuração. Maior resistência à abrasão, à tração e ao impacto.
Grout	Agregados de diâmetro máximo de 4,8 mm. Grande fluidez e auto-adensável.

## **2.2. COMPOSIÇÃO E DOSAGEM DO CONCRETO**

De acordo com Andolfato (2002) o concreto utilizado comumente nas estruturas é composto por cimento Portland, água, agregado fino e agregado graúdo. A mistura entre o cimento e a água forma uma pasta, com propriedades ligantes, responsável por encher a maior parte dos vazios existentes entre os agregados e depois de endurecida forma uma massa sólida.

Os agregados são materiais inertes, mas sua escolha deve ser feita com cuidado de acordo com condições exigidas que preservem a qualidade do concreto. Por constituírem a maior parte do concreto, cerca de 60% a 80%, conferem economia na sua produção, uma vez que o cimento tem um custo mais elevado.

A água é indispensável para confecção do concreto, pois ela reage quimicamente com o cimento dando origem as propriedades ligantes da pasta. A quantidade de água adicionada à mistura deve ser calculada de modo que proporcione trabalhabilidade sem perder a resistência da pasta.

Além desses elementos, o concreto é composto de ar, cerca de 1% a 2%, que fica preso durante o processo de mistura dos materiais. E em alguns casos, utilizam-se aditivos, que torna possível a redução da quantidade de água utilizada e o controle do tempo de pega.

Helene e Andrade (2010) diz que a tecnologia do concreto busca proporções entre seus materiais constituintes de modo que atendam, simultaneamente, as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade, bem como as características de trabalhabilidade que são necessárias para o adequado transporte, lançamento e adensamento do concreto.

### **2.2.1. CIMENTO PORTLAND**

De acordo com a ABCP (2002), o cimento Portland é definido como um pó fino que possui propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação irreversível da água. Ao ser misturado com água e outros materiais, como a areia e a pedra britada, dá origem aos concretos e argamassas utilizadas na construção civil.

O cimento Portland é composto de clínquer e de adições. O clínquer é seu principal componente, que tem como matéria-prima o calcário e a argila. Este componente reage quimicamente na presença da água, primeiramente tornando-se pastoso e em seguida endurecendo, adquirindo elevada resistência e durabilidade. As adições são outras matérias primas, como o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos, que misturadas ao clínquer na fase da moagem permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento Portland disponíveis no mercado. (PIMENTA, 2012).

Fonseca (2010) ressalta ainda que a adição de materiais ao cimento proporciona melhorias em sua qualidade, melhor desempenho e menor custo de fabricação.

Segundo Galvão (2003) existe cinco tipos de cimento Portland classificados pelas normas e que são os mais fabricados no Brasil:

- CP I – comum;
- CP II – composto;
- CP III – alto-forno;
- CP IV – pozolânico;
- CP V – alta resistência inicial.

Além desses, existem outros tipos de cimentos que são utilizados em determinadas situações às quais necessitam que o cimento apresente características especiais.

De acordo com a ABCP (2002) quando o cimento precisa ser utilizado em ambientes mais agressivos sujeitos a ação de sulfatos, como em redes de esgotos de águas servidas ou industriais, na água do mar e em alguns tipos de solos, recomenda-se a utilização do cimento Portland resistente ao sulfato. Para grandes estruturas de concreto em que há em seu interior um aumento da temperatura devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento, emprega-se o cimento Portland de baixo calor de hidratação, que evita o surgimento de fissuras de origem térmica. O cimento Portland branco se diferencia dos demais tipos por causa de sua coloração (branca) e é utilizado para fins arquitetônicos. O cimento Portland para poços petrolíferos, como o nome já diz, é aplicado na cimentação de poços petrolíferos, é composto apenas de clínquer e gesso, que propicia um retardamento do tempo de pega.

Na tabela a seguir, é possível observar os principais tipos e características do cimento empregado no mercado brasileiro da construção civil (tabela 2.2).

**Tabela 2.2 – Principais tipos e características do cimento utilizado no Brasil (adaptado de Pedroso, 2009).**

<b>Tipos de cimento Portland</b>	<b>Sigla</b>	<b>Norma da ABNT</b>	<b>Características</b>	<b>Utilização</b>
Comum	CP I	NBR 5732	Sem adição, exceto gesso, para retardar o tempo de pega.	Construções de concreto em geral.
Composto	CP II	NBR	Adição de escória,	Construções de

		11578	pozolana ou filler em pequenas proporções.	concreto em geral.
Alto-forno	CP III	NBR 5735	Apresenta maior impermeabilidade durabilidade, baixo calor de hidratação, alta resistência à expansão e a sulfatos.	Construção de barragens.
Pozolânico	CP IV	NBR 5736	Possui pozolana na proporção de 15% a 50% de sua massa. Tem baixa permeabilidade, alta durabilidade, alta resistência a compressão a idades avançadas.	Obras expostas à ação de água corrente e para ambientes agressivos.
Alta resistência inicial	CP V	NBR 5733	Atinge altas resistências nos primeiros dias de aplicação.	Fábricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, de tubos, lajes meio-fio, mourões, postos e elementos arquitetônicos pré-moldados.
Resistente a sulfatos	RS	NBR 5737	Oferecem resistência aos meios agressivos sulfatados	Redes de esgotos, obras em regiões litorâneas, subterrâneas e marítimas.
Baixo calor de hidratação	BC	NBR 13116	Possui baixo calor de hidratação	Obras hidráulicas.
Branco	CPB	NBR 12989	Adição de pigmentos para obtenção de cores diversas.	Projetos arquitetônicos de concreto aparente, composição de argamassas para rejunte de azulejos.

O cimento deve ser armazenado separadamente, de acordo com a marca, tipo e classe. Deve ser guardado em pilhas, em local fechado, protegido da ação de chuva, névoa ou condensação. Cada lote recebido em uma mesma data deve ser armazenado em pilhas separadas e devidamente individualizadas. As pilhas devem estar separadas por corredores



que permitam o acesso e os sacos devem ficar apoiados sobre estrado ou paletes de madeira, para evitar o contato direto com o piso. Os sacos devem ser empilhados em altura de no máximo 15 unidades, quando ficarem retidos por período inferior a 15 dias, ou em altura de no máximo 10 unidades, quando permanecerem por período mais longo. (ABNT, 2015b).

A ABCP (2002) sugere que o cimento seja estocado em local seco, coberto e fechado, protegido da chuva, afastado do piso e das paredes, longe de tanques, torneiras e encanamentos. Pois o cimento, caso entre em contato com a água, irá endurecer tornando-o inutilizável.

### **2.2.2. AGREGADOS**

O agregado é um material que se interliga num todo monolítico por meio da pasta de cimento, suas propriedades físicas, térmicas e químicas tem muita influência no desempenho do concreto podendo limitar sua resistência, ou seja, com um agregado fraco não se produz um concreto resistente. (Mourão *et al*, 2010).

Segundo Andolfato (2002) os agregados são formados por partículas duras e resistentes, sem a presença de materiais nocivos à qualidade do concreto, como argila, mica, silte, sais e matéria orgânica. Constituem cerca de 75% do concreto, o que aumenta sua importância nas proporções empregadas e na economia de fabricação.

São realizados ensaios padronizados para determinar a composição granulométrica dos agregados, que é representada por uma curva que tem como abscissa as aberturas das peneiras, e como ordenadas as respectivas porcentagens acumuladas (porcentagem das partículas de agregado maiores que a abertura da peneira). Para que os agregados misturados apresentem um bom entrosamento, com pequeno volume de vazios, as curvas granulométricas devem ficar dentro de limites especificados.

De acordo com Pimenta (2012) os agregados podem ser classificados quanto aos seguintes critérios:

- Quanto à origem: podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são extraídos da natureza na forma de fragmentos, como areia e pedregulho. Já os artificiais passam por um processo de fragmentação, como pedra e areia britada;
- Quanto à densidade: podem ser leves (pedras pomes, vermiculita e argila expandida), normais (areia, pedregulho e areia britada) e pesados (barita e magnetita);

- Quanto ao tamanho dos fragmentos: podem ser graúdos ou miúdos. Os agregados graúdos possuem diâmetro mínimo maior que 4,8 mm e os agregados miúdos, diâmetro máximo igual ou menor que 4,8 mm.

Mourão *et al* (2010) citam ainda que os agregados podem ser classificados quanto à distribuição granulométrica, podendo ser de granulometria contínua, quando apresentam grãos de variados tamanhos; ou de granulometria descontínua, quando apresentam grãos do mesmo tamanho.

Os agregados devem ser armazenados separadamente em função da sua graduação granulométrica, de acordo com as classificações indicadas na NBR 7211 (ABNT, 2009). Não deve haver contato físico direto entre as diferentes graduações. Cada fração granulométrica deve ficar sobre uma base que permita escoar a água livre, de modo a eliminá-la.(ABNT, 2015b).

#### **2.2.2.1. AGREGADOS MIÚDOS**

Conforme Andolfato (2002) a partir do valor do módulo de finura, as areias podem ser grossas (3,35 a 4,05), médias (2,40 a 3,35), finas (1,97 a 2,40) e muito finas (menor que 1,97).

Segundo Mourão *et al* (2010) as centrais dosadoras de concreto utilizam como agregado miúdo a areia natural, extraída dos rios, e a areia artificial, obtida em instalações de britagem.

Cabe destacar, ainda, que a areia artificial é considerada um produto alternativo com melhor custo/benefício, em termos de redução de matéria-prima e custo total da obra, justamente porque sua produção pode ser realizada nos canteiros das pedreiras localizadas próximas aos grandes centros urbanos. (PIMENTA, 2012).

#### **2.2.2.2. AGREGADOS GRAÚDOS**

Para Andolfato (2002) os agregados graúdos são classificados de acordo com o tamanho, ou diâmetros máximo e mínimo, das partículas que o compõem. Sendo classificada como brita 0 aquela com diâmetro entre 4,8 e 9,5 mm, brita 1 de 9,5 a 19 mm, brita 2 de 19 a 25 mm, brita 3 de 25 a 50 mm, brita 4 de 50 a 76 mm e brita 5 de 76 a 100 mm. As mais utilizadas em concreto armado são a brita 1 ou uma mistura de britas 1 e 2.

De acordo com Pimenta (2012) o agregado graúdo pode ser de origem natural (pedregulho ou seixo) ou de origem artificial, obtido pela trituração mecânica de rochas (pedra britada e cascalho).

As características externas dos grãos têm fundamental importância, uma vez que formas arredondadas e superfícies lisas reduzem a porosidade entre os grãos e facilitam a fluidez do concreto, enquanto que formas angulosas e superfícies rugosas facilitam a aderência do cimento.

A influência exercida pelo agregado graúdo sobre as propriedades fundamentais do concreto fresco (trabalhabilidade) e do concreto endurecido (resistência à compressão, estabilidade dimensional e durabilidade) está intimamente ligada às características próprias do agregado, como: diâmetro máximo, granulometria e forma do grão. (FONSECA, 2010).

### 2.2.3. ÁGUA

Segundo Fonseca (2010) a adição de água na pasta de cimento é essencial para que ocorram as reações químicas que transformam o cimento Portland em um agente ligante. Durante esse processo, os silicatos e aluminatos formam produtos de hidratação que com o passar do tempo endurecem a pasta de cimento. Na pasta endurecida do concreto a água pode se apresentar de várias formas, são elas:

- Água capilar: trata-se daquela livre da influência das forças de atração exercidas pela superfície sólida. Pode ainda ser dividida em água livre, estando presente nos grandes vazios, e água retida por tensão capilar em capilares pequenos;
- Água adsorvida: são as moléculas de água que estão fisicamente adsorvidas, por pontes de hidrogênio, na superfície dos sólidos da pasta;
- Água interlamelar ou água de gel: é aquela associada à estrutura do silicato de cálcio hidratado, que somente é perdida por secagem forte;
- Água quimicamente combinada ou água de cristalização: é parte integrante da estrutura de vários produtos hidratados do cimento.

A água utilizada no concreto não deve conter impurezas capazes de prejudicar as reações de hidratação entre a água e os componentes do cimento, tolerando-se, apenas, pequenas quantidades de impurezas de modo que não apresentem efeitos danosos aparentes. (SELEGIN, 2013).

De acordo com Mourão *et al* (2010) quando houver dúvidas em relação a qualidade da água, deve ser realizados testes para verificação da influência das impurezas sobre o tempo de pega, a resistência mecânica, a estabilidade do volume e a possibilidade dessas impurezas causarem corrosão na armadura e eflorescências na superfície do concreto.

Pimenta (2012) afirma que a água de abastecimento público pode ser utilizada na produção do concreto sem a necessidade de ensaios. Porém a água de esgoto tratado não deve ser utilizada. No caso da água oriunda de fontes subterrâneas, captadas diretamente dos rios ou de resíduos industriais, pode ser aplicada desde que realizados os ensaios necessários. A água salobra pode ser utilizada na produção do concreto desde que este não seja armado ou protendido.

Quanto ao seu armazenamento, a NBR 12655 (ABNT, 2015) diz que a água destinada à produção do concreto deve ser armazenada em caixas vedadas de modo a evitar a contaminação por substâncias estranhas.

#### 2.2.4. ADITIVOS

Andolfato (2002) define aditivo como um material que é adicionado à mistura de concreto com a finalidade de se obter propriedades desejáveis, tais como o aumento da plasticidade, o controle do tempo de pega, o controle do aumento da resistência e a redução do calor de hidratação.

Mourão *et al* (2010) ressalta que os aditivos são substâncias adicionais utilizadas em pequenas quantidades com intuito de alterar o comportamento da mistura e não corrigir defeitos provenientes de dosagem ou lançamento incorretos.

Segundo a ABESC (2007) o uso do aditivo é bastante antigo e foi utilizado pelos romanos, que usavam clara de ovo e sangue de animal como aditivos, antes mesmo da existência do cimento Portland. Atualmente existem sete tipos fundamentais de aditivos: aceleradores, retardadores, incorporadores de ar, plastificantes, superplastificantes, plastificantes aceleradores e plastificantes retardadores.

Na tabela 2.3 estão dispostos os principais tipos de aditivos, bem como seus respectivos efeitos na mistura de concreto e suas vantagens e desvantagens.

**Tabela 2.3 – Principais tipos,efeitos, vantagens e desvantagens dos aditivos (adaptado de ABESC, 2007).**

<b>Tipos</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Plastificantes	Aumenta o índice de consistência. Possibilita redução de 6% (no mínimo)	Maior trabalhabilidade para determinada resistência. Maior resistência para determinada trabalhabilidade.	Retardamento do início de pega para dosagens elevadas do aditivo. Riscos de segregação.

	da água de amassamento.	Menor consumo de cimento para determinada trabalhabilidade e resistência.	Enrijecimento prematuro em determinadas condições.
Retardadores	Aumenta o tempo de início de pega.	Mantêm trabalhabilidade a temperaturas elevadas. Retarda a elevação do calor de hidratação. Amplia os tempos de aplicação.	Pode promover exsudação. Pode aumentar a retração plástica do concreto.
Aceleradores	Pega mais rápida. Resistência inicial mais elevada.	Concreto projetado. Ganho de resistência em baixas temperaturas. Redução do tempo de desforma. Reparos.	Possível fissuração devido ao calor de hidratação. Risco de corrosão de armaduras (cloretos).
Plastificantes e aceleradores	Efeito combinado dos plastificantes e aceleradores.	Reduz a água e permite ganho mais rápido de resistência.	Riscos de corrosão de armadura (cloretos).
Plastificantes e retardadores	Efeito combinado dos plastificantes e retardadores.	Em climas quentes diminui a perda de consistência.	Aumento da exsudação e retração plástica. Segregação.
Incorporadores de ar	Incorpora pequenas bolhas de ar no concreto	Aumenta a durabilidade ao congelamento do concreto sem elevar o consumo de cimento e o consequente aumento do calor de hidratação. Reduz o teor de água e a permeabilidade do concreto. Bom desempenho em concretos de baixo consumo de cimento.	Necessita de controle cuidadoso da porcentagem de ar incorporado e do tempo de mistura. O aumento da trabalhabilidade pode ser inaceitável.
Superplastificantes	Elevado aumento do índice de consistência. Possibilita redução de, no	Tanto como eficiente redutor de água como na execução de concretos fluidos (autoadensáveis).	Riscos de segregação da mistura. Duração do efeito fluidificante. Pode elevar a perda de consistência.

	mínimo, 12% da água de amassamento.		
--	---	--	--

Fonseca (2010) afirma que, além desses, existem outros tipos de aditivos:

- Os impermeabilizantes: que agem por ação repulsiva com relação à água ou por obturação dos poros, reduzem a penetração de umidade sob pressão e de elementos agressivos e são utilizados em argamassas de reparo, rejuntas e nos concretos de reservatórios;
- Os produtores de gás ou espuma: que são capazes de produzir, na massa do concreto, bolhas de gás ou de espuma, dando origem aos concretos porosos, celulares ou aerados, que possuem baixo peso específico e melhor desempenho no isolamento térmico e proteção contra o fogo. São utilizados em pisos, lajes e recuperação de estruturas;
- Os fungicidas, germicidas e inseticidas: que controlam o crescimento de algas ou líquens no concreto endurecido durante um determinado tempo;
- Os inibidores de corrosão de armaduras: que são efetivos no controle e redução das taxas de corrosão das armaduras; são utilizados nos materiais de reparo e em concretos submetidos à ação de cloretos.

Os aditivos em forma pulverulenta ou líquida devem ser armazenados, até o instante do seu uso, nas embalagens originais ou em local que atenda às especificações do fabricante.(ABNT, 2015b).

### **2.2.5. DOSAGEM**

Segundo Pimenta (2012) a dosagem é a determinação da proporção mais adequada e econômica de todos os materiais que compõem o concreto de modo a garantir as suas propriedades, tanto no estado fresco como no estado endurecido, e atender as especificações do projeto. As proporções são expressas na forma de traços de concreto.

De acordo com Varela (2012) um traço de concreto pode ser expresso com a medida de todos os seus materiais constituintes em volume, em peso ou apenas os agregados em volume e o cimento em peso. Sendo o traço em volume o mais utilizado.

Os traços são indicados, por exemplo, da seguinte forma: 1:3:3, sendo o primeiro algarismo referente a quantidade de cimento a ser utilizada, o segundo algarismo a quantidade de agregado miúdo e o terceiro de agregado graúdo. A quantidade de água é determinada de acordo com a umidade da areia utilizada. A dosagem é realizada com os materiais secos, medidos, inicialmente, em massa e posteriormente convertidos para volume.

Conforme Mourão *et al* (2010) para o cálculo do traço de concreto considera-se areia seca aquela que apresenta 2% de umidade. Dessa forma a relação água/cimento (a/c) não é comprometida, o que garante a plasticidade e a resistência do concreto.

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015) o traço de concreto, a partir da classe C15, deve ser definido por meio de dosagem racional e experimental, realizada anteriormente à concretagem, com materiais semelhantes aos que serão utilizados e sob as mesmas condições de execução, bem como com as mesmas exigências do projeto a ser empregado na construção.

O Método Experimental parte de alguns parâmetros laboratoriais dos componentes do concreto, mas para chegar ao traço final depende fundamentalmente de experimentos sobre amostras e corpos-de-prova do concreto. O traço é então estabelecido em função de avaliações da resistência e da trabalhabilidade feitas em laboratório. São mais eficientes em custos e geram um menor desvio padrão (Sd). No Método Não Experimental, o traço é determinado diretamente a partir do levantamento laboratorial das características dos componentes do concreto: granulometria dos agregados, resistência mecânica do cimento, etc. Devido à dificuldade de avaliar muitos aspectos dos componentes atuando no conjunto, ocorre uma variação muito grande nos resultados obtidos, implicando em desvio padrão (Sd) muito alto, elevando custo final do concreto. Só são aplicáveis em obras pequenas, onde o custo para um método experimental fica muito alto. (PIMENTA, 2012).

A NBR 12655 (ABNT, 1996) afirma que se deve refazer o cálculo de dosagem sempre que houver alteração da marca, tipo ou classe do cimento utilizado, bem como na qualidade dos agregados.

Como foi mostrado em Varela (2012), existem tabelas de traços desenvolvidas para cada tipo de serviço executado. Nelas são expressas as proporções de cada material utilizado, o rendimento do traço em volume, a relação água/cimento adotada, a resistência a ser obtida e a finalidade de cada traço.

### **2.3. PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO E APLICAÇÃO DO CONCRETO**

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015b) as etapas de execução do concreto consistem em:

- Caracterização dos materiais componentes do concreto;
- Estudo de dosagem do concreto;
- Ajuste e comprovação do traço de concreto;
- Preparo do concreto.

Quanto à modalidade de preparo, este pode ser produzido na obra ou numa empresa de serviços de concretagem.

Conforme a NBR 7212 (ABNT, 2012) o preparo do concreto pode ser feito parcialmente na central dosadora e complementado na obra.

### **2.3.1. MISTURA**

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 1996) os componentes do concreto são misturados em uma betoneira estacionária (concreto produzido na obra) ou num caminhão-betoneira (concreto dosado em central) até formar uma massa homogênea.

Conforme a NBR 7212 (ABNT, 2012) os materiais devem ser colocados na betoneira na ordem e quantidades especificadas. A qualidade da mistura é observada a partir da análise de sua estanqueidade, ausência de concreto aderido às paredes da betoneira, bem como o tempo e velocidade de mistura e condições estruturais da betoneira.

Antes de proceder à mistura do concreto na obra ou solicitar a entrega de concreto dosado em central, é necessário verificar as condições operacionais dos equipamentos disponíveis no local de trabalho e sua adequabilidade ao volume de concreto a ser produzido e transportado. Devem também ser verificadas as condições e a quantidade disponível de equipamentos necessários ao lançamento e ao adensamento do concreto. A equipe de trabalhadores devidamente treinados para a operação de concretagem deve estar dimensionada para realizar as etapas de preparo do concreto, lançamento e adensamento, no tempo estabelecido. (ABNT, 2004).

Ainda de acordo com a ABNT (2004) deve ser elaborado, previamente, um plano de concretagem de cada elemento estrutural de modo a assegurar o fornecimento da quantidade necessária de concreto com as características adequadas à estrutura. Além de evitar situações que dificultem o desempenho das etapas de execução, transporte e aplicação do concreto.



### **2.3.2. TRANSPORTE**

Segundo a NBR 7212 (ABNT, 2012) o veículo responsável pelo transporte do concreto, da central até a obra, deve apresentar estanqueidade necessária, paredes e fundo revestidos com material não absorvente, podendo ou não ser dotado de dispositivo de agitação. Caso o veículo seja dotado de dispositivo de agitação, o tempo de transporte do concreto deve ser inferior a 90 min, caso contrário, inferior a 40 min. O tempo de transporte do concreto é contado a partir da primeira adição de água, no momento de preparo da mistura. Este tempo é determinado de modo que o adensamento não ocorra após o tempo de pega do concreto lançado.

Recomenda-se que o intervalo de tempo transcorrido entre o instante em que a água de amassamento entra em contato com o cimento e o final da concretagem não ultrapasse a 2 h 30 min. Quando a temperatura ambiente for elevada, ou sob condições que contribuam para acelerar a pega do concreto, esse intervalo de tempo deve ser reduzido, a menos que sejam adotadas medidas especiais, como o uso de aditivos retardadores, que aumentem o tempo de pega sem prejudicar a qualidade do concreto. (ABNT, 2004).

Conforme ABESC (2007) devido às condições climáticas, durante o transporte do concreto pode ocorrer perda da água de amassamento por evaporação, o que provoca perda de consistência. Essa água deve ser repostada cuidadosamente de modo que não ultrapasse a medida do abatimento solicitada pela obra e especificada no documento de entrega do concreto.

A NBR 14931 (ABNT, 2004) recomenda que o transporte utilizado permita o lançamento direto do concreto na estrutura, evitando o uso de transportes intermediários. Porém, quando estes forem necessários, sua utilização deve ser feita com cuidado para que não ocorra a segregação dos materiais nem perda de água por vazamento ou evaporação.

### **2.3.3. LANÇAMENTO**

Conforme a NBR 14931 (ABNT, 2004) o lançamento do concreto deve ser feito sem interrupções, antes do início da pega, mantendo a homogeneidade do concreto e promovendo o preenchimento uniforme da superfície concretada. Nos casos de estrutura armada, o lançamento deve ser feito de modo que todos os elementos sejam envolvidos pelo concreto sem que haja deslocamento dos mesmos. Os cuidados devem ser intensificados nos casos em

que a altura de lançamento ultrapasse dois metros, para evitar a segregação dos materiais e falta de argamassa na base e nas juntas da estrutura.

De acordo com a NBR 7212 (ABNT, 2012) o lançamento, assim como o adensamento, deve ser realizado em até 30 min a partir da chegada do caminhão-betoneira na obra ou até 150 min a partir da primeira adição de água.

A temperatura da massa de concreto, no momento do lançamento, não deve ser inferior a 5°C. Quando a concretagem for efetuada em temperatura ambiente muito quente ( $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ) e, em especial, quando a umidade relativa do ar for baixa ( $\leq 50\%$ ) e a velocidade do vento alta ( $\geq 30$  m/s), devem ser adotadas as medidas necessárias para evitar a perda de consistência e reduzir a temperatura da massa de concreto. A concretagem deve ser suspensa sempre que estiver prevista queda na temperatura ambiente para abaixo de 0°C nas 48 h seguintes, com temperatura ambiente superior a 40°C ou vento acima de 60 m/s. (ABNT, 2004).

Segundo a ABESC (2007) a concretagem realizada com lançamento convencional, ou seja, por meio de carrinhos de mão de afins, tem rendimento de 4 a 6 m<sup>3</sup> por hora. Já a concretagem com lançamento bombeável o rendimento médio é de 35 m<sup>3</sup> a 45 m<sup>3</sup> por hora, podendo chegar até 100 m<sup>3</sup> por hora com o uso de equipamentos mais potentes. Além do aumento da produção em menor tempo de execução, o concreto bombeável tem a vantagem de vencer grandes distâncias de lançamento, horizontais e verticais, e permite uma concretagem contínua, sem interrupções, com racionalização da mão-de-obra.

#### **2.3.4. ADENSAMENTO**

Conforme a NBR 14931 (ABNT, 2004) após o lançamento do concreto, este deve ser adensado cuidadosamente de modo que preencha todos os espaços internos da estrutura evitando-se a vibração da armadura para que não se formem vazios ao seu redor e comprometa a aderência do concreto. Para o adensamento é importante que a camada de concreto lançada seja inferior a 50 cm para facilitar a saída do ar. Quando utilizado vibrador de imersão esta camada deve ser, aproximadamente, 3/4 do comprimento da agulha do vibrador, que deve penetrar cerca de 10 cm na camada anterior. O adensamento com vibrador de imersão deve ser feito penetrando-se a agulha na posição vertical vibrando-se o maior número de pontos ao longo da estrutura. Após o adensamento, quando a superfície apresentar-se brilhante, o vibrador deve ser retirado lentamente, ainda em funcionamento para que o espaço ocupado pela agulha se feche completamente.

A vibração prolongada e repetitiva num mesmo ponto do elemento estrutural deve ser evitada, pois provoca segregação dos materiais e a exsudação, que é a migração dos materiais finos e da água para a superfície, comprometendo a qualidade da concretagem.

### **2.3.5. CURA E RETIRADA DE FÔRMAS E ESCORAS**

A cura do concreto é uma etapa importante da concretagem, pois evita a evaporação prematura da água e fissuras no concreto. Após o início do endurecimento, o concreto continua a ganhar resistência, mas para que isso ocorra de forma satisfatória, devem-se tomar alguns cuidados, como iniciar a cura logo que a superfície concretada tenha resistência à ação da água e estendê-la por, no mínimo sete dias, manter o concreto saturado até que os espaços ocupados pela água sejam ocupados pelos produtos de hidratação do cimento e deixar o concreto nas fôrmas, mantendo-as molhadas. (ABESC, 2007).

De acordo com a NBR 14931 (ABNT, 2004) a cura deve ser feita até que o concreto esteja completamente endurecido, protegendo-o contra os agentes prejudiciais às suas características. Tem como objetivo:

- Evitar a perda de água pela superfície exposta;
- Assegurar uma superfície com resistência adequada;
- Assegurar a formação de uma capa superficial durável.

Quanto à retirada de fôrmas e escoras, recomenda-se que esse procedimento seja realizado quando o concreto estiver endurecido o suficiente para resistir às ações solicitadas sem gerar deformações inaceitáveis e passíveis de ocorrer devido a pouca idade do concreto e ao baixo valor do módulo de elasticidade do concreto ( $E_{ci}$ ). Sendo assim, o responsável pelo projeto deve informar ao executor da obra os valores mínimos de resistência e módulo de elasticidade do concreto para que possa ser realizada a desforma e a retirada dos escoramentos de forma segura.

## **2.4. PRINCIPAIS PROPRIEDADES DO CONCRETO**

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2007) as características necessárias para que o concreto possa ser utilizado dependem da análise e escolha dos materiais, da definição apropriada do traço, dos equipamentos utilizados na mistura, do transporte, do adensamento e da cura do concreto.

De acordo com Pimenta (2012) as propriedades do concreto devem ser analisadas antes e após o início da pega. O primeiro momento corresponde ao estado fresco e o segundo ao estado endurecido.

#### **2.4.1. CONCRETO FRESCO**

Para o concreto fresco, as propriedades desejáveis são as que asseguram a obtenção de uma mistura fácil de transportar, lançar e adensar, sem segregação. (PIMENTA, 2012).

Conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2007) o concreto fresco tem como principais propriedades a homogeneidade, a consistência e a trabalhabilidade.

##### **2.4.1.1. HOMOGENEIDADE**

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2007) a homogeneidade é a dispersão uniforme dos agregados graúdos na massa de concreto. Os agregados devem se encontrar completamente envolvidos pela pasta, que não deve apresentar desagregação de seus componentes. Quanto mais homogêneo estiver o concreto melhor será sua qualidade, principalmente quanto à permeabilidade, à proteção da armadura e ao acabamento.

Para que o concreto tenha uma boa homogeneidade é necessário realizar cuidadosamente e conforme a normalização as etapas referentes à produção, transporte, lançamento e adensamento do concreto.

##### **2.4.1.2. CONSISTÊNCIA**

A consistência do concreto fresco é uma propriedade relacionada com o estado de fluidez da mistura. A consistência adequada é fundamental para garantir a trabalhabilidade do concreto, ou seja, a facilidade com que o concreto pode ser colocado num certo tipo de fôrma, sem segregação. (ANDOLFATO, 2012).

Para Carvalho e Figueiredo Filho (2007) a consistência equivale à capacidade de deformação do concreto fresco. Relaciona-se com as etapas de transporte, lançamento e adensamento do concreto, variando de acordo com o teor de água empregado, com a granulometria dos agregados e pela influência de alguns produtos químicos adicionados à mistura.

Para Pimenta (2012) o fator que mais interfere na consistência do concreto é o teor água dos materiais secos, que é a relação entre o peso da água e o peso dos materiais secos (cimento e agregados), dada em porcentagem.

Conforme a sua consistência o concreto pode ser classificado em:

- Seco ou úmido: quando o teor de água dos materiais secos é baixo, entre 6 e 8%;
- Plástico: teor de água dos materiais secos entre 8 e 11%;
- Fluido: o teor de água dos materiais é alto, entre 11 e 14%.

Concretos com menor consistência devem ser empregados em elementos com alta taxa de armadura, que apresentam maior dificuldade de adensamento. Não havendo grande quantidade de armaduras nas peças, é melhor produzir concretos com maior consistência e, em princípio, com menor quantidade de água. Uma maneira de medir a consistência do concreto é por meio do abatimento que uma quantidade predeterminada de massa colocada em um molde metálico normalizado de forma tronco-cônica, terá quando o molde for retirado; a medida da deformação vertical é chamada de abatimento ou *slump*(CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2007). A determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone é regulamentada pela NBR NM 67 (ABNT, 1998).

#### **2.4.1.3. TRABALHABILIDADE**

É a propriedade do concreto fresco identificada pela maior ou menor facilidade de seu emprego para atender a determinado fim. O concreto é trabalhável quando, no estado fresco, apresenta consistência e dimensões máximas dos agregados apropriadas ao tipo de obra a que se destina, no que respeita às dimensões das peças, ao afastamento e à distribuição das barras das armaduras, bem como aos métodos de transporte, lançamento e adensamento que serão adotados. (PIMENTA, 2012).

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2007) um concreto de boa trabalhabilidade é aquele que possui um *slump* alto e por isso é tem maior facilidade de ser lançado e adensado. Existem aditivos que são incorporados no concreto com a finalidade de deixá-los fluidos, não havendo a necessidade de adensamento, por isso são chamados de “auto-adensáveis”. Com o uso desses aditivos não há a necessidade de acréscimo de água na mistura de concreto, dessa forma não há alteração da relação água/cimento nem diminuição da resistência e aumento da porosidade.

#### **2.4.2. CONCRETO ENDURECIDO**

No concreto endurecido, as principais características de interesse são as mecânicas, destacando-se as resistências à compressão e à tração. Não se pode deduzir diretamente da resistência que se tenha encontrado em um ensaio relativo a uma determinada solicitação, seu comportamento quando submetido a outro tipo de solicitação. Porém, no estágio atual de

desenvolvimento do cálculo de estruturas de concreto armado, considera-se como aproximação razoável que a resistência do concreto para diversos tipos de solicitação (flexão, torção, cisalhamento etc.) seja função de sua resistência à compressão. A NBR 6118:2003 apresenta uma série de expressões a partir das quais se obtêm, empiricamente, em função da resistência à compressão, as resistências do concreto para diversos tipos de solicitações. (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2007).

#### **2.4.2.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Mehta e Monteiro (2008) define resistência como sendo a capacidade de um material resistir à tensão sem se romper.

Segundo Andolfato (2002) a resistência à compressão é a propriedade mecânica do concreto de maior importância, pois este trabalha principalmente à compressão.

O processo de endurecimento dos concretos à base de cimento Portland é muito longo, podendo levar mais de dois anos para completar-se. Com a idade o concreto endurecido vai aumentando a resistência a esforços mecânicos. Aos 28 dias de idade já adquiriu cerca de 75 a 90% de sua resistência total. É na resistência mecânica apresentada pelo concreto endurecido 28 dias após a sua execução que se baseia o cálculo dos elementos de concreto. (PIMENTA, 2012).

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2007) a resistência à compressão do concreto é determinada pelo ensaio de corpos de prova submetidos à compressão centrada. Para que se avalie essa resistência é preciso realizar vários ensaios de corpos de prova, pois estes são bastante dispersos, variando de acordo com a execução do traço de concreto em uma mesma construção e de uma obra para outra. Ou seja, de um mesmo traço de concreto pode-se obter valores distintos de resistência, pois são muitos os fatores que a influenciam.

Inicialmente, adota-se como valor de resistência a média aritmética de todos os valores obtidos nos ensaios, chamada de resistência média à compressão ( $f_{cm}$ ). Porém este resultado não considera a dispersão existente entre os valores, o que não remete a verdadeira qualidade do concreto. Por conta disso, foi adotado o conceito de resistência característica do concreto à compressão ( $f_{ck}$ ), que além da média aritmética considera o desvio da série de valores obtidos por meio de um coeficiente de variação ( $\delta$ ). Essa resistência característica apresenta grau de confiança de 95%, ou seja, 95% dos valores obtidos nos ensaios estão acima do  $f_{ck}$ . Na prática, este valor de  $f_{ck}$  é adotado pelo engenheiro calculista e então se realizam ensaios de resistência à compressão para que se obtenha um concreto com essa característica e este possa ser utilizado na obra de forma segura para a estrutura.

#### 2.4.2.2. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2007) esse tipo de resistência não tem grande contribuição devido o concreto ser um material de baixa resistência à tração. Porém ela pode estar relacionada com a capacidade resistente de peças sujeitas a esforços cortantes e com a fissuração, o que torna necessária a sua determinação. Para sua obtenção podem ser realizados ensaios por flexo-tração, compressão diametral (tração indireta) e tração direta.

Na falta de ensaios para obtenção da resistência à tração, a norma 6118 (ABNT, 2014) permite a adoção das seguintes relações:

$$F_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m} \text{Eq. (2.1)}$$

$$F_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m} \text{Eq. (2.2)}$$

Para concretos de classes até C50:

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \text{Eq. (2.3)}$$

Para concretos de classes C55 até C90:

$$f_{ct,m} = 2,12 \ln(1 + 0,11 f_{ck}) \text{Eq. (2.4)}$$

Onde:

$f_{ctk,inf}$  = a resistência característica inferior do concreto à tração.

$f_{ctk,sup}$  = a resistência característica superior do concreto à tração.

$f_{ct,m}$  = a resistência média à tração do concreto.

Sendo  $f_{ckj} \geq 7$  MPa, estas expressões também podem ser usadas para idades diferentes de 28 dias.

Embora, na prática, a maior parte do concreto esteja sujeita simultaneamente à combinação de tensões de compressão, de cisalhamento e de tração em duas ou mais direções, os ensaios de compressão uniaxial são mais fáceis de realizar em laboratórios, e o ensaio de resistência à compressão para o concreto aos 28 dias é aceito universalmente como um índice geral da resistência do concreto. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

## **2.5. FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA DO CONCRETO**

Segundo Mehta e Monteiro (2008) o real comportamento do concreto quanto às tensões aplicadas é resultado de interações complexas entre vários fatores. Tais fatores podem ser divididos em três categorias:

- Características e proporções dos materiais;
- Condições de cura;
- Parâmetros de ensaio.

Essas categorias incluem fatores como a relação água/cimento, tipos de cimento e agregados, água de amassamento, aditivos e adições, temperatura, umidade, corpos de prova e carregamentos aplicados nos ensaios.

### **2.5.1. CARACTERÍSTICAS E PROPORÇÕES DOS MATERIAIS**

Segundo Selegin (2013) analisar a qualidade do concreto quanto à sua composição se faz necessário devido à uniformidade do concreto depender da uniformidade de seus materiais constituintes.

Antes de fazer uma mistura de concreto, a seleção dos materiais componentes apropriados e das suas proporções é o primeiro passo para a obtenção de um produto que deverá atender à resistência especificada. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

A ordem de colocação dos materiais no equipamento de mistura também constitui influência na qualidade do concreto e, por conseguinte, na sua resistência à compressão, avaliada pelos ensaios de corpos de prova. Os procedimentos destinados à confecção do concreto devem ser bem conduzidos, a fim de conferir menor variabilidade das propriedades mecânicas do produto. Além disso, concretos preparados em diferentes equipamentos apresentam maior variabilidade que aqueles produzidos por um mesmo equipamento. (SELEGIN, 2013).

#### **2.5.1.1. FATOR ÁGUA/CIMENTO**

O fator água/cimento ( $a/c$ ) representa a relação entre quantidades de massa destes dois materiais constituintes do concreto. Este fator é responsável por grande parte das propriedades obtidas por um concreto, tanto no estado fresco como no estado endurecido. (GALVÃO, 2003).

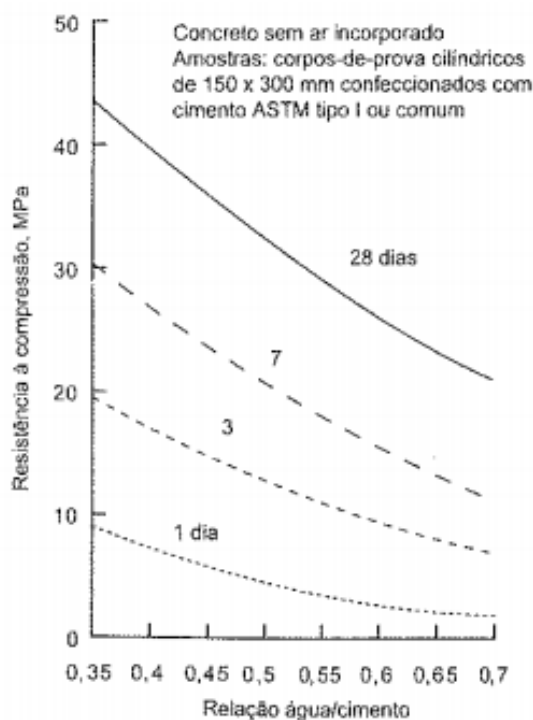


Conforme Mehta e Monteiro (2008) DuffAbrams, em 1918, descobriu que há uma relação entre o fator a/c e a resistência do concreto. Conhecida como lei de Abrams da relação água/cimento, essa relação inversa é representada pela seguinte expressão:

$$f_c = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \text{Eq. (2.5)}$$

Onde a/c representa a relação água/cimento da dosagem do concreto, k1 e k2 são constantes empíricas.

Na figura a seguir podemos observar um gráfico com as curvas típicas que ilustram a relação entre o fator a/c e a resistência do concreto a determinada idade de cura úmida. Fica claro que quanto maior a relação a/c menor será a resistência do concreto, qualquer que seja sua idade (figura 2.6).



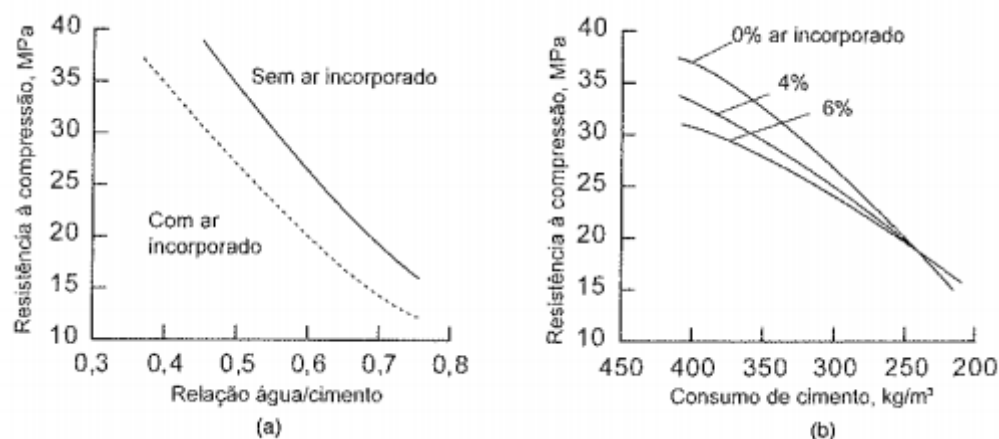
**Figura 2.6 – Influência da relação água/cimento e idade de cura úmida sobre a resistência do concreto (Mehta e Monteiro, 2008 apud Design and Control of Concrete Mixtures, 1988).**

### 2.5.1.2. AR INCORPORADO

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) o ar pode ser incorporado na mistura do concreto pelo adensamento feito de forma inadequada e pelo uso de aditivos incorporadores

de ar. Esse ar incorporado aumenta a porosidade e diminui a resistência do concreto. Essa perda de resistência depende do fator  $a/c$  e do consumo de concreto na mistura, porém o ar incorporado tem influências distintas em relação a esses dois fatores, podendo até ocorrer aumento da resistência.

Em relação ao fator  $a/c$  o ar incorporado reduz a resistência do concreto. (figura 2.7-a). Para concretos de alta resistência, ou seja, alto consumo de cimento, também há uma considerável perda de resistência. E para os concretos com baixo consumo de cimento, a perda de resistência é bem pequena, podendo ocorrer ganho de resistência. (figura 2.7-b). Esse aumento de resistência pode ser explicado devido à melhora da trabalhabilidade e da compactidade da mistura proporcionado pelo ar incorporado, que aumenta a resistência entre a pasta e o agregado, principalmente nos casos em que o fator  $a/c$  é baixo.



**Figura 2.7 – Influência da relação água/cimento, ar incorporado e consumo de cimento na resistência do concreto (Mehta e Monteiro, 2008 apud Concrete Manual, 1981 e Cordon, 1979).**

### 2.5.1.3. TIPO DE CIMENTO

De acordo com Galvão (2003) como a resistência do concreto depende do grau de hidratação da pasta endurecida, concretos produzidos com diferentes tipos de cimento apresentarão propriedades distintas. Dessa forma, se comparados tipos de cimentos com maior e menor grau de hidratação, sob as mesmas condições e a baixas idades, o cimento que possuir hidratação mais rápida apresentará menor número de vazios e maior resistência. Porém, mesmo sob as mesmas condições, o grau de hidratação e desenvolvimento da resistência aos noventa dias, é praticamente, o mesmo para diferentes tipos de cimento

Portland, comum ou aditivados. Conforme podemos observar na tabela 2.4 que mostra a influência do tipo de cimento na resistência do concreto.

**Tabela 2.4 – Resistência relativa aproximada do concreto, segundo a influência do cimento (adaptado de GALVÃO, 2003).**

Natureza do cimento Portland	Resistência à compressão – Porcentagem em relação ao concreto de cimento Portland comum			
	1 dia	7 dias	28 dias	90 dias
Normal ou uso comum	100	100	100	100
Calor de hidratação moderado e moderada resistência a sulfatos	75	85	90	100
Alta resistência inicial	190	20	110	100
Baixo calor de hidratação	55	65	75	100
Resistencia a sulfatos	65	75	85	100

#### 2.5.1.4. AGREGADO

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) características do agregado, tais como tamanho, forma, textura da superfície, granulometria e mineralogia, exercem influência na resistência do concreto.

No caso de mudança do tamanho do agregado, para um mesmo teor de cimento, há alteração do fator a/c. Com o aumento do diâmetro do agregado, com uma distribuição granulométrica bem graduada, é necessário reduzir a água de amassamento.

Concretos feitos com agregados rugosos apresentam maior resistência em relação aos agregados de superfície lisa, como os seixos. Isso porque a rugosidade proporciona uma ligação mais forte entre a pasta de cimento e o agregado.

Uma mudança na distribuição granulométrica dos agregados, que altere a consistência e as características de exsudação da mistura, pode influenciar a resistência do concreto sem variar o fator a/c nem o teor de cimento. Caso o agregado utilizado seja totalmente graúdo haverá muitos espaços vazios, caso seja totalmente miúdo será necessário muita pasta para envolver a superfície. Dessa forma, é importante que o volume de concreto tenha uma boa quantidade de

agregado graúdo, mas com quantidade suficiente de agregado miúdo para preencher todos os vazios.

Uma boa granulometria do agregado, além de reduzir a quantidade de pasta utilizada e aumentar a resistência, dá maior trabalhabilidade à mistura otimizando o uso do cimento e reduzindo o custo do concreto. (GALVÃO, 2003).

#### **2.5.1.5. ÁGUA DE AMASSAMENTO**

Impurezas na água usada na mistura do concreto, quando excessivas, podem não apenas afetar a resistência do concreto e o tempo de pega, como também gerar eflorescência (depósitos de sais brancos na superfície do concreto) e causar a corrosão da armadura e do aço protendido. Em geral, a água de amassamento raramente é um fator relevante na resistência do concreto, porque muitas especificações para produzir mistura de concreto exigem que a qualidade da água seja a mesma da água de beber. Porém a água imprópria para beber não precisa, necessariamente, ser inadequada para a mistura de concreto. Água levemente ácida, alcalina, salgada, salobra, turva ou mal cheirosa não deve ser rejeitada de imediato, devem ser realizados testes de resistência. Os corpos de prova feitos com esse tipo de água devem apresentar resistência à compressão, entre os 7 e 28 dias, igual a pelo menos 90% da resistência de corpos de prova feitos com água de referência. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

#### **2.5.1.6. ADITIVOS E ADIÇÕES**

Conforme Mehta e Monteiro (2008) os aditivos incorporadores de ar tem influência negativa na resistência do concreto, dependendo do fator a/c e do consumo de cimento, por aumentarem a quantidade de vazios na mistura. Por outro lado, os aditivos redutores de água tem influência positiva nas taxas de hidratação do cimento e desenvolvimento da resistência inicial. Os aditivos utilizados para retardar ou acelerar a hidratação do cimento apresentam aumento no ganho de resistência final.

O uso de adições minerais, como subprodutos pozolânicos e cimentícios, quando utilizados em substituição parcial do cimento Portland apresentam retardo da resistência nas primeiras idades. No entanto apresentam aumento de resistência final e de estanqueidade do concreto. Além disso, as adições minerais conferem um aumento da resistência à tração do concreto.

## 2.5.2. CONDIÇÕES DE CURA

O termo cura do concreto envolve uma combinação de condições que promovem a hidratação do cimento, como tempo, temperatura e umidade, considerados imediatamente depois do lançamento de uma mistura de concreto na fôrma. Tempo e umidade são fatores importantes no processo de hidratação controlado pela difusão de água. A temperatura, como em todas as reações químicas, tem efeito acelerador nas reações de hidratação. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

### 2.5.2.1. TEMPO

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) quanto maior o período de cura do concreto, maior será sua resistência. Porém isso acontece em condições normais de cura úmida e temperatura. Nos casos em que há evaporação da água nos capilares, as condições de cura ao ar prevalecem e não haverá aumento de resistência com o tempo.

Segundo Araújo (2001) as propriedades do concreto, como o módulo de deformação longitudinal e as resistências de tração e compressão, sofrem uma contínua variação com o tempo devido às reações químicas provenientes da hidratação do cimento. As variações dessas propriedades dependem do tipo de cimento empregado e das condições de cura.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) menciona que para uma temperatura média de 20°C, a resistência média à compressão do concreto em  $t$  dias pode ser obtida a partir da seguinte expressão:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \times f_{cm} \text{ Eq. (2.6)}$$

Onde  $f_{cm}$  é a resistência média aos 28 dias de idade e a função  $\beta_{cc}(t)$  representa a evolução da resistência no tempo e é dada por:

$$\beta_{cc}(t) = \exp\left[-s \left[ \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right] \text{ Eq. (2.7)}$$

Onde o coeficiente  $s$  varia de acordo com o tipo de cimento utilizado:

$S = 0,38$  para cimento de alto forno (CP III) e cimento pozolânico (CP IV);

$S = 0,25$  para cimento Portland comum (CP I) e cimento composto (CP II);

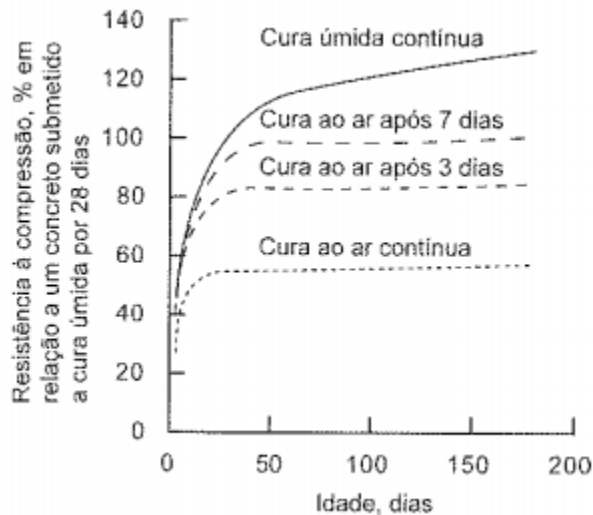
$S = 0,20$  para cimento de alta resistência inicial (CP V).

### 2.5.2.2. UMIDADE

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) a taxa de perda de água do concreto antes do lançamento depende da relação superfície/volume do elemento estrutural, da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar do ambiente. É recomendado, para concretos produzidos com cimento comum, realizar cura úmida por um período mínimo de sete dias.

Segundo Galvão (2003) a máxima hidratação do concreto ocorre no estado de saturação, quando a umidade relativa no interior dos poros capilares está abaixo de 80% há uma acentuada redução da hidratação. Caso a umidade relativa do ar seja maior ou igual a 80% haverá apenas uma pequena perda de água para o ambiente e a cura úmida para assegurar a hidratação do concreto pode ser dispensada.

Na figura 2.8 podemos observar que após 180 dias contínuos de cura úmida a resistência do concreto foi três vezes maior que a resistência do concreto com cura contínua ao ar.



**Figura 2.8 – Influência das condições de cura sobre a resistência (Mehta e Monteiro, 2008 apud Concrete Manual, 1981).**

### 2.5.2.3. TEMPERATURA

De acordo com Galvão (2003) a influência da temperatura sobre a resistência, para um concreto com cura úmida, depende do histórico tempo-temperatura do lançamento e da cura. Elementos concretados em períodos diferentes durante o ano estão sujeitos a diferentes temperaturas de acordo com as estações climáticas, por isso, um concreto produzido no verão está sujeito à temperatura e umidade distinta daquele produzido no inverno.

Os lugares com altas temperaturas, baixa umidade relativa e altas velocidades do vento, favorecem o aumento da evaporação de água no concreto fresco, essa redução de água,

consequentemente, reduz a relação a/c. Uma maior perda de água por evaporação compromete a trabalhabilidade do concreto, pois altera a sua consistência. Nesse caso, para que esse concreto possa ser utilizado, é adicionada uma quantidade de água que compromete o desempenho da estrutura.

Mehta e Monteiro (2008) fazem uma análise da influência da temperatura na resistência do concreto em três diferentes situações: concretos curados e moldados a mesma temperatura, concretos moldados a diferentes temperaturas e curados a temperatura normal e constante e concretos moldados a mesma temperatura normal e curados a temperaturas diferentes.

Concretos moldados e curados a uma temperatura constante específica mostraram, que até os 28 dias, quanto maior a temperatura, mais rápida será a hidratação do cimento e ocorrerá aumento de resistência. Nesse caso, o concreto moldado e curado a 5°C obteve cerca de 80% da resistência daquele moldado e curado a uma temperatura em torno de 21°C a 46°C.

Para concretos moldados em diferentes temperaturas, entre 10°C e 46°C, mantidos em cura úmida a uma temperatura constante de 21°C, aqueles que foram moldados em temperaturas de 13°C tiveram resistência final, 180 dias, maior que aqueles moldados em temperaturas entre 21°C e 46°C.

Para concretos moldados a 21°C e curados a diferentes temperaturas, desde abaixo de 0°C até 21°C, quanto menor for a temperatura de cura, menor será a resistência até os 28 dias. Numa temperatura próxima do congelamento essa resistência é a metade da resistência do concreto curado a 21°C, logo, quase não há desenvolvimento de resistência.

Conforme explica Galvão (2003) temperaturas elevadas aceleram as reações químicas de hidratação do cimento, o que favorece a evolução da resistência inicial, mas podem prejudicar a resistência após sete dias de idade. Isso ocorre porque a rápida hidratação inicial do concreto forma um produto mais pobre e poroso.

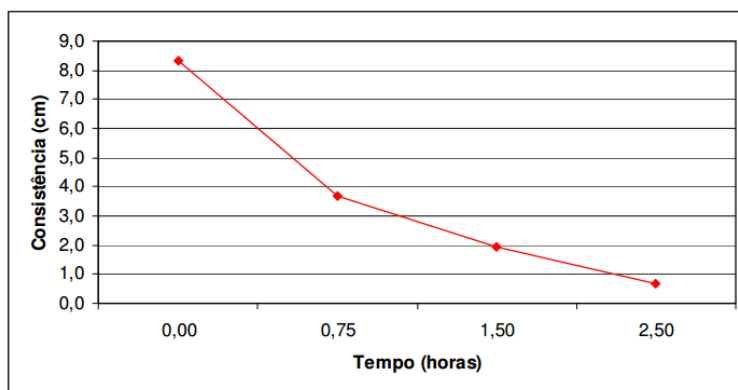
Devido a uma grande velocidade inicial de hidratação, não há tempo suficiente para a difusão de produtos para posições mais distantes das partículas de cimento e para uma precipitação uniforme nos espaços intersticiais, como ocorre nas temperaturas mais baixas. Como resultado, se forma uma grande quantidade de produtos de hidratação nas vizinhanças das partículas que estão se hidratando, o que retarda a hidratação subsequente e prejudica a resistência em longo prazo. (GALVÃO, 2003).

A temperatura de cura é mais importante para a resistência do que a de lançamento. Misturas de concretos comuns que são lançadas em clima frio devem ser mantidas acima de certa temperatura mínima por um período de tempo suficiente. Para um concreto curado no

verão ou em clima tropical, pode-se esperar resistência inicial maior, mas uma resistência final menor do que o mesmo concreto curado no inverno ou em clima mais frio. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

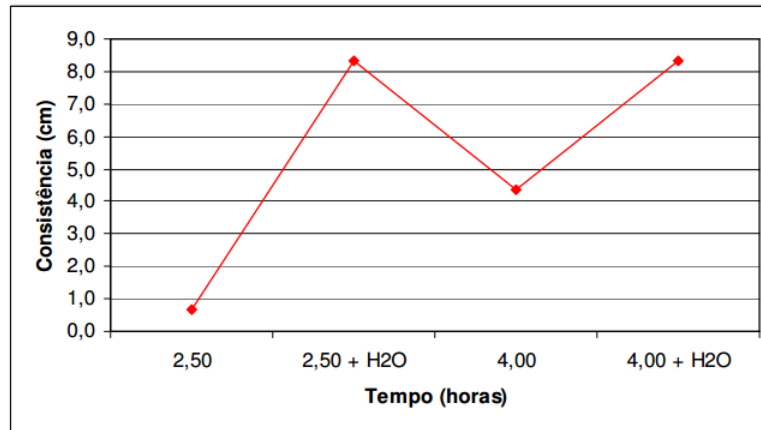
Num estudo realizado por Ribeiro (2013), que analisou a influência do clima nos materiais que compõem o concreto, verificou-se que a temperatura do clima influencia a temperatura do concreto e a umidade acelera ou retarda a hidratação da pasta de cimento comprometendo o ensaio de resistência à compressão e dificultando a previsão da resistência final do concreto. A combinação de temperatura e umidade do ar pode provocar aumento ou redução das deformações e como as deformações são irreversíveis, é importante a realização do estudo das condições climáticas para que se tenha um melhor desempenho do concreto.

Teixeira e Pelisser (2007) analisaram a variação da consistência e resistência à compressão do concreto com o passar do tempo, com e sem adição de água pra correção do abatimento do concreto. Na figura a seguir podemos observar o comportamento da consistência do concreto ao longo do tempo. É possível perceber que a perda mais acentuada se dá nos primeiros 45 min, a partir daí a redução ocorre de forma mais lenta. Conforme o estudo, a cada 45 min o concreto perde 50% da sua consistência inicial (figura 2.9). Após 2,5 horas foi adicionada ao concreto a quantidade de água necessária para correção do abatimento, ou seja, para que o concreto voltasse a ter a sua consistência inicial (figura 2.10).



**Figura 2.9 – Medida do índice de consistência média com o passar do tempo (Teixeira e Pelisser, 2007).**

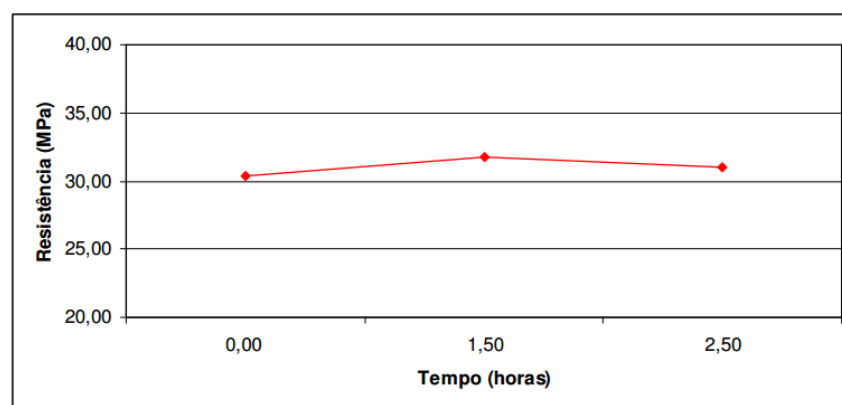




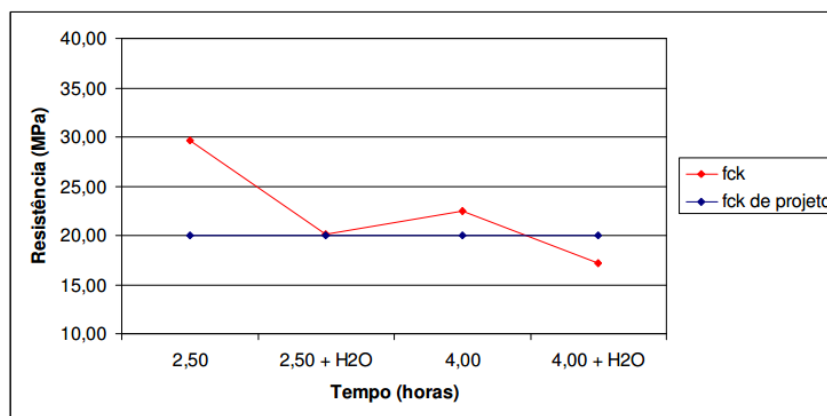
**Figura 2.10 – Medida do índice de consistência média com o passar do tempo (após 2,5 horas) (Teixeira e Pelisser, 2007).**

Os autores ressaltam que a perda de consistência do concreto ocorre devido ao processo de hidratação do cimento e é influenciada principalmente pelas características intrínsecas dos materiais que o compõe e pelos fatores externos como a temperatura, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento.

Em relação à resistência à compressão do concreto observou-se que não há grande variação (figura 2.11). Porém ao adicionar água, após 2,5 h, houve uma perda de 34% da resistência e após a segunda adição de água a resistência caiu mais 10%, totalizando uma perda de resistência de 44% em relação à resistência inicial (figura 2.12).



**Figura 2.11 – Resistência à compressão média com o passar do tempo (Teixeira e Pelisser, 2007).**



**Figura 2.12 – Resistência à compressão média com o passar do tempo (após 2,5 horas) (Teixeira e Pelisser, 2007).**

Com a adição de água, o fator  $a/c$  aumentou de 0,74 (inicial) para 0,96 e a resistência final encontrada foi de 17,15 MPa, 14,25% a menos que a resistência adotada no projeto.

Com o aumento da relação água/cimento perde-se a resistência e vida útil da estrutura de concreto, pois aumenta a porosidade da pasta endurecida. A pasta de cimento endurecida com alta porosidade pode sofrer diversos processos físicos e químicos de deterioração, prejudicando assim a durabilidade do concreto. Entre esses processos de deterioração pode-se citar a deterioração por desgaste superficial (abrasão, erosão e cavitação), fissuração pela cristalização de sais nos poros, carbonatação, lixiviação e ataque ácido. (TEIXEIRA E PELISSER, 2007).

Dultraet *al* (2014) fizeram um estudo no qual analisaram a variação da consistência e resistência à compressão do concreto após adição de água e calda de cimento para correção do abatimento. Eles comprovaram que quanto maior a relação  $a/c$ , maior será o abatimento do concreto e menor será a sua resistência.

Na figura 2.13 podemos observar os resultados obtidos para a consistência e resistência em função do fator  $a/c$  com acréscimos de 10%, 20%, 30% e 40% de água (em relação à massa de água inicialmente calculada). Foi verificado que para 20% de adição de água a perda de resistência foi da ordem de 37%, uma redução significativa para concreto estrutural podendo acarretar riscos à estrutura.

Para as amostras com adição de calda de cimento, verificou-se a redução de 12% da resistência obtida em relação às mesmas quantidades adicionadas de água. Isso se explica pelo

fato de a calda de cimento reduzir o fator a/c, pois com a adição de cimento reduz-se a quantidade de água a ser adicionada ao concreto (figura 2.14). Dessa forma, concluiu-se que, nos casos em que seja necessário aumentar o abatimento do concreto, é mais vantajoso adicionar a calda de cimento ao invés de água, pois haverá aumento de consistência com menor perda de resistência.

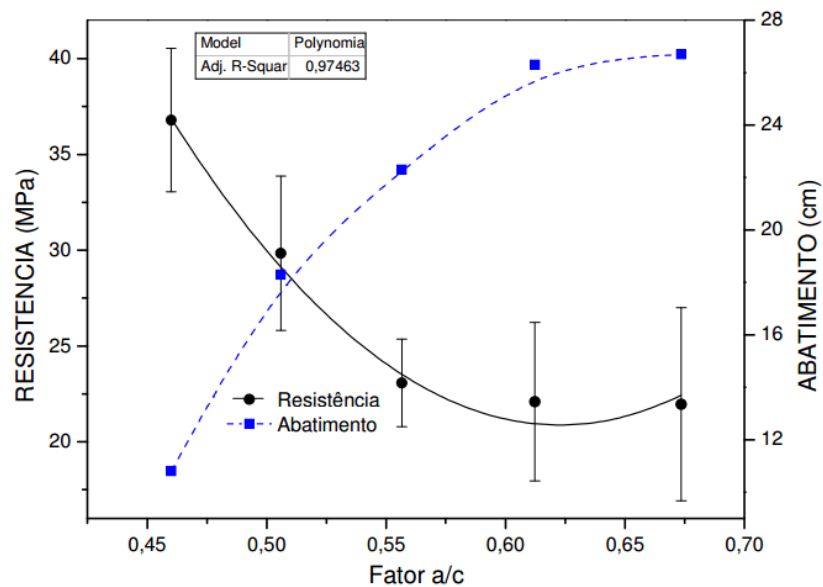


Figura 2.13 – Curva de tendência resistência x fator a/c (Dultra et al., 2014).

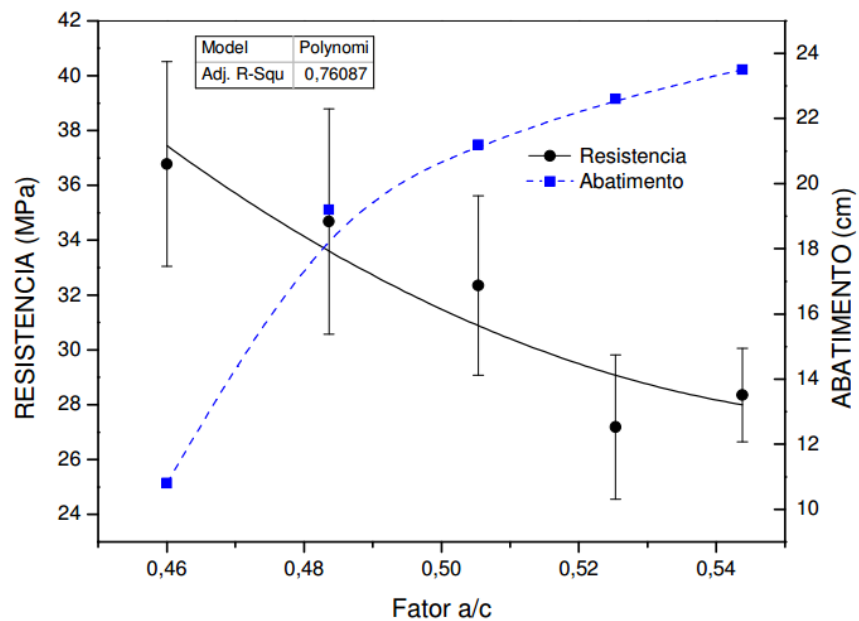


Figura 2.14 – Curva de tendência resistência x fator a/c adição calda 1:1 (Dultra et al., 2014).

### 2.5.3. PARÂMETROS DE ENSAIO

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) os ensaios de resistência do concreto são afetados significativamente por parâmetros que envolvem os corpos de prova e as condições de carregamento aplicado nos ensaios. O tamanho, a geometria e o estado de umidade do concreto são características dos corpos de prova que influenciam na resistência obtida nos ensaios em laboratórios, que por sua vez contribuem para alterações nos valores da resistência devido ao nível, duração e velocidade com que a tensão é aplicada.

Como ressalta Selegin (2013) variações de resistências provenientes da coleta de exemplares, moldagem, cura, capeamento e ruptura dos corpos de prova não correspondem a variações no concreto da estrutura.

A tabela 2.5 reúne os principais fatores que intervêm na resistência à compressão do concreto desde sua produção nas concreteiras até os ensaios realizados nos laboratórios.

**Tabela 2.5 – Fatores que intervêm na resistência à compressão do concreto  
(adaptado de SELEGIN, 2013 apud TÉCHNE, 2009).**

<b>Situação</b>	<b>Fatores que intervêm na resistência</b>
<b>Concreteiras</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Equipamentos de dosagem descalibrados;</li><li>• Agregados e cimento de má qualidade;</li><li>• Dosagem inadequada;</li><li>• Desconhecimento do comportamento dos materiais;</li><li>• Excesso ou escassez de aditivos;</li><li>• Entrega do concreto em obra errada.</li></ul>
<b>Transporte do concreto</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Caminhões com betoneiras inadequadas;</li><li>• Demora no transporte entre a central e a obra;</li><li>• Demora para descarregar o material.</li></ul>
<b>Canteiro de obras</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Coleta inadequada do concreto para moldagem do corpo de prova;</li><li>• Moldagem inadequada dos corpos de prova;</li><li>• Falha na identificação dos corpos de prova;</li><li>• Exposição dos corpos de prova às intempéries, choques e vibrações.</li></ul>

<b>Transporte dos corpos de prova</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de cuidados no manuseio;</li> <li>• Armazenamento inadequado no veículo.</li> </ul>
<b>Laboratório</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamentos descalibrados;</li> <li>• Falta de capacitação técnica dos laboratoristas;</li> <li>• Confusão na identificação dos corpos de prova.</li> </ul>

## **2.6. SLUMP TEST E ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

O ensaio de abatimento do tronco de cone, conhecido também como slump test, é realizado para determinação da consistência do concreto, momentos antes de sua aplicação. Este ensaio é regulamentado pela NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998).

O ensaio de resistência à compressão é utilizado para determinação da resistência à compressão do concreto em diferentes idades e é regulamentado pela NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2015). Este ensaio é desenvolvido a partir da ruptura de corpos de provas moldados na obra com amostra extraída do concreto a ser aplicado na construção. São normatizados pela NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2008).

### **2.6.1. SLUMP TEST**

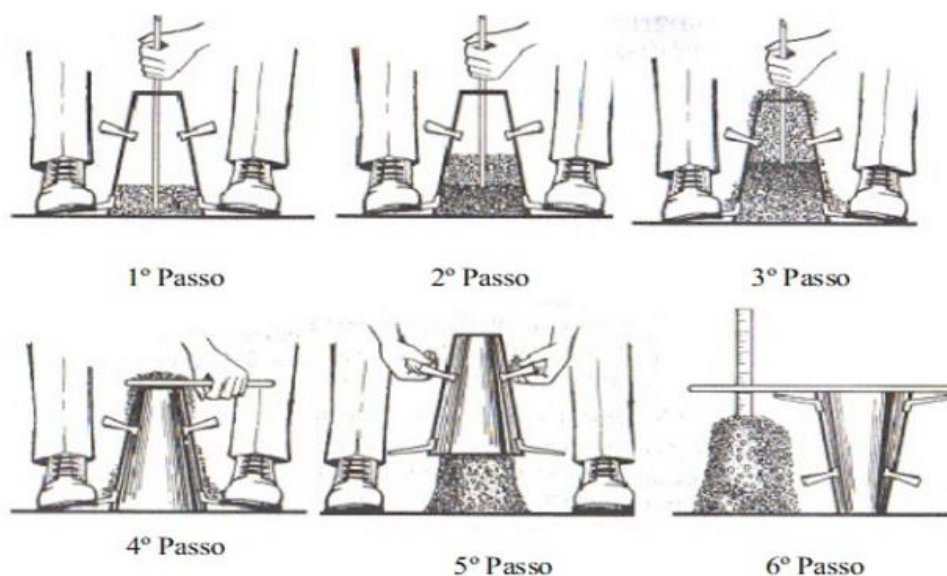
Segundo ABESC (2007) o slump test é o principal controle de recebimento do concreto na obra devido a sua simples execução e utiliza apenas o abatimento como parâmetro de determinação da consistência do concreto.

Conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998) a amostra de concreto extraída para o ensaio representa todo o lote a qual pertence. O molde utilizado deve ser confeccionado de metal com espessura igual ou superior a 1,5 mm e ser isento de protuberâncias em seu interior. Deve ter o formato de um tronco de cone oco com diâmetro da base inferior de  $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ , diâmetro da base superior de  $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$  e altura de  $300 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ . A base inferior deve ser dotada de aletas para mantê-lo estável e a superior provida de duas alças uma em cada lado. Ambas as bases devem ser abertas e paralelas entre si formando ângulos retos com o eixo do cone. A placa de base utilizada para o apoio do molde deve ser metálica, plana, quadrada ou retangular, com dimensões laterais superior a 500 mm e espessura igual ou

superior a 3 mm. A haste de adensamento deve ser de aço, ter comprimento reto de 600 mm, seção circular com 16 mm de diâmetro e extremidades arredondadas.

Antes de dar início ao ensaio, deve-se umedecer o molde e a placa de base colocando um sobre o outro, respectivamente. A placa de base deve ser posicionada sobre uma superfície plana, rígida e livre de vibrações. No 1º passo, o operador deve colocar os pés sobre as aletas do molde de modo a mantê-lo estável. Em seguida deve encher o molde com a amostra de concreto extraída em uma camada, de aproximadamente um terço da altura do molde, compactando-a com 25 golpes utilizando a haste de adensamento. No 2º passo, deve-se acrescentar a segunda camada, de aproximadamente um terço da altura do molde, compactando-a com 25 golpes utilizando a haste de adensamento. As camadas devem ser compactadas com golpes distribuídos uniformemente, penetrando toda a sua espessura de modo que não atinja a camada inferior.

No 3º passo, a camada superior deve ser preenchida com concreto em excesso e compactada com 25 golpes utilizando a haste de adensamento. No 4º passo, este excesso deve ser retirado com o uso de uma desempenadeira ou com a própria haste deslizando-a horizontalmente em movimentos rolantes sobre a superfície do molde. No 5º passo, deve-se limpar a superfície da placa de base e retirar o molde cuidadosamente levantando-o em movimento constante, durante 5 a 10 segundos, na direção vertical. No 6º passo, mede-se o abatimento do concreto determinando a diferença, em milímetros, entre a altura do molde e do eixo do corpo de concreto moldado. (figura 2.15).



**Figura 2.15 – Etapas de execução do slump test.**

(Fonte: [http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/o-que-e-slump-test-ensaio-de-abatimento\\_29.html](http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/o-que-e-slump-test-ensaio-de-abatimento_29.html), acesso em: 09 abril, 2016).

Conforme a NBR 7212 (ABNT, 2012) os concretos devem ser especificados através de classes de consistência (tabela 2.6).

**Tabela 2.6 – Classes de consistência (NBR 7212, ABNT 2012).**

<b>Classe</b>	<b>Abatimento (A) (mm)</b>
S10	$10 \leq A < 50$
S50	$50 \leq A < 100$
S100	$100 \leq A < 160$
S160	$160 \leq A < 220$
S220	$A \geq 220$

Andolfato (2002) apresenta uma tabela de classificação do concreto de acordo com o resultado do abatimento, em centímetros, do slump test (tabela 2.7).

**Tabela 2.7 – Classificação das consistências do concreto (ANDOLFATO, 2002).**

<b>Consistência</b>	<b>Abatimento (cm)</b>
Seca	0 a 2
Firme	2 a 5
Média	5 a 12
Mole	12 a 18
Fluida	18 a 25

### **2.6.2. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA**

Conforme a NBR 5738 (ABNT, 2008) os moldes para confecção dos corpos de prova podem ser cilíndricos ou prismáticos. Os moldes cilíndricos devem ter altura igual ao dobro do diâmetro, que pode ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. Já os moldes prismáticos devem ter seção transversal quadrada mínima de 150 milímetros, superfícies lisas e livres de saliências, comprimento pelo menos 50 milímetros maior que o vão de ensaio e 50 milímetros maior que três vezes a dimensão do lado da seção transversal do corpo de prova.

Os moldes devem ser confeccionados em aço ou outros materiais não absorventes e que não reajam com o cimento Portland, além disso, devem ser estanques e permitir fácil desmoldagem sem danificar os corpos de prova. A haste de adensamento deve ser de aço, cilíndrica, com superfície lisa de 16 mm de diâmetro e 600 a 800 mm de comprimento. O adensamento também pode ser feito com vibradores de imersão ou externo com frequência de vibração superior a 100 e 50 Hz, respectivamente.

Para moldagem dos corpos de prova os moldes devem estar limpos e revestidos com uma fina camada de óleo mineral e apoiados numa superfície plana, rígida e livre de vibrações. A amostra de concreto deve ser remisturada de modo a garantir sua uniformidade e em seguida é introduzida nos moldes em camadas, de espessuras semelhantes, de acordo com o tipo e as dimensões do molde e o tipo de adensamento a ser empregado (tabela 2.8). A escolha do método de adensamento depende do abatimento do concreto:

- Abatimento entre 10 e 30 mm, adensamento por vibração;
- Abatimento entre 30 e 150 mm, adensamento manual ou por vibração;
- Abatimento superior a 150 mm, adensamento manual.

No adensamento manual as camadas devem ser adensadas uma a uma por meio de golpes com a haste de adensamento, esses golpes são determinados de acordo com o tipo e dimensões dos moldes (tabela 2.8). Os golpes devem ser dados em toda a espessura da camada de modo que, na primeira camada não atinja a base do molde e nas camadas seguintes, atinja cerca de 20 mm da camada inferior. A última camada deve ser preenchida com excesso de concreto para garantir que todo o volume do molde seja ocupado após o adensamento, esse excesso de concreto é retirado em seguida por meio do rasamento da superfície. Após o adensamento devem ser dadas batidas leves na parte externa do molde para o fechamento dos vazios na massa de concreto.

Após a moldagem os corpos de prova devem ser armazenados em local livre de intempéries onde permanecerão durante a cura inicial de 24 horas, para os cilíndricos, e 48 horas para os prismáticos. Depois do período de cura inicial os corpos de prova são desmoldados, identificados e submetidos ao tipo de cura correspondente. Em seguida são transportados cuidadosamente para o laboratório onde serão realizados os ensaios.



**Tabela 2.8 – Números de camadas para moldagem dos corpos de prova <sup>1)</sup> (NBR 5738, ABNT 2008).**

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

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

Após a concretagem deve-se saber se o concreto atingiu a resistência especificada em projeto pelo calculista. Para isso rompe-se os corpos de prova moldados no local da obra, em prensas especiais. Após a ruptura dos corpos de prova e, de posse dos resultados é realizado o “controle estatístico da resistência do concreto”. (ABESC, 2007).

### **2.6.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

De acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2008) antes de ensaiar os corpos de prova é necessário prepara as suas bases de modo que fiquem planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo de prova. Essa regularização pode ser feita através de remate com pasta de cimento ou por meio de retificação ou capeamento. O remate é feito com uma fina camada de pasta de cimento com espessura menor ou igual a 3 mm. A retificação consiste na remoção

mecânica de uma fina camada de material do topo de modo que torne a superfície livre de ondulações garantindo a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida. O capeamento consiste no revestimento dos topos dos corpos de prova com uma fina camada de material apropriado, igual ou inferior a 3 mm, com um dispositivo chamado capeador, de modo que garanta a perpendicularidade da superfície obtida com a geratriz do corpo de prova e a superfície obtida seja lisa e plana.

Segundo a NBR 5739 (ABNT, 2015) a máquina utilizada para realização do ensaio é dotada de dois pratos de aço, um inferior e outro superior, nos quais será apoiado o corpo de prova a ser ensaiado. O carregamento deve ser aplicado de forma contínua e sem choques numa velocidade de  $0,45 \pm 0,15$  MPa/s e somente deve cessar quando houver a ruptura do corpo de prova.

Após a realização do ensaio calcula-se a resistência à compressão por meio da seguinte expressão:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \text{Eq. (2.8)}$$

Onde  $f_c$  é a resistência à compressão, em megapascals, F é a força máxima alcançada, em Newtons, e D é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros.

Nos casos em que a relação h/d do corpo de prova for menor que 1,94 a força F deve ser multiplicada por um fator de correção correspondente ao h/d encontrado, conforme tabela a seguir (tabela 2.9):

**Tabela 2.9 – Fator de correção h/d (NBR 5739, ABNT 2015).**

<b>Relação h/d</b>	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
<b>Fator de correção</b>	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87
NOTA Os índices correspondentes à relação h/d não indicada podem ser obtidos por interpolação linear, com aproximação de centésimos.					

## 2.7. HISTÓRICO DO CLIMA SEMIÁRIDO NORDESTINO

Segundo Araújo (2011) a região Nordeste ocupa 18,27% do território brasileiro e possui uma área total de 1.561.177,8 km<sup>2</sup>, dos quais 969.589,4 km<sup>2</sup> abrange a maior parte do Semiárido brasileiro.

De acordo com Moura *et al* (2007) o Semiárido brasileiro é formado por um conjunto de espaços caracterizados pelo balanço hídrico negativo, forte insolação, temperaturas relativamente altas e regime de chuvas escasso, irregular e concentrado num curto período de precipitações. Dessa forma, como ressalta Araújo (2011), trata-se de uma região com clima predominante quente e seco.

A figura 2.16 mostra a delimitação do Semiárido do Nordeste do Brasil.



**Figura 2.16 – Mapa do Nordeste com a localização do Semiárido. (Moura *et al*, 2007).**

O clima do Semiárido brasileiro é pouco diversificado, mesmo considerando a sua grande extensão territorial. Os aspectos de relevo definem alguns locais com maiores altitudes, e, conseqüentemente, microclima específicos, além disso, a proximidade com o oceano, em alguns locais, resulta na influência das frentes frias e maiores índices pluviométricos. (MOURA *et al*, 2007).

Conforme Araújo (2011) as principais características do clima da região são resumidas em temperaturas altas, precipitações escassas e déficit hídrico.

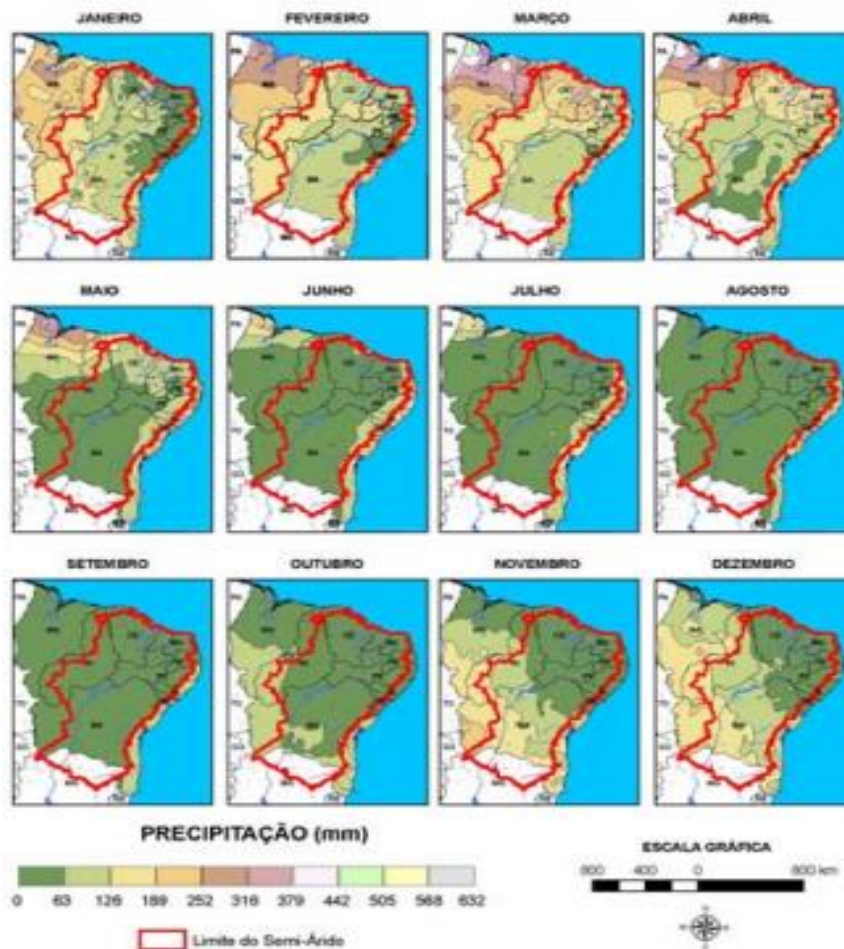
Quase toda a região se localiza em baixa latitude o que fornece temperaturas com mínimas acima de 15° C e as máximas podendo atingir 40° C. No entanto, algumas áreas

apresentam temperaturas médias menores em função do relevo e da exposição aos ventos úmidos que dão origem as nuvens de chuvas que abastecem os solos e o lençol subterrâneo dando origem às nascentes dos rios.

Na maior parte da região as precipitações médias anuais não ultrapassam 800 mm, sendo predominante precipitação entre 400 e 600 mm.

A marcante variabilidade interanual da pluviometria, associada aos baixos valores totais anuais pluviométricos sobre a região Nordeste do Brasil, é uma dos principais fatores para a ocorrência dos eventos de “secas”, caracterizadas por acentuada redução do total pluviométrico sazonal durante o período chuvoso. (MOURA *et al*, 2007).

Na figura 2.17 podemos observar a distribuição mensal da precipitação para o Nordeste do Brasil, onde em quase toda a área semiárida, há predominância do período chuvoso no verão, entre os meses de dezembro e abril.



**Figura 2.17 – Climatologia da precipitação mensal da região Nordeste do Brasil.**  
(Moura *et al*, 2007).

Como aponta Araújo (2011) o balanço hídrico dessa região apresenta deficiência hídrica devido ao potencial de evapotranspiração ser maior que as precipitações, exceto nas áreas às margens dos rios onde essa deficiência é reduzida ou não existe.

De acordo com Moura *et al* (2007) a evaporação ocasiona perdas significativas de água, variando de 1000 mm/ano no litoral da Bahia e Pernambuco até 2000 mm/ano no interior, sendo que na área de Petrolina-PE pode atingir 3000 mm/ano.

### 2.7.1. HISTÓRICO CLIMÁTICO NA REGIÃO DE PETROLINA-PE

O município de Petrolina-PE é um importante polo da fruticultura nacional. Apesar de extensas áreas irrigadas, a maioria da população rural é fortemente dependente da água da chuva, tanto para o consumo humano como para produção agropecuária. (MOURA *et al*, 2007).

Conforme estudo realizado por Moura *et al* (2007) a partir de dados meteorológicos obtidos na Estação Meteorológica de Bebedouro, localizada no campo experimental da Embrapa Semiárido no município de Petrolina-PE, no período de 1965 a 2005, a precipitação pluviométrica é o elemento meteorológico de maior variabilidade espacial e temporal. Até o ano de 2005 a precipitação total anual média foi 557,7 mm e o período chuvoso concentrou-se entre os meses de novembro e abril, sendo Março o mês de maior precipitação e Agosto o mês de menor precipitação. Os resultados obtidos neste estudo são apresentados na tabela a seguir que reúne os valores médios mensais e anuais da umidade relativa do ar (UR, %), temperatura do ar média (T Med, °C), máxima (T Max, °C) e mínima (T Min, °C) e totais de evaporação (E, mm) e de precipitação (P, mm) (tabela 2.10).

**Tabela 2.10 – Valores médios mensais e anuais observados na Estação Meteorológica de Bebedouro, Petrolina-PE, durante o período de 1965 a 2005. (MOURA *et al*, 2007).**

<b>Meses</b>	<b>UR (%)</b>	<b>T Med (°C)</b>	<b>T Max (°C)</b>	<b>T Min (°C)</b>	<b>E (mm)</b>	<b>P (mm)</b>
<b>Janeiro</b>	67,1	26,9	32,5	21,5	221,6	87,0
<b>Fevereiro</b>	68,0	26,8	32,4	21,6	192,9	80,4
<b>Março</b>	71,4	26,4	31,9	21,5	196,2	133,7

<b>Abril</b>	72,6	26,2	31,4	21,1	181,4	79,9
<b>Mai</b>	69,9	25,5	30,8	20,1	182,1	21,0
<b>Junho</b>	68,7	24,5	29,9	18,8	176,5	12,2
<b>Julho</b>	66,0	24,1	29,6	18,1	200,1	8,1
<b>Agosto</b>	60,8	24,9	30,9	18,4	244,2	4,0
<b>Setembro</b>	56,8	26,5	32,7	19,8	266,3	4,0
<b>Outubro</b>	54,4	27,9	34,0	21,2	298,7	10,1
<b>Novembro</b>	57,7	28,1	33,9	22,0	263,8	47,2
<b>Dezembro</b>	63,1	27,5	33,2	21,8	235,2	71,6
<b>Anual</b>	64,7	26,3	31,9	20,5	2659,0	557,7

As médias da evaporação acompanham a pequena variação anual do regime térmico, que é dependente do regime de radiação solar global anual, apresentando menores valores entre os meses de fevereiro e julho e maiores em setembro e outubro. O total anual de evaporação é, aproximadamente, igual a 2.659 mm. As taxas anuais de evaporação são sempre muito elevadas, em geral variando de 2.500 a 3.000 mm, contribuindo para os elevados valores de deficiência hídrica.

Em relação à umidade relativa do ar, os meses mais úmidos correspondem àqueles do período chuvoso. Os menores valores ocorrem em setembro e outubro que são os meses mais quentes do ano.

Quanto à temperatura do ar, os valores médios variam de 24,1 °C, em julho, a 28,1 °C em novembro. Os valores mínimos também ocorrem nesses meses, e são, respectivamente, iguais a 18,0°C e 22°C. Os valores médios mensais de temperatura máxima variam de 29,6°C, em julho, a 34,0°C em outubro.

Moura *et al* (2007) mostra ainda a classificação climática de Thornthwait e Mather (1955) a partir dos elementos do balanço hídrico para as condições climáticas do município de Petrolina-PE, na qual foram obtidos valores do índice de umidade (IU) igual a 0 e índice hídrico (IH) igual a -63,8. O que mostra a ocorrência de deficiência hídrica em todos os meses

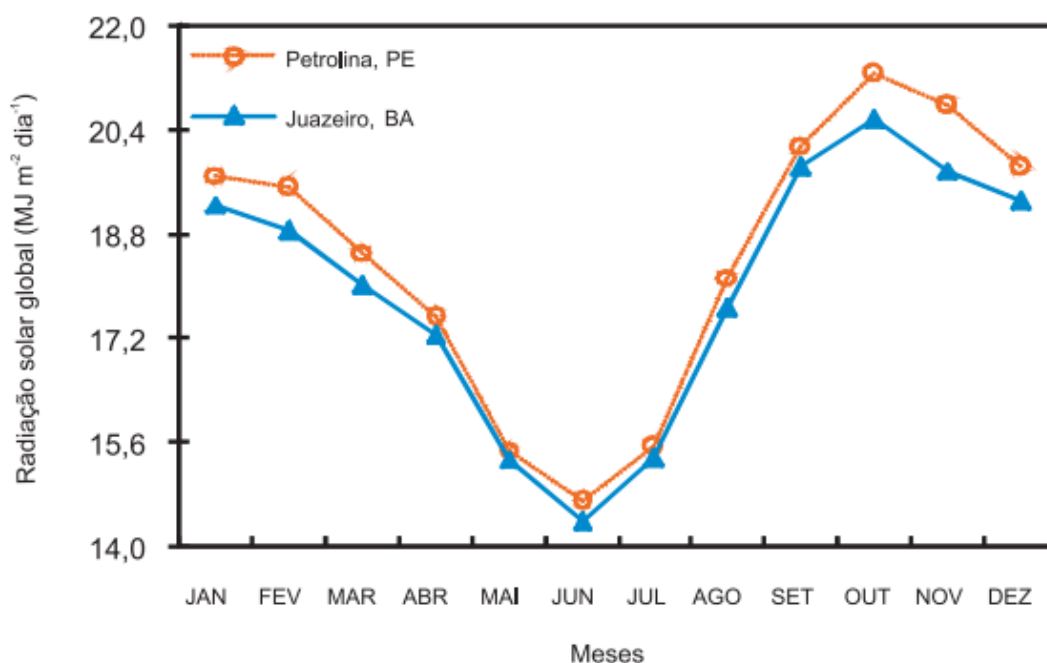
do ano, até mesmo durante o período chuvoso. Mesmo com a precipitação média anual de 557,7 mm houve um déficit hídrico alto devido à elevada evapotranspiração de 1.592,45 mm.

Moura *et al* (2007) ressalta ainda a classificação desenvolvida por Koeppen, na qual o município de Petrolina-PE se caracteriza como uma região climaticamente semiárida, com clima seco e muito quente, com máxima precipitação ocorrendo no verão e com período de inverno seco.

Teixeira (2010) desenvolveu um estudo parecido nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA no período de 1964 a 2009. Para Petrolina-PE os dados foram coletados na mesma estação meteorológica, Bebedouro. De acordo com suas análises a região apresenta elevados valores de deficiência hídrica devido à grande diferença entre precipitação e evaporação.

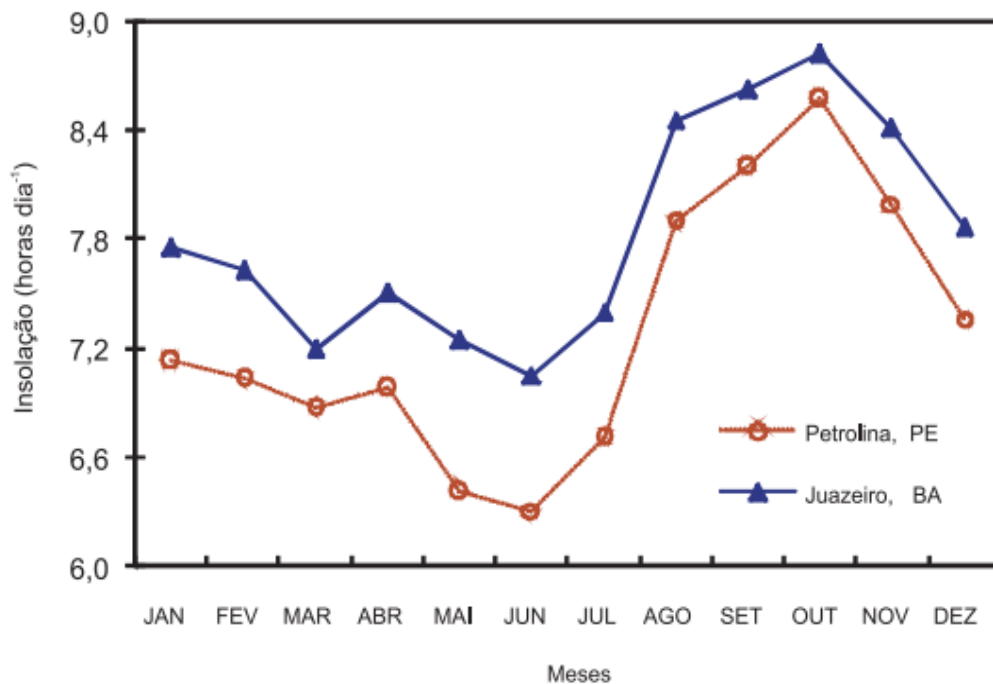
A seguir são apresentados os resultados obtidos por Teixeira (2010) quanto aos parâmetros climáticos de radiação solar, insolação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, evaporação, precipitação e balanço hídrico.

O maior valor de radiação solar é registrado no mês de outubro,  $21,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , enquanto o menor ocorre no mês de junho,  $14,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (figura 2.18).



**Figura 2.18 – Normais de radiação solar global do período de 1968 a 2009 em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).**

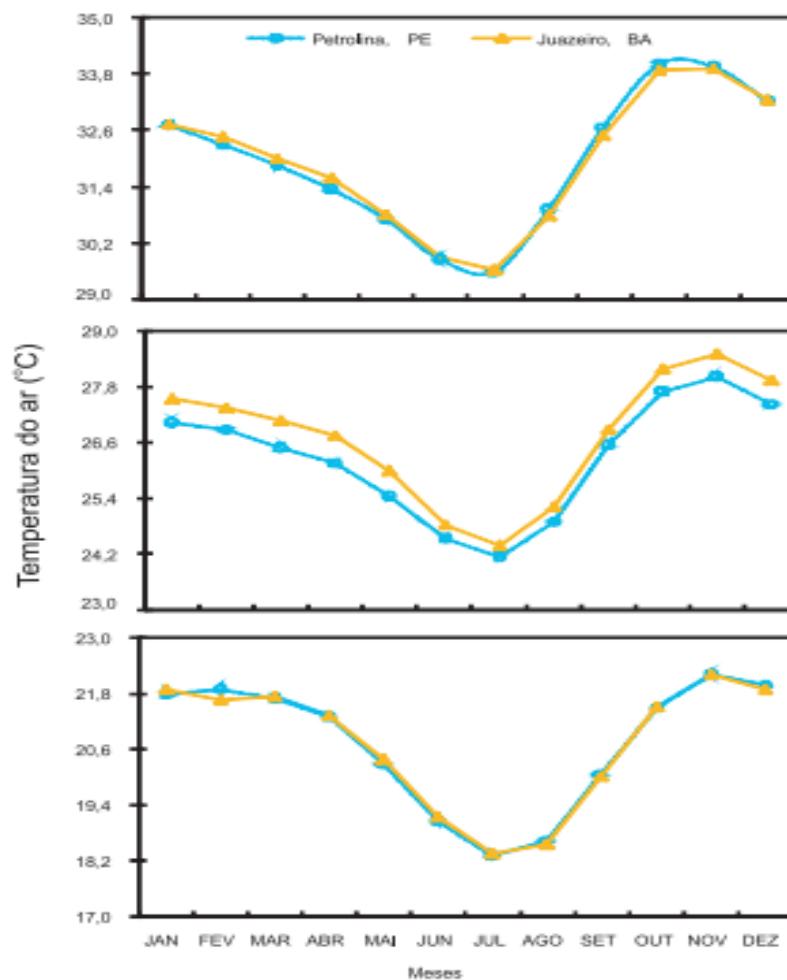
Os meses com maiores valores de insolação correspondem ao período mais seco do ano entre agosto e novembro, sendo o maior valor de 8,6 horas dia<sup>-1</sup> registrado no mês de outubro. Os menores valores foram registrados no período de maio a julho, sendo o menor valor de 6,3 horas dia<sup>-1</sup> registrado no mês de junho (figura 2.19).



**Figura 2.19 – Normais de insolação do período de 1968 a 2009 em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).**

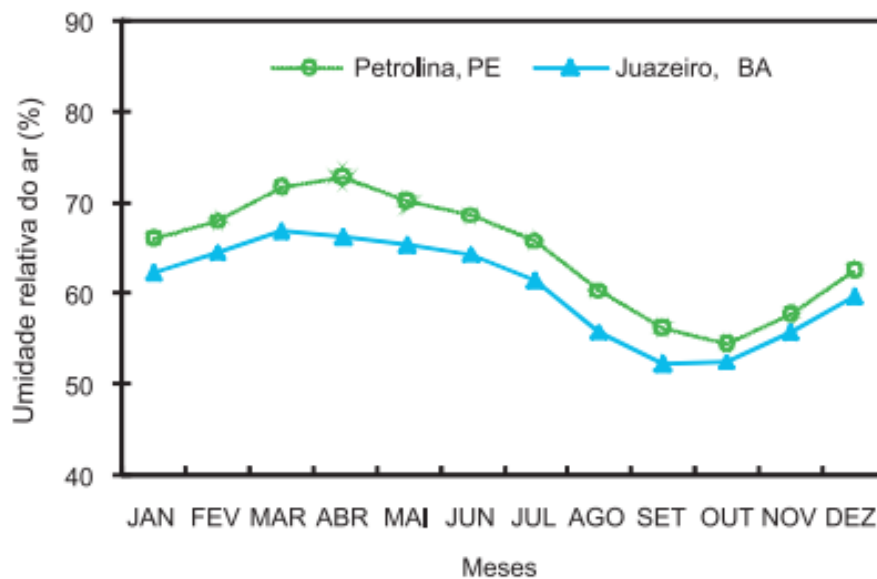
As normais mensais de temperatura média do ar variaram de 24,1 °C a 28,0° C, enquanto as de temperatura máxima e mínima variaram de 29,6° C a 34,0° C e 18,2° C a 22,1° C, respectivamente (figura 2.20).





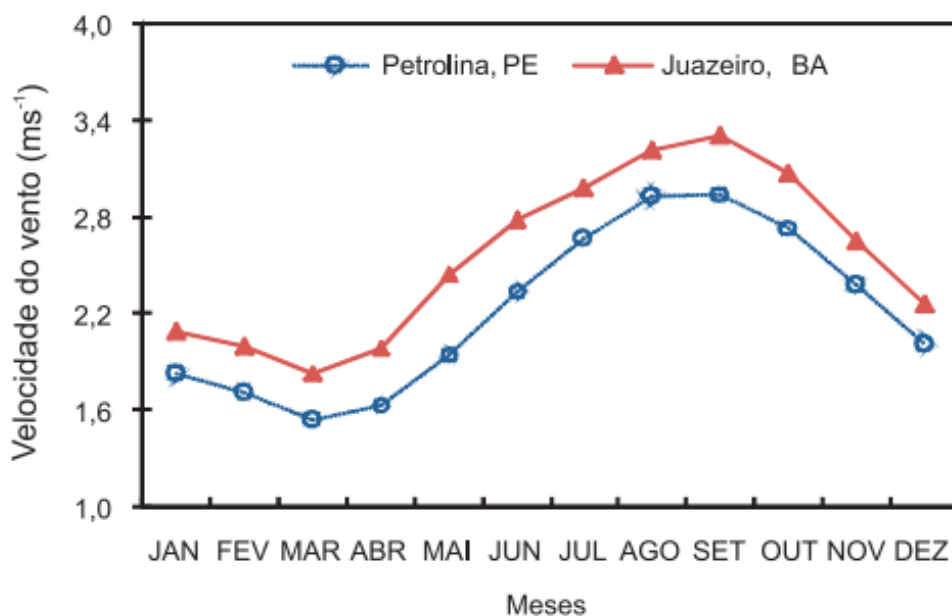
**Figura 2.20 – Normais de temperatura máxima, média e mínima do ar no período de 1968 a 2009 da estação agrometeorológica de Bebedouro, em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).**

Os meses mais úmidos correspondem aos pertencentes ao período chuvoso, em que a umidade relativa do ar varia em média de 66% a 73%. Os menores valores ocorrem nos meses de setembro a novembro, abaixo de 55%, coincidindo com o período mais quente do ano. O mês mais úmido é abril, que corresponde ao final do período chuvoso, e o mais seco é outubro, correspondendo ao final do período de ausência de chuvas (figura 2.21).



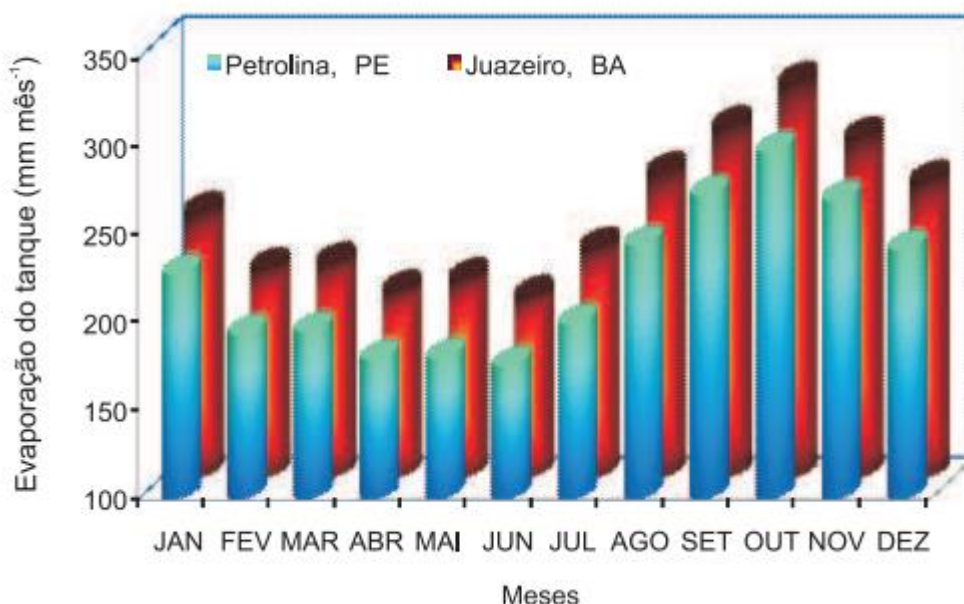
**Figura 2.21 – Normais de umidade relativa do ar no período de 1968 a 2009 da estação agrometeorológica de Bebedouro, em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).**

A velocidade do vento mais elevada ocorre no período seco, entre os meses de agosto e outubro, chegando a 3,0 m/s. Os menores valores ocorrem no período chuvoso apresentando valores médios de 1,6 m/s (figura 2.22).



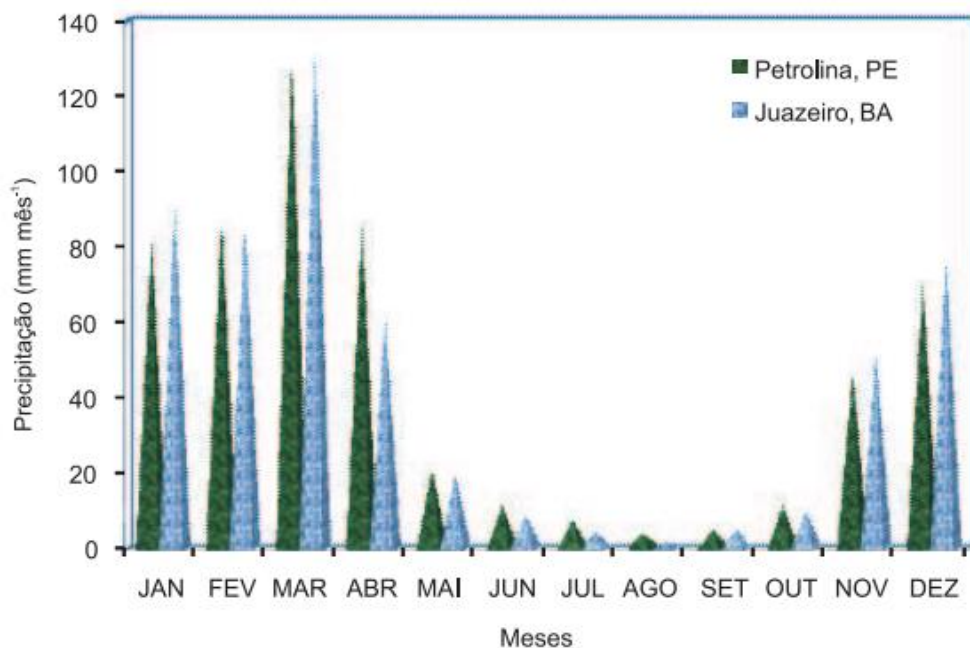
**Figura 2.22 – Normais de velocidade do vento no período de 1968 a 2009 da estação agrometeorológica de Bebedouro, em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).**

Os menores valores de evaporação foram registrados entre março e julho, variando de 5,9 mm/dia a 6,4 mm/dia. Os maiores valores ocorrem entre setembro e outubro, acima de 9,0 mm/dia. Os totais anuais são extremamente altos, cerca de 2.683 mm (figura 2.23).



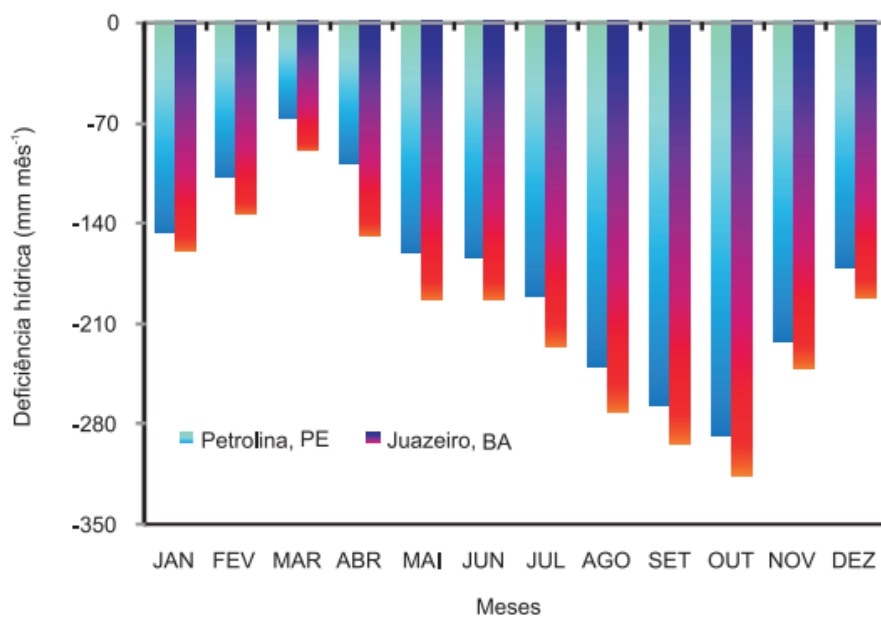
**Figura 2.23 – Histograma de evaporação do tanque Classe “A” no período de 1968 a 2009 da estação agrometeorológica de Bebedouro, em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).**

A precipitação média total anual é da ordem de 549 mm. O período chuvoso concentra-se entre os meses de novembro a abril, correspondendo a 90% do total anual. A quadra chuvosa, de janeiro a abril, contribui com 70% do total anual, destacando-se os meses de março e agosto como o mais e o menos chuvoso, com totais médios de 128,4 mm e 4,3 mm (figura 2.24).



**Figura 2.24 – Histogramas de precipitação pluvial do período de 1968 a 2009 da estação agrometeorológica de Bebedouro, em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).**

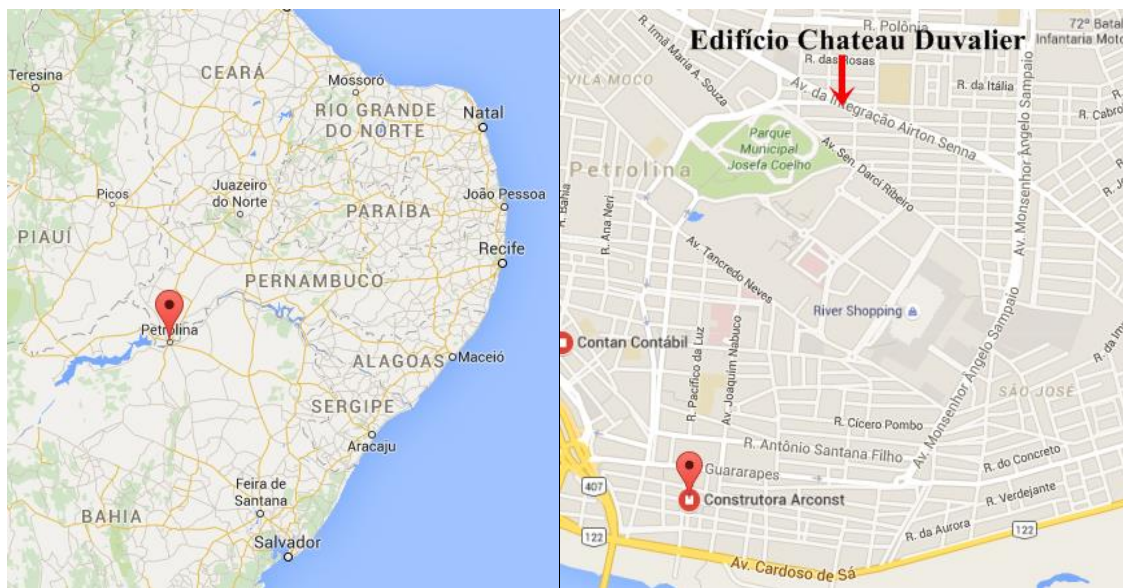
A partir do balanço hídrico percebe-se a ocorrência de deficiência hídrica durante todo o ano, com redução em magnitude no mês de março, quando se apresenta em torno de 67 mm. Os maiores valores ocorrem no mês de outubro, 288 mm (figura 2.25).



**Figura 2.25 – Histogramas de deficiência hídrica do período de 1968 a 2009 da estação agrometeorológica de Bebedouro, em Petrolina-PE. (Teixeira, 2010).**

### 3. ESTUDO DE CASO

Os testes experimentais e a coleta dos dados para realização deste estudo foram realizados durante a etapa de construção da estrutura do edifício residencial ChateauDuvalier, situado na cidade de Petrolina-PE, cuja empresa responsável é a A. R. Andrade Construções e Incorporações LTDA-ME (ARconst), que atua na cidade na área da construção civil no ramo de condomínios prediais residenciais. A localização da cidade, da empresa e do edifício está mostrada na figura 3.1, respectivamente.



**Figura 3.1 – Localização em mapa da cidade, da sede da empresa e do edifício.**

(Fonte: Google Maps, acessado em 25/04/16).

Foram coletados os dados referentes às resistências à compressão obtidas entre o período de novembro de 2014 a outubro de 2015, nos meses que compõem as estações climáticas do verão e do inverno, e nos meses considerados mais quente, frio, seco e úmido na região. Com estes dados foi feita uma análise da variação da resistência à compressão do concreto estrutural no verão e no inverno e nos meses que apresentaram maior e menor temperatura e umidade relativa do ar.

Os testes experimentais foram feitos com o concreto dosado na obra e utilizado na concretagem dos pilares do edifício e consistem na realização do ensaio de abatimento do tronco de cone e da moldagem de corpos de prova, para determinação da consistência e da resistência à compressão do concreto estrutural, respectivamente. Foram realizados nove testes em dias diferentes e cada teste é composto por dois pares de corpos de prova moldados

num intervalo de tempo especificado, sendo realizados antes de cada moldagem o ensaio de abatimento do tronco de cone e o registro da temperatura e umidade relativa do ar local. Dessa forma pretende-se analisar a variação da consistência e da resistência à compressão do concreto estrutural durante o intervalo de tempo existente entre sua produção e aplicação e devido à influência da temperatura e da umidade.

Os dados fornecidos pela empresa e os dados obtidos através dos testes experimentais estão dispostos nos anexos 1 e 2, e apêndice A deste trabalho, respectivamente.

## **4. METODOLOGIA**

Para realização dos testes experimentais foi feita, inicialmente, uma observação das etapas de produção, transporte e aplicação do concreto, para determinação do menor e maior tempo de realização de todas as etapas do procedimento. A partir das observações verificou-se que o menor tempo utilizado para efetuar as etapas de concretagem mencionadas foi de 10 minutos, enquanto que o maior tempo foi de 60 minutos. Essa variação de tempo ocorre devido aos fatores intervenientes característicos da própria obra, como por exemplo, o pequeno número de trabalhadores destinados à execução das etapas de concretagem, a falta de planejamento do processo de concretagem, a disponibilidade de apenas um elevador para realizar o transporte do concreto até a estrutura a ser concretada e dos outros materiais necessários para realização de outras atividades da obra, falta de comunicação entre as equipes de produção e aplicação, além de eventuais problemas mecânicos na betoneira, no elevador e nos vibradores que podem ocorrer durante a concretagem.

Dessa forma, foi adotado um intervalo de 10 a 60 min entre o primeiro e o segundo par de corpos de prova moldados em cada teste.

Para análise da variação da consistência do concreto foram feitos ensaios de abatimento do tronco de cone e para a análise da variação da resistência foi moldado um par de corpos de prova para cada situação e estes foram, aos 28 dias de idade, submetidos ao ensaio de resistência à compressão. Antes da execução de cada ensaio foi feito o registro da temperatura e da umidade relativa do ar no local para posterior avaliação da influência climática nos resultados obtidos.

### **4.1. MATERIAIS**

O cimento Portland utilizado na produção do concreto foi o CII-Z-RS, comum no comércio da cidade, que se trata de um cimento composto com adição de material pozzolânico e resistente a sulfatos.

O agregado graúdo usado foi a brita 1 que é a mais utilizada na construção civil para produção de concreto e cuja granulometria máxima é 19 mm. O agregado miúdo utilizado foi a areia lavada.

A água utilizada foi proveniente da rede de abastecimento e foi utilizado um aditivo retardador de pega.

## 4.2. DOSAGEM DO CONCRETO

O concreto utilizado foi dosado na obra com traço padrão adotado para concretagem dos pilares da estrutura do edifício com  $f_{ck}$  igual a 35 MPa. O traço usado foi 1:2:3 (cimento:areia:brita) em volume. A quantidade dos materiais utilizados para produção de um traço de concreto foi:

- 1 saco de cimento = 50 Kg;
- 2 padiolas de areia (0,35 x 0,35 x 0,24 m) = 59 L;
- 3 padiolas de brita (0,35 x 0,35 x 0,27 m) = 99 L;
- 18 L de água para um fator  $a/c = 0,6$ ;
- 150 ml de aditivo.

## 4.3. PRODUÇÃO, TRANSPORTE E APLICAÇÃO DO CONCRETO

O concreto foi confeccionado em uma betoneira estacionária com capacidade de 400 litros (Figura 4.1). Primeiramente foi colocada a água junto com o aditivo, previamente dissolvido na água, em seguida as 3 padiolas de brita, o cimento e as 2 padiolas de areia.



**Figura 4.1 – Betoneira utilizada para produção do concreto.**

Após a mistura dos materiais na betoneira, o concreto é descarregado em dois carrinhos de mão e são levados até o elevador onde seguirão até o pavimento de concretagem (figura 4.2).





**Figura 4.2 – Transporte do concreto.**

Após o transporte, o concreto é despejado próximo ao elemento estrutural a ser concretado. Em seguida é lançado com o auxílio de uma pá no interior do pilar e vibrado em seguida (figura 4.3).



**Figura 4.3 – Aplicação do concreto.**

#### **4.4. ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE**

O ensaio de abatimento ou slump test foi realizado conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998) para determinação da consistência do concreto. Este ensaio tem como objetivo medir a fluidez do concreto verificando sua trabalhabilidade no estado fresco ou plástico. O abatimento, que é a diferença entre a altura do molde e a altura do corpo de prova (figura 4.4), adotado para o concreto de 35 MPa aplicado nos pilares do edifício foi de  $(120 \pm 20)$  mm.



**Figura 4.4 – Determinação do abatimento do concreto pelo slump test.**

#### **4.5. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA**

A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2003) que regulamenta o procedimento de moldagem e cura dos corpos-de-prova de concreto. Foram utilizados moldes cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, untados previamente com óleo diesel queimado (figura 4.5).

Após a moldagem, os corpos de prova eram mantidos num depósito, sobre uma superfície plana e protegidos de intempéries, por um período de 24 horas, constituindo sua cura inicial. Após as 24 horas, os corpos de prova eram desmoldados, identificados e mantidos imersos em água numa caixa d'água (figura 4.5). Depois de alguns dias eram transportados para um laboratório especializado, onde após 28 dias da moldagem eram submetidos ao ensaio de resistência à compressão.



**Figura 4.5 – Moldagem e cura dos corpos de prova.**

#### **4.6. REGISTRO DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR**

Com o uso de um relógio digital foi feito o registro da temperatura e da umidade do ar no local de realização dos testes experimentais (figura 4.6). Com esse registro foi possível avaliar a influência desses fatores na resistência do concreto.

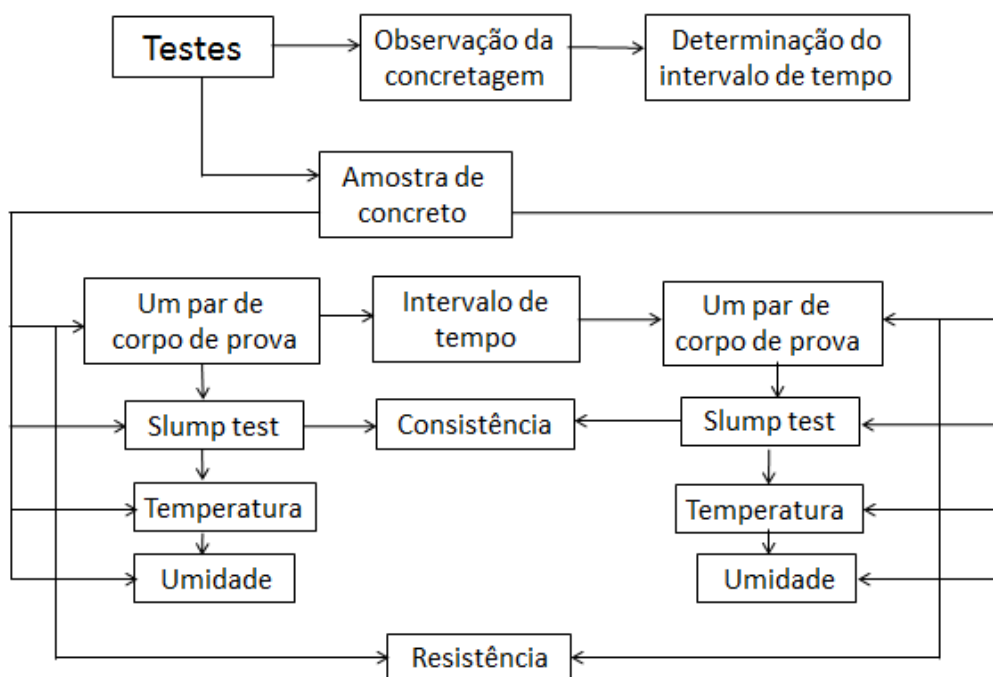


**Figura 4.6 – Relógio digital medidor de temperatura e umidade.**

#### 4.7. TESTE EXPERIMENTAL

Foram desenvolvidos nove testes experimentais em dias e horários diferentes para que se pudesse registrar uma maior variação dos fatores climáticos. Cada teste é composto por dois pares de corpos de prova moldados com a mesma amostra de concreto extraída durante a concretagem dos pilares do edifício. O concreto utilizado em todos os testes possui as mesmas características quanto aos materiais, dosagem, produção e resistência característica.

A seguir é apresentado um esquema que resume o procedimento executado em cada teste e que será explicado posteriormente (figura 4.7).



**Figura 4.7 – Esquema das etapas dos testes experimentais.**

Primeiramente, foram feitas observações durante algumas concretagens realizadas na obra para verificar o menor e maior tempo necessário para realização das etapas de concretagem. A partir dessas observações foi determinado o tempo mínimo e máximo, para execução das etapas de produção, transporte e aplicação do concreto, de 10 min e 60 min, respectivamente. Dessa forma, o intervalo de tempo adotado entre a moldagem dos dois pares de corpos de prova que compõem um teste, foi entre 10 min e 60 min, variando a cada teste realizado, como podemos observar na tabela a seguir (tabela 4.1).

**Tabela 4.1 – Intervalo de tempo adotado entre a moldagem dos pares de corpos de prova em cada teste.**

<b>Teste</b>	<b>Intervalo de tempo (min)</b>
1	10
2	20
3	30
4	20
5	50
6	30
7	60
8	40
9	10

Logo após a produção de um traço de concreto, foi retirada uma amostra, despejada num carrinho de mão, com quantidade suficiente para fazer dois slump test e quatro corpos de prova. Imediatamente após a retirada da amostra foi realizado um slump test para determinar a consistência inicial do concreto, em seguida foi registrada a temperatura e a umidade do ar local e moldado o primeiro par de corpos de prova para determinação da resistência inicial. Feito isso, o concreto ficou exposto às condições climáticas do ambiente durante o tempo adotado, conforme a tabela 4.1. Após esse tempo, o concreto foi remisturado com uma colher de pedreiro para garantir a uniformidade da mistura, e então foi feito mais um slump test para determinar a consistência final do concreto, que se refere à consistência no momento em que ele seria aplicado na estrutura. Em seguida foi feito novamente o registro da temperatura e da umidade e moldado o segundo par de corpos de prova para determinação da resistência final. Todos os testes foram feitos dessa forma, variando apenas o intervalo de tempo entre as moldagens dos pares de corpos de prova.

Nos testes cinco e sete, com intervalos de 50 e 60 min, respectivamente, para que fosse possível remisturar o concreto e prosseguir com o teste foi necessário adicionar água à mistura. No teste cinco foram adicionados 800 ml de água e no teste sete, 500 ml. Dessa forma, foi observado o comportamento da resistência devido à adição da água.

Os testes sete, oito e nove foram feitos com concreto dosado sem o uso do aditivo retardador de pega. O aditivo não foi utilizado devido à sua indisponibilidade no momento da concretagem, e para não interromper o prosseguimento do cronograma, a concretagem foi feita sem o uso do mesmo. Com isso, foi observado o comportamento das resistências obtidas com o concreto sem aditivo, comparadas aos resultados obtidos com o uso do aditivo.

Para análise da variação da resistência do concreto em relação ao intervalo de tempo, referente ao período entre a produção e aplicação do concreto, foi comparado os valores obtidos para a resistência inicial e final de cada teste separadamente.

Para a análise da influência da temperatura e da umidade na resistência do concreto foram comparados os valores obtidos de resistência inicial de todos os testes, uma vez que a resistência final foi influenciada pela variação do tempo de exposição do concreto às condições climáticas.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. VARIACÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO ESTRUTURAL

#### 5.1.1. Quanto ao período do verão e do inverno

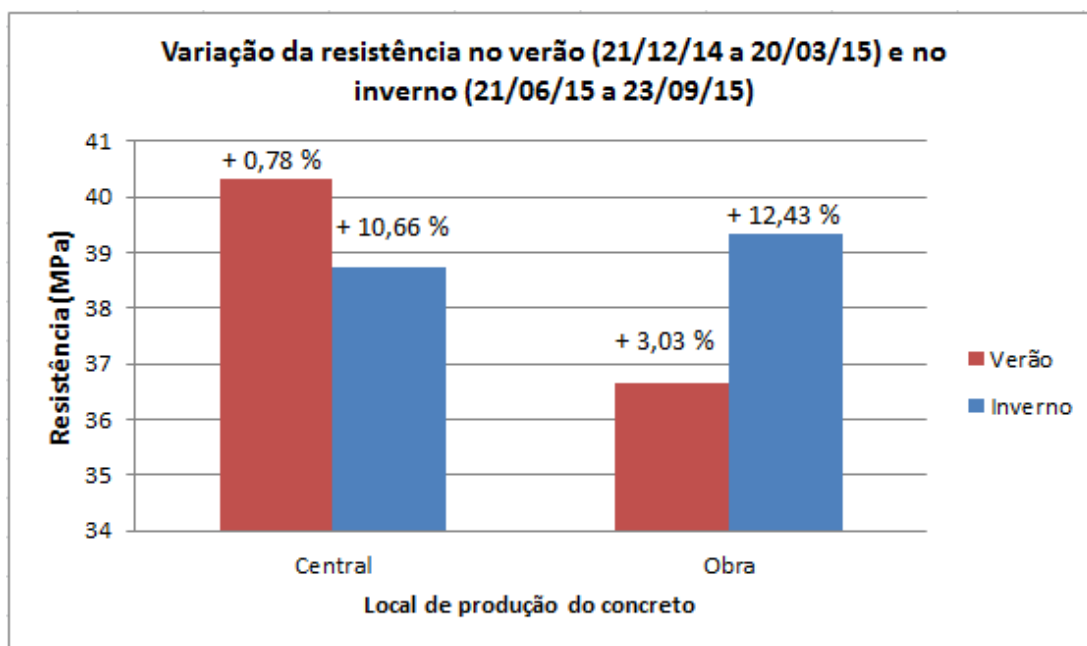
A tabela 5.1 apresenta os valores médios de resistência à compressão do concreto estrutural obtidas no período de 21/12/2014 a 20/03/2015, correspondente à estação climática do verão, e o período de 21/06/2015 a 23/09/2015, correspondente ao inverno, para o concreto dosado numa concreteira e para o concreto dosado na obra. Os valores de todas as resistências obtidas estão no anexo 1.

**Tabela 5.1 – Valores das resistências obtidas no verão e no inverno.**

	<b>Verão</b> <b>(21/12/14 a 20/03/15)</b>	<b>Inverno</b> <b>(21/06/15 a 23/09/15)</b>
<b>Concreto dosado na concreteira (Fck = 40 MPa e 35 MPa respectivamente)</b>	40,31	38,73
<b>Concreto dosado na obra (Fck = 35 MPa)</b>	36,06	39,35

Conforme a tabela 5.1 os valores de resistência obtidas para o concreto dosado na concreteira foi de 40,31 MPa, para uma resistência característica de 40 MPa, durante o período do verão. E 38,73 MPa, para uma resistência característica de 35 MPa, durante o período do inverno. Para o concreto dosado na obra, para uma resistência característica de 35 MPa, as médias de resistências obtidas foram de 36,06 durante o verão, e 39,35 durante o inverno.

Na figura 5.1 estão os percentuais de ganho de resistência para cada situação.



**Figura 5.1 – Percentual de ganho de resistência para o concreto dosado na concreteira e na obra no período do verão e do inverno.**

Analisando o gráfico podemos perceber que o concreto apresentou maior ganho de resistência no período do inverno, tanto para o dosado na concreteira como para o dosado na obra. Conforme mostrado na tabela 5.1, as médias de resistências para o inverno foram de 38,73 MPa, para o concreto dosado na concreteira, e 39,35 MPa para o concreto dosado na obra, o que corresponde a um ganho de resistência de 10,66% e 12,43%, respectivamente, em relação à resistência adotada para o traço dosado conforme as características do projeto.

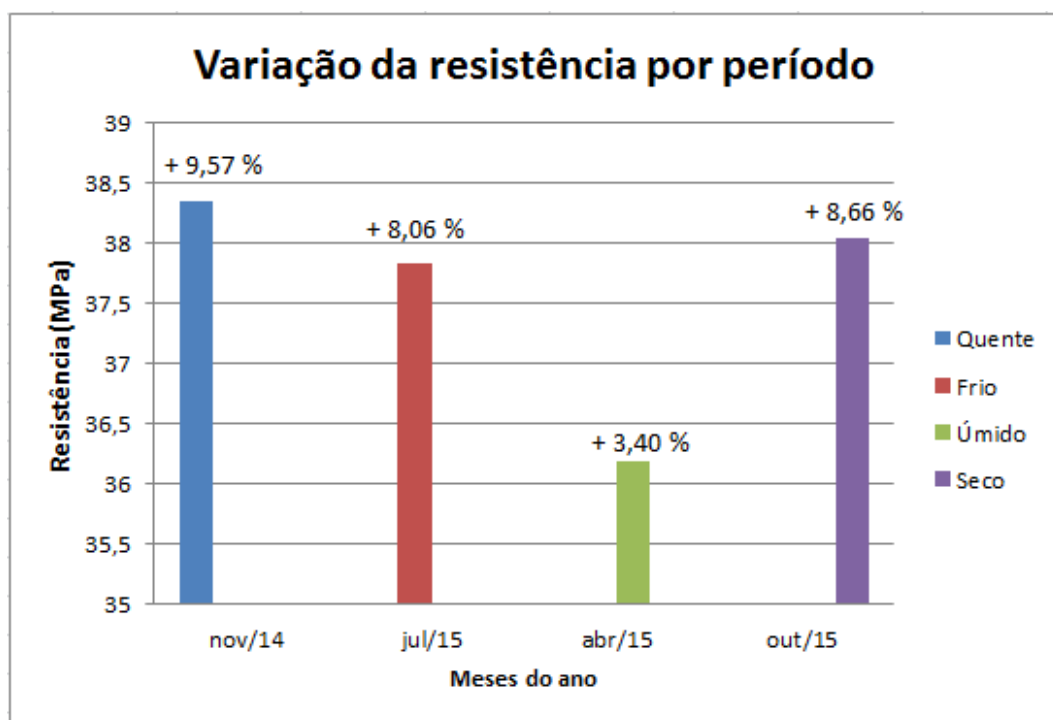
Isso ocorreu devido às características climáticas da região, em que o clima predominante é quente e seco, mas com ocorrência de máxima precipitação no período do verão e estiagem no inverno, configurando um período seco. Como no verão há frequente ocorrência de chuvas, a umidade do ar é mais elevada que no inverno. Maior umidade proporciona um retardamento do tempo de pega do concreto fazendo com que a evolução da resistência ocorra lentamente e atinja valores inferiores aos 28 dias de idade.

### **5.1.2. Quanto ao mês mais quente, frio, seco e úmido**

Conforme estudo meteorológico realizado por Moura et al. (2007) o mês mais quente do ano para a cidade de Petrolina-PE é novembro, cujas temperaturas variam de 22 a 33,9° C e o mês mais frio é julho com temperaturas variando de 18,1 a 29,6° C. Abril é o mês mais úmido e corresponde ao final do período chuvoso, de janeiro a março cujas precipitações podem



atingir 133,7 mm. E o mais seco é outubro que corresponde ao final do período de estiagem, de julho a setembro cujas precipitações não passam de 8,1 mm. A figura a seguir mostra o gráfico das médias e percentuais de ganhos de resistências obtidas durante os meses citados para o concreto dosado na obra com resistência de 35 MPa (figura 5.2). Todos os valores das resistências estão dispostos no anexo 2.



**Figura 5.2 – Percentual de ganho de resistência para o concreto dosado na obra no mês mais quente, frio, seco e úmido.**

Analisando o gráfico percebemos que os melhores valores de resistência foram obtidos nos meses mais quente e seco, com médias de resistências iguais a 38,35 MPa e 38,03 MPa, respectivamente. A média obtida para o mês mais frio foi de 37,82MPa e para o mês mais úmido de 36,19 MPa. Observamos que o menor valor obtido foi no mês mais úmido, reforçando o exposto anteriormente, que a umidade do ar contribui para a redução da velocidade das reações de hidratação do cimento, que por sua vez retarda o tempo de pega, tornando mais lenta a evolução da resistência do concreto. Além disso, o oposto é comprovado com a maior média de resistência obtida no mês mais quente, em que o aumento da temperatura acelera as reações de hidratação do cimento, aumentando o tempo de pega e proporcionando maiores ganhos de resistência.

## 5.2. VARIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA E DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO ESTRUTURAL

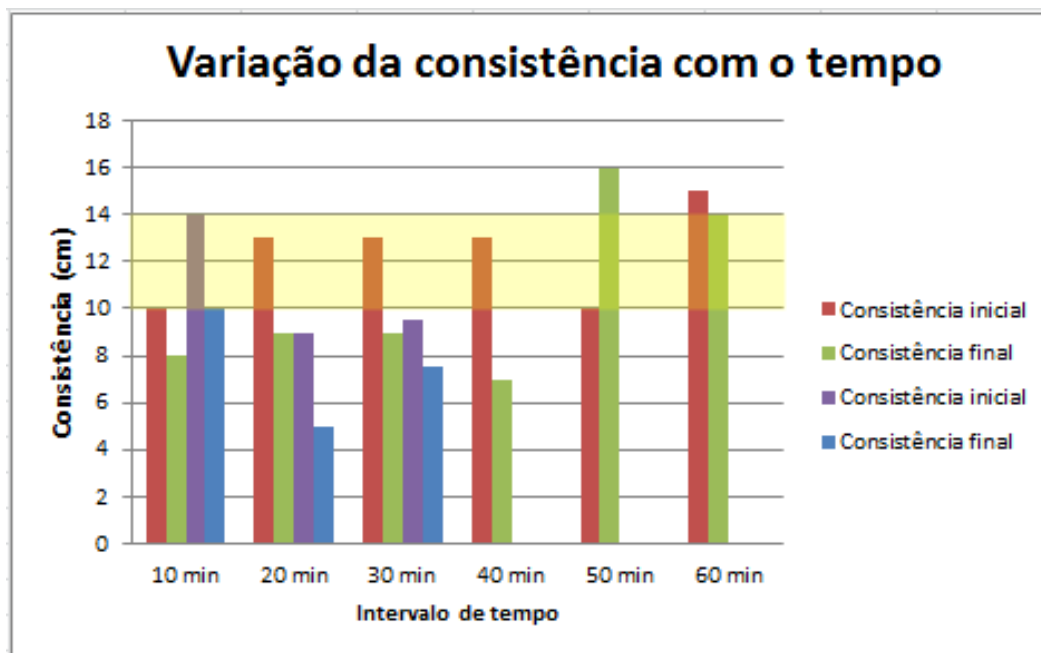
### 5.2.1 Quanto ao tempo de exposição do concreto às condições climáticas

A tabela a seguir reúne os resultados obtidos no slump test e as médias de resistências obtidas em cada teste (Tabela 5.2).

**Tabela 5.2 – Abatimentos e resistências obtidas em cada teste.**

	Inicial		Final	
	Abatimento (cm)	Resistência (MPa)	Abatimento (cm)	Resistência (MPa)
<b>Teste 1</b>	10,00	29,67	8,00	29,41
<b>Teste 2</b>	13,00	34,50	9,00	32,59
<b>Teste 3</b>	13,00	30,68	9,00	30,43
<b>Teste 4</b>	9,00	37,56	5,00	37,30
<b>Teste 5</b>	10,00	38,19	16,00	40,87
<b>Teste 6</b>	9,50	38,57	7,50	41,00
<b>Teste 7</b>	15,00	30,87	14,00	26,55
<b>Teste 8</b>	13,00	27,69	7,00	24,95
<b>Teste 9</b>	14,00	22,53	10,00	28,77

O gráfico a seguir mostra o comportamento da consistência do concreto ao longo do tempo, ou seja, durante o intervalo de tempo de exposição do concreto ao ar (figura 5.3).



**Figura 5.3 – Variação da consistência do concreto ao longo do intervalo de tempo.**

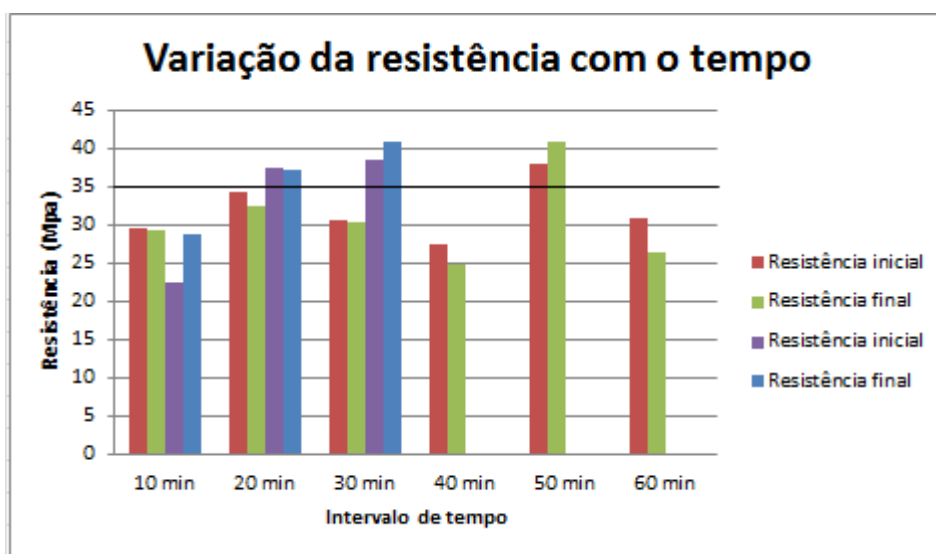
Como já era esperado, o concreto tende a perder sua fluidez e, conseqüentemente, sua trabalhabilidade ao longo do tempo. Isso ocorre devido à perda de água na mistura do concreto durante as reações de hidratação do cimento e também por evaporação. O abatimento permitido para utilização do concreto na obra em estudo é de  $(120 \pm 20)$  mm, ou seja, entre 100 e 140 mm, que compreende o intervalo marcado em amarelo no gráfico da figura 5.3. Como podemos observar, três amostras não apresentaram um abatimento inicial dentro do limite estabelecido, as amostras 4 (20 min) e 3 (30 min) ficaram abaixo do limite e a amostra 7 (60 min) acima. Teoricamente esses traços de concreto que apresentaram um abatimento fora do intervalo não deveriam ser aplicados na estrutura, mas na prática não há um controle desse abatimento, pois não é feito o slump test durante a concretagem na obra.

Devido ao tempo existente entre a produção e aplicação do concreto, este tende a reduzir significativamente o seu abatimento, com valores bem abaixo do limite estabelecido, e para que esse concreto não seja desperdiçado, é adicionada uma quantidade de água a esse concreto para que este volte a ter a mesma consistência inicial. Esta prática, apesar de ser muito comum nas obras, não é recomendada, pois a adição de água ao concreto diminui sua resistência, como ficou comprovado num estudo feito por Teixeira e Pelisser (2007). Diante disso, Dultraet *al* (2014) desenvolveram um estudo no qual recomendam, quando necessário, a adição de calda de cimento no lugar da água, pois há menor impacto na resistência do concreto.

Isso ocorreu na realização dos testes com intervalos de 50 e 60 min, em que o concreto reduziu sua fluidez a ponto de não ser possível a realização do slump test. Então foi adicionada certa quantidade de água na mistura do concreto para que ele adquirisse novamente sua trabalhabilidade. Nas amostras 5 (50 min) e 7 (60 min) foram adicionados 800 e 500 ml de água, respectivamente. Na amostra 5, a quantidade de água adicionada foi superior à necessária para que o concreto voltasse a ter sua consistência inicial, visto que a consistência final foi bem maior que a inicial, já na amostra 7 a quantidade não foi suficiente para retornar à consistência inicial, mas o resultado obtido ficou dentro do limite utilizado pela obra.

A variação da consistência inicial do concreto pode ser explicada devido à manipulação dos materiais durante a sua produção pelo operador da betoneira e seus ajudantes, que não têm um controle rígido quanto à quantidade de materiais que colocam na betoneira, inclusive em relação à água que por vezes é acrescida da quantidade estipulada para a dosagem do traço.

Na figura 5.4 são apresentados os valores de resistência à compressão obtidos nos testes.



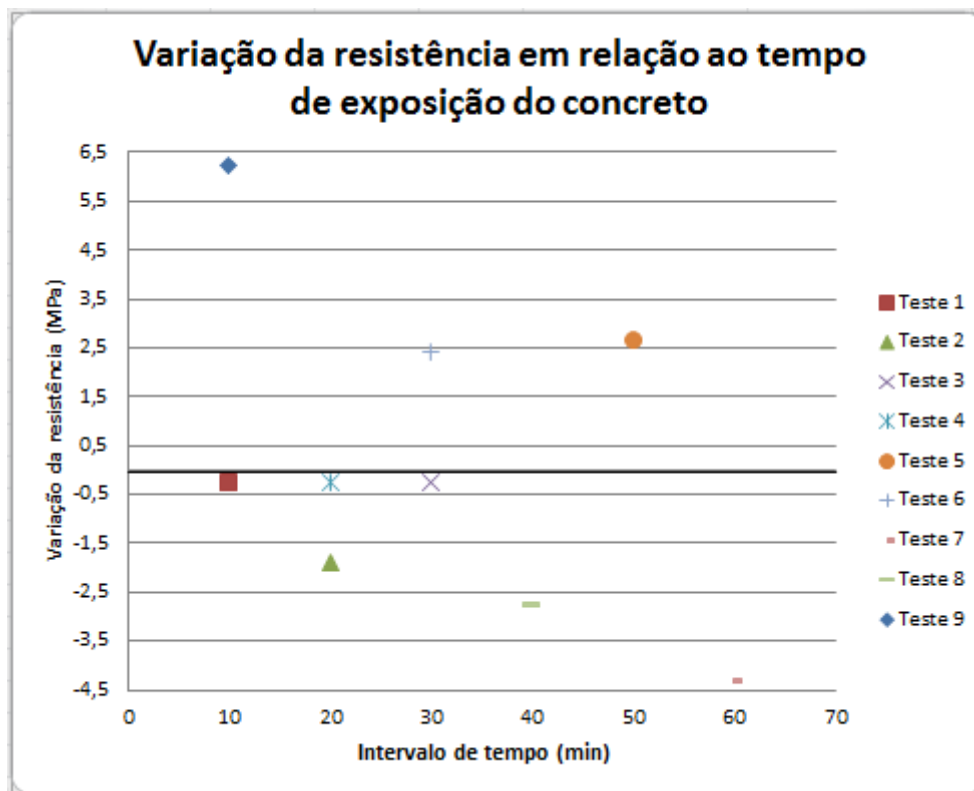
**Figura 5.4 – Variação da resistência do concreto ao longo do intervalo de tempo.**

Analisando o gráfico da figura 5.4 podemos perceber que a maioria das resistências obtidas ficou abaixo da resistência adotada no projeto (35 MPa). Isso pode ter ocorrido devido a vários fatores, como por exemplo, a proporção inadequada dos materiais, alteração do fator a/c, ausência de aditivos, manipulação inadequada dos corpos de prova durante o transporte ou no próprio laboratório e o coeficiente de segurança adotado para o cálculo da dosagem do

concreto não ter sido o suficiente para garantir um concreto com resistência mínima igual a do projeto. Nos testes 7 (60 min), 8 (40 min) e 9 (10 min), por exemplo, a amostra de concreto utilizada não tinha o aditivo retardador de pega, utilizado nos traços feitos na obra, devido a ausência do produto em estoque no momento da concretagem. E para não perder a produção nem atrasar o cronograma, a concretagem foi feita sem o uso do aditivo.

Observando o gráfico novamente, podemos ver que a menor resistência obtida foi justamente o da amostra 9, sem o aditivo. Essa redução de resistência pode ser explicada devido à rápida hidratação do cimento que, como foi citado por Galvão (2003), favorece a evolução da resistência inicial, mas pode prejudicar a resistência após sete dias de idade formando um produto mais pobre e poroso. Além disso, o aditivo é utilizado com o propósito de aumentar o tempo de pega do concreto, aumentando assim seu tempo de trabalhabilidade, o que permite maior intervalo de tempo entre sua produção e aplicação sem alteração de sua resistência, o que não seria possível sem sua utilização.

A figura 5.5 apresenta um gráfico com as variações de resistência obtidas devido ao tempo de exposição do concreto às condições climáticas do ambiente, obtidas a partir da diferença entre as resistências finais e iniciais do concreto.



**Figura 5.5 – Variação da resistência devido ao tempo de exposição do concreto entre sua produção e aplicação.**

Observando o gráfico podemos notar que a maior parte das variações obtidas se encontra na parte inferior, o que significa que as resistências finais foram menores que as iniciais. Essa redução da resistência final do concreto mostra que ele sofreu influência dos fatores climáticos do ambiente, como a temperatura e umidade. Esses fatores são importantes porque podem aumentar ou reduzir a perda de água na mistura do concreto, alterando a sua consistência, o fator a/c, o processo de hidratação do cimento e o consequente desenvolvimento da resistência.

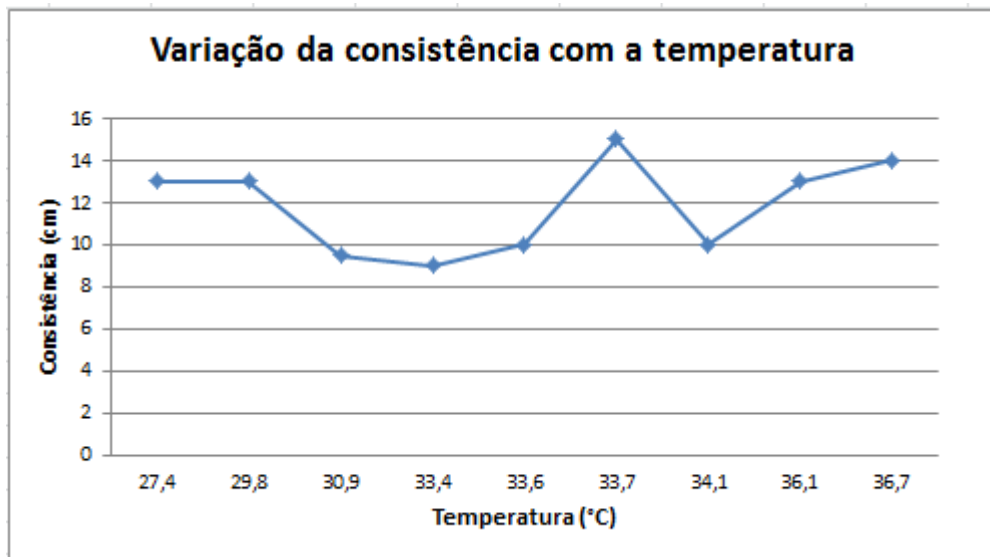
### 5.2.2 Quanto à variação da temperatura

Na tabela 5.3 estão os valores registrados de temperatura (T) para cada teste realizado, bem como os valores obtidos de consistência (A) e resistência (R) do concreto para cada temperatura.

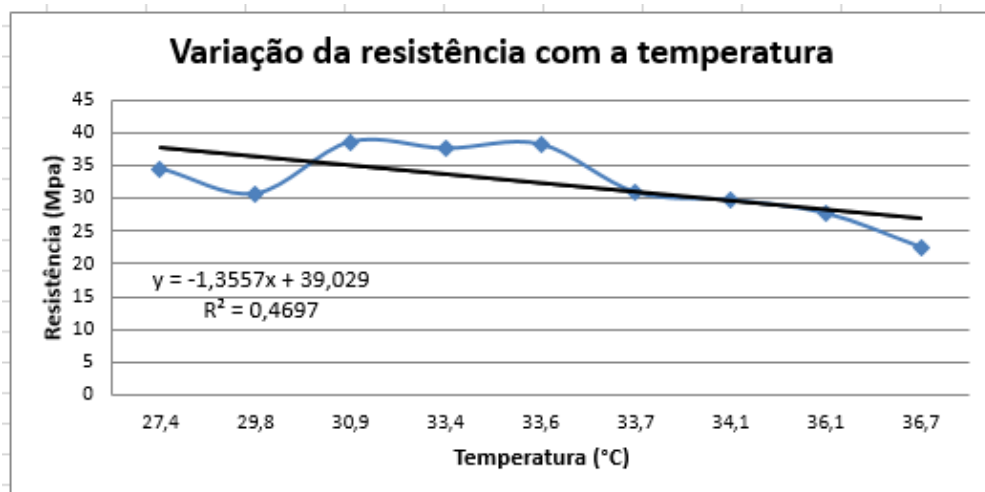
**Tabela 5.3 – Registros de temperaturas e respectivos valores de consistência e resistência obtidos.**

	Inicial			Final		
	T (°C)	A (cm)	R (MPa)	T (°C)	A (cm)	R (MPa)
<b>Teste 1</b>	34,10	10,00	29,67	33,80	8,00	29,41
<b>Teste 2</b>	27,40	13,00	34,50	29,20	9,00	32,59
<b>Teste 3</b>	29,80	13,00	30,68	32,60	9,00	30,43
<b>Teste 4</b>	33,40	9,00	37,56	34,80	5,00	37,30
<b>Teste 5</b>	33,60	10,00	38,19	34,60	16,00	40,87
<b>Teste 6</b>	30,90	9,50	38,57	31,30	7,50	41,00
<b>Teste 7</b>	33,70	15,00	30,87	37,20	14,00	26,55
<b>Teste 8</b>	36,10	13,00	27,69	37,60	7,00	24,95
<b>Teste 9</b>	36,70	14,00	22,53	37,20	10,00	28,77

As figuras a seguir mostram a variação da consistência (figura 5.6) e da resistência (figura 5.7) do concreto em relação à temperatura medida no local durante a moldagem dos corpos de prova.



**Figura 5.6 – Variação da consistência do concreto em relação à temperatura.**



**Figura 5.7 – Variação da resistência do concreto em relação à temperatura.**

Comparando os dois gráficos podemos observar nitidamente que os pontos que apresentaram menor valor de abatimento apresentaram maiores resultados de resistência. Isso ocorre porque um concreto com valor de abatimento menor, normalmente, possui um menor fator a/c que proporciona maiores resistências. Temperaturas elevadas contribuem para uma maior aceleração do processo de hidratação do cimento, seja por sua ação direta na mistura do concreto ou indiretamente através do aumento de temperatura dos agregados. Temperaturas mais elevadas favorecem o aumento da evaporação de água no concreto fresco e essa redução de água, conseqüentemente, reduz o fator a/c da mistura. Menores valores do fator a/c, proporcionam um aumento da resistência do concreto. Como podemos observar no gráfico da

figura 5.7, nas temperaturas mais elevadas, em torno de 36° C, houve uma redução da resistência do concreto e os melhores resultados ocorreram em torno de 33° C. Com base no exposto anteriormente, temperaturas mais elevadas favorecem o aumento da resistência do concreto. Porém, neste trabalho, as temperaturas mais elevadas coincidiram com os testes realizados com amostras sem o uso do aditivo retardador de pega, e como foi mencionado, essas amostras obtiveram os menores valores de resistência. Por conta disso, não tem como afirmar que a resistência obtida com o concreto moldado a uma temperatura de 36° C seria maior que a resistência obtida com o concreto moldado a 33° C.

### 5.2.3 Quanto à variação da umidade relativa do ar

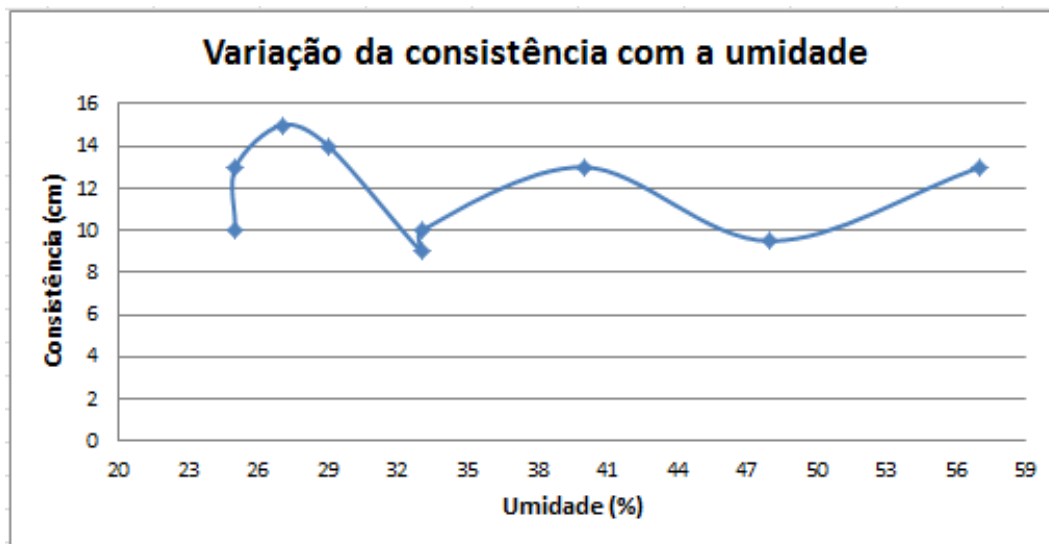
Na tabela 5.4 estão os valores registrados de umidade do ar (U) para cada teste realizado, bem como os valores obtidos de consistência (A) e resistência (R) do concreto para cada temperatura.

**Tabela 5.4 – Registros de umidades do ar e respectivos valores de consistência e resistência obtidos.**

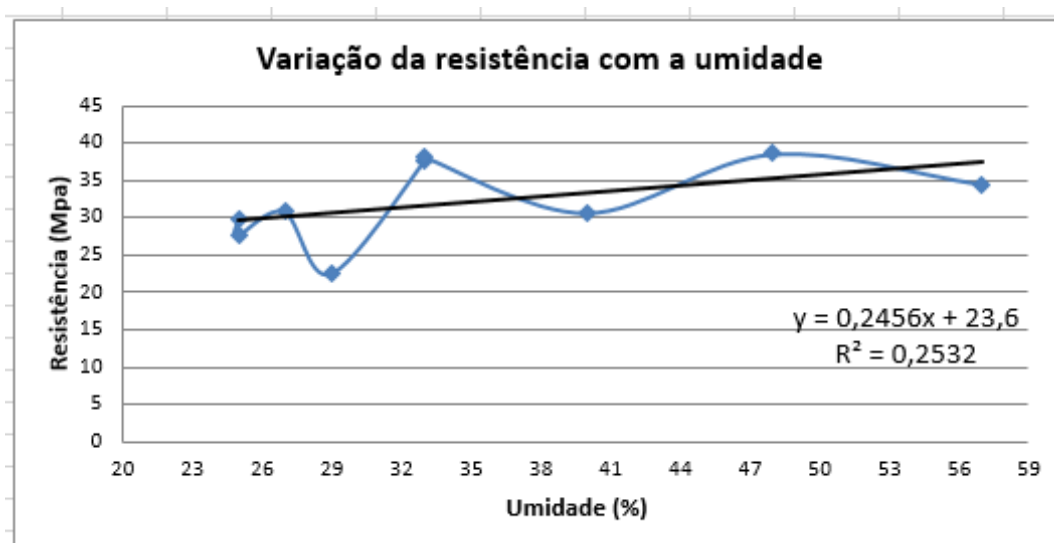
	Inicial			Final		
	U (%)	A (cm)	R (MPa)	U (%)	A (cm)	R (MPa)
<b>Teste 1</b>	25	10,00	29,67	26	8,00	29,41
<b>Teste 2</b>	57	13,00	34,50	51	9,00	32,59
<b>Teste 3</b>	40	13,00	30,68	33	9,00	30,43
<b>Teste 4</b>	33	9,00	37,56	32	5,00	37,30
<b>Teste 5</b>	33	10,00	38,19	30	16,00	40,87
<b>Teste 6</b>	48	9,50	38,57	47	7,50	41,00
<b>Teste 7</b>	27	15,00	30,87	21	14,00	26,55
<b>Teste 8</b>	25	13,00	27,69	23	7,00	24,95
<b>Teste 9</b>	29	14,00	22,53	29	10,00	28,77



As figuras a seguir mostram a variação da consistência (figura 5.8) e da resistência (figura 5.9) do concreto em relação à temperatura medida no local durante a moldagem dos corpos de prova.



**Figura 5.8 – Variação da consistência do concreto em relação à umidade do ar.**



**Figura 5.9 – Variação da resistência do concreto em relação à umidade do ar.**

Como podemos notar, comparando os gráficos das figuras 5.8 e 5.9, assim como nos gráficos de temperatura percebemos que um é o espelho do outro, ou seja, nos pontos em que os valores da consistência são menores, os valores de resistência são maiores.

Em relação à consistência e à resistência do concreto, quando analisada com o concreto fresco, a umidade do ar não tem muita influência, uma vez que está relacionada à temperatura,

pois quanto maior a temperatura, menor será a umidade. Logo os efeitos verificados com as temperaturas máximas, valem para valores mínimos de umidade e vice-versa.

No entanto, a umidade do ar exerce influência significativa durante o processo de cura do concreto, sendo um fator determinante para verificar a necessidade e o tipo de cura a ser utilizada. Como citado por Galvão (2003), caso a umidade relativa do ar seja maior ou igual a 80% haverá apenas uma pequena perda de água para o ambiente e a cura úmida para assegurar a hidratação do concreto pode ser dispensada.

## **6. CONCLUSÃO**

Este trabalho mostrou análises realizadas com amostras de concreto fresco, na qual foram observadas as alterações ocorridas em suas propriedades decorrentes do tempo de exposição às ações da temperatura e da umidade do ar e foi feita uma análise a respeito do período do ano que apresenta melhores ganhos de resistência à compressão do concreto estrutural. Também foi avaliado as alterações provenientes da ausência do aditivo num traço de concreto dosado com o uso do aditivo retardador de pega.

### **6.1. QUANTO AO PERÍODO DO VERÃO E DO INVERNO**

O concreto produzido na cidade de Petrolina-PE, situada na região do semiárido nordestino, apresentou melhores resultados de resistência à compressão durante o período da estação climática do inverno que é caracterizado como seco e estiado, ao contrário do verão, período em que ocorrem as máximas precipitações.

### **6.2. QUANTO AOS MESES COM MÁXIMA E MÍNIMA TEMPERATURA E UMIDADE DO AR**

Os melhores valores de resistência ocorrem nos meses mais quente e seco, novembro e outubro respectivamente, com médias de resistências em torno de 38 MPa, para um fck igual a 35 MPa. Os menores valores ocorreram no mês de abril, o mais úmido do ano, com média de resistência em torno de 36 MPa. A umidade do ar contribui para a redução da velocidade das reações de hidratação do cimento, que por sua vez retarda o tempo de pega, tornando mais lenta a evolução da resistência do concreto.

### **6.3. QUANTO AO INTERVALO DE TEMPO ENTRE A PRODUÇÃO E A APLICAÇÃO DO CONCRETO**

Verificou-se que o concreto tende a perder sua fluidez e, conseqüentemente, sua trabalhabilidade ao longo do tempo. Isso ocorre devido à perda de água na mistura do concreto durante as reações de hidratação do cimento e também por evaporação.

Ao analisar a variação da resistência à compressão do concreto devido ao tempo de exposição às condições climáticas entre os processos de produção e aplicação, observou-se

que o concreto fresco sofre influência dos fatores climáticos do ambiente, como temperatura e umidade, que contribuem para uma redução da resistência.

#### **6.4. QUANTO À AUSÊNCIA DO ADITIVO RETARDADOR DE PEGA**

Foi verificado que, para o concreto dosado com o uso de aditivos retardadores de pega, a produção do traço sem o uso do mesmo acarretou em perdas significativas de resistência, sendo inferiores à resistência característica adotada no projeto.

#### **6.5. QUANTO À INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA UMIDADE**

Ao analisar a influência da temperatura e da umidade do ar na mistura do concreto fresco, notou-se que as amostras que tiveram menores valores de abatimento apresentaram maiores resultados de resistência. Temperaturas mais elevadas, o que equivale a umidades mais baixas, favorecem o aumento da evaporação de água no concreto fresco e essa redução de água, conseqüentemente, reduz o fator a/c da mistura. Menores valores do fator a/c, proporcionam um aumento da resistência do concreto.

#### **6.6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Análise das alterações das propriedades do concreto provenientes da ação dos aditivos;
- Avaliação da influência da temperatura e da umidade do ar no concreto endurecido por meio de cura úmida e cura ao ar.

## 7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1998): **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: NBRNM 67/98**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2004): **Execução de estruturas de concreto – Procedimento: NBR 14931/04**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2008): **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: NBR 5738/08**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2009): **Agregados para concreto – Especificação: NBR 7211/09**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2012): **Execução de concreto dosado em central – Procedimento: NBR 7212/12**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2014): **Projetos de estruturas de concreto – Procedimento: NBR 6118/14**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2015): **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: NBR 5739/15**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2015): **Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência: NBR 8953/15**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2015): **Concreto – Preparo, controle e recebimento: NBR 12655/15**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7. Ed. São Paulo, 2002.

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

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**. Universidade Estadual Paulista. Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural. 33 f. Ilha Solteira, São Paulo, 2002.

ARAÚJO, J. M. **A resistência à compressão e critérios de ruptura para o concreto**. Série estruturas de concreto, n. 1, Ed. Dunas, Rio Grande, Abril, 2001, 21.p.

ARAÚJO, S. M. **S.A região semiárida do nordeste do Brasil: Questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos**. Rios Eletrônica – Revista Científica da FASETE, v. 5, p.89-98, 2011.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: Segundo a NBR 6118:2003**, 3ª ed. São Paulo: EdUFSCar, 2007.

CARVALHO, J. D. N. de. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. Revista tecnológica, v. 17, p. 19-28, 2008.

DULTRA, E. J. V. et al. **Influência do aumento do abatimento do concreto estrutural através da adição de água ou calda de cimento 1:1 na propriedade de resistência mecânica**, 56., 2014. Natal. Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2014.

FONSECA, G. C. da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. 2010, 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

GALVÃO, J. C. A. **Estudo das propriedades dos concretos confeccionados com cimento CP V- ARI e CP II - F 32, sob diferentes temperaturas de mistura e métodos de cura**. 2003. 112 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia de Materiais e Processos) – Setor de tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2003.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland**. Capítulo 29. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). *Materiais de Construção Civil e Engenharia de Materiais*. 2 ed. IBRACON, 2010. v. 1 & v. 2. p. 945-984.

KAEFER, L. F. **A evolução do concreto armado**. (PEF 5707 – Conceção, Projeto e Realização das Estruturas: aspectos históricos – 1998.3). São Paulo: 1998.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**, 3ª ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MOURA, M. S. B. da. et al. **Clima e água de chuva no semiárido**. In: *Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007. cap. 2, p. 35-39.

MOURÃO, E. V. P. et al. **Controle de qualidade do concreto produzido em central dosadora de concreto**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2010.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. *Revista Eletrônica Concreto & Construções*, Jan./Fev./Mar. 2009.

PIMENTA, D. S. **Produção de concreto convencional com a utilização de pó de brita**. 2012. 60 f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

RIBEIRO, R. L. S. **Ações devidas ao clima sobre os materiais de construção em regiões tropicais**. 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SELEGIN, C. H. **Análise quantitativa e qualitativa da conformidade do concreto estrutural: um estudo de caso em obras de Caruaru-PE**. 2013. 145 f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2013.

TEIXEIRA, A. H. C. **Informações agrometeorológicas do polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA – 1963 a 2009.**Série Documentos – Embrapa Semiárido, 2010,23 p.

TEIXEIRA, R. B.; PELISSER, F.**Análise da perda de resistência à compressão do concreto com adição de água para correção da perda de abatimento ao longo do tempo.**Revista de Iniciação Científica da UNESC, Vol. 5, No 1, 2007.

VARELA, M. L. **Dosagem de Concreto método ABCP/ACI.**Minicurso ministrado no Congresso Científico Universidade Potiguar, 2012. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgn4AC/dosagem-concreto>>. Acesso em 18 de fev. 2016.



## ANEXOS

### ANEXO 1 – Registro de resistências à compressão do concreto estrutural obtidas no período do verão e do inverno

<b>Verão: 21/12/14 a 20/03/15</b>			
<b>Concreto dosado em central, Fck = 40 Mpa</b>			
<b>Data de moldagem</b>	<b>Data de ruptura</b>	<b>Carga (T)</b>	<b>Fcj (Mpa)</b>
30/12/2014	27/01/2015	28,00	35,64
30/12/2014	27/01/2015	27,40	34,88
30/12/2014	27/01/2015	27,00	34,37
30/12/2014	27/01/2015	29,20	37,17
30/12/2014	27/01/2015	27,60	35,13
30/12/2014	27/01/2015	28,00	35,64
30/12/2014	27/01/2015	27,60	35,13
30/01/2015	27/02/2015	33,00	42,01
30/01/2015	27/02/2015	32,00	40,74
30/01/2015	27/02/2015	33,20	42,26
30/01/2015	27/02/2015	32,00	40,74
30/01/2015	27/02/2015	32,40	41,25
30/01/2015	27/02/2015	31,80	40,48
30/01/2015	27/02/2015	32,20	40,99
30/01/2015	27/02/2015	33,60	42,77
02/03/2015	30/03/2015	32,20	40,99
02/03/2015	30/03/2015	33,60	42,77
02/03/2015	30/03/2015	34,60	44,05
02/03/2015	30/03/2015	34,40	43,79
02/03/2015	30/03/2015	36,00	45,83
02/03/2015	30/03/2015	34,80	44,30
02/03/2015	30/03/2015	33,60	42,77
02/03/2015	30/03/2015	34,20	43,54
<b>Média</b>			<b>40,31</b>

<b>Verão: 21/12/14 a 20/03/15</b>			
<b>Concreto dosado na obra, Fck = 35 Mpa</b>			
<b>Data de moldagem</b>	<b>Data de ruptura</b>	<b>Carga (T)</b>	<b>Fcj (Mpa)</b>
31/12/2014	28/01/2015	28,00	35,64
14/01/2015	11/02/2015	32,00	40,74
05/01/2015	02/02/2015	27,80	35,39
05/01/2015	02/02/2015	27,40	34,88
05/01/2015	02/02/2015	27,60	35,13
05/01/2015	02/02/2015	28,00	35,64
02/02/2015	02/03/2015	29,00	36,92
04/02/2015	04/03/2015	28,80	36,66
05/02/2015	05/03/2015	25,60	32,59
05/02/2015	05/03/2015	25,40	32,33
17/03/2015	14/04/2015	27,20	34,63
16/03/2015	13/04/2015	24,00	30,55
10/03/2015	07/04/2015	28,60	36,41
10/03/2015	07/04/2015	28,40	36,15
11/03/2015	08/04/2015	28,60	36,41
12/03/2015	09/04/2015	30,00	38,19
12/03/2015	09/04/2015	29,00	36,92
13/03/2015	10/04/2015	28,00	35,64
13/03/2015	10/04/2015	27,80	35,39
13/03/2015	10/04/2015	28,00	35,64
13/03/2015	10/04/2015	28,00	35,64
06/03/2015	03/04/2015	30,00	38,19
06/03/2015	03/04/2015	30,40	38,70
06/03/2015	03/04/2015	30,2	38,44
06/03/2015	03/04/2015	30,40	38,7
<b>Média</b>			<b>36,06</b>

<b>Inverno: 21/06/15 a 23/09/15</b>			
<b>Concreto dosado em central, Fck = 35 Mpa</b>			
<b>Data de moldagem</b>	<b>Data de ruptura</b>	<b>Carga (T)</b>	<b>Fcj (Mpa)</b>
07/07/2015	04/08/2015	28,80	36,66
07/07/2015	04/08/2015	29,66	37,76
07/07/2015	04/08/2015	34,00	43,28
07/07/2015	04/08/2015	29,00	36,92
07/07/2015	04/08/2015	27,60	35,13
07/07/2015	04/08/2015	28,40	36,15
07/07/2015	04/08/2015	32,24	41,04
11/08/2015	08/09/2015	29,68	37,78
11/08/2015	08/09/2015	30,12	38,35
11/08/2015	08/09/2015	34,12	43,43
11/08/2015	08/09/2015	29,60	37,68
11/08/2015	08/09/2015	28,80	36,66
11/08/2015	08/09/2015	28,40	36,15
11/08/2015	08/09/2015	28,67	36,50
31/07/2015	28/08/2015	30,12	38,34
31/07/2015	28/08/2015	31,04	39,51
31/07/2015	28/08/2015	31,11	39,60
31/07/2015	28/08/2015	32,00	40,74
31/07/2015	28/08/2015	34,10	43,41
31/07/2015	28/08/2015	29,18	37,15
31/07/2015	28/08/2015	32,40	41,25
21/07/2015	18/08/2015	29,50	37,55
21/07/2015	18/08/2015	29,70	37,81
21/07/2015	18/08/2015	28,40	36,15
21/07/2015	18/08/2015	28,80	36,66
21/07/2015	18/08/2015	27,76	37,88
21/07/2015	18/08/2015	29,80	37,94
21/07/2015	18/08/2015	30,00	38,19
11/08/2015	08/09/2015	29,68	37,78
11/08/2015	08/09/2015	30,12	38,35
11/08/2015	08/09/2015	34,12	43,43
11/08/2015	08/09/2015	29,60	37,68
11/08/2015	08/09/2015	28,80	36,66

11/08/2015	08/09/2015	28,40	36,15
11/08/2015	08/09/2015	28,67	36,5
21/08/2015	18/09/2015	30,10	38,32
21/08/2015	18/09/2015	31,00	39,46
21/08/2015	18/09/2015	30,14	38,37
21/08/2015	18/09/2015	29,10	37,04
21/08/2015	18/09/2015	29,00	36,92
21/08/2015	18/09/2015	28,94	36,84
21/08/2015	18/09/2015	30,00	38,19
01/09/2015	29/09/2015	33,00	42,01
01/09/2015	29/09/2015	33,10	42,14
01/09/2015	29/09/2015	32,18	40,97
01/09/2015	29/09/2015	32,00	40,74
01/09/2015	29/09/2015	33,00	42,01
01/09/2015	29/09/2015	32,80	41,75
01/09/2015	29/09/2015	32,00	40,74
<b>Média</b>			<b>38,73</b>

<b>Inverno: 21/06/15 a 23/09/15</b>			
<b>Concreto dosado na obra, Fck = 35 Mpa</b>			
<b>Data de moldagem</b>	<b>Data de ruptura</b>	<b>Carga (T)</b>	<b>Fcj (Mpa)</b>
22/06/2015	20/07/2015	28,30	36,03
23/06/2015	21/07/2015	28,67	36,50
23/06/2015	21/07/2015	27,90	35,52
23/06/2015	21/07/2015	28,00	35,64
30/06/2015	28/07/2015	29,04	36,97
30/06/2015	28/07/2015	30,00	38,19
26/06/2015	24/07/2015	34,00	43,28
26/06/2015	24/07/2015	31,00	39,46
26/06/2015	24/07/2015	32,22	41,02
29/06/2015	27/07/2015	32,10	40,86
29/06/2015	27/07/2015	32,30	41,12
02/07/2015	30/07/2015	23,10	29,41
27/07/2015	24/08/2015	30,58	38,93
28/07/2015	25/08/2015	30,00	38,19
28/07/2015	25/08/2015	32,00	40,74
28/07/2015	25/08/2015	30,68	39,06
17/07/2015	14/08/2015	28,21	35,91
13/07/2015	10/08/2015	28,10	35,77
13/07/2015	10/08/2015	28,70	36,54
13/07/2015	10/08/2015	29,00	36,92
10/07/2015	07/08/2015	27,84	35,44
10/07/2015	07/08/2015	29,11	37,06
10/07/2015	07/08/2015	29,60	37,68
10/07/2015	07/08/2015	29,90	38,06
10/07/2015	07/08/2015	29,80	37,94
11/07/2015	08/08/2015	27,80	35,39
11/07/2015	08/08/2015	28,06	35,72
13/07/2015	10/08/2015	28,04	36,15
13/07/2015	10/08/2015	31,00	39,46
06/07/2015	03/08/2015	31,00	39,46
26/08/2015	23/09/2015	31,18	39,69
26/08/2015	23/09/2015	31,40	39,97
26/08/2015	23/09/2015	35,10	44,68
24/08/2015	21/09/2015	34,40	43,79
25/08/2015	22/09/2015	34,00	43,28
25/08/2015	22/09/2015	35,00	44,56
25/08/2015	22/09/2015	34,00	43,28
25/08/2015	22/09/2015	34,40	43,79
25/08/2015	22/09/2015	35,11	44,70
25/08/2015	22/09/2015	33,98	43,26
25/08/2015	22/09/2015	34,50	43,92
25/08/2015	22/09/2015	34,10	43,41
13/08/2015	10/09/2015	31,06	39,54
13/08/2015	10/09/2015	32,00	40,74
13/08/2015	10/09/2015	33,00	42,01
13/08/2015	10/09/2015	29,48	37,53
14/08/2015	11/09/2015	29,04	36,97

14/08/2015	11/09/2015	30,22	38,47
14/08/2015	11/09/2015	39,11	49,79
14/08/2015	11/09/2015	29,70	37,81
14/08/2015	11/09/2015	32,78	41,73
14/08/2015	11/09/2015	33,10	42,14
17/08/2015	14/09/2015	29,00	36,92
17/08/2015	14/09/2015	28,11	35,78
18/08/2015	15/09/2015	28,00	35,64
05/08/2015	02/09/2015	28,11	35,78
05/08/2015	02/09/2015	28,20	35,90
05/08/2015	02/09/2015	29,80	37,94
04/08/2015	01/09/2015	30,14	38,37
04/08/2015	01/09/2015	30,80	39,21
04/08/2015	01/09/2015	32,40	41,25
04/08/2015	01/09/2015	32,33	41,16
05/08/2015	02/09/2015	35,15	44,75
05/08/2015	02/09/2015	34,76	44,25
05/08/2015	02/09/2015	30,00	38,19
05/08/2015	02/09/2015	32,60	41,50
05/08/2015	02/09/2015	29,00	36,92
07/08/2015	04/09/2015	32,00	40,74
28/08/2015	25/09/2015	29,18	37,15
<b>Média</b>			<b>39,35</b>

**ANEXO 2 – Registro de resistências à compressão do concreto estrutural obtidas no mês mais quente, frio, seco e úmido**

<b>Mês mais quente do ano: Novembro</b>			
<b>Concreto (obra), Fck = 35 Mpa</b>			
<b>Data de moldagem</b>	<b>Data de ruptura</b>	<b>Carga (T)</b>	<b>Fcj (Mpa)</b>
01/11/2014	29/11/2014	32,20	40,99
01/11/2014	29/11/2014	32,40	41,25
01/11/2014	29/11/2014	34,40	43,79
27/11/2014	25/12/2014	26,60	33,86
13/11/2014	11/12/2014	30,20	38,44
13/11/2014	11/12/2014	34,00	43,28
14/11/2014	12/12/2014	33,20	42,26
14/11/2014	12/12/2014	28,80	36,66
18/11/2014	16/12/2014	27,60	35,13
18/11/2014	16/12/2014	29,00	36,92
04/11/2014	02/12/2014	31,74	40,41
04/11/2014	02/12/2014	30,00	38,19
04/11/2014	02/12/2014	30,00	38,19
04/11/2014	02/12/2014	30,00	38,19
05/11/2014	03/12/2014	28,00	35,64
05/11/2014	03/12/2014	32,00	40,74
06/11/2014	04/12/2014	30,00	38,19
06/11/2014	04/12/2014	30,20	38,44
07/11/2014	05/12/2014	32,00	40,74
07/11/2014	05/12/2014	30,00	38,19
10/11/2014	08/12/2014	28,60	36,41
11/11/2014	09/12/2014	28,00	35,64
11/11/2014	09/12/2014	28,60	36,41
12/11/2014	10/12/2014	27,60	35,13
19/11/2014	17/12/2014	29,10	37,04
24/11/2014	22/12/2014	29,00	36,92
<b>Média</b>			<b>38,35</b>

<b>Mês mais frio do ano: Julho</b>			
<b>Concreto (obra), Fck = 35 Mpa</b>			
<b>Data de moldagem</b>	<b>Data de ruptura</b>	<b>Carga (T)</b>	<b>Fcj (Mpa)</b>
07/07/2015	04/08/2015	28,80	36,66
07/07/2015	04/08/2015	29,66	37,76
07/07/2015	04/08/2015	34,00	43,28
07/07/2015	04/08/2015	29,00	36,92
07/07/2015	04/08/2015	27,60	35,13
07/07/2015	04/08/2015	28,40	36,15
07/07/2015	04/08/2015	32,24	41,04
31/07/2015	28/08/2015	30,12	38,34
31/07/2015	28/08/2015	31,04	39,51
31/07/2015	28/08/2015	31,11	39,60
31/07/2015	28/08/2015	32,00	40,74
31/07/2015	28/08/2015	34,10	43,41
31/07/2015	28/08/2015	29,18	37,15
31/07/2015	28/08/2015	32,40	41,25
21/07/2015	18/08/2015	29,50	37,55
21/07/2015	18/08/2015	29,70	37,81
21/07/2015	18/08/2015	28,40	36,15
21/07/2015	18/08/2015	28,80	36,66
21/07/2015	18/08/2015	27,76	37,88
21/07/2015	18/08/2015	29,80	37,94
21/07/2015	18/08/2015	30,00	38,19
02/07/2015	30/07/2015	23,10	29,41
27/07/2015	24/08/2015	30,58	38,93
28/07/2015	25/08/2015	30,00	38,19
28/07/2015	25/08/2015	32,00	40,74
28/07/2015	25/08/2015	30,68	39,06
17/07/2015	14/08/2015	28,21	35,91
13/07/2015	10/08/2015	28,10	35,77
13/07/2015	10/08/2015	28,70	36,54
13/07/2015	10/08/2015	29,00	36,92
10/07/2015	07/08/2015	27,84	35,44
10/07/2015	07/08/2015	29,11	37,06
10/07/2015	07/08/2015	29,60	37,68
10/07/2015	07/08/2015	29,90	38,06
10/07/2015	07/08/2015	29,80	37,94
11/07/2015	08/08/2015	27,80	35,39
11/07/2015	08/08/2015	28,06	35,72
13/07/2015	10/08/2015	28,04	36,15
13/07/2015	10/08/2015	31,00	39,46
06/07/2015	03/08/2015	31,00	39,46
<b>Média</b>			<b>37,82</b>



<b>Mês mais seco do ano: Outubro</b>			
<b>Concreto (obra), Fck = 35 Mpa</b>			
<b>Data de moldagem</b>	<b>Data de ruptura</b>	<b>Carga (T)</b>	<b>Fcj (Mpa)</b>
06/10/2015	03/11/2015	30,00	38,19
07/10/2015	04/11/2015	28,80	36,66
07/10/2015	04/11/2015	30,00	38,19
07/10/2015	04/11/2015	28,80	36,66
07/10/2015	04/11/2015	28,60	36,41
07/10/2015	04/11/2015	30,00	38,19
07/10/2015	04/11/2015	28,80	36,66
08/10/2015	05/11/2015	28,40	36,15
08/10/2015	05/11/2015	28,60	36,41
08/10/2015	05/11/2015	30,40	38,70
08/10/2015	05/11/2015	31,60	40,23
08/10/2015	05/11/2015	33,00	42,01
08/10/2015	05/11/2015	32,00	40,74
13/10/2015	10/11/2015	30,40	38,70
17/10/2015	14/11/2015	28,80	36,66
17/10/2015	14/11/2015	28,80	36,66
17/10/2015	14/11/2015	29,00	36,92
20/10/2015	17/11/2015	29,00	36,92
20/10/2015	17/11/2015	29,20	37,17
20/10/2015	17/11/2015	29,40	37,43
20/10/2015	17/11/2015	30,00	38,19
20/10/2015	17/11/2015	30,20	38,44
20/10/2015	17/11/2015	31,00	39,46
21/10/2015	18/11/2015	30,00	38,19
21/10/2015	18/11/2015	30,20	38,44
21/10/2015	18/11/2015	30,00	38,19
22/10/2015	19/11/2015	30,20	38,44
28/10/2015	25/11/2015	29,40	37,43
28/10/2015	25/11/2015	28,00	35,64
28/10/2015	25/11/2015	30,40	38,70
28/10/2015	25/11/2015	31,00	39,46
28/10/2015	25/11/2015	28,80	36,66
28/10/2015	25/11/2015	30,40	38,70
29/10/2015	26/11/2015	29,80	37,94
29/10/2015	26/11/2015	28,60	36,41
29/10/2015	26/11/2015	29,80	37,94
29/10/2015	26/11/2015	34,10	43,41
31/10/2015	28/11/2015	29,80	37,94
<b>Média</b>			<b>38,03</b>

<b>Mês mais úmido do ano: Abril</b>			
<b>Concreto (obra), Fck = 35 Mpa</b>			
<b>Data de moldagem</b>	<b>Data de ruptura</b>	<b>Carga (T)</b>	<b>Fcj (Mpa)</b>
02/04/2015	30/04/2015	28,60	36,41
06/04/2015	04/05/2015	27,80	35,39
06/04/2015	04/05/2015	28,00	35,64
07/04/2015	05/05/2015	28,80	36,66
07/04/2015	05/05/2015	28,20	35,90
09/04/2015	07/05/2015	28,20	35,90
10/04/2015	08/05/2015	26,60	33,86
13/04/2015	11/05/2015	28,40	36,15
14/04/2015	12/05/2015	30,00	38,19
15/04/2015	13/05/2015	28,60	36,41
15/04/2015	13/05/2015	28,80	36,66
15/04/2015	13/05/2015	27,00	34,37
16/04/2015	14/05/2015	30,20	38,44
18/04/2015	16/05/2015	28,80	36,66
<b>Média</b>			<b>36,19</b>

## APÊNDICEA – Resultados obtidos no teste experimental

Teste 1	
Data de moldagem	25/09/2015
Data de ruptura	23/10/2015
Intervalo de tempo (min)	10
Horário 1	15:01
Temperatura 1 (°C)	34,10
Umidade 1 (%)	25,00
Consistência inicial (cm)	10,00
Resistência inicial (Mpa)	28,52
	30,81
Média de resistência (Mpa)	<b>29,67</b>
Horário 2	15:11
Temperatura 2 (°C)	33,80
Umidade 2 (%)	26,00
Consistência final (cm)	8,00
Resistência final (Mpa)	29,53
	29,28
Média de resistência (Mpa)	<b>29,41</b>

Teste 2	
Data de moldagem	08/10/2015
Data de ruptura	05/11/2015
Intervalo de tempo (min)	20
Horário 1	14:35
Temperatura 1 (°C)	27,40
Umidade 1 (%)	57,00
Consistência inicial (cm)	13,00
Resistência inicial (Mpa)	33,35
	35,64
Média de resistência (Mpa)	<b>34,50</b>
Horário 2	14:55
Temperatura 2 (°C)	29,20
Umidade 2 (%)	51,00
Consistência final (cm)	9,00
Resistência final (Mpa)	32,59
	32,59
Média de resistência (Mpa)	<b>32,59</b>

Teste 3	
Data de moldagem	20/10/2015
Data de ruptura	17/11/2015
Intervalo de tempo (min)	30
Horário 1	14:33
Temperatura 1 (°C)	29,80
Umidade 1 (%)	40,00
Consistência inicial (cm)	13,00
Resistência inicial (Mpa)	30,55
	30,81
Média de resistência (Mpa)	<b>30,68</b>
Horário 2	15:03
Temperatura 2 (°C)	32,60
Umidade 2 (%)	33,00
Consistência final (cm)	9,00
Resistência final (Mpa)	30,55
	30,30
Média de resistência (Mpa)	<b>30,43</b>

Teste 4	
Data de moldagem	23/11/2015
Data de ruptura	21/12/2015
Intervalo de tempo (min)	20
Horário 1	14:50
Temperatura 1 (°C)	33,40
Umidade 1 (%)	33,00
Consistência inicial (cm)	9,00
Resistência inicial (Mpa)	36,92
	38,19
Média de resistência (Mpa)	<b>37,56</b>
Horário 2	15:10
Temperatura 2 (°C)	34,80
Umidade 2 (%)	32,00
Consistência final (cm)	5,00
Resistência final (Mpa)	37,17
	37,43
Média de resistência (Mpa)	<b>37,30</b>

Teste 5	
Data de moldagem	24/11/2015
Data de ruptura	22/12/2015
Intervalo de tempo (min)	50
Horário 1	15:00
Temperatura 1 (°C)	33,60
Umidade 1 (%)	33,00
Consistência inicial (cm)	10,00
Resistência inicial (Mpa)	38,19
	38,19
Média de resistência (Mpa)	<b>38,19</b>
Horário 2	15:50
Temperatura 2 (°C)	34,60
Umidade 2 (%)	30,00
Consistência final (cm)	16,00
Resistência final (Mpa)	40,74
	40,99
Média de resistência (Mpa)	<b>40,87</b>

Teste 6	
Data de moldagem	25/11/2015
Data de ruptura	23/12/2015
Intervalo de tempo (min)	30
Horário 1	08:20
Temperatura 1 (°C)	30,90
Umidade 1 (%)	48,00
Consistência inicial (cm)	9,50
Resistência inicial (Mpa)	38,44
	38,70
Média de resistência (Mpa)	<b>38,57</b>
Horário 2	08:50
Temperatura 2 (°C)	31,30
Umidade 2 (%)	47,00
Consistência final (cm)	7,50
Resistência final (Mpa)	41,25
	40,74
Média de resistência (Mpa)	<b>41,00</b>

Teste 7	
Data de moldagem	03/12/2015
Data de ruptura	31/12/2015
Intervalo de tempo (min)	60
Horário 1	14:30
Temperatura 1 (°C)	33,70
Umidade 1 (%)	27,00
Consistência inicial (cm)	15,00
Resistência inicial (Mpa)	29,28
	32,46
Média de resistência (Mpa)	<b>30,87</b>
Horário 2	15:30
Temperatura 2 (°C)	37,20
Umidade 2 (%)	21,00
Consistência final (cm)	14,00
Resistência final (Mpa)	23,68
	29,41
Média de resistência (Mpa)	<b>26,55</b>

Teste 8	
Data de moldagem	04/12/2015
Data de ruptura	01/01/2016
Intervalo de tempo (min)	40
Horário 1	14:30
Temperatura 1 (°C)	36,10
Umidade 1 (%)	25,00
Consistência inicial (cm)	13,00
Resistência inicial (Mpa)	27,75
	27,62
Média de resistência (Mpa)	<b>27,69</b>
Horário 2	15:10
Temperatura 2 (°C)	37,60
Umidade 2 (%)	23,00
Consistência final (cm)	7,00
Resistência final (Mpa)	30,55
	19,35
Média de resistência (Mpa)	<b>24,95</b>

<b>Teste 8</b>	
<b>Data de moldagem</b>	04/12/2015
<b>Data de ruptura</b>	01/01/2016
<b>Intervalo de tempo (min)</b>	40
<b>Horário 1</b>	14:30
<b>Temperatura 1 (°C)</b>	36,10
<b>Umidade 1 (%)</b>	25,00
<b>Consistência inicial (cm)</b>	13,00
<b>Resistência inicial (Mpa)</b>	27,75
	27,62
<b>Média de resistência (Mpa)</b>	<b>27,69</b>
<b>Horário 2</b>	15:10
<b>Temperatura 2 (°C)</b>	37,60
<b>Umidade 2 (%)</b>	23,00
<b>Consistência final (cm)</b>	7,00
<b>Resistência final (Mpa)</b>	30,55
	19,35
<b>Média de resistência (Mpa)</b>	<b>24,95</b>