

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCO ANTÔNIO CAIXETA SARAIVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CURA NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO**

ANÁPOLIS / GO

2018

MARCO ANTÔNIO CAIXETA SARAIVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CURA NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

SARAIVA, MARCO ANTÔNIO CAIXETA

Análise da influência da cura na resistência à compressão do concreto.

68P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Cura de Concreto

2. Concreto Armado

3. Aditivos e Adições

4. Hidratação de Concreto

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SARAIVA, Marco Antônio Caixeta. Análise da influência da cura na resistência à compressão do concreto. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 68p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

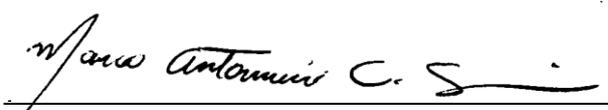
NOME DO AUTOR: Marco Antônio Caixeta Saraiva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise da influência da cura na resistência à compressão do concreto.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Marco Antônio Caixeta Saraiva

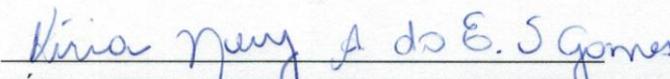
E-mail: marcocsaraiva@hotmail.com

MARCO ANTÔNIO CAIXETA SARAIVA

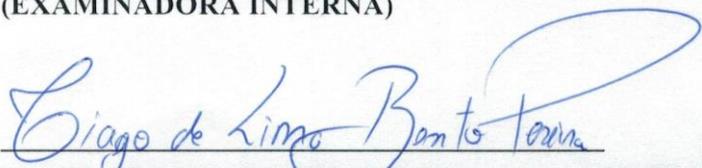
**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CURA NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:


KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES, Mestra (UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADORA)


ANA LÚCIA CARRIJO ADORNO, Doutora (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADORA INTERNA)


TIAGO DE LIMA BENTO PEREIRA, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 05 de JUNHO de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois Ele me deu forças e sem Ele eu não teria chegado até aqui. Agradeço à minha mãe e à minha querida esposa, pelo alicerce durante esta caminhada. Agradeço aos meus familiares, pelo incentivo. Agradeço ao Engenheiro Isaías Ferreira Filho, pelo conhecimento transmitido. Agradeço à professora orientadora Kíria Nery Alves do Espírito Santo Gomes que prontamente se dispôs a me orientar para a realização deste trabalho.

Marco Antônio Caixeta Saraiva

RESUMO

Este trabalho direciona-se a uma análise, verificação e comparação da resistência à compressão de corpos de prova de concreto submetidos a procedimentos de cura, divididos em cura em câmara úmida e cura em tanque com água potável, além de cura em ambiente interno e externo ao laboratório. Os corpos de provas foram avaliados quanto à resistência à compressão axial, nas idades de 7 e 28 dias. Depois de serem curados, os corpos de prova foram levados à ruptura em prensa hidráulica para verificação de suas resistências, permitindo, a partir da obtenção dos resultados, comprovar que a hidratação do cimento é mantida quando a umidade interior do concreto é aproximadamente igual à umidade relativa do ar. Contudo, as baixas resistências aos 28 dias, encontradas para os corpos de provas submersos, evidenciam que a relação água/cimento e a resistência característica do concreto utilizado (30 MPa) podem ter influenciado o resultado.

PALAVRAS-CHAVE:

Cura. Concreto. Aditivos. Adições. Hidratação. Cimento.

ABSTRACT

This work is directed to an analysis, verification and comparison of the resistance to compression of test specimens submitted to curing procedures, divided into curing in a wet chamber and curing in a tank with potable water, besides curing indoors and outside the laboratory. The test specimens were evaluated for their resistance to axial compression at the ages of 7 and 28 days. After being cured, the specimens were taken to hydraulic press rupture to verify their resistance, allowing, from the results obtained, to prove that the hydration of the cement is maintained when the interior humidity of the concrete is approximately equal to the relative humidity of the air. However, the low resistances at 28 days found for the submerged test specimens highlight that the water/cement ratio and the characteristic resistance of the concrete used (30 MPa) may have influenced the result.

KEYWORDS:

Cure. Concrete. Additives. Additions. Hydration. Cement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo hidratação do Cimento Portland	19
Figura 2 – Equipamento para medição da consistência do concreto	24
Figura 3 – Complemento tronco-cônico metálico de enchimento, adaptável à base superior do molde.	25
Figura 4 – Medida do abatimento	25
Figura 5 – Relação entre a resistência e a relação água/cimento do concreto	32
Figura 6 – Aplicação de líquido para cura úmida.....	34
Figura 7 – Aspersão de água concreto.....	35
Figura 8 – Cura Submersa	36
Figura 9 – Câmara Úmida	37
Figura 10 – Cura com manta.	39
Figura 11 – Fissura em superfície de concreto	43
Figura 12 – Poros em superfície de concreto	43
Figura 13 – Pilarete cujo concreto apresenta carbonatação	43
Figura 14 – Traço do Concreto	46
Figura 15 – Recebimento do concreto para ensaio do abatimento e moldagem	47
Figura 16 – 32 moldes metálicos e início da moldagem ds corpos de provas	47
Figura 17 – Cura submersa em tanque com água potável	48
Figura 18 – Corpos de prova em câmara úmida	49
Figura 19 – Cura em ambiente interno ao laboratório	50
Figura 20 – Cura em ambiente interno ao laboratório	50
Figura 21 – Cura em ambiente externo ao laboratório	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Abatimento recomendado para diferentes tipos de obras	26
Tabela 2 – Influência dos vazios do concreto em sua resistência	31
Tabela 3 – Período de cura necessário para evitar a propagação dos poros capilares	32
Tabela 4 – Resultado do ensaio à compressão aos 7 dias	52
Tabela 5 – Resultado do ensaio à compressão aos 28 dias	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de cimento fabricados no Brasil	18
Quadro 2 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	23
Quadro 3 – Índices de consistência do concreto em função de diferentes tipos de obras e condições de adensamento	26

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resistência à compressão x Tipo de Cura (7 dias)	53
Gráfico 2 – Resistência à compressão x Tipo de Cura (28 dias)	54
Gráfico 3 – Idades de cura e o desenvolvimento da resistência.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABESC	Associação Brasileira de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
NBR	Norma Brasileira
a/c	Água/cimento
CO ₂	Gás carbônico
d _{máx}	Dimensão máxima característica do agregado
f _{ck}	Resistência Característica do Concreto à Compressão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo geral	14
1.2.2	Objetivos específicos	14
1.3	METODOLOGIA	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	CONCRETO	16
2.1.1	Componentes básicos	16
2.1.1.1	Cimento	16
2.1.1.1.1	<i>Hidratação do Cimento</i>	19
2.1.1.2	Agregados	21
2.1.1.3	Água	22
2.1.2	Propriedades do concreto no estado fresco	23
2.1.2.1	Consistência	23
2.1.2.2	Trabalhabilidade	27
2.1.2.3	Massa Específica	27
2.1.2.4	Plasticidade	28
2.1.2.5	Exsudação	29
2.1.3	Propriedades do concreto endurecido	29
2.1.3.1	Durabilidade e Impermeabilidade	29
2.1.3.2	Resistência à compressão	30
2.2	DEFINIÇÃO DE CURA DO CONCRETO	33
2.2.1	Cura química	33
2.2.2	Cura úmida	34
2.2.2.1	Vantagens da cura úmida do concreto	37
2.2.2.2	Fatores que diminuem a resistência do concreto quando submetido à cura submersa.....	38
2.2.2.2.1	<i>Retração e Expansão</i>	38
2.2.2.2.2	<i>Lixiviação do concreto</i>	38
2.2.3	Cura com manta	38

2.2.4	Cura ao ar	39
2.3	A CURA SEGUNDO AS NORMAS TÉCNICAS	40
2.3.1	A cura segundo a Norma Brasileira NBR 14931:2004 execução de estruturas de concreto – procedimento	40
2.3.2	A cura segundo A <i>American Concrete Institute</i> (ACI)	40
2.3.3	A cura segundo A <i>Fédération Internationale Du Béton – FIB</i> em sua publicação <i>FIB Model Code For Concrete Structures 2010</i>	40
2.3.4	A Cura segundo o <i>Institution Of Civil Engineers</i> (ICE)	41
2.4	PATOLOGIAS DO CONCRETO CAUSADAS PELA NEGLIGÊNCIA DA CURA	41
3	ESTUDO DE CASO	44
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	44
3.1.1	Cimento	44
3.1.2	Agregados	44
3.1.3	Água	45
3.1.4	Aditivo	45
3.2	TRAÇO DO CONCRETO	45
3.3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	46
3.3.1	Cura Submersa	48
3.3.2	Cura em Câmara Úmida	49
3.3.3	Cura em ambiente interno ao laboratório	49
3.3.4	Cura em ambiente externo ao laboratório	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1	ENSAIO DE COMPRESSÃO AOS 7 DIAS DE IDADE	52
4.2	ENSAIO DE COMPRESSÃO AOS 28 DIAS DE IDADE	53
4.3	INFLUÊNCIAS DAS IDADES DE CURA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	55
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
	REFERÊNCIAS	59
	ANEXO A	65
	ANEXO B	66
	ANEXO C	67
	ANEXO D	68

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais populares da construção civil, amplamente utilizado nos mais diversos tipos de edificações, composto de agregados graúdos, agregados miúdos, aglomerantes, água e adições/aditivos.

Para a obtenção de um concreto de qualidade e em conformidade com a sua finalidade, deverão ser executadas com controle, as operações de produção do material que influenciarão nas propriedades do concreto endurecido. Estas operações são: dosagem, mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura, sendo o último tema deste trabalho.

O procedimento de cura, fundamentalmente importante na obtenção de um material cimentício de qualidade e durabilidade, neste caso o concreto, tem sido amplamente negligenciado nos canteiros de obra. O mesmo consiste no processo de controle da taxa e extensão da perda de umidade do concreto, de modo a assegurar uma hidratação ininterrupta do cimento Portland, após o lançamento e adensamento do concreto. Segundo Curti (s.d), a não execução deste procedimento acarreta na não hidratação do cimento, deixando este anidro, com conseqüente perda de resistência, devido a não formação dos Silicatos de Cálcio hidratados, principal fase proveniente da hidratação do cimento Portland, com grande influência na maioria das propriedades físicas e mecânicas dos materiais cimentícios.

De acordo com o Programa de Educação Tutorial da Universidade Federal de Juiz de Fora (2012), além da perda de resistência do concreto, a ausência de uma cura adequada, poderá trazer patologias, como fissuras de retração, cuja ocorrência se dá quando a velocidade de evaporação é maior que a velocidade de exsudação.

A Norma Brasileira NBR 14931 (ABNT, 2004) diz que enquanto o concreto não atingir endurecimento satisfatório, o mesmo deverá ser curado e protegido de forma a evitar perda de água pela superfície exposta, assegurar uma superfície com resistência adequada e a formação de uma capa superficial durável, devendo a cura ser realizada até que o mesmo atinja resistência característica à compressão, f_{ck} , igual ou maior que 15 MPa (Megapascal).

A cura deverá ocorrer imediatamente após o lançamento, o adensamento e o acabamento do concreto, envolvendo a manutenção de condições desejadas de umidade e temperatura. O concreto adequadamente curado apresenta uma quantidade apropriada de umidade para a hidratação contínua, desenvolvimento de resistência, estabilidade do volume, resistência ao congelamento e descongelamento e resistência à abrasão.

Existem diferentes maneiras de realização do procedimento de cura em elementos estruturais em concreto, sendo que a escolha do processo mais adequado dependerá de

variáveis encontradas em cada tipo de obra. Dentre os diversos métodos de cura úmida (utilizando água), podem ser citados os seguintes: molhagem constante, aspersão, irrigação, alagamento (cura submersa), cobertura com tecidos geotêxtil umidificados e também a cura química, que é um processo de aspersão de produto químico (geralmente polímeros) que formam uma película sobre a superfície do concreto de modo a evitar a evaporação da água (PEINADO, 2013).

1.1 JUSTIFICATIVA

Por ser o concreto um dos materiais mais utilizados na construção civil mundial, observa-se usual negligência no cumprimento de determinados procedimentos, em especial a cura, em função da interferência destes na velocidade de execução de uma obra, não sendo percebidos como essenciais para sua qualidade e durabilidade.

Desta forma, este trabalho justifica-se necessário como forma de comparar diferentes situações da cura do concreto, objetivando a obtenção do desempenho esperado ao longo da vida útil deste material construtivo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral que norteia esta pesquisa tem o intuito de definir os procedimentos de cura em artefatos cimentícios, em especial o concreto, como forma de assegurar sua qualidade, sua durabilidade e o ganho de resistência mecânica à compressão.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar os conceitos científicos e tecnológicos acerca do procedimento de cura;
- b) Apresentar os diferentes tipos de cura;
- c) Verificar a resistência à compressão de corpos de prova moldados com cura realizada na câmara úmida, cura submersa em tanque e cura ao ar (sem a realização de cura úmida).

1.3 METODOLOGIA

Para o pleno desenvolvimento da pesquisa fora efetuado, inicialmente, o levantamento bibliográfico de diferentes fontes (artigos, livros), assim como de normas técnicas.

Foi realizado, também, um experimento prático que consistiu na moldagem de corpos de prova em concreto, que foram divididos em dois grupos, sendo um grupo de corpos de prova submetidos ao procedimento de cura e outro grupo foi, intencionalmente, endurecido sem a execução do referido procedimento. Assim, realizou-se o ensaio de ruptura por compressão dos dois grupos de corpos de prova, com a apresentação dos resultados obtidos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho em questão está organizado em 5 capítulos, sendo que esta divisão baseia-se na forma como foi conduzida a pesquisa, abrangendo introdução, referencial teórico, métodos da análise comparativa, demonstração e discussões dos resultados, considerações finais e anexos.

Capítulo 1 – Introdução: Discorre sobre o que será abordado no decorrer do trabalho. Sendo assim, contém a apresentação do trabalho, tendo como partes integrantes a introdução, a justificativa, os objetivos e a metodologia.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: Este capítulo evidencia o embasamento teórico utilizado para a execução da pesquisa, bem como esclarecimentos sobre alguns termos relevantes para explanação do trabalho. Exibe também materiais com abordagens sobre o cimento e a sua hidratação, o concreto, e processos executivos empregados na pesquisa, como os tipos de cura, a cura segundo algumas normas técnicas, as vantagens da realização da cura úmida do concreto e as patologias do concreto causadas pela negligência da cura.

Capítulo 3 – Estudo de caso: Apresenta-se o estudo de caso realizado, contendo os materiais utilizados, o tipo de cimento e o traço do concreto, a metodologia e a normatização do ensaio.

Capítulo 4 – Resultados e discussões: Possui a finalidade de apresentar e discutir os resultados do estudo de caso em análise, demonstrando em síntese o processo de cura que atingiu os maiores valores quanto a sua resistência à compressão.

Capítulo 5 – Considerações Finais: Após a realização do estudo de caso este capítulo presta as conclusões e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO

Para Mehta e Monteiro (2008) e Pedroso (2009), na ordem de 11 bilhões de toneladas métricas ao ano, o concreto é o material de construção mais usado no mundo. O Brasil contribui efetivamente nessa estatística, com 30 milhões de toneladas ao ano.

Neville e Brooks (2013) definem “concreto” como sendo qualquer produto fruto de um meio cimentante, destacando que esse meio normalmente é advindo da reação entre o cimento Portland, água e agregados graúdos e miúdos.

Mehta e Monteiro (2008) e Pedroso (2009) também citam pelo menos duas razões para o uso tão disseminado do concreto quando comparado com outros tipos de materiais. A primeira razão é sua resistência a água, já que este dificilmente se deteriora em contato com a mesma, diferentemente do aço e da madeira. Desta forma, encontra-se um material ideal para ser usado em construções que fazem armazenamento ou o transporte de água. Isso é comprovado historicamente, pois os romanos o utilizavam em cisternas e aquedutos. Atualmente o uso do concreto tornou-se mais amplo, sendo empregado em estacas, fundações, pilares, vigas e lajes, que diariamente estão em contato com a umidade.

A segunda razão é a sua plasticidade, que permite obter construções das mais diversas formas possíveis, sendo assim, um grande aliado da arquitetura contemporânea. Mehta e Monteiro (2008) ainda citam uma terceira razão para o amplo uso do concreto. Segundo eles e Isaia (2005) a grande motivação do uso do material se dá pelo baixo custo e a fácil obtenção de seus componentes.

2.1.1 Componentes básicos

2.1.1.1 Cimento

A palavra cimento é originária do latim *Caementu*, que designava, na antiga Roma, uma espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. O grande passo no desenvolvimento do cimento foi dado em 1756, pelo Inglês John Smeaton, que conseguiu obter um produto de alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as em um pó fino, percebendo que obteve uma mistura que, após secar,

tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água, sendo patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (WIEDENHOFER, 2015).

Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2017), o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Na forma de concreto, que é a mistura de cimento, agregados miúdos e graúdos e água, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra. Graças a essas características, o concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água.

O concreto moderno utilizado atualmente para construção dos mais diversos tipos de estruturas/edificações é fruto do trabalho de inúmeros homens, que durante milhares de anos observaram a natureza e se esmeraram por aperfeiçoar materiais, técnicas, teorias e formas estruturais. Desta forma, constata-se que a história do concreto não começou no século passado, mas com a própria civilização humana, a partir da necessidade básica do homem de morar melhor a cada dia, com o desenvolvimento de novas tecnologias (KAEFER, 1998).

Em 12.000 antes de Cristo, em Israel, reações entre calcário e argila xistosa durante combustão espontânea formaram um depósito natural de compósitos de cimento. Estes depósitos foram caracterizados por geólogos Israelenses na década de 70, sendo este o cimento natural, e o primeiro cimento que os homens utilizaram; este sendo definido como a mistura finamente moída de compósitos inorgânicos, que quando combinados com a água, endurecem por hidratação (KAEFER, 1998).

Os tipos de cimento existentes no Brasil diferem em função da sua composição, como o cimento portlando comum, o composto, o de alto-forno, o pozolânico, o de alta resistência inicial, o resistente a sulfatos, o branco e o de baixo calor de hidratação. Dentre os diferentes tipos de cimento listados no Quadro 1, os de uso mais comuns nas construções são o CII E-32, o CII F32 e o CIII-40. O cimento CPV-ARI é também muito utilizado em fábricas de estruturas pré- moldadas (BASTOS, 2006).

Quadro 1 - Tipos de cimento fabricados no Brasil

Nome técnico		Identificação do tipo e classe
Cimento Portland comum	Cimento Portland comum	CP I-25
		CP I-32
		CP I-40
	Cimento Portland comum com adição	CP I-S-25
		CP I-S-32
		CP I-S-40
Cimento Portland composto	Cimento Portland composto com escória	CP II-E-25
		CP II-E-32
		CP II-E-40
	Cimento Portland composto com pozolana	CP II-Z-25
		CP II-Z-32
		CP II-Z-40
	Cimento Portland composto com fíler	CP II-F-25
		CP II-F-32
		CP II-F-40
Cimento Portland de alto-forno	CP III-25	
	CP III-32	
	CP III-40	
Cimento Portland pozolânico	CP IV-25	
	CP IV-32	
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V-ARI
Cimento Portland resistente a sulfatos		Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS. Exemplo: CP I32RS, CP II-F-32RS, CP III-40RS, etc.
Cimento Portland de baixo calor de hidratação		Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo: CP I32BC, CP II-F-32BC, CP III-40BC, etc.
Cimento Portland branco		Cimento Portland branco estrutural
Cimento Portland branco	Cimento Portland branco estrutural	CPB-25
		CPB-32
		CPB-40
	Cimento Portland branco não estrutural	CPB
Cimento para poços petrolíferos		CPP - classe G

Fonte: ABCP, 2002.

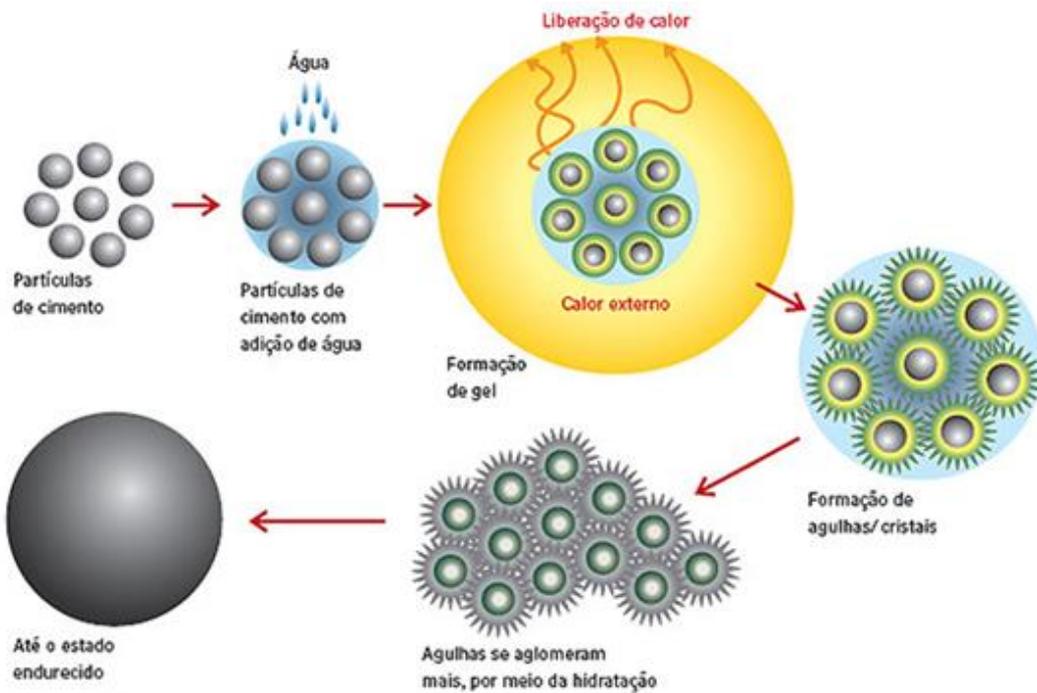
Ainda segundo Bastos (2006), os diversos tipos de cimento possuem denominação própria e são fabricados segundo as resistências à compressão de 25, 32 ou 40 MPa. No

comércio o cimento é fornecido em sacos de 25 kg e 50 kg, com exceção do cimento ARI, que pode ser encontrado também em sacos de 40 kg. Já em usinas fabricantes de concreto, encontra-se o cimento a granel.

2.1.1.1.1 Hidratação do cimento

A mistura de calcário, argila e minério de ferro, quando levada a um forno rotativo que alcança a temperatura de 1450 graus Cécius, transforma-se em clínquer, a principal matéria prima do cimento Portland, sendo que ainda incadescente é resfriado bruscamente e em seguida moído. Em forma de pó, tem a característica de reagir quimicamente sob a ação de água (Figura 1), adquirindo elevada resistência mecânica (CIMENTO APODI, s.d).

Figura 1 - Fluxo hidratação do Cimento Portland



Fonte: LAGUNA & IKEMATSU, 2009.

A intensidade do calor liberado na hidratação nas primeiras idades influencia a velocidade do endurecimento do concreto e o aumento da resistência. A reação de hidratação é um processo exotérmico, ou seja, durante a reação do cimento com a água há liberação de calor. A quantidade de calor liberado é chamada de calor de hidratação e é bastante importante para a evolução das resistências. Por isto, quando se trabalha em um ambiente em baixas temperaturas, que inclui a água de dosagem do concreto, gera-se o chamado “baixo

nível de calor de hidratação”, que causa o retardamento das resistências iniciais (LAGUNA & IKEMATSU, 2009).

Na presença de água, os silicatos e os aluminatos presentes no clínquer de cimento Portland formam produtos de hidratação que, com o transcorrer do tempo, dão origem a uma massa firme e resistente (UNIP, s.d).

A hidratação dos aluminatos (aluminato tricálcico C_3A e ferroaluminato tetracálcico C_4AF) na presença do gesso, adicionado na fabricação do cimento, resulta na formação de etringitas, que assumem forma de agulhas e começam minutos após o início da hidratação, sendo estas responsáveis pelo fenômeno da pega (AZEVEDO, 2015).

Segundo Neville (2016), em termos gerais, pega refere-se à mudança do estado fluido para um estado rígido. Endurecimento refere-se ao aumento de resistência de uma pasta de cimento após a pega.

A hidratação dos silicatos se dá algumas horas após o início da hidratação do cimento. A hidratação do silicato tricálcico C_3S e silicato dicálcico C_2S origina silicatos de cálcio hidratados que possuem composição química muito variada sendo representados genericamente por C-S-H e hidróxido de cálcio – $Ca(OH)_2$, compostos que preenchem o espaço ocupado previamente pela água e pelas partículas de cimento em dissolução (TOKUDOME, 2008).

Para Aitcin (2000, *apud* TOKUDOME, 2008), as fases dos silicatos e dos aluminatos hidratados começam a criar algumas ligações interpartículas, que resulta no endurecimento progressivo da pasta. Após algumas horas, ocorre a redução da velocidade à reação. Isto se deve ao fato de alguns grãos de cimento que não reagiram estarem cobertos por uma camada de hidratos, dificultando a chegada das moléculas de água às partes não hidratadas.

O produto resultante é pouco solúvel na água. Verifica-se que início de pega deve ser respeitado, tendo em vista que a partir deste momento as agulhas formadas na reação com os aluminatos, como os cristais gerados na reação com os silicatos, poderão ser prejudicadas se o concreto for manuseado após este tempo (TOKUDOME, 2008).

O uso de concretos principalmente de altas resistências, elevado teor de aditivos superplastificantes e baixas relações água/cimento, tem como consequência pequena quantidade de água de emassamento no traço, sendo às vezes quantidades mínimas apenas para a hidratação, uma vez que a trabalhabilidade está garantida pelo aditivo. Deverá tomar-se cuidado para evitar a perda rápida de água, neste caso, a água de hidratação, e por este motivo deverá ser realizado o procedimento de cura.

2.1.1.2 Agregados

Conforme destaca o Portal do Concreto (2018), os agregados são materiais que, no princípio do desenvolvimento do concreto, eram adicionados à massa de cimento e água, para dar-lhe “corpo”, tornando-a mais econômica. Hoje eles representam cerca de oitenta por cento do peso do concreto e sabe-se que além de sua influência benéfica quanto à retração e à resistência, o tamanho, a densidade e a forma dos seus grãos podem definir várias das características desejadas em um concreto.

A NBR 7211 (ABNT, 2009) determina que os agregados devam ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não podem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

Petrucci (2005) e Bastos (2006) destacam que os agregados podem ser classificados devido a sua origem. Assim, ficam divididos entre naturais e artificiais. Destacam ainda que os naturais são aqueles encontrados na natureza, como as areias e os pedregulhos, enquanto que os agregados artificiais são definidos como aqueles que são modificados através de processos para aperfeiçoamento, como a pedra britada, resultado da moagem de pedras maiores.

Quando aplicados em concretos, são classificados como agregados graúdos e miúdos. Bastos (2006) os caracteriza por suas dimensões. Para ele agregado miúdo é o que possui diâmetro inferior ou igual a 4,8 mm e graúdo os de diâmetros superiores aos correspondentes. Já Neville e Brooks (2013) destacam que a melhor maneira para distinção de ambos é com a utilização da peneira de 5 mm ou a peneira ASTM n.4. Portanto, o material que passa na peneira entende-se por agregado miúdo, já o material retido, agregado graúdo.

Para Tutikian e Dalmolin (2008), os agregados miúdos são compostos por areias de dimensões entre 4,8mm e 0,075mm, podendo ser usadas tanto as artificiais como as naturais.

De acordo com Rodrigues, Botacini e Gasparetto (2006), as britas juntamente com as areias, representam em torno de 70% da composição total dos concretos. No passado era comum a mistura de britas 1 e 2 para a confecção de concretos, porém, hoje no Brasil, a grande maioria dos concretos feitos para as obras correntes utiliza apenas a brita 0 e 1 na sua confecção.

Os agregados podem também ser classificados em leves, normais e pesados. As britas normais são geralmente obtidas pela trituração de rochas, como basalto, gnaisse e granito (BASTOS, 2006).

Conforme Dias (2009), o parâmetro que define a classificação dos agregados como leve, normal ou pesado é a massa específica. Sendo assim, os agregados leves, exemplificados pela vermiculita expandida e escória expandida, são considerados como aqueles que possuem massa específica menor que 2.000 kg/m^3 . Enquanto que os normais encontram-se entre 2.000 e 3.000 kg/m^3 , como por exemplo, areia lavada de rio, britas graníticas e calcárias. E por fim, os pesados, como a barita e hematita, que possuem sua massa específica com valores superiores a 3.000 kg/m^3 .

2.1.1.3 Água

A água é necessária no concreto para possibilitar as reações químicas do cimento, chamadas de reações de hidratação, que irão garantir as propriedades de resistência e durabilidade do concreto. Tem também a função de lubrificar as demais partículas para proporcionar o manuseio do concreto. Normalmente a água potável é a indicada para a confecção dos concretos (BASTOS, 2006).

Sua importância, portanto, fica evidente pelo exposto até aqui, visto que o cimento necessita de água para hidratar. Contudo, essa quantidade de água é variável e segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a relação água/cimento varia de acordo com a classe de agressividade do ambiente, sendo menor ou igual a 65%, para ambientes não agressivos e menor ou igual a 45%, para ambientes com alto grau de agressividade quando se trata do concreto armado (Quadro 2).

Isaia (2005), confirmando o exposto em norma, evidencia que quanto mais alto for a relação a/c , menor será a resistência do concreto. Quanto a cura, Neville e Brooks (2013) destaca que a água utilizada na produção do concreto pode também ser aplicada para procedimentos de cura, porém salientam que quando compostas de CO_2 livre (água de degelo ou condensação) podem ocasionar erosão superficial, comprometendo, assim, a durabilidade do concreto frente a ataques externos.

Quadro 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b,c}	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.1.2 Propriedades do concreto no estado fresco

O concreto é considerado como fresco até o momento em que se tem início a pega do aglomerante, após o fim desse processo o material já é considerado como concreto endurecido. O concreto possui ainda algumas propriedades particulares as quais definem o seu estado como fresco, tais como: consistência, trabalhabilidade, massa específica, plasticidade e exsudação.

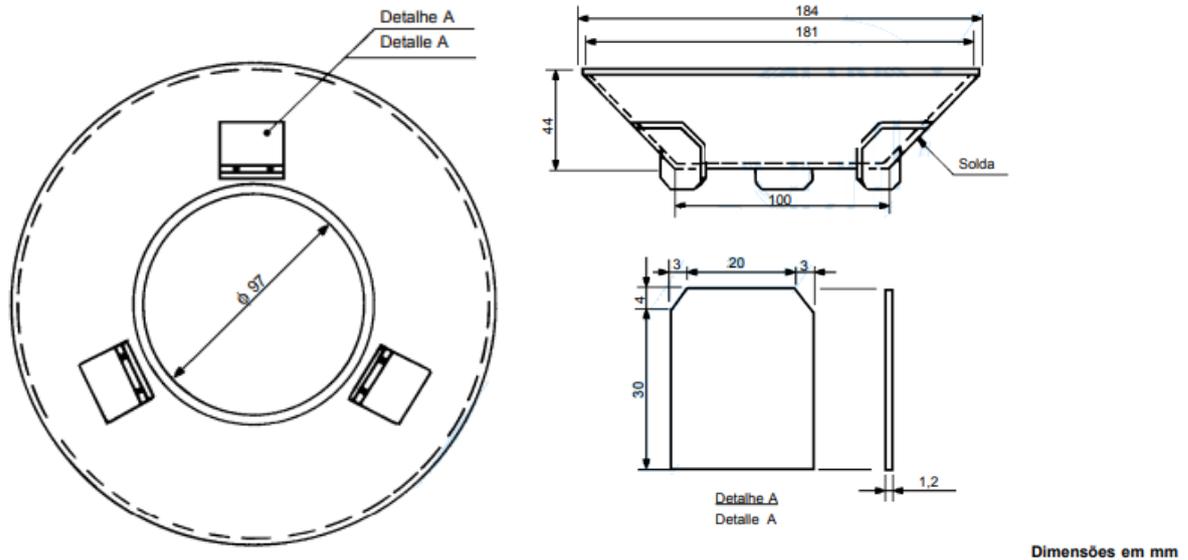
2.1.2.1 Consistência

Para Araújo, Rodrigues e Freitas (2000) a consistência é o grau de fluidez da mistura do concreto fresco, estando, portanto, diretamente relacionado com a mobilidade da pasta (mistura de cimento e água). Pode-se considerar como o principal fator influente na consistência, o teor de água/materiais secos.

Em função desta consistência, Araújo, Rodrigues e Freitas (2000) evidenciam ainda que o concreto pode ser classificado em seco ou úmido, plástico ou fluido.

Quando a relação água/materiais secos é baixa, entre 6 e 8% trata-se de um concreto seco ou úmido, já quando a relação água/materiais secos é maior que 8 e menor que 11% consideram-o como plástico, e por fim, quando a relação água/materiais secos é alta, entre 11 e 14% definem o concreto como fluido.

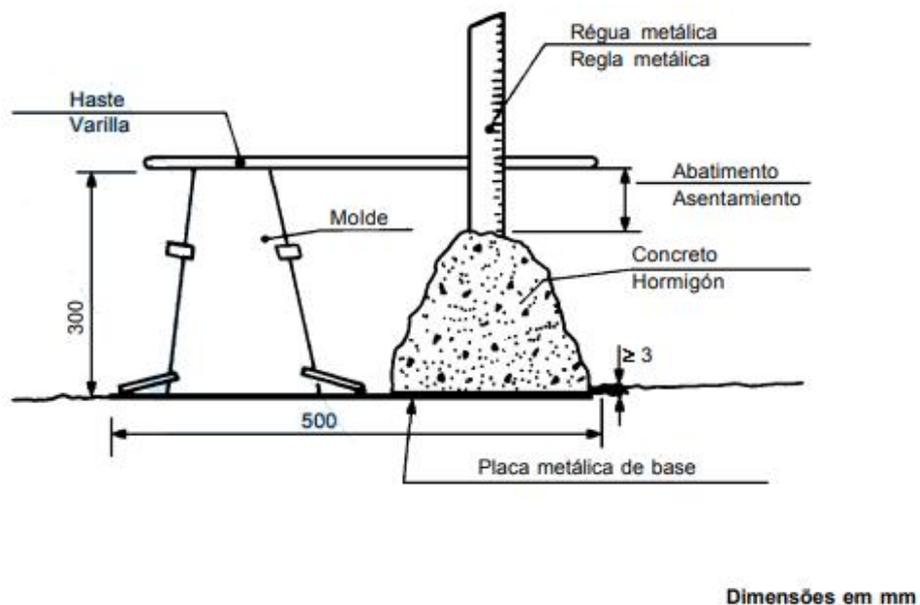
Figura 3 – Complemento tronco-cônico metálico de enchimento, adaptável à base superior do molde



Fonte: NBR NM 67 (ABNT, 1998)

Na elaboração do ensaio, o cone deve ser molhado internamente e colocado sobre uma chapa metálica, também molhada. Uma vez assentado firmemente sobre a chapa, enche-se o cone com concreto em três camadas de igual altura. Cada uma dessas camadas é “golpeada” por 25 batidas, com uma barra de ferro de 5/8” (16 mm). Terminada a operação, retira-se o cone verticalmente e mede-se o abatimento da amostra conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Medida do abatimento



Fonte: NBR NM 67 (ABNT, 1998)

A consistência do concreto depende totalmente das dimensões da peça a ser concretada. Além disso, relaciona-se também com a maneira como é dada a distribuição da armadura no seu interior e com os processos de lançamento e adensamento utilizados. A Tabela 1 e o Quadro 3, evidenciam indicações necessárias quanto aos resultados do *Slump Test*.

Tabela 1 - Abatimento recomendado para diferentes tipos de obras

Tipo de Obra	Abatimento em cm	
	Máximo	Mínimo
Bloco sobre estaca e sapata	8	2
Viga e parede armada	10	2
Pilar de edifício	10	2
Laje maciça e nervurada	8	2

Fonte: ARAÚJO, RODRIGUES & FREITAS, 2000.

Quadro 3 - Índices de consistência do concreto em função de diferentes tipos de obras e condições de adensamento

Consistência	Abatimento (cm)	Tipo de obra	Tipo de adensamento
Extremamente seca (terra úmida)	0	Pré- fabricação	Condições especiais de adensamento
Muito seca	0	Grandes massas; pavimentação	Vibração muito energética
Seca	0 a 2	Estruturas de concreto armado ou protendido	Vibração energética
Rija	2 a 5	Estruturas correntes	Vibração normal
Plástica (média)	5 a 12	Estruturas correntes	Adensamento manual
Úmida	12 a 20	Estruturas correntes sem grandes responsabilidades	Adensamento manual
Fluida	20 a 25	Concreto inadequado para qualquer uso	-

Fonte: ARAÚJO, RODRIGUES & FREITAS, 2000.

2.1.2.2 Trabalhabilidade

Trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado com determinada facilidade sem a perda de sua homogeneidade. Caracteriza-se pela medida da consistência do concreto (GUERRA, 2013).

A noção de trabalhabilidade é, portanto, muito mais subjetiva que física. O componente físico mais importante da trabalhabilidade é a consistência, termo que, aplicado ao concreto, traduz propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionadas com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes, tendo em vista a uniformidade e a compacidade do concreto e o bom rendimento da execução (TORRES & ROSMAN, 1956).

Portanto, para Araújo, Rodrigues e Freitas (2000), assim como a consistência, a trabalhabilidade é um atributo intrínseco ao concreto e envolve considerações quanto à natureza da própria obra em execução. Concluem, então, que a utilização de concreto adequado para peças de grandes dimensões e pouco armadas, poderá não ser adequado para peças delgadas e muito armadas, ou que um concreto que permite ser adensado perfeitamente com vibração, sem segregação dos componentes e sem vazios, dificilmente gerará uma moldagem satisfatória quando adensado manualmente.

2.1.2.3 Massa Específica

Petrucci (1998) define que a massa específica do concreto é a massa da unidade do volume, incluindo os vazios. Neville e Brooks (2013) destacam que quando se deseja, por exemplo, estimar o volume de concreto produzido por uma betoneira e a massa específica do material é conhecida, este volume pode ser calculado a partir da massa dos ingredientes.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) se aplica aos concretos de massa específica normal, que são aqueles que, depois de secos em estufa, têm massa específica compreendida entre 2.000 kg/m³ e 2.800 kg/m³. Caso essa massa específica real não seja conhecida, pode-se adotar, para efeito de cálculos, o valor de 2.400 kg/m³, ao concreto simples e 2.500 kg/m³, para o concreto armado. E por fim, a norma ainda evidencia que quando se conhece a massa específica do concreto utilizado, e deseja-se saber a massa específica do concreto armado, basta adicionar a massa específica do concreto simples de 100 kg/m³ a 150 kg/m³.

2.1.2.4 Plasticidade

Araújo, Rodrigues e Freitas (2000) definem que a plasticidade é a propriedade do concreto fresco identificada por não sofrer rompimento após sua moldagem. A propriedade depende essencialmente da consistência e do grau de coesão entre os elementos do concreto. Portanto, quando não há coesão os elementos se segregam, isto é, se separam.

Araújo, Rodrigues e Freitas (2000) definem ainda o que é a segregação. Para eles basicamente é separação dos grãos do agregado da pasta de cimento. Esta circunstância normalmente sucede durante o transporte, durante o lançamento - devido aos movimentos bruscos -, durante o adensamento - pela vibração excessiva -, ou pela ação da gravidade, quando os grãos mais pesados que os demais, ou seja, os agregados graúdos, tendem a assentar no fundo das formas.

Conforme as paredes das formas aproximam-se e tem-se uma armadura mais densa, maior deve ser o teor de plasticidade da mistura. Isto tende a impedir a aparição de vazios na peça após ser concretada. Neste caso não seria favorável obter a consistência desejada aumentando-se apenas a quantidade de água. Esta prática reduziria significativamente a resistência do concreto, a qual, para ser compensada, demandaria o uso de mais cimento.

A plasticidade tem muita importância no que se refere à quantidade de agregados miúdos no concreto por exercerem influência preponderante sobre a plasticidade do mesmo devido a elevada área específica. Também é extremamente importante lembrar que o uso de areia em quantidades exageradas aumenta demasiadamente a coesão da mistura e dificulta o lançamento e adensamento do concreto em formas, além de aumentarem o consumo do cimento e, conseqüentemente, o custo final (RODRIGUES, 2017).

Agregados com maiores dimensões máximas características requerem menor teor de areia para determinada plasticidade e, portanto, menor consumo de água. Por conseguinte, pode-se explicar a diminuição da área específica do agregado graúdo, que requer menos pasta para cobrir seus grãos e manter sua capacidade lubrificante entre as partículas do agregado graúdo. Isso leva a crer na vantagem da adoção da maior dimensão máxima ($d_{m\acute{a}x}$) característica, que possibilitaria maior economia de cimento, embora para $d_{m\acute{a}x} > 38$ mm a perda de resistência do concreto devido à menor área de aderência entre a pasta e o agregado inviabilizasse essa vantagem (ARAÚJO, RODRIGUES & FREITAS, 2000).

2.1.2.5 Exsudação

Segundo Neville (2016), a exsudação é uma forma de segregação, caracterizada pela separação da água do concreto. Parte da água desta mistura tende a atingir a superfície do concreto recém aplicado. O seu resultado é proveniente da incapacidade dos constituintes sólidos da mistura reter a água presente, sendo ela o componente de menor massa específica.

A água de exsudação pode influenciar a qualidade do concreto. Quando a água exsudada é novamente misturada ao concreto durante a fase de acabamento, a sua superfície pode formar uma camada pouco resistente e de pouca aderência, caso ocorra evaporação de água da superfície do concreto com velocidade antes do fenômeno de exsudação, pode ocorrer fissuração por retração plástica (NETO, 2006).

A tendência à exsudação depende muito das propriedades do cimento utilizado, podendo ser diminuída aumentando-se a finura do cimento, sendo que as partículas mais finas se hidratam mais cedo, devido à menor velocidade de sedimentação (GUIMARÃES, 2005).

Maria (2011) ainda cita que entre os componentes do concreto, a água é o material de menor densidade, assim, tende a atingir a superfície. Um concreto com dosagem bem elaborada e com agregados de qualidade minimiza o surgimento da exsudação.

2.1.3 Propriedades do concreto no estado endurecido

Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015) o concreto no estado endurecido é definido como aquele que se encontra no estado sólido e que desenvolveu resistência mecânica. Após seu endurecimento possui como propriedades principais a durabilidade, impermeabilidade, e a resistência à compressão.

2.1.3.1 Durabilidade e Impermeabilidade

A durabilidade pode ser definida como sendo a capacidade que o concreto possui de resistir à ação do tempo, aos ataques químicos, à abrasão ou a qualquer outra ação de deterioração. A durabilidade depende, entretanto, do tipo de ataque, físico ou químico, que o concreto, depois de endurecido, será submetido, devendo ser analisado criteriosamente antes da escolha dos materiais e da dosagem (ARAÚJO, RODRIGUES & FREITAS, 2000).

Ainda conforme Araújo, Rodrigues e Freitas (2000), vários são os fatores influentes na durabilidade e na impermeabilidade dos concretos, entre eles:

- a) porosidade da pasta: a impermeabilidade está diretamente relacionada com a porosidade da pasta. Quanto menor o teor de porosidade, mais impermeável será a pasta e, de igual modo, o concreto. A porosidade depende principalmente de dois fatores: relação água/cimento e do grau de hidratação da pasta. Neste caso, a relação água/cimento define a estrutura da pasta. Quanto menor for essa relação, mais próximos estarão os grãos de cimento e menor, portanto, será a porosidade da pasta. O motivo dos produtos da hidratação ocuparem um volume maior do que o cimento na pasta, a porosidade diminui à medida que a hidratação evolui. O que permite concluir que a impermeabilidade do concreto aumenta, também, com a redução da relação água/cimento e com a evolução da hidratação, ou seja, com a idade do concreto;
- b) agressão química: principalmente de sulfatos, que ao reagirem com o hidróxido de cálcio livre e o aluminato de cálcio hidratado presentes no cimento, aumentam o volume dos sólidos gerando expansão que, por sua vez, provocam fissuração, que por fim poderão até mesmo resultar na deterioração total da peça endurecida. Esses efeitos podem ser atenuados se a relação água/cimento não ultrapassar 0,40 para peças delgadas, com menos de 2,5 cm de recobrimento de armadura, e 0,45 para outras estruturas. No caso de se utilizar cimentos resistentes a sulfatos, o fator água/cimento deverá ser de 0,45 e 0,50, respectivamente, conforme recomendado pelo ACI - American Concrete Institute.
- c) retração hidráulica: é fruto da retração da pasta de cimento, que por sofrer modificações de volume pela movimentação da água, acaba exercendo tensões sobre o agregado, gerando fissuras no concreto, e permitindo, dessa forma, a criação de caminhos para agressão de agentes exteriores.

2.1.3.2 Resistência à compressão

A resistência mecânica à compressão é a principal propriedade do concreto no seu estado endurecido. É de conhecimento que o concreto é excelente quando submetido a esforços de compressão e deixa a desejar sob esforços de tração (PETRUCCI, 2005). Petrucci (2005) afirma ainda que a resistência à tração é da ordem da décima parte da resistência à compressão.

A resistência pode ser definida como a tensão última aplicada ao elemento que provoca a desagregação do material que o compõe, ou ainda, como a capacidade do material de suportar ações aplicadas sem que ele entre em colapso (ISAIA, 2005).

Normalmente, utiliza-se a resistência à compressão simples para medir a qualidade do concreto. Uma determinada resistência especificada pode ser obtida em menor prazo através de uma cura contínua. Quando a cura é interrompida antes da obtenção da resistência desejada, seja através de fontes naturais, como chuva, por aplicações artificiais de umidade, permitirá obter ganhos em resistência, porém inferiores ao obtido por processos contínuos (BAUER, 1991).

No que tange a porosidade, Neville e Brooks (2013) destacam que mesmo sendo um fator fundamental para a resistência, é de difícil determinação na prática, pois o grau de hidratação do cimento é de difícil acompanhamento. Bauer (2008), no que diz respeito a influência da porosidade, estima a perda de resistência devido ao volume de vazios, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Influência dos vazios do concreto em sua resistência

Vazios	Resistência
0%	100%
5%	90%
10%	70%
20%	50%

Fonte: BAUER, 2008.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002) indica que a resistência depende essencialmente da relação a/c para um mesmo grau de hidratação. Neville e Brooks (2013) ainda mencionam o tempo de cura necessário para concretos com diferentes relações de a/c (Tabela 3), baseando-se no grau de hidratação necessário para evitar a propagação de poros capilares, ou seja, um aumento de vazios que acarretará em menor resistência.

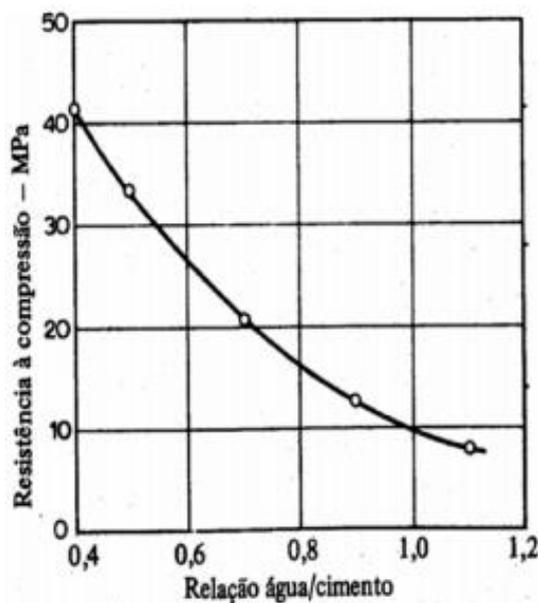
Tabela 3 - Período de cura necessário para evitar a propagação dos poros capilares

Relação Água/cimento	Grau de Hidratação (%)	Período de cura necessário
0,40	50	3 dias
0,45	60	7 dias
0,50	70	14 dias
0,60	92	6 meses
0,70	100	1 ano
Acima de 0,70	100	Impossível

Fonte: NEVILLE E BROOKS, 2013.

A partir do exposto, fica notória a importância da relação a/c na resistência do concreto, sendo a base para as idades de cura. Contudo, ainda para Neville e Brooks (2013), em construções comuns, devido a elevada relação a/c e das técnicas de adensamento do concreto, é impossível expulsar todo o ar. Estabelecem, portanto, a resistência do concreto como inversamente proporcional à relação a/c, tal relação é conhecida como Lei de Abrams, conforme Figura 5.

Figura 5 - Relação entre a resistência e a relação água/cimento do concreto



Fonte: NEVILLE E BROOKS, 2013.

Por fim, Neville e Brooks (2013), instituem como responsáveis secundários pela resistência do concreto os fatores como pasta de cimento e agregados. Denominando como

zona de transição, indicam que há uma relação entre ambos quando misturados no concreto, a qual apresenta maior porosidade que a pasta do cimento independente. Esta zona pode ser densificada na presença de agregados calcários. Os efeitos da cal hidratada na cura do concreto pode auxiliar nessa densificação e como consequência, resultar em um concreto menos poroso e mais resistente.

2.2 DEFINIÇÃO DE CURA DO CONCRETO

De acordo com Neville e Brooks (2013), a cura do concreto é conhecida como o conjunto de medidas que tem por finalidade evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento, que é responsável pela pega e endurecimento do concreto. O objetivo da cura é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível dessa condição até que os espaços inicialmente ocupados pela água sejam ocupados pelos produtos da hidratação do aglomerante, neste caso o cimento. A cura do concreto deve ser iniciada imediatamente após o endurecimento superficial.

A água é parte integrante do processo de pega e endurecimento, conseqüentemente não poderá ser perdida sob pena de deixar vazios e criar esforços de retração hidráulica. Desta forma, quando uma mistura corretamente dosada é seguida de cura úmida, durante os primeiros estágios de endurecimento serão conferidos ao concreto as melhores condições para se tornar um material de baixa permeabilidade, de baixa absorção de água, de alta resistência à carbonatação e à difusão de íons, e com resistência mecânica e durabilidade adequada (FERNANDES; BITTENCOURT & HELENE, 2008).

Os tipos de cura, definidos nos tópicos a seguir, são: cura química, cura úmida, cura com manta e cura ao ar.

2.2.1 Cura Química

Conforme Thomaz (2013), para as situações em que houver impossibilidade da realização da cura com água, deverá ser adotada a cura química. Enquadra-se nesta condição paredes de contenção com altura elevada, barragens, superestruturas de obras de arte, canais com paredes verticais ou inclinadas, entre outros.

Os produtos da cura química são constituídos normalmente por emulsões a base de resina acrílica, estireno e butadieno, ou ainda dispersões de ceras, que formam uma película impermeável (THOMAZ, 2013).

O autor supracitado ainda ressalta que os líquidos de cura química à base de água devem ser aplicados sobre o concreto logo após o acabamento, desde que não apresente exsudação. Após a secagem, uma barreira impermeável evitará a perda de água de hidratação.

Vários tipos de compostos líquidos formadores de membranas podem ser aplicados sobre a superfície do concreto para reduzir ou retardar a perda de umidade, sendo sua aplicação (Figura 6) recomendada para a maioria dos casos (PEINADO, 2013).

Figura 6 - Aplicação de líquido para cura úmida



Fonte: Revista Técnica, 2016.

2.2.2 Cura úmida

De acordo com Abatte (2003), a cura úmida poderá ser dividida em três principais procedimentos, a saber:

- a) Aspersão de água: a aspersão forma uma névoa d'água, fazendo com que a superfície do concreto permaneça úmida, sem apresentar, no entanto, a formação de poças de água.

O processo mais comumente empregado na cura do concreto de estruturas é o de molhagem constante, que consiste em molhar repetida e constantemente as peças em concreto, fazendo-se uso de uma mangueira, durante o período designado (Figura 7).

Figura 7 - Aspersão de água no concreto



Fonte: HELENE & LEVI, 2013.

Para a aplicação desse método, é necessário apenas que haja disponibilidade de pontos de água no local em que se está executando a estrutura, mangueira com tamanho suficiente que possibilite o lançamento de água sobre toda a superfície do concreto submetida ao processo de cura e pessoal disponível em período integral para que o processo de cura se dê de forma ininterrupta;

- b) Cura submersa: tem como finalidade evitar a evaporação da água mantendo o concreto saturado. Conforme a Figura 8, o processo de alagamento consiste em cobrir com água a superfície exposta da estrutura de concreto, dispensando a molhagem contínua. Na maioria dos casos, é preciso construir uma barreira de contenção (de areia, serragem, madeira, dentre outras opções) ao redor do elemento estrutural para que a água não vaze ou escorra;

Figura 8 – Cura Submersa



Fonte: SILVA, 2009.

- c) Cura em câmara úmida: utilizada principalmente por laboratórios em corpos de prova. Conforme a NBR 9479 (ABNT, 2006), uma câmara úmida (Figura 9) é definida como um compartimento fechado, climatizado, isolado termicamente, de dimensões adequadas para a estocagem destes corpos de prova de argamassa e concreto durante o período de cura. Portanto, possui capacidade de manter as condições ambientais exigidas pela referida norma.

Figura 9 – Câmara Úmida

Fonte: TECNOCON, 2018.

Estes requisitos se baseiam em: câmaras construídas de material resistente, durável e não corrosivo; a atmosfera no interior do compartimento deve estar saturada de água, de forma que as superfícies expostas dos corpos de prova estocados mantenham-se úmidas durante todo o período de cura; portas devem ser ajustadas com sistema de vedação com fechamento hermético do ambiente; as prateleiras em seu interior devem ser niveladas e com material resistente, durável e não corrosivo; a temperatura interna, mantida por dispositivos de climatização, deve ser $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ podendo também ser mantida nos intervalos $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$, $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$, contudo, deve-se registrar no relatório de ensaio; e a umidade relativa não deve ser inferior a 95%, mantida com uso de aspersores, cortinas de água ou outros dispositivos, evitando-se escorrimentos diretos ou contínuos sobre os corpos de prova.

2.2.2.1 Vantagens da cura úmida do concreto

A cura é uma série de procedimentos adotados para controlar a hidratação do cimento, para que o concreto endureça corretamente e as estruturas apresentem, após o processo completo, o desempenho esperado. Uma das principais funções da cura é evitar que o concreto perca água para o ambiente e retraia abruptamente, o que acarreta o surgimento de fissuras (PET ENGENHARIA CIVIL, 2012).

Para Bardella, Barbosa e Camarini (2005), a cura adequada é fundamental para que o concreto alcance o melhor desempenho, proporcionando uma redução de sua porosidade, contribuindo para aumenar a durabilidade das estruturas.

Basicamente, o conjunto de operações de cura a ser adotado para a hidratação do cimento em condições adequadas, deverá:

- a) impedir a perda de água de hidratação precocemente;
- b) controlar a temperatura do concreto durante período de tempo suficiente, até que alcance o nível de resistência desejado;
- c) eventualmente, em casos muito especiais, fornecer um suplemento adicional de água para as reações de hidratação (HELENE & LEVY,2008).

2.2.2.2 Fatores que diminuem a resistência do concreto quando submetido à cura submersa

2.2.2.2.1 *Retração e Expansão*

Segundo Bastos (2006) a retração é definida como a diminuição de volume do concreto ao longo do tempo, provocada principalmente pela evaporação da água não utilizada nas reações químicas de hidratação do cimento, ocorrendo mesmo na ausência de ações ou carregamentos externos. Já em peças submersas ocorre a expansão da mesma, fato inverso a ocorrência da retração onde existe o acesso do fluxo de água de fora para dentro da peça através de seus poros.

2.2.2.2.2 *Lixiviação do concreto*

Segundo Thomaz (2009) a lixiviação é um processo patológico que ocorre nas estruturas de concreto, devido à infiltração de água, que dissolve e transporta cristais de hidróxidos de cálcio e magnésio. Com a perda de sólidos, a estrutura fica com sua resistência mecânica reduzida abrindo caminhos para entrada agentes nocivos as armaduras (corrosão) e ao próprio concreto (carbonatação).

2.2.3 Cura com manta

A manta para cura de concreto é um geotêxtil não tecido associado a um filme plástico que retarda a evaporação da água durante o processo de cura do concreto. Isso quer

dizer que a área concretada permanecerá úmida de maneira uniforme, evitando rachaduras e trincas (GEOFOCO, 2018).

Esta manta é desenrolada sobre a área desejada com a parte plástica para baixo. Em seguida, esguicha-se água sobre a manta até que ela fique bem encharcada (Figura 10). Sob temperaturas elevadas, pode-se aguardar até 8 horas antes de uma nova umidificação (ABATTE, 2003).

Tecidos retentores de umidade saturados com água, tais como jutas, sacos de aniagem, mantas geotêxteis ou outras coberturas de algodão têm sido rotineiramente empregadas no processo de cura de estruturas em concreto armado em canteiro de obras (PEINADO, 2013).

Figura 10 - Cura com manta



Fonte: HELENE & LEVI, 2013.

2.2.4 Cura ao ar

Para Ribeiro, Gomes e Valin Júnior (2014), o local da obra influencia diretamente no processo de cura. A cura ao ar é simplesmente, manter o concreto exposto ao ambiente que se encontra, não sendo tomados cuidados especiais para se evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento.

Neville (2016) conclui que para se ter continuidade na hidratação, deve-se manter a umidade no interior do concreto, no mínimo, em 80%. Caso a umidade relativa do ar ambiente seja no mínimo esse valor, haverá pouca a movimentação de água entre o concreto e

o ambiente. Portanto, não será necessário nenhum procedimento de cura para garantir a continuidade da hidratação para casos como este.

2.3 A CURA SEGUNDO AS NORMAS TÉCNICAS

2.3.1 A cura segundo a Norma Brasileira NBR 14931:2004 execução de estruturas de concreto - procedimento

Segundo a NBR 14931 (ABNT, 2004), o concreto enquanto não atingir endurecimento satisfatório, deverá ser curado e protegido contra agentes prejudiciais para: evitar a perda de água pela superfície exposta; assegurar uma superfície com resistência adequada; assegurar a formação de uma capa superficial durável. A norma ainda prescreve que o endurecimento do concreto pode ser acelerado por meio de tratamento térmico ou pelo uso de aditivos que não contenham cloreto de cálcio em sua composição, não se dispensando as medidas de proteção contra a secagem (ABNT, 2004).

Elementos estruturais de superfície devem ser curados até que atinjam a resistência característica igual ou maior que 15 MPa. No caso de utilização de água, esta deve ser potável. No caso de execução de obras em ambientes com temperatura elevada, ou em caso de utilização de cura térmica, as implicações desses efeitos térmicos deverão ser levadas em conta pelo projetista da estrutura (ABNT, 2004).

2.3.2 A cura segundo A *American Concrete Institute* (ACI)

A ACI, por meio de seu Relatório ACI 308R-16 *Guide to External Curing of Concrete*, recomenda que os concretos devam ser mantidos úmidos/saturados durante no mínimo 7 dias e sempre a temperaturas acima de 10 graus Célcus; sendo que a obtenção das maiores resistências à compressão acontecem com a realização do procedimento de cura a mais de 28 dias (HELENE & LEVY, 2013).

2.3.3 A cura segundo A *Fédération Internationale Du Béton* - FIB em sua publicação *FIB Model Code For Concrete Structures 2010*

Este documento cita a cura do concreto em seu capítulo 8 afirmando que todo concreto deve ser curado e protegido nas suas primeiras idades, de forma a minimizar a retração plástica e assegurando adequada resistência superficial (HELENE & LEVY, 2013).

2.3.4 A Cura segundo o Institution Of Civil Engineers (ICE)

O guia de procedimento CP 11013 recomenda diferentes períodos de cura dependendo do tipo de cimento utilizado. Em condições adversas, isto é, tempo quente ou ventoso, a cura completa deve continuar por um período mínimo de sete dias com todos os cimentos Portland. (INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS, 2015).

2.4 PATOLOGIAS DO CONCRETO CAUSADAS PELA NEGLIGÊNCIA DA CURA

Segundo a Norma DNIT 061/2004, as principais patologias apresentadas pela cura inadequada do concreto são:

- a) Fissuras de retração: fissuras de retração plástica (Figura 11) são fissuras pouco profundas de pequena abertura e de comprimento limitado. Sua incidência costuma ser aleatória e ela se desenvolve formando ângulo de 45° a 60° com o eixo longitudinal da placa. A principal causa das fissuras de retração é a evaporação da água do concreto logo após seu lançamento (DNIT, 2004).

Figura 11 - Fissura em superfície de concreto



Fonte: CIMENTO MONTES CLAROS, 2017.

- b) Camadas superficiais porosas: a permeabilidade e a absorção capilar situam-se dentre os principais mecanismos de transporte de agentes agressivos para o interior do concreto. A taxa de transporte de agentes agressivos, por meio da absorção e

permeabilidade, é governada pela taxa de penetração de água, pois através da umidade os agentes agressivos são transportados para o interior do concreto (BARDELLA; BARBOSA & CAMARINI, 2005).

- c) Os movimentos desses agentes agressivos dependem da porosidade, isto é, do diâmetro e distribuição do tamanho dos poros (Figura 12), e da continuidade entre eles. A eliminação dos poros capilares contínuos deve ser considerada uma condição necessária para a obtenção de concretos duráveis (BARDELLA, BARBOSA & CAMARINI, 2005).

Figura 12 - Poros em superfície de concreto



Fonte: KUES, 2017.

- d) Carbonatação do concreto: o concreto mal curado possui microfissuras que o enfraquecem. A preexistência de fissuras nas estruturas facilita a entrada do Dióxido de Carbono (CO_2) que penetra nos poros do concreto, diluindo-se na umidade presente na estrutura e forma o composto chamado Ácido Carbônico (H_2CO_3), acelerando a carbonatação, conforme Figura 13 (TOKUDOME, 2009).

Neville & Brooks (2013), observaram que com o aumento do período da cura, ampliando a molhagem de um dia para três dias, conseguiu-se uma redução da profundidade de carbonatação em cerca de 40%.

Figura 13 - Pilarete cujo concreto apresenta carbonatação



Fonte: CARNAVAL, 2011.

- e) Redução das Resistências: o crescimento da resistência do concreto depende de três fatores fundamentais: a relação água/cimento (a/c); o grau de hidratação do cimento além do tipo de cimento a ser utilizado na produção do concreto.

Em concordância com Bauer (2008), o que diz respeito à influência a porosidade, estima-se a perda de resistência do concreto devido ao volume de vazios na ordem de 50% quando o índice de vazios no concreto está a 20%.

3 ESTUDO DE CASO

Este capítulo tem como objetivo exibir os métodos utilizados no estudo de caso abordado no presente trabalho.

Para a elaboração dos procedimentos e fornecimento dos materiais pôde-se contar com o apoio da Concreto Redimix do Brasil S/A, e da Construção do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), ambas localizadas na cidade de Goiânia, Goiás.

Sendo assim, para a realização do ensaio, utilizou-se de um concreto usinado de fornecimento da Concreto Redimix do Brasil S/A com resistência característica à compressão (f_{ck}) de 30 MPa, brita 0 e 1 e abatimento de 120 ± 20 mm.

Com a finalidade comparativa, tornou-se necessário a investigação de técnicas de cura prescritas por norma juntamente com as utilizadas usualmente em obras.

Para se alcançar os objetivos propostos, definiu-se as variáveis utilizadas no experimento, são elas:

- a) técnicas de cura: cura submersa, câmara úmida, em ambiente interno ao laboratório e em ambiente externo ao laboratório;
- b) idade do ensaio: 7 e 28 dias, para o ensaio de resistência à compressão.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para realizar os experimentos os materiais a serem utilizados foram coletados, preparados e caracterizados, conforme a descrição abaixo apresentada.

3.1.1 Cimento

O Cimento Portland empregado foi o CP V Alta Resistência Inicial (ARI) com resistência à compressão aos 28 dias igual a 50 MPa, fornecido pela Ciplan Cimentos Planalto S/A, que segue as especificações da NBR 5733 (ABNT, 1991) quanto aos cimentos Portland de alta resistência inicial.

3.1.2 Agregados

Como agregado miúdo, utilizou-se a areia natural fina rosa, fornecida pelo Depósito São Domingos (Goiânia-GO), e a areia artificial da Pedreira Anhaguera S/A (Goianira-GO).

Suas dimensões máximas características são de 0,60 mm e 4,80 mm, definidas conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009). A composição granulométrica destes agregados miúdos é apresentada no Anexo A e B.

Já como agregado graúdo empregou-se o uso de brita 0 e brita 1 da Pedreira Anhanguera S/A. De acordo com os procedimentos da NBR 7211 (ABNT, 2009) apresentam, respectivamente, como dimensão característica máxima 12,5mm, 19 mm. A composição granulométrica destes agregados miúdos é exibida nos Anexo C e D.

3.1.3 Água

A água utilizada tanto para a realização da moldagem quanto para a cura dos corpos de prova, é proveniente do abastecimento público da Empresa de Saneamento de Goiás S/A (Saneago) concessionária local.

3.1.4 Aditivo

Empregou-se o uso do aditivo líquido de pega normal e plastificante Sikament RMX 320 do fabricante Sika. Segundo o fabricante este plastificante permite a redução de água para concreto, em ampla faixa de dosagem, permitindo trabalhar diversos tipos de concreto e compatível com a maioria dos cimentos (SIKA, 2018).

3.2 TRAÇO DO CONCRETO

O traço definido para o concreto usinado produzido pela Concreto Redimix é evidenciado na Figura 14.

Figura 14 – Traço do Concreto
CONCRETO REDIMIX DO BRASIL S/A

CADASTRO DE TRAÇOS DE CONCRETO - GOIÂNIA GO					
CÓDIGO: 0.030.05.01.12.120.75.76			DATA: 14/03/2018		
TRAÇO: f_{ck} 30,0 Mpa BRITA 0 e 1					
PROPRIEDADES DO CONCRETO					
TIPO: CONVENCIONAL / BOMBEAVEL					
RELAÇÃO A/C : 0,54					
ABATIMENTO INICIAL : 120 ± 20 mm					
ABATIMENTO FINAL : 120 ± 20 mm					
DADOS DA COMPOSIÇÃO					
MATERIAIS	CÓDIGO	QUANTIDADES P/m³		PRODUTOR / FABRICANTE	CARACTERISTICAS
CIMENTO	002	kg		CIPLAN	CPV ARI RC28= 50,0 MPa
		400			
AREIA ARTIF	011	m³	kg	PEDREIRA ANHANGUERA	Ø MAX 4,8mm MF=2,75
		0,55	755		
AREIA NAT	011	m³	kg	DEPÓSITO SÃO DOMINGOS	Ø MAX 0,6 mm MF=1,54
		0,14	188		
BRITA 1	021	m³	kg	PEDREIRA ANHANGUERA	Ø MAX 18,0mm MF=7,00
		0,33	453		
BRITA 0	021	m³	kg	PEDREIRA ANHANGUERA	Ø MAX 12,5 mm MF=5,70
		0,28	387		
ADITIVO 1	040	Litros		SIKA	SIKAMENT RMX 320 CO
		2,8			
AGUA	-	kg		SANEAGO	-
		216			

Fonte: CONCRETO REDIMIX DO BRASIL S/A, 2018.

3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Este ensaio iniciou-se no dia 14 de Março de 2018, com todos seus procedimentos realizados no laboratório de Construção do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial da cidade de Goiânia-GO.

Neste dia, o caminhão betoneira chegou às proximidades do laboratório para a descarga de concreto e moldagem dos corpos de prova.

Na descarga da amostra do concreto, como mostrado na Figura 15, fora realizada inicialmente a aferição de sua consistência através do ensaio do abatimento “*Slump Test*” em conformidade com a NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Figura 15 – Recebimento do concreto para ensaio do abatimento e moldagem



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

Após a realização do ensaio do abatimento foram posicionados 32 moldes metálicos para moldagem dos corpos de provas conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015) e mostrado na Figura 16.

Figura 16 – 32 moldes metálicos e início da moldagem dos corpos de provas



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

Posteriormente a esta moldagem, os corpos de prova foram deixados no processo de cura inicial por 24 horas, cobertos e no local onde foram moldados, protegidos; no final desse período, realizou-se a desforma e a numeração dos corpos de prova para efeitos de identificação.

Os corpos-de-prova foram cobertos imediatamente com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar a perda de água do concreto, protegendo da ação das intempéries, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015), observando 24 horas para garantir a condição de endurecimento do concreto, a fim de realizar a desforma.

Os corpos de prova foram submetidos a quatro tipos de curas e cada qual foi esperado atingir suas idades para ruptura, dentro das faixas estipuladas, que foram 7 e 28 dias, sendo 04 corpos para cada tipo de cura rompidos em cada faixa estipulada (7 e 28 dias).

Realizado o procedimento de desforma, reuniram-se os corpos-de-prova para a realização de 04 processos de cura distintos, com posterior análise das suas propriedades de resistência à compressão em ruptura, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007). Os tipos de cura são apresentados a seguir.

3.3.1 Cura Submersa

A cura de corpos-de-prova foi realizada de forma totalmente submersa em água (Figura 17); possui como finalidade somente evitar a evaporação da água, mantendo o concreto saturado, mas sem a realização do controle de temperatura.

Figura 17 – Cura submersa em tanque com água potável



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

3.3.2 Cura em câmara úmida

Este procedimento segue as condições estabelecidas por norma, contemplando controle de umidade e temperatura. Segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015) após sua identificação, os corpos-de-prova deverão ser imediatamente armazenados até o momento do ensaio em solução saturada de hidróxido de cálcio a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou em câmara úmida, à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95% (Figura 18).

Figura 18 – Corpos de prova em câmara úmida



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

3.3.3 Cura em ambiente interno ao laboratório

Condição em que os corpos de prova estão abrigados livres de intempéries como sol, vento e chuva sendo a referida condição adicionada de forma a se obter um comparativo com o ambiente externo, totalmente exposto, conforme mostrado nas Figuras 19 e 20.

Figura 19 – Cura em ambiente interno ao laboratório



Fonte: Próprio autor, 2018.

Figura 20 – Cura em ambiente interno ao laboratório



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

3.3.4 Cura em ambiente externo ao laboratório

Condição em que os corpos de prova estão expostos a intempéries como sol, vento e chuva (Figura 21). São, portanto, as mesmas condições encontradas em peças estruturais de obras.

Figura 21 – Cura em ambiente externo ao laboratório



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

Atingidas referidas idades (7 e 28 dias), os corpos de prova foram levados para a preparação e o capeamento das bases com discos de neoprene, cuja finalidade é a correção de imperfeições para ajuste na prensa hidráulica e finalmente o rompimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é composto pelos resultados obtidos através do rompimento dos corpos de prova submetidos aos quatro tipos de técnicas de curas apresentados nos itens 3.3.1 ao 3.3.4. Ao todo foram desenvolvidos 32 corpos de provas, dos quais 16 foram ensaiados aos 7 dias, e 16 aos 28 dias de idade. A divisão deste tópico é dada em duas seções, a primeira apresenta os resultados referentes aos ensaios aos 7 dias, enquanto que a segunda seção exibe os resultados referentes aos 28 dias.

4.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO AOS 7 DIAS DE IDADE

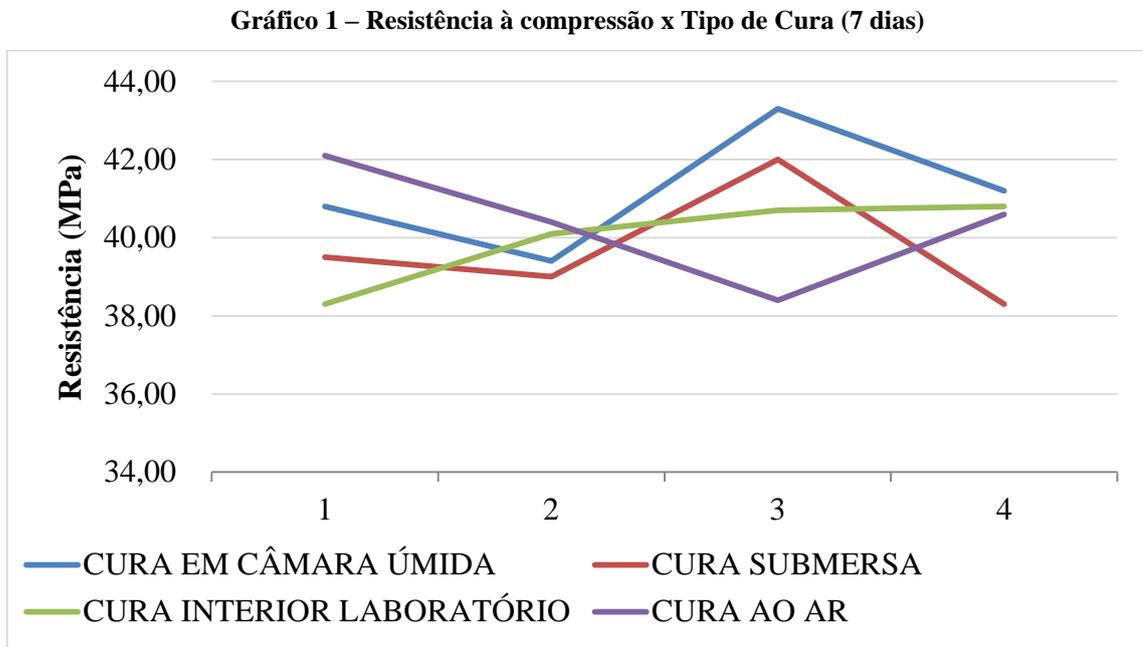
Passados 7 dias do início da realização dos quatro tipos de cura em análise, portanto, dia 21 de março de 2018, obteve-se através do ensaio de compressão os primeiros resultados quanto a resistência dos corpos de provas para cura submersa, câmara úmida, ambiente interno e externo ao laboratório. No Tabela 4 são apresentados tais valores, sendo que a resistência final mencionada deriva da média dos resultados dos 4 corpos de provas submetidos a mesma técnica de cura.

Tabela 4 – Resultado do ensaio à compressão aos 7 dias

Câmara Úmida	Cura Submersa	Ambiente Interno ao Laboratório	Ambiente Externo ao Laboratório
Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)
CP 1	40,80	39,50	38,30
CP 2	39,40	39,00	40,10
CP 3	43,30	42,00	40,70
CP 4	41,20	38,30	40,80
Média das Resistências (MPa)	Média das Resistências (MPa)	Média das Resistências (MPa)	Média das Resistências (MPa)
41,18	39,70	39,98	40,38
Maior Resistência (MPa)	Maior Resistência (MPa)	Maior Resistência (MPa)	Maior Resistência (MPa)
43,30	42,00	40,80	42,10
Menor Resistência (MPa)	Menor Resistência (MPa)	Menor Resistência (MPa)	Menor Resistência (MPa)
39,40	38,30	38,30	38,40

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

Já o Gráfico 1 evidencia a comparação feita entre os tipos de cura, relacionando a resistência à compressão obtida para cada uma destas técnicas executadas.



Fonte PRÓPRIO AUTOR, 2018.

4.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO AOS 28 DIAS DE IDADE

Realizada a cura e rompimento dos corpos de prova durante os primeiros 7 dias, seguiu-se por mais 21 com a cura dos demais corpos, totalizando 28 dias, portanto, 11 de abril de 2018. Neste dia foram obtidos os resultados do ensaio de compressão quanto à resistência dos corpos de prova. Na Tabela 5 tais valores são apresentados, sendo que a resistência final mencionada também deriva da média dos resultados dos 4 corpos de provas submetidos a mesma técnica de cura.

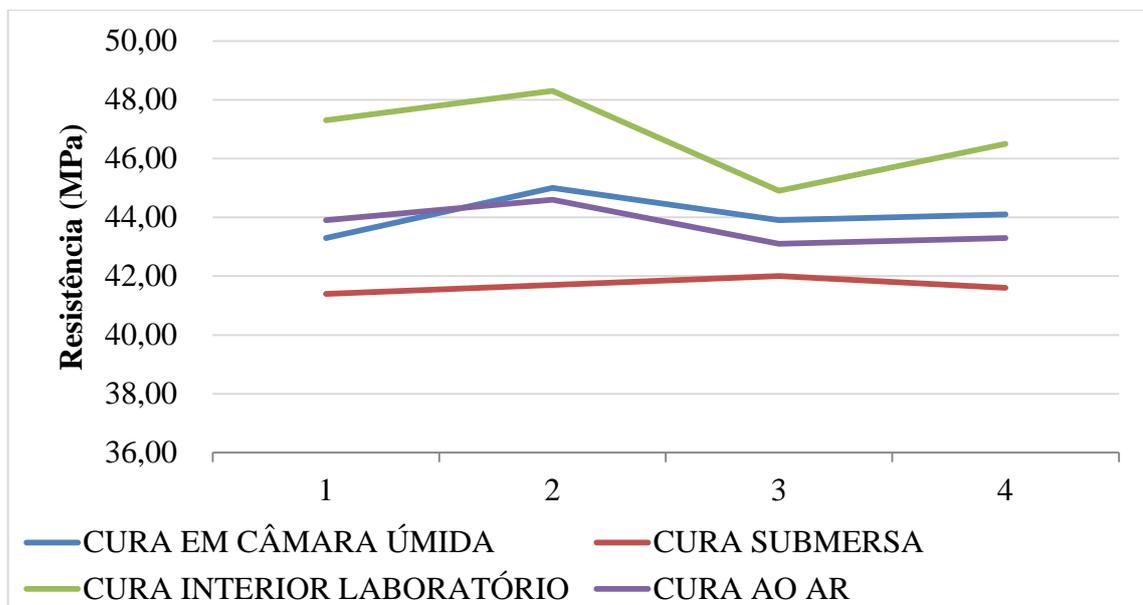
Tabela 5 – Resultado do ensaio à compressão aos 28 dias

Câmara Úmida		Cura Submersa	Ambiente Interno ao Laboratório	Ambiente Externo ao Laboratório
Resistência (MPa)		Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)
CP 1	43,30	41,40	47,30	43,90
CP 2	45,00	41,70	48,30	44,60
CP 3	43,90	42,00	44,90	43,10
CP 4	44,10	41,60	46,50	43,30
Média das Resistências (MPa)		Média das Resistências (MPa)	Média das Resistências (MPa)	Média das Resistências (MPa)
44,08		41,67	46,75	43,73
Maior Resistência (MPa)		Maior Resistência (MPa)	Maior Resistência (MPa)	Maior Resistência (MPa)
45,00		42,00	48,30	44,60
Menor Resistência (MPa)		Menor Resistência (MPa)	Menor Resistência (MPa)	Menor Resistência (MPa)
43,30		41,40	44,90	43,10

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

A Gráfico 2 explicita a comparação feita entre os tipos de cura relacionando a resistência à compressão obtida para cada umas destas técnicas executadas.

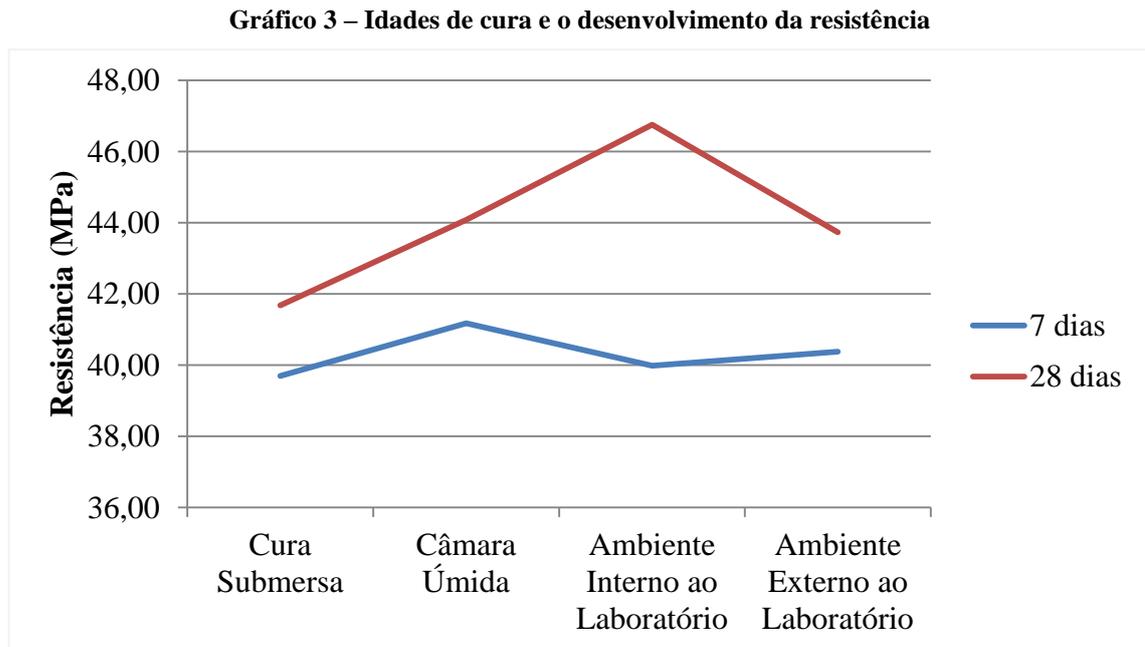
Gráfico 2 – Resistência à compressão x Tipo de Cura (28 dias)



Fonte PRÓPRIO AUTOR, 2018.

4.3 INFLUÊNCIAS DAS IDADES DE CURA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Mediante os resultados obtidos nos tópicos 4.1 e 4.2, a Gráfico 3 exibe os valores das resistências médias encontradas para cada um dos 4 tipos de cura executados para as idades de 7 e 28 dias.



Fonte PRÓPRIO AUTOR, 2018.

Portanto, pôde-se notar que na idade inicial de cura, isto é, aos 7 dias, as resistências encontradas não variaram em grandes escalas, obteve-se apenas uma pequena vantagem para a cura em câmara úmida. Este fato confirma que no período em análise não houvera grandes influências externas que pudessem ocasionar em perda de água que seja responsável pela hidratação do cimento.

Já na idade final de cura, aos 28 dias, as resistências encontradas para a cura submersa, câmara úmida e ambiente externo ao laboratório variaram para mais, em relação aos 7 dias, cerca de 3 a 4 MPa, enquanto que a resistência média dos corpos de provas para a cura em ambiente interno ao laboratório saltou de 39,98 MPa para 46,75 MPa. Sendo assim, houve um acréscimo de 6,77 MPa o que corrobora com a literatura de Neville (2016), citado no item 2.2.4, evidenciando, assim, que não há necessidade de procedimentos de cura para manter-se a hidratação do cimento quando a umidade interior do concreto é aproximadamente igual a umidade relativa do ar. Sendo assim, há poucas possibilidades de movimentação de

água entre o ar ambiente e o concreto, ou seja, atinge o objetivo do procedimento de cura sem ao menos ser executado.

As menores resistências encontradas aos 28 dias foram dos corpos de provas submersos em tanque com água potável, onde com isso simulamos uma situação mais real e fácil de ser observado em obra como, por exemplo, a cura de uma laje sob uma lâmina de água, sendo que as seguintes citações podem justificar esses resultados:

Segundo a NBR 9479 (ABNT, 2006) corpos de prova curados em tanque de cura deverão ser imersos em água potável não corrente e saturada de cal. Algumas evidências importantes em presença de cal no sentido químico e físico das reações de hidratação podem ser sintetizadas segundo Silva (2009) que são a aceleração da hidratação do cimento, maior precipitação de aluminatos e preservar a saída de íons de cálcio para a água. Outro fator que poderá ser levado em consideração é a utilização de água saturada de cal hidratada como um meio de evitar o processo de lixiviação, que segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) é um dos principais mecanismos de deterioração do concreto, podendo ocorrer pela ação de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas que dissolvem e carregam os compostos hidratados da pasta de cimento. Thomaz (2009) mostra que durante a hidratação do cimento, os cristais de hidróxido de cálcio parcialmente solúveis em água, se diluem na água da cura e são transportados para fora do concreto.

Em condições onde se faz necessário concretos com baixa permeabilidade de água como concretos submersos, a NBR 12655 (ABNT, 2015) estabelece que a máxima relação água/cimento seja 0,50 e 0,45, quando sujeito a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos desses; portanto, relações menores que a do concreto utilizado no experimento (0,54). É determinada também a resistência característica à compressão mínima do concreto 35 MPa, maior que a resistência característica do concreto utilizado (30 MPa).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa buscou, através de corpos de provas, investigar diferentes tipos de técnicas de cura e a influência das mesmas sobre a resistência à compressão do concreto aos 7 e 28 dias.

Por ser o concreto um material aplicado em obras da construção civil, sujeito constantemente às intempéries, como por exemplo, ação do sol, vento e chuvas, conclui-se haver uma necessária preocupação em relação à evaporação da água presente no concreto.

Portanto, com análise específica do caso que apresenta determinada relação a/c , temperatura ambiente e umidade relativa do ar, infere-se que para a idade inicial de cura (7 dias) as resistências encontradas não obtiveram grandes variações já que as influências externas não causaram perda de água necessária para a devida hidratação do cimento. O mesmo não ocorreu com o decorrer dos 28 dias de cura, após a moldagem dos corpos.

Um maior ganho de resistência para a cura realizada no interior do laboratório, quando comparada aos demais tipos de cura realizados confirma o exposto por Neville (2016). E assim, pôde-se concluir que a hidratação do cimento é mantida quando a umidade interior do concreto é aproximadamente igual à umidade relativa do ar. Desta forma, implica-se que poucas serão as chances de haver movimentação de água entre o concreto e o ar ambiente.

Contudo, a ausência de cal para a cura submersa pode ter ocasionado o processo de lixiviação, fazendo com que durante a hidratação do cimento os cristais de hidróxido de cálcio sejam transportados para fora do concreto. Além deste fator, a relação a/c e a resistência característica do concreto utilizados podem ter determinado a baixa resistência mecânica do concreto curado por vias submersas.

Assim, este trabalho permitiu observar que várias são as opções de procedimentos para a execução de cura dentro da construção civil. Desta forma, é essencial a realização de um estudo preliminar avaliando todas as etapas envolvidas e garantir que o projeto seja desenvolvido a partir deste. Para isso é necessário o acompanhamento constante por parte do executor a fim de que a cura seja executada de maneira satisfatória e alcance assim o desempenho desejado.

Por fim, como proposta final, é destacada a necessidade de se propagar a cultura construtiva da realização de projetos mais responsáveis e que executem, conforme normatizações, os devidos procedimentos de cura do concreto.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do estudo de caso exibido, sugere-se para trabalhos complementares a serem desenvolvidos:

- a) Avaliação das resistências à compressão para concretos com outra relação para o fator a/c , objetivando analisar o comportamento da cura ao ar quando a umidade do interior do concreto é diferente da umidade relativa do ar ambiente;
- b) Interromper uma técnica de cura e posteriormente retomar o procedimento com o intuito de avaliar se o desenvolvimento da resistência após ser retomado apresenta interferência;
- c) Integrar a curva de resistência à compressão aos 7 e 28 dias da presente pesquisa, com as resistências aos 3, 14, 50 e 70 dias.
- d) Comparar concreto com baixas relações a/c com utilização de aditivos superplastificantes, hiperplastificantes e redutores de água.

REFERÊNCIAS

ABATTE, V. A Cura pode ser úmida, a vapor, elétrica ou química. **Revista Pini Técnica**. 2003. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/71/artigo285260-1.aspx>>. Acesso em: 15 out. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Básico sobre o cimento**, 2017. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento/>>. Acesso em: 15 out. 2017.

_____. **Boletim técnico – Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, 2002. 7. rev. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Execução de estruturas de concreto – procedimento. **NBR 14931**, 2004. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/nbr-14931-2004-execucao-de-estruturas-de-concreto-procedimento>>. Acesso em: 15 out. 2017.

_____. Cimento Portland composto - Especificação. **NBR 11578**, 1997. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/02/nbr-11578-cimento-portland-composto.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

_____. Cimento Portland de alta resistência inicial. **NBR 5733**, 1991. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/sheyqueiroz/nbr-573391-eb-2-cimento-portland-com-alta-resistencia-inicial>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

_____. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. **NBR 5738**, 2015. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/21741552/nbr-5738---2015---concreto-procedimento-para-moldagem-e-cura-de-corpos-de-prov>>. Acesso em: 12 set. 2017.

_____. Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. **NBR 5739**, 2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAerRIAC/nbr-5739-2007-concreto-ensaio-compressao-corpos-prova-cilindricos>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

_____. Agregados para concreto – Especificação. **NBR 7211**, 2009. Disponível em: <<http://www.areiaovitoria.com.br/download/NBR%207211.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

_____. Argamassa e concreto – Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. **NBR 9479**, 2006. Disponível em: <[http://docs10.minhateca.com.br/765875459,BR,0,0,NBR-9479-\(2006\)---C%C3%A2maras-%C3%BAmidas-e-tanques-para-cura-de-corpos-de-prova-\(em-vigor\).pdf](http://docs10.minhateca.com.br/765875459,BR,0,0,NBR-9479-(2006)---C%C3%A2maras-%C3%BAmidas-e-tanques-para-cura-de-corpos-de-prova-(em-vigor).pdf)>. Acesso em: 16 mar. 2018.

_____. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. **NBR 6118**, 2014. Disponível em: <<https://engcivil20142.files.wordpress.com/2017/08/nbr-6118-2014-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento-versc3a3o-corrigida.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

_____. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. **NBR NM 67**, 1998. Disponível em: <<http://files.mvalin.com.br/200000140->

668e26789b/NBR%20NM%2067%20-%20Concreto%20-%20Determinacao%20da%20consistencia%20pelo%20aba.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2018.

_____. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. **NBR 12655**, 2015. Disponível em: < http://files.israel-tecnico-qualidade.webnode.com/200001290-4323c441bd/NBR%2012655%20-%202015_aula.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002. 28p.

ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro, 2000. (Apostila). Disponível em: <<http://engenhariaconcursos.com.br/arquivos/Materiais/concretosimples.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

AZEVEDO, C. A. **Controle de temperatura em blocos de coroamento para prevenção de etringita tardia**, 2015. Disponível em: <<http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Tcc-Calil-Final-16-06-2015/76252612.html>>. Acesso em: 07 set. 2017.

BARDELLA, P. S.; BARBOSA, D. C.; CAMARINI, G. **Sistemas de Cura em Concretos Produzidos com Cimento Portland de Alto-Forno com Utilização de Sílica Ativa**. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/115.pdf>. Acesso em: 04 set. 2017.

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

_____. **Materiais da construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 538 p.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2006. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

_____. **Fundamentos do concreto armado**. Notas de aula da disciplina de Estruturas de concreto I na Universidade Estadual Paulista. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43189267/FUNDAMENTOS_Concreto.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1526221730&Signature=29MMHkxrF0r6XLYB11j%2FjjTZYA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DUNIVERSIDADE_ESTADUAL_PAULISTA_UNE_SP_-Ca.pdf. Acesso em: 12 mai 2018.

CARNAVAL, M. **Crea alerta para o perigo de passar sob viadutos sem manutenção**, 2011. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/transito/crea-alerta-para-perigo-de-passar-sob-viadutos-sem-manutencao-2875948>>. Acesso em: 15 out. 2017.

CIMENTO APODI. **Clinker**, [s.d]. Disponível em: <<http://www.cimentoapodi.com.br/componentes-do-cimento/>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

CIMENTO MONTES CLAROS. **Como fazer a cura do concreto de forma fácil e rápida?**, 2018. Disponível em: <<https://cimentomontesclaros.com.br/como-fazer-cura-do-concreto/>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

CURTI, R. **Núcleo de referência Parede de Concreto**. A Cura do concreto e sua importância, [s.d]. Disponível em: <<http://nucleoparededeconcreto.com.br/destaque-interno/a-cura-do-concreto-e-sua-importancia>>. Acesso em: 15 out. 2017.

DIAS, R. **Agregados**, 2009. Disponível em: <<http://www.gdace.uem.br/romel/MDidatico/ConcretosEspeciais/PEU4025-Aula04-Agregados.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre. Pavimento rígido – Defeitos – Terminologia. Autor: Diretoria de Planejamento e Pesquisa / IPR. **Norma DNIT 061/2004 – TER**, 2004. Disponível em: <<http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/fissuracao/exemplo160.pdf>>. Acesso em: 15 out.2017.

FERNANDES, J.; BITTENCOURT, T. N; HELENE, P. A Review of the Application of Concrete to Offshore Structures. Chapter 25. In: Fifth ACI/CANMET International Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials. **ACI SP-253**. Farmington Hills, Michigan: *American Concrete Institute*, 2008. p. 393-408

GEOFOCO. **Manta para cura de concreto**, 2018. Disponível em: <<http://geofoco.com.br/produtos/manta-para-cura-de-concreto/>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

GUERRA, R. S. T. G. **Trabalhabilidade**, 2013. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/05/trabalhabilidade.html>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

GUIMARÃES. A.T.C. **Propriedades do Concreto Fresco**. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Ed. G.C.Isaia. IBRACON São Paulo, 2005.

HELENE, P.; LEVY, S. **Boletim técnico**, 2013. Disponível em: <<http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B8-Cura-do-concreto.pdf>>. Acesso em:10 nov. 2017.

INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. **CP 11013**, Procedures 110013, 2015.

ISAIA, Geraldo Cechella. **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**. V. 01, São Paulo: IBRACON, 2005, 792 p.

KAEFER, L.F. **A Evolução do Concreto Armado**, 1998. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2017.

LAGUNA, L.A.; IKEMATSU, P. A influência da temperatura na desforma do concreto. **Revista Pini Técnica**, n. 150, set. 2009. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/150/artigo286635-1.aspx>>. Acesso em: 04 set. 2017.

LIMA, S. M. de; LIBÓRIO, J. B. L. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**. São Carlos, v. 10, n. 43, p. 55-73, 2008. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee43.pdf>. Acesso em: 12 set. 2017.

MARIA, S. P. **Estudo da adição de cinza de folha de bananeira em argamassas**, 2011. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1403/1/CT_TCC_2011_2_05.pdf> . Acesso em: 03 abr. 2018.

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

NETO, G. T. B. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**, 2006. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/5776/guilherme.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888p.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

PEDROSO, Fábio Luís. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. Revista Concreto e Construções. Ano XXXVII Jan. • Fev. • Mar. 2009. ISSN 1809-7197. São Paulo, SP. Disponível em: <www.ibracon.org.br>. Acesso em: 15 out. 2018.

PEINADO, H. S. Conheça as alternativas para fazer a cura de elementos de concreto. **Revista Pini Técnica**, n. 201, 2013. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/201/conheca-as-alternativas-para-fazer-a-cura-de-elementos-de-302570-1.aspx>>. Acesso em: 15 out. 2017.

PET ENGENHARIA CIVIL UFJF. **Cura do Concreto de Cimento Portland**, 2012. Disponível em: <<https://blogdopetcivil.com/2012/05/04/cura-do-concreto-de-cimento-portland/>>. Acesso em: 15 out. 2017.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 14ª ed., revisado por Vladimir A. Paulon, São Paulo: Editora Globo, 2005, 307 p.

PORTAL DO CONCRETO. **Agregados para concreto**, [s.d]. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/agregado.html>>. Acesso em: 26 mar. 2018.

POWERS, T. C. A working Hypothesis for further studies of frost resistance of concrete. **Journal of the American Concrete Institute**. Michigan, v. 16, n. 4, p. 245- 273, feb., 1945.

_____. The air requirement of frost-resistance concrete. **Proceedings Highway Research Board**, v. 29, p. 184-211, 1949.

POWERS, T. C.; HELMUTH, R. A. Theory of volume changes in hardened Portlandcement past during freezing. **Proceedings Highway Research Board**, v. 32, p. 285-297, 1953.

RIBEIRO, G. D.; GOMES, M. V.; VALIN JÚNIOR., M. O. **Influência da cura do concreto com e sem a utilização de lona plástica na resistência mecânica e absorção de água**. In: 56° CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO/IBRACON, 2014. Natal. Disponível em: <<http://www.mvalin.com.br/products/influ%C3%A2ncia-dosprocedimentos-de-cura-na-resist%C3%A2ncia-e-absor%C3%A7%C3%A3o-doconcreto/>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

RODRIGUES, E. C. **Concreto Fresco e suas Propriedades**, 2017. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/concreto-fresco-e-as-suas-propriedades/81326>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

RODRIGUES, P. P. F.; BOTACINI, S. M.; GASPARETTO, W. E. **Manual Gerdau de Pisos Industriais**. São Paulo: PINI, 2006. 109 p.

SILVA, A. V. HUGO, A. A. et al. Influência do processo de cura em concreto convencional em seis idades. In: **VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. 2012.

SILVA, B. A. **Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto**. 2009. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – ITA, São José dos Campos, 2009.

TECNOCON. **Centro Tecnológico de concretos e graut**, 2018. Disponível em: <<http://www.tecnoconservicostecnicos.com.br/servicos.php>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

THOMAZ, E. **Lixiviação x Carbonatação**, 2009. Revista Pini Técnica. Disponível em: <<http://techn17.pini.com.br/engenharia-civil/151/ipt-respondel-ixiviacao-x-carbonatacao-285779-1.aspx>>. Acesso em: 12 mai. 2018.

_____. **Cura do concreto**, 2013. Revista Pini Técnica. Disponível em: <<http://techn17.pini.com.br/engenharia-civil/226/em-que-situacoes-a-cura-quimica-e-mais-recomendada-do-367399-1.aspx>>. Acesso em: 15 out. 2017.

TOKUDOME, N. **Por que o cimento endurece**, 2008. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/por-que-o-cimento-endurece/>>. Acesso em: 04 set. 2017.

_____. **Carbonatação do concreto**, 2008. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/carbonatacao-do-concreto/>>. Acesso em: 04 set. 2017.

TORRES, Ary F., & ROSMAN, C.E. **Método para dosagem racional do concreto**. São Paulo: ABCP, 1956.

TUTIKIAN, B.; DALMOLIN, C. **Concreto auto adensável**. São Paulo: PINI, 2008. 140 p.

UNIP. **Materiais naturais e artificiais**. [s.d]. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/21038297/exercicios-mna-5-semester-arqurb>>. Acesso em: 12 set. 2017.

WIEDENHOFER, L. **Um Pouco de cimento na História**, 2015. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/um-pouco-de-cimento-na-hist%C3%B3ria-leonardo-wiedenhofer>>. Acesso em: 03. nov. 2017.

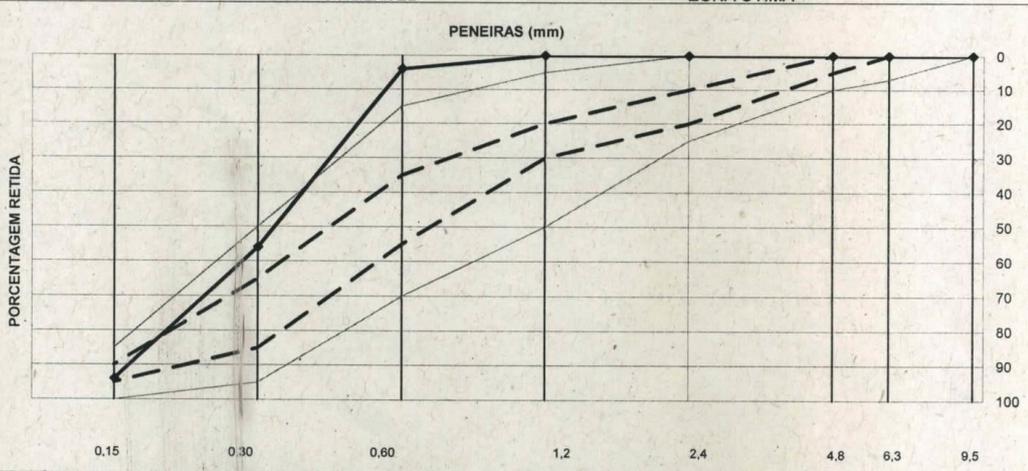
ANEXO A – Composição Granulométrica de Agregado Miúdo (Areia Natural Fina Rosa)

 CARLOS CAMPOS <small>CONSULTORIA E CONSTRUÇÕES LIMITADA DESDE 1974</small>	Relatório de ensaio	Revisão 00
Página 1/1		
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADO MIÚDO NBR NM 248		
Interessado:	Concreto Redimix do Brasil S/A	Relatório nº: 1285-1/14
Procedência:	Depósito São Domingos	Data de realização do ensaio: 18/08/2014
Material:	Areia Natural Fina Rosa	Data de emissão desse relatório: 21/08/2014

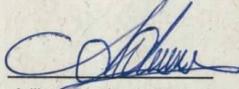
ABERTURA DAS PENEIRAS (mm)	PORCENTAGENS RETIDAS								
	ENSAIO					LIMITES RECOMENDADOS - NBR 7211 (ACUMULADAS)			
	Pesos(g)	Pesos(g)	Pesos(g) (Média)	Simplex	Acumuladas	Zona Utilizável		Zona Ótima	
						Limites inferior	Limites superior	Limites inferior	Limites superior
9,5	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,0	0	0	0	7	0	0
4,8	0,3	0,5	0,4	0	0	0	10	0	5
2,4	1,0	0,9	1,0	0	0	0	25	10	20
1,2	1,1	1,3	1,2	0	0	5	50	20	30
0,6	13,0	12,9	13,0	4	4	15	70	35	55
0,3	165,4	161,9	163,7	52	56	50	95	65	85
0,15	119,0	120,0	119,5	38	94	85	100	90	95
PRATO	13,5	12,7	13,1	6	100	-	-	-	-
TOTAIS	313,3	310,2	311,7	100	254	-	-	-	-

MÓDULO DE FINURA: 1,54

———— ZONA UTILIZÁVEL - - - - ZONA ÓTIMA



Dimensão máx. característica (NBR 7211):	0,6 mm
Materiais pulverulentos (NBR NM 46):	1,3 %
Índice de impurezas orgânicas (NBR NM 49):	Mais claro que a solução padrão

Romário Silva Executor do ensaio	 Adilson Pereira da Rocha Engenheiro Civil CREA 14231/D-GO	 Denilson Pereira Rocha Eng. Civil / Chefe do Lab. de Materiais CREA 20459/D-GO
Marcia Lima Peduzzi Engenheira Civil CREA 15899/D-GO	Carlos de Oliveira Campos Geól. / MSc Eng. Civil CREA 1154-GO	

Av. São Francisco nº 473 – Setor Santa Geneveva, Goiânia - GO, CEP: 74670-010, Fone: (62) 3204-2525, materials@carloscampos.com.br

Fonte: Carlos Campos, 2014.

ANEXO B – Composição Granulométrica de Agregado Miúdo (Areia Artificial)

 CARLOS CAMPOS CONSULTORIA E CONSTRUÇÕES LIMITADA <small>DESDE 1973</small>	Relatório de Ensaio	Revisão 00
	Página 1/1	

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADO MIÚDO NBR NM 248

Interessado: Pedreira Anhanguera S A Empresa de Mineração

Relatório nº: 724-1/16

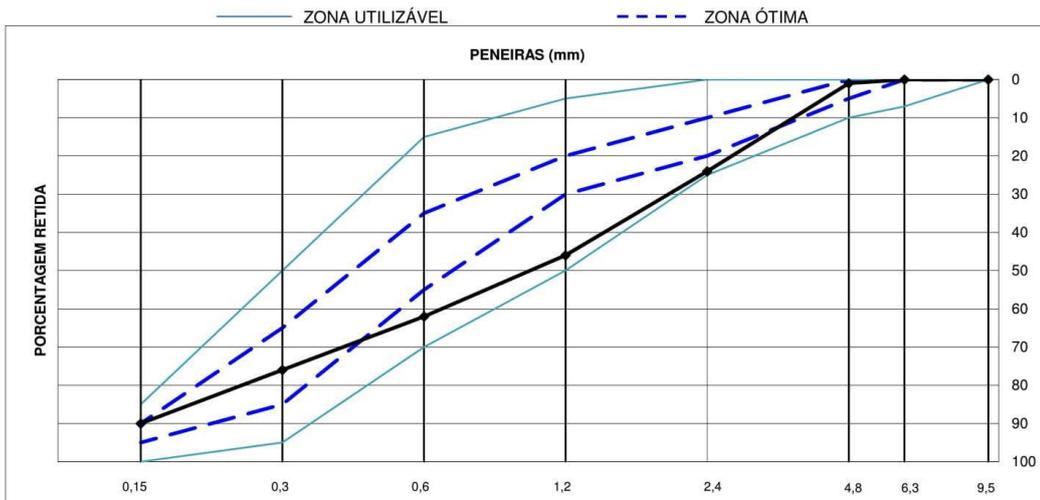
Procedência: Pedreira Anhanguera

Data de realização do ensaio: 22/06/2016

Material: Areia artificial linha 1

Data de emissão desse relatório: 24/06/2016

ABERTURA DAS PENEIRAS (mm)	PORCENTAGENS RETIDAS								
	ENSAIO					LIMITES RECOMENDADOS - NBR 7211 (ACUMULADAS)			
	Pesos (g)	Pesos (g)	Pesos médios (g)	Simples	Acumuladas	Zona Utilizável		Zona Ótima	
Limite inferior						Limite superior	Limite inferior	Limite superior	
9,5	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,0	0	0	0	7	0	0
4,8	2,1	1,9	2,0	1	1	0	10	0	5
2,4	71,0	71,8	71,4	23	24	0	25	10	20
1,2	70,0	69,3	69,7	22	46	5	50	20	30
0,6	52,3	50,7	51,5	16	62	15	70	35	55
0,3	45,7	44,1	44,9	14	76	50	95	65	85
0,15	44,6	45,5	45,0	14	90	85	100	90	95
PRATO	28,3	29,2	28,8	10	100	-	-	-	-
TOTAIS	314,0	312,6	313,3	100	399	-	-	-	-
MÓDULO DE FINURA:	2,99								



Dimensão máx. característica (NBR 7211): 4,8 mm

Teor de material pulverulento (NBR NM 46): 3,8 %

Cesar Malheiros

Auxiliar de Laboratório



Denilson Pereira Rocha

Eng. Civil / Chefe do Lab. de Materiais

CREA 20459/D-GO



Franklin Caires Santos

Engenheiro Civil

CREA 1013703430/D-GO

ANEXO C – Composição Granulométrica de Agregado Graúdo (Brita 0)

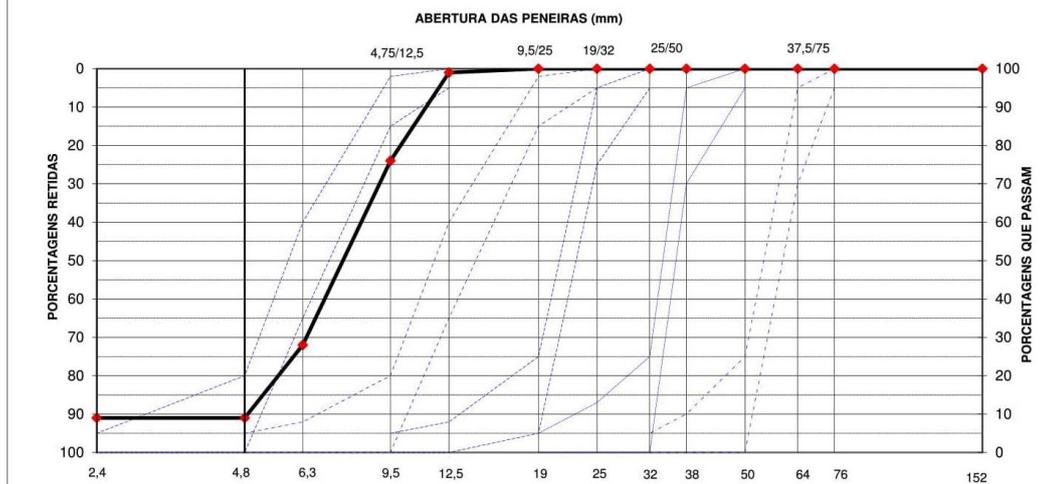
 CARLOS CAMPOS <small>CONSULTORIA E CONSTRUÇÕES LIMITADA</small> <small>DESDE 1973</small>	Relatório de Ensaio	Revisão 00
--	----------------------------	------------

Página 1/1

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADO GRAÚDO NBR NM 248

Interessado: Pedreira Anhanguera S A Empresa de Mineração **Relatório nº:** 724-2/16
Procedência: Pedreira Anhanguera **Data de realização do ensaio:** 21/06/2016
Material: Brita 0 linha 1 **Data de emissão desse relatório:** 24/06/2016

ABERTURA DAS PENEIRAS		PORCENTAGENS RETIDAS									
		ENSAIO					LIMITES RECOMENDADOS - NBR 7211 (ACUMULADAS)				
mm	ASTM	Pesos(g)	Pesos(g)	Pesos médios (g)	Simples	Acumuladas	4,8 / 12,5	9,5 / 25	19 / 32	25 / 50	37,5 / 75
152	6"	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-
76	3"	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0-5
64	2 1/2"	0	0	0	0	0	-	-	-	-	5-30
50	2"	0,0	0,0	0,0	0	0	-	-	-	0-5	75-100
38	1 1/2"	0,0	0,0	0,0	0	0	-	-	-	5-30	90-100
32	1 1/4"	0,0	0,0	0,0	0	0	-	-	0-5	75-100	95-100
25	1"	0,0	0,0	0,0	0	0	-	0-5	5-25	87-100	-
19	3/4"	0,0	0,0	0,0	0	0	-	2-15	65-95	95-100	-
12,5	1/2"	13,4	15,6	14,5	1	1	0-5	40-65	92-100	-	-
9,5	3/8"	623,8	666,6	645,2	23	24	2-15	80-100	95-100	-	-
6,3	1/4"	1313,6	1432,7	1373,2	48	72	40-65	92-100	-	-	-
4,8	4	528,7	573,6	551,2	19	91	80-100	95-100	-	-	-
2,4	8	0,0	0,0	0,0	0	91	95-100	-	-	-	-
PRATO		259,5	283,2	271,4	9	400	-	-	-	-	-
TOTAIS		2739,0	2971,7	2855,4	100	679	-	-	-	-	-



Romário da Silva

Auxiliar de Laboratório



Denilson Pereira Rocha
Eng. Civil / Chefe do Lab. de Materiais
CREA 20459/D-GO



Franklin Caires Santos
Engenheiro Civil
CREA 1013703430/D-GO

ANEXO D – Composição Granulométrica de Agregado Graúdo (Brita 1)

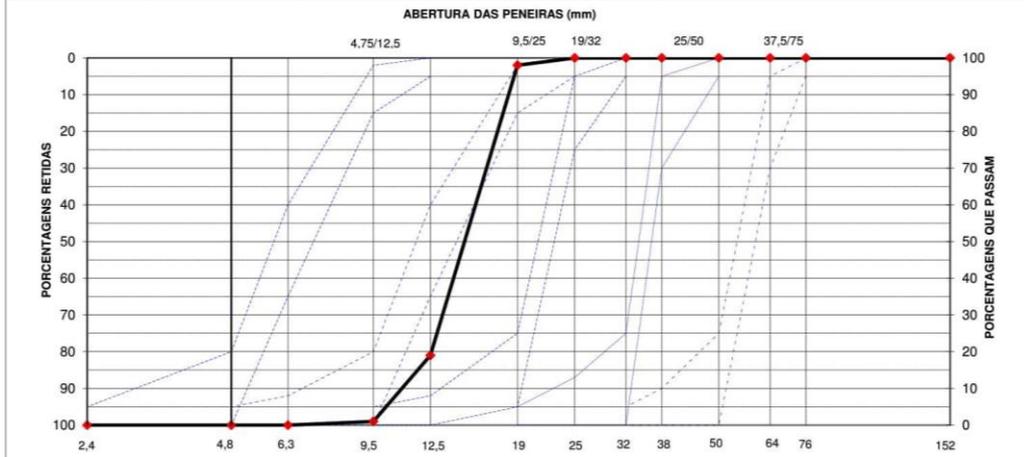
 CARLOS CAMPOS <small>CONSULTORIA E CONSTRUÇÕES LIMITADA ESTAB. 1973</small>	Relatório de Ensaio	Revisão 00
---	---------------------	------------

Página 1/1

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADO GRAÚDO NBR NM 248

Interessado: Pedreira Anhanguera S A Empresa de Mineração **Relatório nº:** 724-3/16
Procedência: Pedreira Anhanguera **Data de realização do ensaio:** 22/06/2016
Material: Brita 1 linha 1 **Data de emissão desse relatório:** 24/06/2016

ABERTURA DAS PENEIRAS		ENSAIO					LIMITES RECOMENDADOS - NBR 7211 (ACUMULADAS)				
mm	ASTM	Pesos(g)	Pesos(g)	Pesos médios (g)	Simples	Acumuladas	4,8 / 12,5	9,5 / 25	19 / 32	25 / 50	37,5 / 75
152	6"	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-
75	3"	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0-5
64	2 1/2"	0	0	0	0	0	-	-	-	-	5-30
50	2"	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0-5
38	1 1/2"	0	0	0	0	0	-	-	-	-	5-30
32	1 1/4"	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0-5
25	1"	0,0	0,0	0	0	0	-	0-5	5-25	-	87-100
19	3/4"	110,8	83,9	97,4	2	2	-	2-15	65-95	-	95-100
12,5	1/2"	4336,7	4456,6	4396,7	79	81	0-5	40-65	92-100	-	-
9,5	3/8"	987,3	956,3	971,8	18	99	2-15	80-100	95-100	-	-
6,3	1/4"	44,1	69,8	57,0	1	100	40-65	92-100	-	-	-
4,8	4	0,0	0,0	0,0	0	100	80-100	95-100	-	-	-
2,4	8	0,0	0,0	0,0	0	100	95-100	-	-	-	-
PRATO		25,3	26,1	25,7	0	400	-	-	-	-	-
TOTAIS		5504,2	5592,7	5548,5	100	882	-	-	-	-	-



Dimensão máxima característica (NBR 7211): 19,0 mm
 Módulo de finura (NBR 7211): 7,01
 Teor de material pulverulento (NBR NM 46): 0,3 %

Darleson Neves
Auxiliar de Laboratório


 Denilson Pereira Rocha
 Eng. Civil / Chefe do Lab. de Materiais
 CREA 20459/D-GO


 Franklin Caires Santos
 Engenheiro Civil
 CREA 1013703430/D-GO

Av. São Francisco nº 473 – Setor Santa Geneveva, Goiânia - GO, CEP: 74670-010, Fone: (62) 3204-2525 - www.carloscampos.com.br

Fonte: Carlos Campos, 2016.