



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO ENGENHARIA CIVIL

MELISSA BORGES DE OLIVEIRA MARQUES

**CURA SECA, CURA ÚMIDA, CURA TÉRMICA: AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

Mossoró/RN

2017.2

MELISSA BORGES DE OLIVEIRA MARQUES

**CURA SECA, CURA ÚMIDA, CURA TÉRMICA: AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

Trabalho Final de Graduação apresentado ao Conselho do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial para a obtenção do Título Graduada em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Francisco Jordão Nunes de Lima.

Mossoró/RN
2017.2

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M357c Marques, Melissa Borges de Oliveira.

CURA SECA, CURA ÚMIDA, CURA TÉRMICA: AVALIAÇÃO
DA EFICIÊNCIA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO

CONCRETO / Melissa Borges de Oliveira Marques. -
2018.

63 f. : il.

Orientador: Francisco Jordão Nunes de Lima.
Monografia (graduação) - Universidade Federal

Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. concreto. 2. durabilidade. 3. qualidade. 4.
processo produtivo. I. Nunes de Lima, Francisco
Jordão, orient. II. Título.

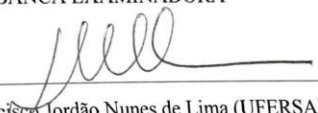
MELISSA BORGES DE OLIVEIRA MARQUES

**CURA SECA, CURA ÚMIDA, CURA TÉRMICA: AVALIAÇÃO DA
EFICIÊNCIA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Centro de Engenharias para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

APROVADA EM: 17/04/2018

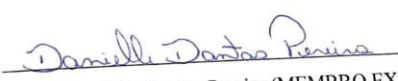
BANCA EXAMINADORA



Prof. Francisco Jordão Nunes de Lima (UFERSA)
Presidente



Profª. Dra. Auristela Crisanto da Cunha (UFERSA)
Primeiro Membro



Eng. Civil Danielle Dantas Pereira (MEMBRO EXTERNO)
Segundo Membro

RESUMO

O concreto pode ser utilizado na construção civil para fins estruturais, de vedação, fundação, entre outros. Com o passar do tempo novas tecnologias surgiram e somados as exigências no padrão da qualidade de estruturas, motivou o desenvolvimento de novas pesquisas com objetivo de desenvolver métodos, procedimentos e materiais inovadores que configurem melhorias na durabilidade e nas propriedades mecânicas do concreto. Dentre alguns cuidados que necessitam ser empregados para assegurar a resistência e a durabilidade do concreto, está a cura, conhecida como o conjunto de medidas que tem por finalidade evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento. Este estudo analisa a resistência à compressão axial de concretos quando curados ao ar, por submersão em água e termicamente. Para as empresas que trabalham com pré-moldados, por necessitarem de grandes áreas de estocagem, considerável quantidade de formas, equipamentos e agilidade no processo produtivo, a cura úmida aos vinte e oito dias torna-se algo indesejável a produção. Em vista disso, e graças às inovações das pesquisas, surge a cura térmica, que tem como finalidade principal acelerar o processo de cura do concreto alcançando uma resistência mínima desejada em um curto período. Uma alternativa mais simples, barata e menos laboriosa seria a cura ao ar ou cura seca. Entretanto, a grande desvantagem é perda de resistência a compressão. O concreto desta pesquisa utilizou o traço (1:2:3) com relação de água-cimento ($a/c = 0,65$). Foram realizados os ensaios do concreto: no estado fresco – abatimento do tronco de cone e massa específica – no estado endurecido – resistência à compressão, velocidade de propagação do pulso ultrassônico, absorção e porosidade. O valor de massa específica foi de $2.401,25 \text{ kg/m}^3$ e abatimento de 14 cm. A resistência à compressão aos 28 dias dos concretos com cura seca, úmida e térmica, foram: 14,54 MPa, 16,79 MPa e 16,81 MPa, respectivamente.

Palavras Chaves: concreto. durabilidade. qualidade. processo produtivo.

ABSTRACT

Concrete can be used in civil construction for structural purposes, sealing, foundation, among others. Over time, new technologies have emerged and added to the requirements of the standard of quality of structures, motivated the development of new researches with the objective of developing innovative methods, procedures and materials that configure improvements in the durability and mechanical properties of concrete. Among some of the care that needs to be employed to ensure the strength and durability of the concrete is the cure, known as the set of measures that is to avoid the premature evaporation of the water necessary for the hydration of the cement. This study analyzes the axial compressive strength of concrete when cured in air, by submersion in water and thermally. For companies that work with precast, because they need large areas of storage, considerable amount of shapes, equipment and agility in the production process, humid curing at twenty-eight days becomes undesirable production. In view of this, and thanks to the innovations of the researches, the thermal cure arises, whose main purpose is to accelerate the curing process of the concrete, reaching a desired minimum resistance in a short period. A simpler, cheaper and less laborious alternative would be curing in the air or curing dry. However, the major drawback is loss of compressive strength. The concrete of this research used the trace (1: 2: 3) with water-cement ratio ($a / c = 0.65$). The concrete tests were carried out: in the fresh state - reduction of the cone trunk and specific mass - in the hardened state - compressive strength, ultrasonic pulse propagation velocity, absorption and porosity. The specific mass value was 2,401,25 kg / m³ and a reduction of 14 cm. The compressive strength at 28 days of concrete with dry, wet and thermal curing were: 14.54 MPa, 16.79 MPa and 16.81 MPa, respectively.

Keywords: concrete. durability. quality. productive process.

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo Sávio e aos meus filhos Erick e Arthur.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ricardo e Lucinha que sempre estiveram ao meu lado dando força, suporte, perseverança. Ao meu marido, Sávio Augusto, por ter sido paciente todos esses anos me dando força e sempre com pensamentos positivos. Aos meus filhos, Erick e Arthur que sempre foram compreensivos e pacientes.

Ao meu orientador, Prof. Francisco Jordão, por todo o conhecimento repassado que serviram de base para a concretização desta pesquisa, além da amizade e companheirismo.

Aos técnicos e monitores do Laboratório de Ensaios e Materiais de Construção da UFERSA, Laboratório de Materiais de Construção do IFRN, destacando a técnica Rudna, por tudo suporte, disponibilidade de tempo ao longo desta pesquisa.

A minha amiga Erika Katiusia por sempre me dizer que ia dar certo.

As minhas irmãs, Camila, Priscila e Marcela, que mesmo de longe sempre torceram por mim.

A todos que contribuíram e ajudaram, direta ou indiretamente, para a realização desta pesquisa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a) cal, (b) cimento Portland e (c) resina epóxi.	4
Figura 2: Agregado miúdo: areia.	9
Figura 3: Agregado graúdo: brita granítica.	10
Figura 4: Hidrelétrica Três Gargantas (China).	11
Figura 5: Hidrelétrica Itaipu (Brasil - Paraguai).	12
Figura 6: Ciclo de cura térmica.	18
Figura 7: Fluxograma de realização dos ensaios.	20
Figura 8: Frasco e tampa.	21
Figura 9: Retifica.	28
Figura 10: Prensa hidráulica modelo EMIC.	28
Figura 11: Aparelho de ultrassom modelo Pundit Lab, da PROCEQ.	29
Figura 12: Tipos de leitura da velocidade do pulso de ultrassom em (a) direta, (b) semidireta e em (c) indireta.	30
Figura 13: Curva granulométrica do agregado miúdo (areia).	34
Figura 14: Curva granulométrica do agregado graúdo (brita).	36
Figura 15: Abatimento do tronco de cone.	37
Figura 16: Gráfico comparativo das resistências à compressão das curas seca, úmida e térmica.	39
Figura 17: Microestrutura do concreto (a) curado por submersão em água e (b) curado termicamente.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química do cimento.....	5
Tabela 2: Tipos de cimentos, suas composições e normas regulamentadoras.	7
Tabela 3: Granulometria da brita.....	10
Tabela 4: Classes de resistências de concretos estruturais.	14
Tabela 5: Classes de consistências	14
Tabela 6: Quantidade mínima de cp's por ensaios.....	24
Tabela 7: Quantidade de materiais para o traço 1:2:3:0,65.	25
Tabela 8: Qualidade do concreto em função da velocidade de propagação do pulso ultrassônico.....	31
Tabela 9: Resultado do ensaio de granulometria do agregado miúdo (areia).....	33
Tabela 10: Resultado das massas específica e unitária do agregado miúdo (areia).	34
Tabela 11: Resultado do ensaio de granulometria do agregado graúdo (brita).	35
Tabela 12: Massa específica, massa unitária e índice de forma do agregado graúdo (brita granítica).	36
Tabela 13: Resultados dos ensaios de resistência à compressão.	38
Tabela 14: Velocidade de propagação do pulso ultrassônico no concreto com cura seca.	40
Tabela 15: Velocidade de propagação do pulso ultrassônico no concreto com cura úmida.	40
Tabela 16: Velocidade de propagação do pulso ultrassônico no concreto com cura térmica.	41
Tabela 17: Resultados dos ensaios de Absorção e Porosidade.....	42

LISTA DE ABREVIATÖES

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland;
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ACI – “American Concrete Institute”;
 Al_2O_3 – Alumina;
CaO – Óxido de Cálcio;
Cl – Cloro;
CP – Cimento Portland;
cp’s – corpos de prova;
 Fe_2O_3 – Óxido Férrico;
IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto;
 K_2O – Óxido de Potássio;
MgO – Óxido de Magnésio;
MPa – Mega pascal;
 Na_2O – Óxido de Sódio;
NBR – Norma Brasileira Registrada no INMETRO;
NM – Norma Merconsul;
 SiO_2 – Sílica;
 SO_3 – Anidrido Sulfúrico;
UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo geral	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
1.2. PROBLEMA	2
2. REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1. AGLOMERANTE	4
2.2. CIMENTO PORTLAND	4
2.2.1. Composição química do cimento e potencial	5
2.2.2. Hidratação do cimento Portland.....	6
2.2.3. Tipos de Cimento.....	6
2.3. AGREGADOS	9
2.3.1 Agregados miúdos	9
2.3.2. Agregados graúdos.....	10
2.4. CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	11
2.4.1. Classificação dos concretos.....	13
2.5. CURA DO CONCRETO	14
2.5.1. Cura seca.....	15
2.5.2. Cura úmida	15
2.5.3. Cura térmica.....	16
2.5.4 Efeitos da cura térmica no concreto	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	20
3.1.1. Caracterização do agregado miúdo	20
3.1.2. Caracterização do agregado graúdo.....	23
3.1.3. Cimento	23
3.2. PRODUÇÃO DO CONCRETO.....	24
3.2.1. Escolha do traço de concreto.....	24
3.2.2. Cálculo da quantidade de materiais	24
3.2.3. Produção dos corpos de prova	25

3.3. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	26
3.4. PROCEDIMENTO DE CURA	26
3.4.1. Cura seca	26
3.4.2. Cura úmida	27
3.4.3. Cura Térmica	27
3.5. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	28
3.5.1. Ensaio de resistência a compressão axial	28
3.5.2. Ensaio de ultrassom	29
3.5.3. Ensaio de absorção e porosidade	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MÍUDO	33
4.1.1. Análise granulométrica	33
4.1.2. Massa específica e massa unitária	34
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO	35
4.2.1. Análise granulométrica	35
4.2.2. Massa específica e massa unitária e índice de forma	36
4.3. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	37
4.3.1. <i>Slump Test</i> e massa específica	37
4.4.1. Ensaio de resistência a compressão	37
4.4.2. Ensaio de ultrassom	40
4.4.3. Absorção e porosidade	42
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

Por muito tempo o concreto ficou conhecido basicamente como uma mistura de cimento, agregado graúdo (brita), agregado miúdo (areia) e água, ou seja, concreto convencional, sem muitas alterações em suas propriedades mecânicas (MORAVIA, 2007). Além disso, tornou-se o material mais utilizado na construção civil.

Com o passar do tempo, as exigências no padrão de qualidade de estruturas, motivou o desenvolvimento de novas pesquisas com objetivo de desenvolver métodos, procedimentos e materiais inovadores que configurem melhorias na durabilidade e nas propriedades mecânicas do concreto.

Dentre alguns cuidados que necessitam ser empregados para assegurar a resistência e a durabilidade do concreto, está a cura, 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. (PHILIPPSEN; SHIMOSAKA, 2014). O procedimento de cura tem papel importante na qualificação do concreto, visto que, ao inibir a saída de água para o meio externo, permite que a dosagem seja cumprida e, como consequência, o cimento é hidratado quase que em sua totalidade. Assim, o concreto obtido apresentará uma microestrutura menos porosa, mais resistente durável, pois ataques de fluidos nocivos se manifestam através de efeitos físicos, como no aumento da porosidade, permeabilidade e fissuração (MEHTA; MONTEIRO, 1994). O procedimento de cura mais usual é a cura úmida, que consiste em saturar o concreto com água por um período mínimo de vinte e oito dias.

As empresas que trabalham com pré-moldados por necessitarem de grandes áreas de estocagem, considerável quantidade de formas e equipamentos e agilidade no processo produtivo, a cura úmida, aos vinte e oito dias torna-se algo indesejável à produção. Em vista disso, e graças as inovações das pesquisas, surge a cura térmica, que tem como objetivo principal acelerar o processo de cura do concreto alcançando uma resistência mínima desejada em um curto período de tempo (FÜCHTER & GODINHO, 2016). A cura térmica pode ser a solução para essas empresas de pré-moldados, mas devido ao seu procedimento é necessária uma estrutura grandiosa, e isso pode acarretar um custo muito alto. Uma alternativa mais simples, barata e menos laboriosa seria a cura ao ar ou cura seca.

A cura ao ar livre consiste em expor o concreto, imediatamente após ser desmoldado, a intemperismos físicos e químicos, sem choques ou esforços que o

comprometam, sem nenhum tipo de mecanismo de proteção contra a retração, perda de umidade e controle de temperatura (DINIZ, *et al* 2015). A grande desvantagem deste método está no fato de que o concreto irá perder parte da água da mistura necessária a reação de hidratação da pasta de cimento e, conseqüentemente, baixo desenvolvimento da resistência à compressão.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a resistência à compressão do concreto convencional nas idades de 3, 7 e 28 dias quando utilizado a cura úmida, seca e térmica.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar estudos sobre a temática;
- Realizar a caracterização dos materiais;
- Produzir traços de concreto convencional;
- Realizar ensaios do estado fresco dos concretos produzidos: *slump test* e massa específica;
- Realizar ensaios do estado endurecido dos concretos produzidos: absorção e porosidade, velocidade de pulso ultrassônico e resistência à compressão nas idades (3,7 e 28 dias);
- Comparar os resultados obtidos em os concretos produzidos.

1.2. PROBLEMA

O concreto convencional ainda é o mais utilizado na construção civil desde o seu descobrimento, apresenta propriedades satisfatórias para as funções que lhe forem designadas e somadas às diversas pesquisas. Enquanto isso, nos últimos anos, tem-se buscado novas tecnologias de concreto a fim de melhorias quanto às suas propriedades mecânicas, desempenho e durabilidade. Dentre essas novas tecnologias daremos destaque especial aos diversos processos de cura e sua importância ao concreto, a saber, cura úmida, cura seca e cura térmica.

A cura, seja qual for o tipo, é um processo de inquestionável importância na concretagem de qualquer elemento estrutural, pois auxilia na hidratação do concreto impedindo a evaporação da água utilizada no amassamento do concreto (JÚNIOR & JÚNIOR, 2013). Entende-se por cura do concreto o início das reações de hidratação do concreto e consequentemente seu endurecimento, processo também chamado de hidratação do cimento. No entanto, podemos definir a cura do concreto como um conjunto de operações ou procedimentos realizados imediatamente a produção do concreto, a fim de evitar a evaporação precoce da água presente na mistura (VAZ & SILVA, 2016).

Diante deste contexto, esta pesquisa pretende estudar e analisar a influência do tipo de cura sobre a resistência a compressão. Pretende-se responder a seguinte questão *“Qual destes métodos de cura é o mais eficiente? Qual deles alia melhor custo, tempo e qualidade?”*.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. AGLOMERANTE

Aglomerante é o material ativo, ligante, em geral pulverulento, cuja principal função é formar uma pasta que promove a união entre os grãos do agregado. São utilizados na obtenção das argamassas e concretos, na forma da própria pasta e na confecção de natas (ARAÚJO *et al*, 2000).

Os aglomerantes podem ser classificados, quanto ao seu princípio ativo, em:

- Aéreos: são os aglomerantes que endurecem pela ação química do CO₂ no ar, como por exemplo, a cal aérea (Figura 1(a))
- Hidráulicos: são os aglomerantes que endurecem pela ação exclusiva da água, por meio das reações de hidratação como, por exemplo, a cal hidráulica, o cimento Portland (Figura 1(b)), etc.
- Poliméricos: são os aglomerantes que tem reação devido a polimerização de uma matriz, por exemplo, resinas epóxi (Figura 1(c)).



Figura 1: (a) cal, (b) cimento Portland e (c) resina epóxi.

Fonte: Google imagens.

2.2. CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland foi criado por um construtor inglês, Joseph Aspdin que o patenteou em 1824. Nessa época, era comum na Inglaterra construir com pedra de Portland de uma ilha situada ao sul do país. Como o resultado da invenção de Aspdin se assemelhava na cor e na dureza a essa pedra de Portland, ele registrou esse nome em sua patente. É por isso que o cimento é chamado **cimento Portland** (ABCP, 2002).

Cimento é uma mistura finamente moída de compostos inorgânicos calcinados (calcário, argila) que, quando combinado com água, endurece e por isso classificado como aglomerante hidráulico. As reações químicas entre os minerais do cimento e a água (reações de hidratação) resultam na pasta que se solidificará com o tempo (IBRACON, 2009).

A combinação do cimento Portland com materiais de diferentes naturezas como areia, pedra, cal, aditivo e outros, resulta na formação de pastas, argamassas e concretos usados na construção de edifícios, pontes, barragens etc. As características e propriedades dessas argamassas e concretos dependem da qualidade e da proporção dos materiais constituintes, principalmente o cimento Portland (FONSECA, 2010).

2.2.1. Composição química do cimento e potencial

Basicamente o cimento é formado por álcalis, ou seja, uma mistura de argila e calcário – rocha de carbonato de cálcio. Mais especificamente, na composição dos cimentos mais comuns contém Óxido de Cálcio (CaO), Sílica (SiO₂), Alumina (Al₂O₃), Óxido férrico (Fe₂O₃), Anidrido sulfúrico (SO₃), Óxido de magnésio (MgO), Óxido de potássio (K₂O) e Óxido de sódio (Na₂O) e Cloro (Cl) (SCHLOTTFELDT, 2012).

Segundo Mehta e Monteiro (2006), embora cimento Portland consiste essencialmente de vários compostos de cálcio, os resultados das análises químicas de rotina são relatados em termos de óxidos dos elementos presentes. Além disso é habitual expressar os óxidos e individuais compostos de clínquer, utilizando as abreviaturas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química do cimento.

ÓXIDO	ABREVIACÃO
CaO	C
SiO ₂	S
Al ₂ O ₃	A
Fe ₂ O ₃	F
MgO	M
SO ₃	S
H ₂ O	H

Fonte: Mehta e Monteiro (2006).

2.2.2. Hidratação do cimento Portland

A hidratação do cimento Portland evolui com o tempo, tendo aos 28 dias de cura cerca de 70 a 80% de grau de hidratação e praticamente se completando aos 365 dias. O processo de hidratação depende do tipo e da finura do cimento, da relação água/cimento, da temperatura de cura e da presença de aditivos químicos e minerais. Basicamente, a reação de hidratação consiste na formação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H), aluminato de cálcio hidratado, etringita, monosulfaluminato de cálcio hidratado e do hidróxido de cálcio, a partir da reação dos compostos do cimento (C_2S , C_3S , C_3A e C_4AF) com a água (GONÇALVES, FILHO & FAIRBAIRN, 2006).

Quando o clínquer é colocado em contato com água ocorrem diversas reações químicas que dão origem a numerosas fases de hidratação cada uma com velocidades distintas. O sulfato de cálcio na forma de gipsita é adicionado ao clínquer para controlar a pega imediata, que ao reagir com os aluminatos origina a etringita na forma de pequenas agulhas prismáticas responsáveis pela redução da velocidade de hidratação dos aluminatos (SENFF, FOLGUERAS & HOTZA, 2005).

2.2.3. Tipos de Cimento

O mercado nacional dispõe de várias opções que atendem com igual desempenho aos mais variados tipos de obras. Os principais tipos são: cimento Portland comum; cimento Portland composto, cimento Portland de alto-forno, cimento Portland pozolânico, cimento Portland de alta resistência inicial entre outros produzidos em escalas menores (ABCP, 2002). A Tabela 2 apresenta resumidamente os principais tipos de cimentos, suas composições e normas regulamentadoras.

Os vários tipos de cimento normalizados são designados pela sigla e pela classe de resistência. As siglas correspondem ao prefixo CP acrescido dos algarismos romanos de I a V, conforme o tipo do cimento, sendo as classes indicadas pelos números 25, 32 e 40. As classes de resistência apontam os valores mínimos de resistência à compressão garantida pelo fabricante, após 28 dias de cura (ABCP, 2002).

Tabela 2: Tipos de cimentos, suas composições e normas regulamentadoras.

TIPO DE CIMENTO	SIGLA	COMPOSIÇÃO (% MASSA)				NORMA
		CLÍNQUER + GESSO	ESCÓRIA DE ALTO FORNO	POZOLÂNICO	FÍLER	
COMUM	CP I	100	-	-	-	NBR 5732
	CP I-S	99-95	-	1-5	-	
COMPOSTO	CP II-E	94-96	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	
ALTO FORNO	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
POZOLOÂNICO	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
ALTA RESISTÊNCIA INICIAL	CP V-ARI	100-95	-	-	0-5	NBR 5733
PORTLAND BRANCO	CPB	100-75	-	-	0-25	NBR 12989
BRANCO NÃO ESTRUTUAL		74-50	-	-	26-50	

Fonte: ABCP, 2002.

Cimento Portland Comum (CP I) é um tipo de cimento portland sem quaisquer adições além do gesso, utilizado como retardador da pega, é muito adequado para o uso em construções de concreto em geral quando não há exposição a sulfatos do solo ou de águas subterrâneas. O Cimento Portland comum é usado em serviços de construção em geral, quando não são exigidas propriedades especiais do cimento.

Cimento Portland Comum com Adição (CP I-S) possui 5% de material pozolânico em massa, recomendado para construções em geral, com as mesmas características.

Cimento Portland Composto com Escória (CP II-E) tem composição intermediária entre o cimento portland comum e o cimento portland com adições (alto-forno e pozolânico). Este cimento combina com bons resultados o baixo calor de hidratação com o aumento de resistência do Cimento Portland Comum. Recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacadas por sulfatos.

Cimento Portland Composto com Pozolana (CP II-Z) é empregado em obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais. E para produção de argamassas, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. O concreto feito com este produto é mais impermeável e por isso mais durável.

Cimento Portland Composto com Fíler (CP II-F) pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados e artefatos de concreto, pisos e pavimentos de concreto, solo-cimento, dentre outros.

Cimento Portland de Alto-Forno (CP III) apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação, assim como alta resistência à expansão

devido à reação álcali-agregado, além de ser resistente a sulfatos. É um cimento que pode ter aplicação geral em argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, de concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro e outras. Mas é particularmente vantajoso em obras de concreto-massa, tais como barragens, peças de grandes dimensões, fundações de máquinas, pilares, obras em ambientes agressivos, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, esgotos e efluentes industriais, concretos com agregados reativos, pilares de pontes ou obras submersas, pavimentação de estradas e pistas de aeroportos.

Cimento Portland Pozolânico (CP IV) é especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos. O concreto feito com este produto se torna mais impermeável, mais durável, apresentando resistência mecânica à compressão superior à do concreto feito com Cimento Portland Comum, a idades avançadas. Apresenta características particulares que favorecem sua aplicação em casos de grande volume de concreto devido ao baixo calor de hidratação.

Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) é recomendado no preparo de concreto e argamassa para produção de artefatos de cimento em indústrias de médio e pequeno porte, como fábricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, mourões, postes, elementos arquitetônicos pré-moldados e pré-fabricados. Pode ser utilizado no preparo de concreto e argamassa em obras desde as pequenas construções até as edificações de maior porte, e em todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada e desforma rápida. O desenvolvimento dessa propriedade é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, e pela moagem mais fina do cimento. Assim, ao reagir com a água o CP V ARI adquire elevadas resistências, com maior velocidade.

Cimento Portland Branco (CPB) se diferencia por coloração, e está classificado em dois subtipos: estrutural e não estrutural. O estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, com classes de resistência 25, 32 e 40, similares aos demais tipos de cimento. Já o não estrutural não tem indicações de classe e é aplicado, por exemplo, em rejuntamento de azulejos e em aplicações não estruturais. Pode ser utilizado nas mesmas aplicações do cimento cinza. A cor branca é obtida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês, em condições especiais durante a fabricação, tais como resfriamento e moagem do produto e, principalmente, utilizando o caulim no lugar da argila. O índice de brancura deve ser

maior que 78%. Adequado aos projetos arquitetônicos mais ousados, o cimento branco oferece a possibilidade de escolha de cores, uma vez que pode ser associado a pigmentos coloridos.

2.3. AGREGADOS

Segundo Petrucci (1998), os agregados são materiais granulares sem forma e volume definidos, geralmente inertes e com dimensões e propriedades adequadas para o uso na construção civil.

São classificados segundo a origem (naturais ou industrializados), as dimensões (miúdo e graúdo) e o peso específico aparente (leves, médios e pesados). A maioria dos agregados naturais, tais como areia e pedregulho têm massa unitária entre 1520 e 1680 kg/m³ e produzem concretos normais com aproximadamente 2400 kg/m³ de massa específica. Para fins especiais, agregados mais leves, cuja massa unitária é menor que 1120 kg/m³, ou mais pesados podem ser usados para produzirem, respectivamente, concretos leves e pesados (METHA & MONTEIRO, 2008).

2.3.1 Agregados miúdos

Agregados para construção civil são materiais minerais, sólidos inertes que, de acordo com granulometrias adequadas, são utilizados para fabricação de produtos artificiais resistentes mediante a mistura com materiais aglomerantes de ativação hidráulica ou com ligantes betuminosos.

A norma NBR 7211 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Dessa forma, define areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira com abertura de 4,8 mm e ficam retidos na peneira de abertura 0,075 mm.



Figura 2: Agregado miúdo: areia.

Fonte: Google imagens.

2.3.2. Agregados graúdos

Agregado graúdo (Figura 3) é definido pela norma da ABNT NBR 7211 como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm. O rachão beneficiado define-se como o material obtido diretamente do britador primário e que é retido na peneira de 76 mm.



Figura 3: Agregado graúdo: brita granítica.

Fonte: Google imagens.

Segundo a NBR 7211, os diferentes tipos de brita são classificados de acordo com a sua granulometria, ou seja, o tamanho dos grãos. Assim, tem-se o pó de brita, a brita 0, a brita 1, a brita 2, a brita 3 e a brita 4 e suas respectivas granulometrias apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Granulometria da brita.

Tipos	Dimensões (mm)
Brita 0	4,8 a 9,5
Brita 1	9,5 a 19,0
Brita 2	19,0 a 38,0
Brita 3	38,0 a 50,0

Fonte: Autora (2018).

Cada um desses tipos tem uma função específica na construção civil, seja para fabricação de concreto, pavimentação, construção de edificações ou de grandes obras, como ferrovias, túneis e barragens. as características mais importantes de cada um dos tipos de brita são: a resistência mecânica, a distribuição granulométrica da rocha e a

quantidade de pó. As características mais importantes de cada um dos tipos de brita são: a resistência mecânica, a distribuição granulométrica da rocha e a quantidade de pó.

2.4. CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Pode-se afirmar que o concreto é uma pedra artificial que se molda à inventividade construtiva do homem. Este foi capaz de desenvolver um material que, depois de endurecido, tem resistência similar às das rochas naturais e, quando no estado fresco, é composto plástico: possibilita sua modelagem em formas e tamanhos os mais variados, portanto, concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento. Estima-se que aproximadamente, um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. No Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos (IBRACON, 2009)

A hidrelétrica Três Gargantas (Figura 4) levou a construção em concreto a um novo patamar. A hidrelétrica tem 180 m de altura e 2 km de extensão, sendo que a maior parte do concreto está em sua base. Usou 10 vezes mais concreto que a hidrelétrica Hoover. Por isso, os engenheiros responsáveis tiveram que usar todos os recursos disponíveis para manter a hidrelétrica resfriada. Resfriaram os agregados, os materiais e a areia antes de coloca-los na mistura, adicionando gelo, além de um sistema de spray de névoa para bloquear a radiação solar, impedindo-a de se acumular dentro da hidrelétrica. Dessa forma, evitou-se o superaquecimento do concreto.



Figura 4: Hidrelétrica Três Gargantas (China).

Fonte: Google imagens.

Também é importante ressaltar a construção da hidrelétrica binacional de Itaipu (Figura 5) que consumiu 12,7 milhões de m³ de concreto, volume suficiente para construir 210 estádios de futebol como o Maracanã, no Rio de Janeiro.

A concretagem ocorreu numa velocidade incomum. Em um único dia, o volume de concreto lançado chegou a 15 mil metros cúbicos e, em um mês, 340 mil m³. Durante a construção, foram implantadas quatro centrais de britagem, duas em cada margem, para produção de agregados, com capacidade total de 2.430 toneladas/hora, e seis centrais de concreto, com capacidade de 180 metros cúbicos/hora cada. Para o transporte e lançamento de concreto foram instaladas duas monovias com capacidade de 900 metros cúbicos/hora, sete cabos aéreos e 13 guindastes de torre (ITAIPU BINACIONAL, 2010).



Figura 5: Hidrelétrica Itaipu (Brasil - Paraguai).

Fonte: Google imagens.

O concreto é composto basicamente por aglomerantes, agregados graúdos e miúdos e água, podendo também ser adicionados outros materiais que confirmem melhorias ou acrescentem novas características, chamados de aditivos e adições, respectivamente. No Brasil, em geral, é utilizado como aglomerante o cimento Portland, como agregado graúdo a pedra britada e como agregado miúdo a areia de leito de rio. (SILVA, et al 2012)

Apesar do uso intenso, em obras da construção civil, o concreto não deixa de apresentar algumas deficiências importantes que justificam o surgimento de novos concretos. As principais deficiências que os concretos convencionais apresentam são: baixa relação resistência-peso, dificuldade de preencher peças esbeltas muito armadas,

retração plástica, baixa ductilidade e permeabilidade em ambientes úmidos, além do problema da geração de entulhos de construção que contribui com o impacto ambiental. (WATANABE, 2008).

Obter um concreto resistente, durável, econômico e de bom aspecto, deve-se estudar: as propriedades de cada um dos materiais componentes; as propriedades e os fatores que podem alterá-las; a proporcionalidade correta e execução cuidadosa da mistura, o concreto deve ser transportado, lançados nas fôrmas e adensado corretamente; cura cuidadosa, a hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo e é preciso que as condições ambientes favoreçam as reações que se processam. Desse modo, deve-se evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento. É o que se denomina cura do concreto; o modo de executar o controle do concreto durante a fabricação e após o endurecimento (COUTO *et al.*, 2013).

2.4.1. Classificação dos concretos

Os concretos podem ser classificados segundo a sua massa específica, grupo de resistência e grupo de consistência. Segundo Metha e Monteiro (2006) a classificação do concreto pela massa específica é:

- Concreto leve: com massa específica inferior a 1800 kg/m^3
- Concreto de peso normal: massa específica em torno de 2400 kg/m^3 , sendo o mais usado geralmente em peças estruturais.
- Concreto pesado: usado para proteção contra radiações, é um concreto produzido a partir de agregados de alta densidade e possuem massa específica, geralmente, superior a 3200 kg/m^3 .

Os concretos leves são obtidos quando produzidos com agregados de baixa densidade, como por exemplo, argila expandida, vermiculita, isopor, EVA entre outros. Já os concretos de peso normal produzidos com agregados de densidade normal sendo o mais usual a brita granítica. O concreto pesado é obtido quando usado agregados de densidade alta, como por exemplo, hematita, magnetita e a barita.

Com relação a resistência característica a compressão (f_{ck}) a NBR 8953/2015 classifica os concretos em estruturais e não-estruturais. Os concretos com resistências aos 28 dias inferior a 20 MPa são não-estruturais. Já os concretos estruturais dividem-se em dois grupos conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Classes de resistências de concretos estruturais.

Classe de resistência	Resistência característica a compressão	Classe de resistência	Resistência característica a compressão
GRUPO 1	(MPa)	GRUPO 1	(MPa)
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: NBR 8953/2015.

Por fim, os concretos são classificados por sua consistência no estado fresco, determinada a partir do ensaio de abatimento de tronco de cone pela NBR NM 67 de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5: Classes de consistências

Classe	Abatimento (mm)	Aplicações
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais, com lançamento bombeado do concreto
S220	$A \geq 220$	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

Fonte: NBR 8953/2015.

2.5. CURA DO CONCRETO

A cura é uma maneira adequada de manter o concreto hidratado nos seus primeiros dias, para que possa alcançar a resistência à compressão característica de projeto bem como excelente durabilidade. 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 (BARDELLA, BARBOSA e CAMARINI, 2005).

A cura deve iniciar imediatamente após a concretagem. A reação de hidratação do cimento só acontece na presença de água, e sem a cura ou o controle adequado da

hidratação do material cimentício, essa água pode ser evaporada ou perdida e consequentemente o concreto não terá as características físicas e mecânicas desejadas (DANTAS, 2013).

Quando se fala em cura do concreto a temperatura é um fator importante. Um aumento de temperatura age sobre as velocidades das reações químicas, que envolvem a pega e endurecimento do concreto exercendo uma função de catalisador na hidratação do cimento (ISERHARD, 2000). Outros fatores importantes são a velocidade do vento e a umidade do ar, elas contribuem diretamente na taxa de evaporação e perda de água do concreto, podendo resultar em fissuras e perda da durabilidade (DANTAS, 2013).

Cura do concreto são procedimentos que consistem em oferecer ao mesmo um ambiente favorável através da retenção e/ou fornecimento de umidade em temperaturas ideais ao desenvolvimento das reações de hidratação. Alguns dos tipos mais comuns de cura empregados na construção civil e que serão abordados nesta pesquisa são: cura seca, cura úmida, cura térmica.

2.5.1. Cura seca

Na cura ao ar ou cura seca do concreto não são tomados cuidados especiais para se evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento. Nesse caso os elementos são mantidos nas fôrmas e depois retirados e transportados para o setor de estocagem das fábricas de pré-moldados, de onde saem para a montagem da estrutura em canteiros de obras (BARDELLA; BARBOSA & CAMARINI, 2005).

Este procedimento pode trazer alguns efeitos danosos ao concreto, como problema de fissura causada por retração, a vantagem do método é de ser o mais simples e não demanda qualquer esforço (NEVILLE, 1997).

2.5.2. Cura úmida

Quando a água à temperatura ambiente, na forma líquida ou em vapor, é o agente que mantém o concreto saturado de forma direta, ou em molhagem direta (RECENA & PEREIRA, 2011), há o chamado processo de cura úmida. É necessário um cuidado especial com a qualidade da água utilizada em acordo com requisitos previstos na NBR 14931/2004.

Os tipos mais comuns de cura úmida são: manual, aspersão, represamento, submersão e a vapor. A aspersão, uma alternativa à manual que se utiliza de mangueiras e regadores, quando feita de maneira estacionária ou automática infere na constância que eleva a eficiência do processo, sem grande consumo de água (PIRES, 1999). O represamento é utilizado apenas em elementos de superfície (lajes e pavimentos) e refere-se ao processo de manter uma lâmina d'água represada na superfície com altura entre 2 a 3 centímetros. Deve haver um cuidado especial para garantir constante a altura da lâmina durante o período de cura. A submersão trata-se de uma maneira eficiente de realizar a cura úmida que acontece ao imergir elementos em um tanque com solução de água e cal. Assim como no represamento, a submersão também é considerada o método mais adequado em concretos com relação água/cimento baixa por envolver todo o elemento (NEVILLE, 1997).

Desse modo, a cura úmida é um meio efetivo de prevenir a fissuração prematura e desenvolvimento adequado das reações de hidratação nas primeiras idades. A manutenção da superfície do concreto saturada de água previne a sua difusão do interior para o meio ambiente e, portanto, impede o aparecimento de retração plástica ou retarda a retração hidráulica, fornecendo à microestrutura da pasta tempo suficiente para resistir aos esforços de tração dela provenientes.

2.5.3. Cura térmica

A cura térmica do concreto tem como objetivo principal tornar mais rápido o processo de cura dos concretos e obter uma resistência mecânica mínima desejada, em um curto período de tempo. A cura térmica é muito utilizada em empresas que trabalham com concreto pré-moldado, pois reduzindo o tempo de cura permite a utilização das fôrmas, leitos de protensão e equipamentos de cura a intervalos mais frequentes, reduzindo as áreas de estocagem e permitindo colocar peças em serviço em um período menor ao que se teria se fosse utilizada a cura convencional. (CAMARINI, 1995; HO et al., 2003; ERDEM et al., 2003). O estudo do método pode gerar uma evolução na indústria de pré-fabricados, pois esta técnica aumenta a resistência à compressão sem a necessidade de manter as peças concretadas em imersão. Porém, quando comparada com a cura normal (úmida) observa-se uma redução na resistência final. Essa redução provavelmente pode ser atribuída ao desenvolvimento de uma microestrutura modificada.

O estudo compreende o efeito da temperatura nas propriedades físicas do concreto. Para Isaia (2007), as elevações de temperatura decorrentes da hidratação do cimento tem maior ou menor influência nas peças dependendo da altura, intervalo de lançamento das camadas, tipo de fôrma e agregados. No processo de pré-fabricação são tomados cuidados até o final da concretagem até que a peça tenha resistência compatível para as suas demais etapas.

Procedimentos de cura térmica podem ser feitos a seco, empregando resistência elétrica nas peças ou nas fôrmas metálicas, utilizando mantas para aquecer as placas e por radiação infravermelha (NEVILLE, 2016).

Neville (2016) cita ainda o método de mistura quente, que consiste em aquecer o agregado e a água de amassamento ou injetando vapor na betoneira.

A cura a vapor na qual as peças são submetidas a um ambiente de vapor de água à temperatura de 70° C, sob pressão ou não, favorece extremamente o rápido endurecimento do concreto, que atinge, após 1 dia de cura, resistências que podem ser parecidas com àquelas desenvolvidas aos 28 dias, quando for utilizada cura úmida normal. Nos processos de fabricação seriada de peças pré-moldadas, nos quais o fator tempo é premente, a cura a vapor sob pressão é bastante usual, resultando, em geral, produtos de alta qualidade (BAUER, 1991).

A cura a vapor ao mesmo tempo em que garante a umidade necessária ao concreto, acelera a velocidade de ganho de resistência pelo aquecimento.

Por estarem envolvidas pressões maiores do que a atmosférica, a câmara de cura deve ser do tipo câmara de pressão com entrada para vapor saturado; não se deve deixar o vapor superaquecido entrar em contato com o concreto porque poderia causar a secagem deste. Essa câmara é conhecida como autoclave e cura com vapor a alta pressão é conhecida como autoclavamento.

Na cura térmica as temperaturas não deverão ultrapassar 80°C para não causar modificações expressivas na microestrutura do concreto. Para se evitar danos às peças, Camarini (1995) sugere a divisão da cura térmica em quatro etapas:

- Espera (período preliminar): período de tempo decorrido entre a mistura do aglomerante com a água e o início do aquecimento. Deve ser igual ao tempo de pega do cimento.
- Elevação da temperatura: deve ser controlada até atingir o valor desejado. A taxa recomendada é de 20°C/h.

- Regime isotérmico (período de temperatura constante): período em que a temperatura desejada deve ser mantida por algumas horas. Esse regime é variável em função do tipo de aglomerante empregado.
- Esfriamento: é a redução da temperatura até que se atinja a temperatura ambiente. A taxa recomendada é de 20°C/h.

A Figura 6 apresenta o ciclo de cura térmica para o concreto proposto por Camarini (1995).

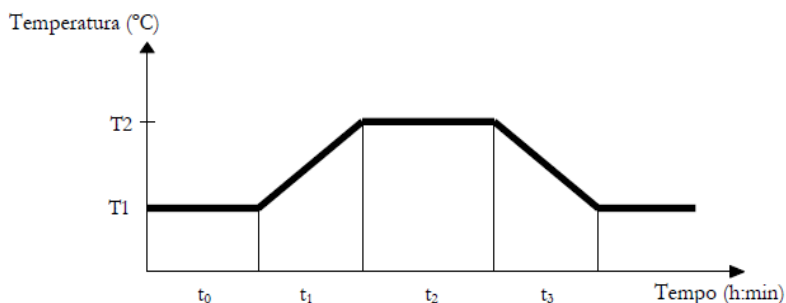


Figura 6: Ciclo de cura térmica.

Fonte: CAMARINI, 1995

Onde:

T_1 = temperatura ambiente (°C).

T_2 = temperatura máxima a ser atingida no ciclo (°C).

t_0 = período de espera (h: min)

t_1 = período de aquecimento (h: min)

t_2 = período de manutenção da temperatura constante (h: min)

t_3 = período de esfriamento (h: min)

Observando a Figura 6 o ciclo compreende uma etapa aquecimento, geralmente num intervalo de 2 a 5 h, a uma taxa de aquecimento de 20°C/h até ser atingida a temperatura máxima do ciclo, recomendada entre 50 e 80°C, seguido de um resfriamento do material a uma taxa de 20°C/h. A ACI (1992) sugere que o tempo total do ciclo não ultrapasse 18 horas.

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

2.5.4 Efeitos da cura térmica no concreto

A cura é realizada por duas razões básicas: hidratar o quanto possível o cimento e reduzir ao máximo a retração do concreto, fatores intrínsecos à durabilidade. O procedimento de cura tem papel importante na qualificação do concreto, visto que, ao inibir a saída de água para o meio externo, permite que a dosagem seja cumprida e, por conseguinte, o cimento é hidratado quase que em sua totalidade. Desse modo, o concreto obtido apresentará uma microestrutura menos porosa, mais resistente. Os ataques de fluidos nocivos se manifestam através de efeitos físicos, como no aumento da porosidade e permeabilidade, fissuração e lascamento (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A cura térmica possui grande influência sobre as propriedades físicas e mecânicas do concreto, sendo as mais importantes a resistência à compressão e a taxa de hidratação do concreto.

Com relação à resistência, de acordo com Dantas (2013), testes de laboratórios mostram que concretos expostos a ambientes secos chegam a perder 50% de sua resistência à compressão quando comparado com um mesmo concreto que foi curado. Concretos expostos a temperaturas elevadas ganharão uma maior resistência inicial, porém a resistência final (28 dias) provavelmente será menor. Já concretos expostos a temperaturas baixas levarão mais tempo para atingir certa resistência inicial levando a atrasos na retirada das formas e, conseqüentemente, atrasos na construção.

Durante o estágio inicial das reações de hidratação, a temperatura afeta não somente a taxa de hidratação, mas também as características e posicionamento dos produtos destas reações. Se a velocidade inicial de hidratação for alta não há tempo suficiente para a difusão dos produtos para posições mais distantes das partículas de cimento e para uma precipitação uniforme nos espaços intersticiais, como o que ocorre a temperaturas inferiores (VERBECK e HELMUTH, 1968 *apud* PERES, 2006). Quando ocorre a elevação da temperatura de cura do concreto, a taxa de hidratação na pasta provavelmente começará a diminuir ao longo do tempo. O que justifica esse fato é o encapsulamento dos grãos anidros de clínquer (componente no cimento) durante os ciclos térmicos que dificulta o processo de hidratação posterior (ASAGA *et al.*, 1992 *apud* SANTOS, 2010).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem por finalidade apresentar os materiais, métodos e os equipamentos utilizados nos ensaios realizados nesta pesquisa. Este trabalho tem por objetivo estudar a influência de diferentes tipos de cura na resistência a compressão do concreto. A realização deste estudo se deu conforme as etapas do fluxograma apresentado na Figura 7.

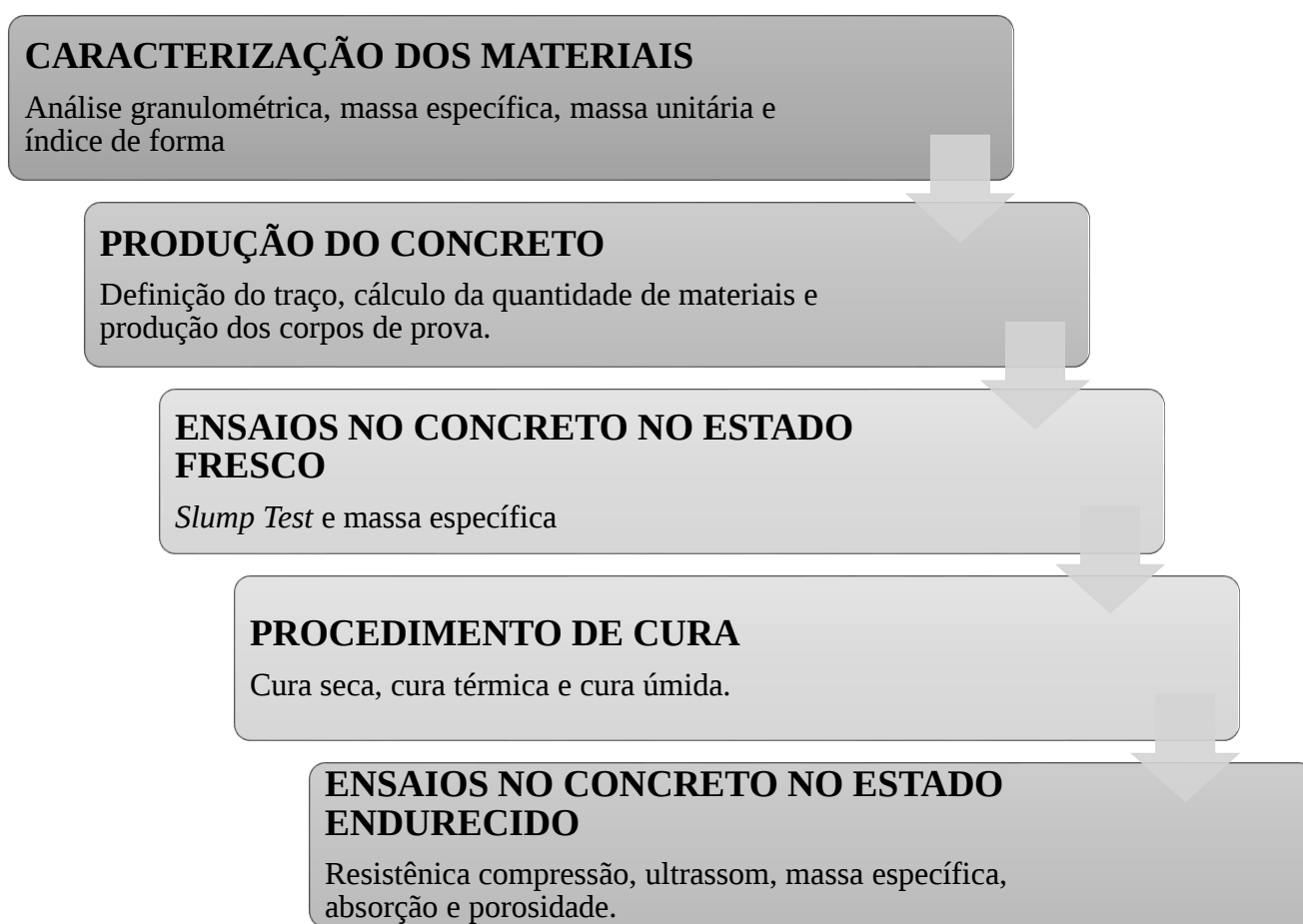


Figura 7: Fluxograma de realização dos ensaios.

Fonte: Autora (2018).

3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.1.1. Caracterização do agregado miúdo

Nesta pesquisa utilizou-se a areia natural como agregado miúdo e nela foi realizada o ensaio de granulometria, ensaio de massa específica e massa unitária.

Conforme ABNT NBR 248/2003 Agregados – Determinação da Composição Granulométrica – o ensaio consiste em basicamente separar os grãos do agregado miúdo de acordo com a dimensão por meio do peneiramento; em seguida é medida a massa retida em cada peneira e posteriormente é feito o somatório das porcentagens retidas acumuladas da série, dita pela norma como normal, obtendo o módulo de finura. Calcula-se o diâmetro máximo das partículas ($D_{m\acute{a}x}$) que é correspondente ao valor do número da peneira da série normal na qual a porcentagem acumulada seja inferior ou igual a 5%. Foram realizados ensaios para duas amostras de areia natural conforme recomendação da NBR 7217.

A determinação da massa específica da areia, definida como sendo a relação da massa do agregado seco e o seu volume, excluindo os poros permeáveis, deu-se conforme a norma mercosur NM 52/2009 Agregado Fino – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Pesou-se 500 g de amostra, introduziu no frasco Figura 8 e registrou-se a massa do conjunto (frasco + agregado).

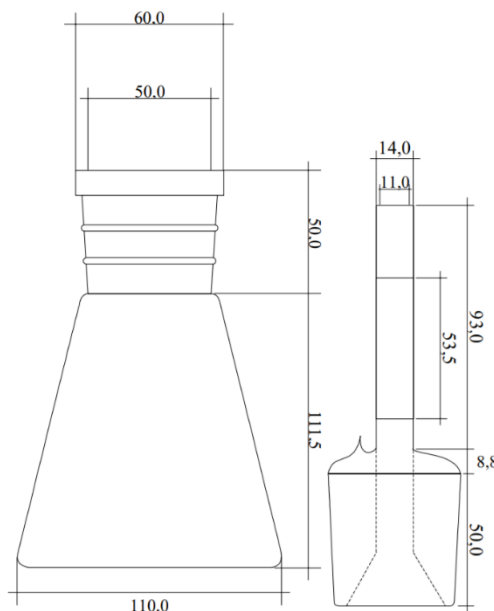


Figura 8: Frasco e tampa.

Fonte: NM 52/2009.

Foi adicionado água a temperatura ambiente de 25°C ao frasco até a marca de 500 ml, movendo-o cuidadosamente para eliminar as bolhas de ar. Passado uma hora

colocou-se água ao frasco até atingir a marca de 500 cm³ e determinamos a massa total do conjunto (frasco + agregado + água). Por fim o agregado miúdo foi seco em estufa até atingir massa constante (m). Com todos os resultados usou-se a Equação 1 para determinar a massa específica do agregado miúdo.

$$\gamma = \frac{m}{V - V_a} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

γ = massa específica, g/cm³;

m = massa da amostra seca em estufa, g;

V = volume do frasco, cm³;

V_a = volume de água adicionado ao frasco, cm³

O volume de água V_a foi determinado utilizando a Equação 2

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

m_1 = massa do frasco + agregado, g;

m_2 = massa do frasco + agregado + água, g;

ρ_a = massa específica da água, g/cm³.

A massa específica aparente ou massa unitária, definida como a relação entre a massa do agregado seco e seu volume incluindo os poros permeáveis. Para determinar a massa unitária tarou-se um caixote de dimensão 31x31x15 cm, obtendo assim a massa do caixote. Em seguida adicionou-se uma mostra de areia obtendo assim a massa do conjunto (peso do caixote + areia). Conhecido o volume do caixote (V) utilizou-se a Equação 3.

$$\delta = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

δ = massa específica aparente, g/cm³;

m_1 = massa do caixote, g;

m_2 = massa do caixote + areia, g.

3.1.2. Caracterização do agregado graúdo

Na caracterização do agregado graúdo (brita granítica) realizou-se o ensaio de granulometria – conforme ABNT NBR 7211/2009 “Agregados para Concreto – Especificação”. Adotou-se duas amostras de brita granítica com massa de 5000g cada e sendo a série normal de peneiras adotada.

A determinação da massa específica da brita granítica seguiu as diretrizes da norma ABNT NBR NM 53/2009 – Agregado Graúdo: determinação de massa específica, massa unitária e absorção de água. Pesaram-se duas amostras de 3000g de agregado graúdo num recipiente de volume conhecido numa balança hidrostática obtendo assim a massa de brita granítica sem vazios.

Para determinar a massa unitária da brita granítica utilizou-se um caixote de volume conhecido, pesado previamente, obtendo assim a massa do caixote; em seguida adicionou brita granítica até o preenchimento total do caixote, obtendo a massa do conjunto caixote e brita. A diferença de massa do conjunto caixote mais agregado com a massa do caixote resulta na massa de agregado graúdo.

Para calcular tanto a massa específica quanto à massa unitária utilizou as Equações 1 e 3, respectivamente (página 22).

De acordo com a norma ABNT NBR 7809/2008, O Índice de forma do agregado é o índice que permite avaliar a qualidade de um agregado graúdo em relação à forma dos grãos, considerando que os agregados com grãos de forma cúbica tida como forma ótima para agregados britados, terão índice próximo de 1; os grãos lamelares apresentarão valores bem mais altos, sendo considerado aceitável o limite de 3. O índice se baseia na medida da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos do agregado. O comprimento de um grão sendo maior dimensão possível de ser medida em qualquer direção do grão e a espessura, a menor distância possível entre planos paralelos entre si em qualquer direção do grão.

3.1.3. Cimento

Na fabricação do concreto convencional utilizou-se o cimento pozolânico CP – IV 32 RS, resistente a sulfatos, cuja resistência a ser atingida aos 28 dias é de 32 MPa. A

escolha do cimento CP IV decorreu em virtude de seu baixo calor de hidratação, já que em parte das amostras dos corpos de prova foi realizado a cura seca.

Além disso, o alto teor de pozolâna propicia uma estabilidade frente a ambientes agressivos, neste caso o ambiente urbano.

3.2. PRODUÇÃO DO CONCRETO

3.2.1. Escolha do traço de concreto

Nesta pesquisa, para a confecção e estudo do concreto de cimento Portland, ou seja, concreto convencional, foi fixado um traço com proporções em massa de 1:2:3 (cimento, areia e brita), e relação água cimento de 0,65.

3.2.2. Cálculo da quantidade de materiais

As normas vigentes que regulamentaram os ensaios de caracterização dos materiais e os de desempenho do concreto tanto no estado fresco como no endurecido, realizados nesta pesquisa, estipulam uma quantidade mínima de corpos de prova por ensaio. Na Tabela 6 são apresentados os ensaios realizados e quantidade mínima de cp's para cada tipo de cura empregado no concreto.

Tabela 6: Quantidade mínima de cp's por ensaios.

TIPO DE CURA	ENSAIOS	DIAS			TOTAL
		3	7	28	
CURA SECA	Resist. à compressão + ultrassom	3	3	3	9
	Absorção e Porosidade	3	3	3	9
CURA ÚMIDA	Resist. à compressão + ultrassom	3	3	3	9
	Absorção e Porosidade	3	3	3	9
CURA TÉRMICA	Resist. à compressão + ultrassom	3	3	3	9
	Absorção e Porosidade	3	3	3	9
					54

Fonte: Autora (2018).

Para cada tipo de cura realizada foram produzidos 18 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, dando um total de 54 cp's. O

volume total de concreto foi calculado multiplicando o número total de cp's por seu volume e acrescentado 25% para realização do ensaio de abatimento do tronco de cone. A Tabela 7 apresenta quantidade de cada material em massa.

Tabela 7: Quantidade de materiais para o traço 1:2:3:0,65.

MATERIAIS	QUANTIDADE
Cimento	26 Kg
Agregado miúdo (areia)	52 Kg
Agregado graúdo (brita)	78 Kg ⁴
Água	16,9 L

Fonte: Autora (2018).

3.2.3. Produção dos corpos de prova

Para a confecção dos corpos de prova dos concretos, inicialmente, os materiais constituintes, areia, brita, cimento e água foram pesados individualmente e armazenados, com da água, em sacos plásticos pretos.

A mistura dos materiais foi feita em betoneira de eixo inclinado com capacidade para 120 litros, no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA. Antes de se proceder com a mistura, a betoneira foi previamente umedecida com água a fim de evitar perdas da água de amassamento pela absorção das paredes da betoneira. Depois os materiais foram introduzidos na betoneira seguinte ordem:

- 1°. Com a betoneira ligada, colocou-se 50% da água de amassamento;
- 2°. Introduziu-se 100% do agregado graúdo;
- 3°. Adicionou-se 100% do cimento;
- 4°. Introduziu-se 100% do agregado miúdo;
- 5°. Acrescentaram-se os outros 50% da água de amassamento;
- 6°. Com a colocação de todos os materiais, a betoneira foi mantida em movimento giratório por um período de 5 minutos, para homogeneização completa dos materiais;
- 7°. O concreto, já produzido, foi descarregado em bacia de alumínio estanque previamente umedecida;

8°. Realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone, seguindo as prescrições da NBR NM 67/1998.

3.3. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Segundo a norma ABNT NBR NM 67/1998 Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: o procedimento para o ensaio consistiu em preencher um tronco de cone de altura de 300 mm sobre uma placa metálica retangular com uma amostra de concreto. O preenchimento foi realizado em três camadas com altura em torno de um terço da altura do tronco de cone e aplicados 25 golpes, uniformemente distribuídas, em cada camada com uma haste metálica para realizar a compactação. Ao final levanta-se verticalmente o tronco de cone e mediu-se a o abatimento do concreto determinado pela diferença entre a altura do tronco de cone e a altura média do corpo-de-prova desmoldado.

A massa específica aparente do concreto no estado fresco foi norteadado pela ABNT NBR 9833/2008. Com uma amostra de concreto moldou-se um corpo cilíndrico com volume de 0,015 m³ e massa previamente determinada. O preenchimento do molde se deu em três camadas de alturas semelhantes e aplicado 25 golpes uniformemente distribuídos em cada camada. A massa de concreto é obtida pela diferença da massa do conjunto molde-concreto com a massa do molde. Com esses dados utilizou-se a Equação 4.

$$\gamma_{AP} = \frac{m}{V} * 1000 \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

γ_{AP} = massa específica concreto, Kg/m³;

m = massa de concreto, Kg;

V = volume do recipiente, m³.

3.4. PROCEDIMENTO DE CURA

3.4.1. Cura seca

A finalidade da cura seca nesta pesquisa é analisar as propriedades físicas e mecânicas do concreto quando submetidos a condições que se aproximam da realidade.

Não é sempre que no canteiro de obra são empregados os procedimentos de cura necessários as reações de hidratação do concreto.

Para esse procedimento de cura 18 cp's foram desmoldados depois de 24 horas e deixados em exposição ao ar livre na zona urbana da cidade Mossoró, classificado como um ambiente de agressividade ambiental II do tipo moderada de acordo com a NBR 6118/2014.

3.4.2. Cura úmida

A água é parte integrante do processo de pega e endurecimento, consequentemente 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 será conferido 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, 2008).

A cura em tanque de água caracteriza-se por imergir o concreto em água à temperatura de 25°C, protegendo este, principalmente nas primeiras idades, de possíveis retrações, agentes agressivos externos, perda de umidade, dentre outros benefícios (BAUER, 2008).

Para esse procedimento de cura 18 cp's foram desmoldados depois de 24 horas e deixados imersos em água no Laboratório de Materiais de Construção da UFERSA, de acordo com a NBR 6118/2014.

3.4.3. Cura Térmica

A cura térmica pode ser uma solução para acelerar as reações de hidratação do concreto visando obter a resistência necessária para uma rápida desforma. Segundo Isaia (2007) isso evita a perda de água necessária às reações de hidratação do cimento, além de reduzir o tempo para utilização do elemento pela aceleração da maturidade e, consequentemente, redução de espaço necessário para estoque.

A qualidade do concreto está relacionada também a sua cura. A cura térmica pode diminuir esse tempo, diminuindo também a perda de água por evaporação, o que pode gerar uma menor retração térmica.

Para esse procedimento de cura de acordo NBR 5739/2007 (ABNT), 18 cp's foram desmoldados depois de 24 horas e iniciado o ciclo de cura térmica. Durante 2 horas os cp's foram aquecidos a uma taxa de 20°C/h até ser atingida a temperatura de 65° C. Manteve-se constante o aquecimento dos cp's por 4 horas. Por fim, os corpos de prova foram resfriados a uma taxa de 20°C/h e permaneceram em temperatura ambiente de aproximadamente 25°C até a data dos ensaios. O ciclo total durou 12 horas, e conforme a recomendação da ACI não deve ultrapassar 18 horas.

3.5. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

3.5.1. Ensaio de resistência a compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial foi executado de acordo com a ABNT NBR 5739/2007 nos corpos de prova com idades de 3,7, 28 dias, sendo ensaios no mínimo três corpos de prova para cada idade e para cada tipo de cura realizada. Após serem desmoldados uma das faces dos corpos de prova por ser irregular necessitou ser retificado para regularização (Figura 9). Em seguida, deu-se início ao ensaio de compressão axial, utilizando uma prensa hidráulica (Figura 10) de modelo EMIC do Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Ciências e Tecnologia – IFRN da cidade de Mossoró.



Figura 10: Retifica.
Fonte: Autora (2018).



Figura 9: Prensa hidráulica modelo EMIC.
Fonte: Autora (2018).

3.5.2. Ensaio de ultrassom

Tecnólogos do concreto tem apresentado grande interesse em determinar as propriedades do concreto por meio de testes não destrutivos. Vários métodos foram desenvolvidos como esta finalidade e entre eles destacamos o método da velocidade de propagação do pulso ultrassônico ou simplesmente método do ultrassom.

O método do ultrassom é baseado no conceito de que a velocidade de um pulso de ondas longitudinais através de um material depende de suas propriedades elásticas e densidade. O instrumento consiste de um gerador e um transmissor para a produção e introdução de um pulso de onda no concreto e de um receptor para detectar a chegada do pulso e medir com exatidão o tempo de trânsito do pulso pelo concreto. No mundo todo há equipamentos portáteis disponíveis para a execução do ensaio de ultrassom em estruturas de concreto.



Figura 11: Aparelho de ultrassom modelo Pundit Lab, da PROCEQ
Fonte: Autora (2018).

Nesta pesquisa o aparelho gerador do ultrassom é o Pundit Lab, da PROCEQ (Figura11). Nele há dois transdutores piezoelétricos, um responsável pela geração do ultrassom e outro responsável pela captação desse sinal.

O Pundit Lab possui as seguintes características:

- Medição do tempo de trânsito:
 - Gama: 0,1 – 9999 μ s
 - Resolução: 0,1 μ s
 - Display: 79 x 21 mm OLED de matriz passiva
 - Transmissor: Pulso de excitação otimizado 125V, 250V, 350V, 500V, AUTO
- Receptor:
 - Ganho: 1x, 10x, 100x, AUTO

- Largura da Banda: 20 kHz – 500 kHz

No Brasil, o procedimento de ensaio pelo método do ultrassom é estabelecido na NBR 8802/2013 (CASTRO *et al*, 2009).

Este método pode ser utilizado para detecção de defeitos interno a estrutura, estimativa da resistência a compressão e avaliação da qualidade do concreto. Porém, essas estimativas são fortemente influenciadas por diversos fatores relacionadas a composição do concreto (dimensão, granulometria, tipo e teor de agregados), procedimentos de cura, geometria da peça ensaiada entre outras (Malhotra & Carnino, 2004)

De acordo com a NBR 8802/2013 a disposição da superfície disponível para os ensaios poderá condicionar a escolha da localização do tipo de leitura, bem como a posição do transdutor e receptor. São destacados três tipos de leitura a depender da posição dos transdutores: transmissão direta, semidireta e indireta (Figura 12, a,b,c).

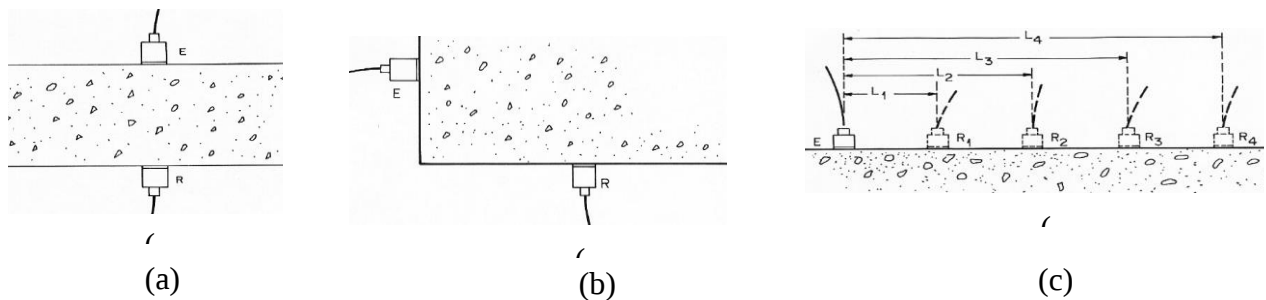


Figura 12: Tipos de leitura da velocidade do pulso de ultrassom em (a) direta, (b) semidireta e em (c) indireta.

Fonte: NBR 8802/2013.

- Transmissão direta: este arranjo é o mais recomendado na determinação da velocidade de propagação de ondas através do material pois as ondas são recebidas com maior frequência;
- Transmissão semidireta: este arranjo só deve ser utilizado quando não se tem acesso a duas faces opostas de um corpo de prova ou componente de concreto e a única face acessível não tiver comprimento suficiente para realizar a transmissão indireta;
- Transmissão indireta: este arranjo só deve ser utilizado quando se tem acesso a apenas uma das faces do corpo de prova ou componente de concreto, além disso essa face deve ter comprimento suficiente para propiciar o deslocamento do transdutor receptor.

3.5.2.1. Aplicações do método de ultrassom

O método de ultrassom pode ser utilizado para estimar o módulo de elasticidade dinâmico, sua resistência a compressão e avaliar a sua qualidade. Com o módulo de elasticidade dinâmico é possível prever a abertura de fissuras no concreto, e em última análise, conhecendo o tipo de ambiente ao qual o concreto ficará submetido, estimar a sua vida útil (LEVY, 2001).

Barluega e Hernández-Olivares (2010) *apud* Nunes (2016) ilustram as variáveis para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico (E_d) e Cánovas (1994) *apud* Medeiros (2015) a resistência característica do concreto (f_{ck}) de acordo com as Equações 5 e 6, respectivamente.

$$E_d = \frac{\rho V^2}{10^6} \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:

E_d = Módulo de elasticidade dinâmico (GPa);

ρ = densidade (g/cm³);

V = velocidade do pulso ultrassônico (m/s).

$$f_c = 3,5 \times 10^{-9} E_d^2 - 10^{-3} E_d + 200$$

Onde:

Eq. (6)

E_d = Módulo de elasticidade dinâmico (kgf/cm²);

f_c = resistência à compressão (kgf/cm²).

Quanto à qualidade do concreto pode-se estimar através da velocidade de propagação do pulso ultrassônico considerando as faixas de velocidade apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: Qualidade do concreto em função da velocidade de propagação do pulso ultrassônico.

Velocidade de propagação linear (m/s)	Qualidade do concreto
$V > 4500$	Excelente
$3500 < V < 4500$	Ótimo
$3000 < V < 3500$	Bom
$2000 < V < 3000$	Regular
$V < 2000$	Ruim

Fonte: Adaptado de I. Lawson *et al.*, (2011).

3.5.2.2. Procedimento do ensaio

Para a realização do ensaio foram seguidas as diretrizes da ABNT NBR 8802/2013 para leitura do tipo direta. Todos os cp's foram retificados e limpos as superfícies inferiores e superiores, utilizando três cp's em cada uma das idades de 03, 07 e 28 dias.

Este ensaio consiste na avaliação da velocidade de propagação de pulsos ultrassônicos através de dois pontos estabelecidos. O aparelho ultrassom registra o tempo que o pulso leva de um ponto ao outro. Com o tempo fornecido pelo aparelho e a distância entre os dois pontos obtém-se a velocidade.

3.5.3. Ensaio de absorção e porosidade

Para a realização deste ensaio seguiu-se as normativas da norma brasileira NBR 9778/2005 – Argamassa e concretos endurecidos: Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Utilizou-se três corpos de prova com altura de 20 cm e diâmetro de 10 cm colocados para secar em estufa a temperatura de $100^{\circ} \pm 5^{\circ}$ por um período de três dias, obtendo assim a massa seca (m_s). Esses mesmos corpos de prova após a resfriarem ficaram submersos em água pelo período de tempo de três dias, registrando assim a massa saturada (m_{sat}). Por fim os corpos de provas são levados a fervura por um tempo de 5 horas e pesado em balança hidrostática para obtenção da massa saturada submersa (m_i). Com esses dados utilizou-se a Equação 7 e a Equação 8 para determinar a absorção e índice de vazios do concreto, respectivamente.

$$\left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right) * 100 \quad \text{Eq. (7)}$$

$$\left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s - M_i} \right) * 100 \quad \text{Eq. (8)}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão discutidos os principais resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais e os ensaios de avaliação das propriedades mecânicas do concreto quando adotados os procedimentos de cura seca, cura úmida e cura térmica.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

4.1.1. Análise granulométrica

A Tabela 9 mostra o resultado do ensaio de granulometria feito em duas amostras do agregado miúdo utilizado nesta pesquisa de acordo com a NBR 248/2003.

Tabela 9: Resultado do ensaio de granulometria do agregado miúdo (areia).

Análise granulométrica do agregado miudo									
Abertura das Peneiras (mm)	Massa retida (%)		Variação das % retidas ≤ 4 %	Média das massas retidas (%)	Massa retida acumulada (%)	Faixas em relação as % retidas acumuladas			
	Ensaio nº 1	Ensaio nº 2				Limites Inferiores		Limites Superiores	
						Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0	0	0	0
6,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0	0	0	7
4,75	0,8%	0,7%	0,1%	0,8%	0,8%	0	0	5	10
2,36	2,0%	3,1%	1,1%	2,6%	3,3%	0	10	20	25
1,18	9,6%	14,0%	4,4%	11,8%	15,1%	5	20	30	50
0,6	24,9%	30,2%	5,3%	27,6%	42,7%	15	35	55	70
0,3	35,5%	32,6%	2,9%	34,0%	76,7%	50	65	85	95
0,15	22,4%	16,5%	5,9%	19,5%	96,2%	85	90	95	100
Fundo	4,7%	2,9%	1,8%	Módulo de finura =	2,35	Dimensão máxima característica (mm)= 4,75			

Fonte: Autora (2018).

Observando a tabela acima constata-se que o agregado miúdo possui módulo de finura igual a 2,35, estando, portanto, dentro do intervalo de 2,20 a 2,90 para a zona ótima conforme recomendação da NBR 7211/2009; e dimensão máxima de 4,75.

Da curva granulométrica na Figura 13 é possível verificar que o agregado miúdo se encontra totalmente dentro da zona utilizável para concreto e parcialmente dentro da zona ótima, tal como recomenda a NBR 7211/2009.

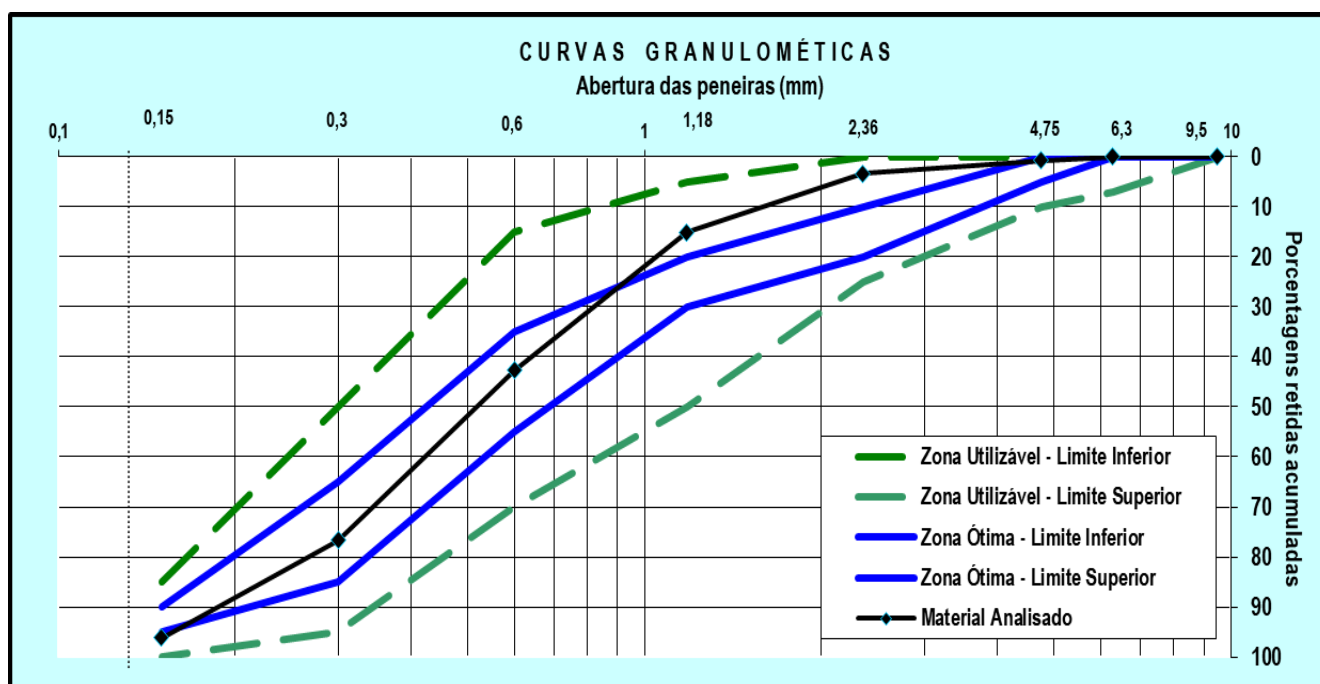


Figura 13: Curva granulométrica do agregado miúdo (areia).

Fonte: Autora (2018).

4.1.2. Massa específica e massa unitária

A média de duas amostras de agregado miúdo para determinação da massa específica e massa unitária é apresentada na Tabela 10. A massa específica da areia natural foi de 2615 Kg/m³ e, portanto, identificado como um agregado miúdo de densidade média, enquanto que a massa unitária foi de 1537 Kg/m³.

Tabela 10: Resultado das massas específica e unitária do agregado miúdo (areia).

Amostra	Massa específica (Kg/dm ³)	Massa unitária (Kg/dm ³)
1	2,618	1,547
2	2,611	1,526
Média	2,615	1,537

Fonte: Autora (2018).

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

4.2.1. Análise granulométrica

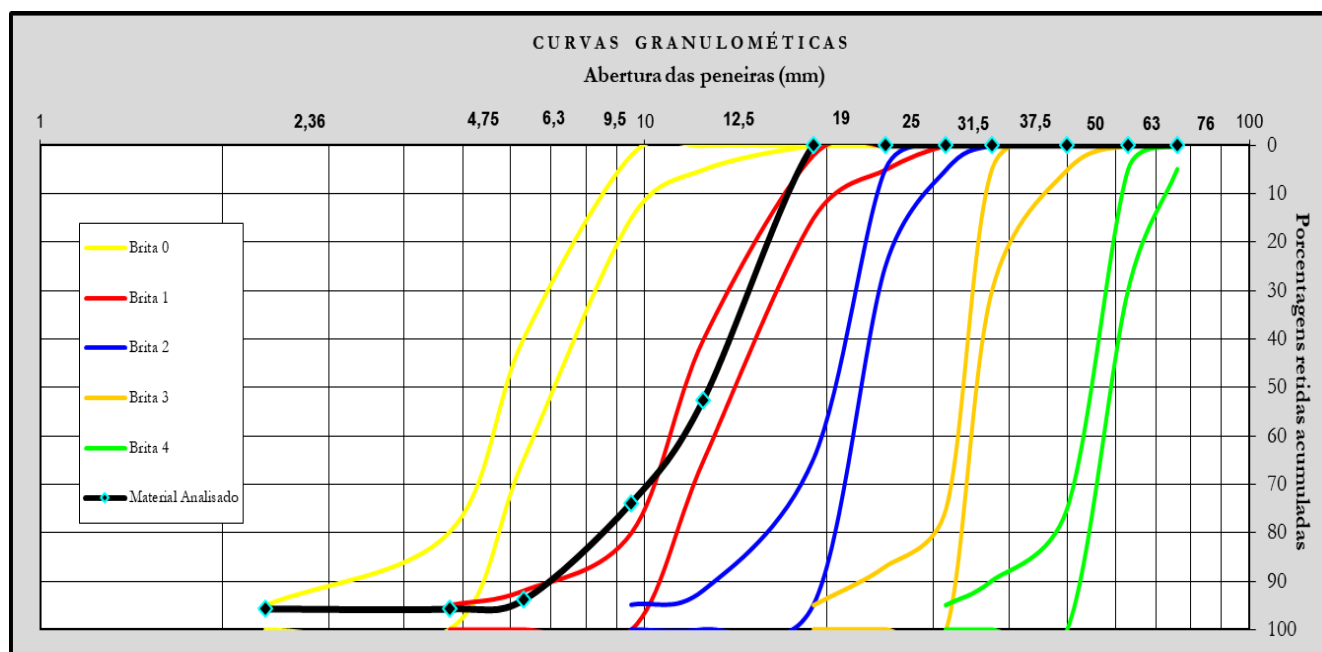
A Tabela 11 apresenta o resultado do ensaio de granulométrica da brita granítica utilizada nesta pesquisa, na qual se pode ver que o material possui diâmetro máximo de 19 mm e módulo de finura de 6,48.

Tabela 11: Resultado do ensaio de granulometria do agregado graúdo (brita).

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO										
Abertura das Peneiras (mm)	Massa retida (%)		Variação das % retidas <= 4 %	Média das massas retidas (%)	Massa retida acumulada (%)	Faixas em relação as porcentagens retidas acumuladas				
	Ensaio nº 1	Ensaio nº 2				Brita 4,75 / 12,5	Brita 9,5 / 25	Brita 19 / 31,5	Brita 25 / 50	Brita 37,5 / 75
						Nº 0	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4
75	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%					0 - 5
63	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%					5 - 30
50	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%				0 - 5	75 - 100
37,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%				5 - 30	90 - 100
31,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%			0 - 5	75 - 100	95 - 100
25	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		0 - 5	5 - 25	87 - 100	
19	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		2 - 15	65 - 95	95 - 100	
12,5	52,5%	52,6%	0,1%	52,6%	52,6%	0 - 5	40 - 65	92 - 100		
9,5	21,7%	20,7%	1,0%	21,2%	73,8%	2 - 15	80 - 100	92 - 100		
6,3	20,1%	20,0%	0,1%	20,0%	93,9%	40 - 65	92 - 100	95 - 100		
4,75	1,8%	1,9%	0,1%	1,8%	95,7%	80 - 100	95 - 100			
2,36	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	95,7%	95 - 100				
Fundo	3,9%	4,7%	0,8%	Módulo de Finura = 6,48		Dimensão máxima característica (mm) = 19,0mm				

Fonte: Autora (2018).

Na Figura 14 é apresentada a curva granulométrica obtida pela média de duas amostras deste material possibilitando identificar que o agregado graúdo está compreendido na quase que totalmente dentro da faixa de Brita 1, ou seja, inserido na zona granulométrica 9,5/25 conforme a NBR 7211/2009.



Fonte: Autora (2018).

4.2.2. Massa específica e massa unitária e índice de forma

A média de duas amostras de brita granítica para determinação da massa específica e massa unitária e seu respectivo índice de forma é apresentada na Tabela 12. A massa específica da brita apresentou valor de 2680 kg/m^3 e, portanto, sendo classificada como agregado de média densidade, enquanto a massa unitária foi de 1468 Kg/m^3 . O índice de forma foi 2 indicando que a brita não tem um formato cúbico e nem um formato lamelar, estando num nível intermediário entre os dois.

Tabela 12: Massa específica, massa unitária e índice de forma do agregado graúdo (brita granítica).

Amostra	Massa específica (Kg/dm^3)	Massa unitária (Kg/dm^3)
1	2,697	1,485
2	2,663	1,451
Média	2,68	1,468
Índice de forma		2

Fonte: Autora (2018).

4.3. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

4.3.1. *Slump Test* e massa específica

O abatimento do tronco de cone para o concreto convencional de Silva (2015) foi de 16,5cm e o de Nunes (2016) foi de 14 cm, comparado ao obtido nesse trabalho 14 cm (Figura 15), apresentou uma redução de aproximadamente de 15% em relação ao de Silva (2015), mas obteve resultado igual a Nunes (2016). Contudo o concreto apresentou trabalhabilidade adequada no momento de moldagem e adensamentos dos corpos de provas.

Pela Tabela 5 (pág.: 14) o concreto teve classe de consistência S100 e pode ser utilizado em elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto.



Figura 15: Abatimento do tronco de cone.

Fonte: Autor (2018).

A massa específica do concreto no estado fresco foi de 2.421,25 kg/m³, portanto classificado como um concreto de peso normal de acordo com Mehta e Monteiro (2006).

4.4. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.4.1. Ensaio de resistência à compressão

Neste item serão apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão para os corpos de prova dos concretos com curas: seca, úmida e térmica realizados aos 3, 7 e 28 dias, expressos na Tabela 13.

Tabela 13: Resultados dos ensaios de resistência à compressão.

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)				
	DIAS	3	7	28
CONCRETO COM CURA SECA		9,03	10,96	14,54
CONCRETO COM CURA ÚMIDA		10,92	12,6	16,79
CONCRETO COM CURA TÉRMICA		11,91	13,82	16,81

Fonte: Autora (2018).

A resistência à compressão do concreto com cura térmica aos 3 e 7 dias foi maior em aproximadamente 8,5% em relação ao concreto com cura úmida e com relação ao concreto com cura seca foi maior, aproximadamente, em 24% aos 3 dias e 21% aos 7 dias. Aos 28 dias o concreto com cura térmica teve resistência semelhante ao do concreto com úmida (16,8 MPa) e maior em 13,5% que a resistência a compressão do concreto com cura seca.

Observando os resultados da Tabela 13 é nítido que a cura térmica é eficiente na busca pelo aumento de resistência em curto intervalo de tempo. O concreto que permaneceu em cura úmida levou 28 dias para atingir a maturidade de resistência enquanto que os concretos em cura térmica atingiram o mesmo valor e ficaram submetidos aos procedimentos da cura térmica por um período de apenas 12 horas. O ganho de tempo no processo de cura e a obtenção da mesma resistência aos 28 dias eleva significativamente o potencial da técnica de cura térmica.

A cura seca do concreto é feita sem que nenhum cuidado seja tomado para que as reações químicas de hidratação dos compostos presentes na pasta de cimento ocorram. Por esse motivo, de acordo com Silva (2012) e Silva (2005) a resistência de concretos com cura seca é menor em 10 a 30% comparado a cura úmida. Nesta pesquisa o percentual de diferença entre as curas úmidas e seca aos 28 dias foi de 13,5%.

Analisando os valores de resistência à compressão axial dos concretos apresentados na Tabela 13, verifica-se que nenhum atingiu a **resistência mínima para concreto estrutural de 20 MPa** especificada pela ABNT NBR 6118/2014. E, além disto, este concreto é classificado como não-estrutural, de acordo com a classificação da NBR 8953/2015 para concretos em função da resistência.

O traço utilizado neste concreto foi baseado nas pesquisas de Silva (2015) que obteve resistência de 23 MPa aos 28 dias e Nunes (2016) que obteve resistência de 19 MPa aos 28 dias. Sendo assim a resistência a compressão aos 28 dias do concreto com cura térmica e úmida foi menor em 27% em relação ao de Silva (2015) e 11,5% em relação ao de Nunes (2016). Já a resistência a compressão do concreto com cura seca foi menor em 36,8% em relação a Silva (2015) e em 23,5% em relação a Nunes (2016).

A Figura 16 apresenta o gráfico com a evolução das resistências a compressão dos concretos com realização da cura seca, úmida e térmica.

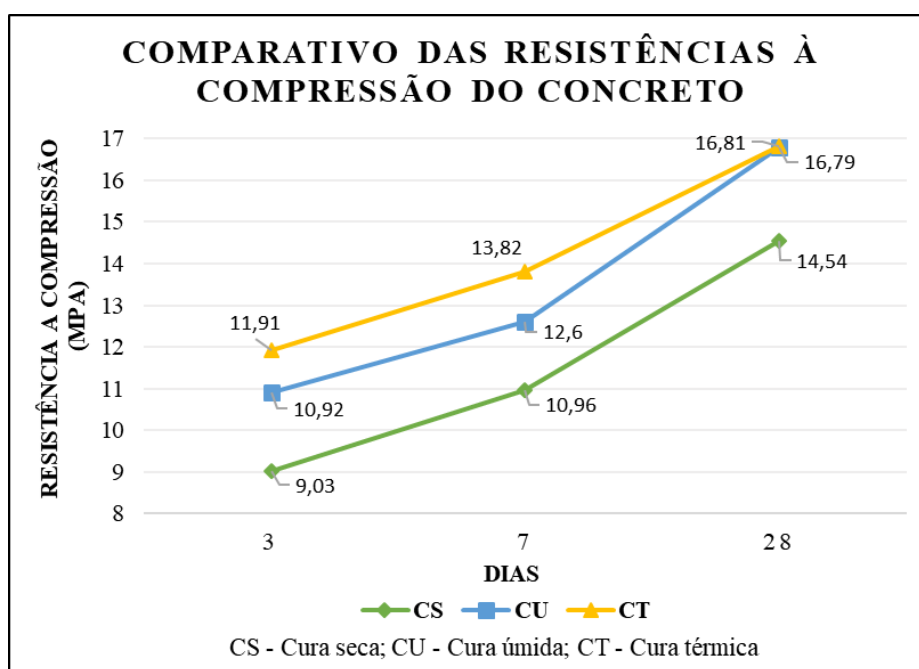


Figura 16: Gráfico comparativo das resistências à compressão das curas seca, úmida e térmica.

Fonte: Autora (2018).

O ganho de resistências dos concretos, entre 3 e 7 dias, com a realização da cura seca, úmida e térmica, foi de, respetivamente, 17,7%, 13,3% e 13,82%. O concreto com cura seca apresentou uma taxa de hidratação da pasta cimentícia muito maior que os concretos com cura térmica e úmida e perceptível pela inclinação mais acentuada da linha na cor verde para este período.

Já o ganho de resistência dos concretos, entre 7 e 28 dias, com a realização da cura seca, úmida e térmica, foi de, respetivamente, 24,6%, 25% e 17,8%. O concreto com cura úmida apresentou a maior taxa de hidratação da pasta cimentícia e bem superior ao ganho de resistência do concreto com cura térmica. Segundo Bingöl *et al*

(2013) e Hwang *et al* (2012) apud Santos(2016), há uma tendência de diminuição da taxa de resistência aos 28 dias quando se compara concretos curados a temperatura ambiente e concretos com cura térmica. Essa redução pode ser atribuída ao fato de a cura térmica proporcionar um ganho de resistência muito alto logo nos primeiros dias e então a taxa de resistência tende a diminuir com o passar do tempo.

Também é interessante destacar que a resistência do concreto com cura seca esteve sempre a abaixo das resistências dos concretos com cura úmida e térmica. Na cura seca, como não são tomados nenhum cuidado especial para manter a água de amassamento necessária a realização das reações de hidratação do concreto, o resultado é um concreto com qualidade final inferior aos concretos com tratamentos especiais de cura.

4.4.2. Ensaio de ultrassom

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos com o ensaio de velocidade de propagação do pulso de ultrassônico, realizado de forma direta, conforme foi descrito na seção 3.5.2. As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam as velocidades de propagação do pulso ultrassônico nos concretos com cura seca, cura úmida e cura térmica.

Tabela 14: Velocidade de propagação do pulso ultrassônico no concreto com cura seca.

DIAS	VELOCIDADE DE ULTRASSOM CURA SECA								
	3			7			28		
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
TEMPO (μ s)	45,1	44,8	44,9	51,8	53,7	54,6	51,7	52,3	52,0
VELOCIDADE (m/s)	4434	4464	4454	3861	3724	3663	3868	3824	3846
MÉDIA DAS VELOCIDADES (m/s)	4450			3749			3846		

Fonte: Autora (2018).

Tabela 15: Velocidade de propagação do pulso ultrassônico no concreto com cura úmida.

DIAS	VELOCIDADE DE ULTRASSOM CURA ÚMIDA								
	3			7			28		
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
TEMPO (μ s)	39,3	38,4	39,7	48,7	46,8	48,3	44,5	44,9	45,0
VELOCIDADE (m/s)	5089	5208	5037	4106	4273	4140	4494	4454	4444
MÉDIA DAS VELOCIDADES (m/s)	5111			4173			4464		

Fonte: Autora (2018).

Tabela 16: Velocidade de propagação do pulso ultrassônico no concreto com cura térmica.

DIAS	VELOCIDADE DE ULTRASSOM CURA TÉRMICA								
	3			7			28		
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
TEMPO (μ s)	44,8	44,8	45,4	53,9	55,9	51,9	53,3	52,0	53,6
VELOCIDADE (m/s)	4464	4464	4405	3710	3577	3853	3752	3846	3731
MÉDIA DAS VELOCIDADES (m/s)	4444			3713			3776		

Fonte: Autora (2018).

Analizando a qualidade do concreto pela velocidade de propagação do pulso ultrassônico de acordo com a Tabela 8 da seção 3.5.2.1 e com as Tabelas 14, 15 e 16, o concreto com cura seca e cura térmica apresentou qualidade ótima nas três idades de 3, 7 e 28 dias, já o concreto com cura úmida apresentou qualidade excelente somente na idade de 3 dias e qualidade ótima nas idades de 7 e 28 dias.

As velocidades dos cp's com cura úmida foram melhores porquê nesse método de cura a velocidade das reações se processam de forma natural e os cristais de hidratação tendem a se acomodar melhor gerando menos vazios no interior do concreto. Na cura térmica ocorre o oposto da cura úmida, a aceleração nas reações de hidratação, provocado pela elevação da temperatura, faz com que os cristais da pasta cimentícia se desenvolvem de forma desordenada e com pouco contato superficial, causando uma diminuição da compacidade. Tal fato pode ser observado na Figura 17 aonde é apresentado a micrografia de um concreto curado por submersão em água e outro curado termicamente a 60°C.

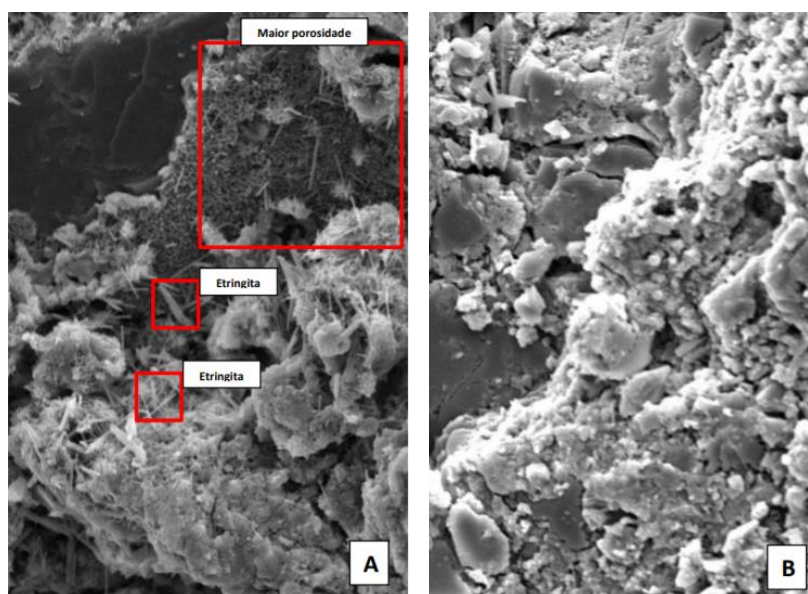


Figura 17: Microestrutura do concreto (a) curado por submersão em água e (b) curado termicamente.

Fonte: Santos (2016).

Já os cp's com cura seca por não haver um procedimento de cura adequado, a água de amassamento presente na mistura é perdida por evaporação e em seu lugar ocorre o aparecimento de vazios.

4.4.3. Absorção e porosidade

A Tabela 17 apresenta os resultados dos ensaios de absorção e porosidade dos concretos para os diferentes tipos de curas.

Tabela 17: Resultados dos ensaios de Absorção e Porosidade.

TIPOS DE CURA	DIAS	3	7	28
CURA SECA	ABSORÇÃO (%)	7,70	7,67	7,46
	POROSIDADE (%)	19,11	19,77	19,12
CURA ÚMIDA	ABSORÇÃO (%)	7,37	6,64	7,11
	POROSIDADE (%)	18,13	17,06	18,29
CURA TÉRMICA	ABSORÇÃO (%)	7,42	7,28	7,55
	POROSIDADE (%)	18,5	18,71	19,12

Fonte: Autora (2018).

A absorção de água para todos os concretos em todas as idades apresentou valores em torno de 7%. Com relação a porosidade cada concreto manteve-se quase que constante ao longo do tempo. Além disso, o concreto com cura úmida apresentou a menor porosidade aos 28 dias em 4,3% comparados aos demais concretos para esse menos período. Esse resultado já era esperado, pois o concreto com cura seca, por não ter um tratamento especial, tem elevada perda da água de amassamento e em seu lugar surgiu vazios, e os concretos com cura térmica, a elevação da temperatura provoca um aumento das reações de hidratação, porém diminui a compacidade das cristas da reação.

Vale destacar que aos 28 dias Silva (2015) obteve uma absorção e porosidade de 5,8% e 12,4%, respectivamente. Em relação a estes resultados a absorção foi maior em 20,7% e considerando a porosidade em torno de 19% está foi maior em 53,2%.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização desta pesquisa teve por objetivo avaliar e comparar a resistência à compressão axial no concreto com as curas: seca, úmida e térmica. Dos resultados obtidos, pôde-se verificar que, os concretos não são viáveis para utilização na construção civil em peças estruturais, pois não atingiram a resistência mínima de 20 MPa, conforme regulamenta a ABNT NBR 6118/2014.

As principais conclusões a respeito do concreto quanto aos ensaios realizados no estado fresco com relação à trabalhabilidade e à massa específica são:

- O concreto teve uma trabalhabilidade, em termos de abatimento do tronco de cone 14 cm, apresentando trabalhabilidade e adensamento adequados.
- A massa específica do concreto foi 2.421,25 Kg/m³ e portanto classificado como concreto de peso normal.

Quanto as principais conclusões que podem ser feitas a respeito dos concretos no estado endurecido são:

- O concreto de cura úmida e térmica apresentaram basicamente a mesma resistência, 16,81 MPa aos 28 dias, fato corroborado pelos resultados desta pesquisa. E aos 7 dias o concreto com cura térmica conseguiu resistência superior ao concreto com cura úmida em 8,83%, evidenciando o potencial da cura térmica.
- No ensaio de velocidade de propagação do pulso ultrassônico as velocidades dos cp's com cura úmida foram melhores porque nesse método de cura a velocidade das reações se processam de forma natural e os cristais de hidratação tendem a se acomodar melhor gerando menos vazios no interior do concreto. Na cura térmica ocorre o oposto da cura úmida, a aceleração nas reações de hidratação, provocado pela elevação da temperatura, faz com que os cristais da pasta cimentícia se desenvolvam de forma desordenada e com pouco contato superficial, causando uma diminuição da compacidade.
- O teste de absorção e porosidade revelou o que já se esperava, o concreto com cura úmida obteve menor porosidade aos 28 dias em 4,3% comparados aos demais concretos para esse mesmo período. Esse resultado já era esperado, pois o concreto com cura seca, por não ter um tratamento especial, tem elevada perda da água de amassamento e em seu lugar surgem vazios, e os concretos com cura

térmica, a elevação da temperatura provoca um aumento das reações de hidratação, porém diminui a compacidade dos cristais da reação.

Os resultados obtidos nesta pesquisa indicam que, como os resultados da resistência dos concretos com cura térmica foram semelhantes ao da cura úmida, evidencia a eficiência da cura térmica na busca do aumento da resistência em curto intervalo de tempo. Ressaltando que o fator tempo é limitante no dia a dia da construção civil.

Diante do exposto, pode-se concluir que o concreto que permaneceu em cura úmida levou 28 dias para atingir a maturidade de resistência enquanto que os concretos em cura térmica atingiram o mesmo valor e ficaram submetidos aos procedimentos da cura térmica por um período de apenas 12 horas. O ganho de tempo no processo de cura e a obtenção da mesma resistência aos 28 dias eleva significativamente o potencial da técnica de cura térmica.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI 213R/1992. Guide of Structural Lightweight-Aggregate Concrete, 38 p.

ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. (2000) Materiais de construção. Rio de Janeiro. (Apostila)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 248, 2003. Agregados–Rio de Janeiro.

_____. NBR NM 30, 2001. Agregado Miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro.

_____. NBR NM 53, 2009. Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água–Rio de Janeiro.

_____. NBR 8802, 1994. Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro.

_____. NBR 5732, 1991, Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro.

_____. NBR 5733, 1991, Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro.

_____. NBR 5735, 1991, Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro.

_____. NBR 5736, 1991, Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro.

_____. NBR 5737, 1992, Cimentos Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro.

_____. NBR 5739, 2007, “Ensaio de Compressão de corpos de Prova Cilíndricos de Concreto”, Rio de Janeiro.

_____NBR NM 67, 1998. Ensaio do abatimento do tronco de concreto (slump test). Rio de Janeiro.

_____NBR 6118, 2014. Projetos de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro.

_____NBR 7211, 2009. Agregado para concreto. Rio de Janeiro.

_____NBR 7217, 1987. Agregados. Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro.

_____NBR 7809, versão corrigida 2008. Determinação do índice de forma pelo método paquímetro. Rio de Janeiro.

_____NBR 9778, 2005. Argamassa e Concreto endurecidos- Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro.

_____NBR 9779, 2012. Argamassa e Concreto endurecidos. Rio de Janeiro.

_____NBR 9833, 2008. Concreto fresco- Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro.

_____NBR 11578/1991. Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro.

_____NBR 12989/1993. Cimento Portland Branco. Rio de Janeiro.

_____NBR 13116/1994. Cimento Portland de baixo calor de hidratação. Rio de Janeiro.

_____NBR 14931/2004 Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro.

_____NBR 8953/2015: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro – RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP) (2002). Guia básico de utilização do cimento Portland.

BARBOSA, M. P. *et al* (1999). A influência do processo de cura nas propriedades mecânicas dos concretos de elevado desempenho (CED), 41º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo, IBRACON.

BARDELLA, Paulo Sergio; BARBOSA, Denise Cristina; CAMARINI, Gladis (2005). Sistemas de Cura em Concretos Produzidos com Cimento Portland de Alto-Forno com Utilização de Sílica Ativa. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos, 03-04 de novembro de 2005.

BAUER, L. A. Falcão. (1991). A Cura Do Concreto: Métodos e Materiais . Boletim nº 32, São Paulo, 33 p.

BAUER, L. A. F. (2008). Materiais da construção. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC. 538 p.

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

CASTRO *et al* (2009). Métodos de ensaios não destrutivos para estruturas de concreto. Revista Técnica. Edição 151. São Paulo – SP.

COUTO *et al* (2013). O concreto como material de construção. Caderno de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas. Sergipe. v. 1. p. 49-58

DANTAS, Igor (2013) <https://engciv.wordpress.com/2012/07/26/cura-do-concreto-conceitos-e-metodos-de-cura/> Acessado em 13/12/2017.

DINIZ, *et al* (2015). Influência da Cura por Imersão em Concretos Convencionais. Revista Tecnologia & Informação. Natal – RN.

FERNANDES, Juliana; BITTENCOURT, Tulio N. & HELENE, Paulo. 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

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

FONSECA, Gustavo Celso (2010). Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG.

FÜCHTER, Eloisa; GODINHO, Daiane dos S. da Silva (2016). Influência da Cura térmica por imersão nas propriedades mecânicas do concreto. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma – SC.

GONLÇAVES, Jardel Pereira; FILHO, Romildo Dias Toledo; FAIRBAIRN, Eduardo de Moraes Rego (2006). Estudo da hidratação de pasta de cerâmica Portland contendo resíduo cerâmico por meio de análise térmica. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. vol 6. p. 83-94. Porto Alegre

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO – IBRACON. (2009). Concreto e Construção. Revista.

ISAIA, Geraldo C. *et al.* (2007) Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. 1ª. ed. São Paulo: IBRACON. 1692p. v. 1 e 2.

ISERHARD, José Luís Rodrigues de Freitas (2000). **Contribuição ao estudo da viabilidade da cura do concreto por energia solar.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre – RS, 164 p.

ITAIPU Binacional. (2010), disponível em <https://www.itaipu.gov.br/energia/concretagem> acessado em 24 de março de 2018.

FIGUEIRA JÚNIOR, Arioslvaldo da Silva Figueira; VALIN JÚNIOR, Marcos de Oliveira Valin (2013). Influências climáticas na cura do concreto. IX Congresso Internacional sobre Patologias e Recuperação de Estruturas – CINPAR. João Pessoa – PB.

LEVY, Salomon Mony (2001). Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia de Construção Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 194 p.

MALHOTRA, V.M; CARINO, N. J. (2004) Handbook of Nondestructive Testing of Concrete. Boca Raton, CRC Press. 2ª edição.

MARTINS, A. R. (2001). Efeito da cura térmica e de cimentos com escória granulada de alto-forno na durabilidade do concreto de cobrimento. Dissertação (Mestrado). FEC/UNICAMP. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

MEDEIROS, Alisson Gadelha (2015). Análise de durabilidade da ponte do Rio do Carmo utilizando ensaios não destrutivos, norma DNIT e a metodologia GDE/UNB.

Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 149 p.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M.(1994). Concreto – estrutura, propriedades e materiais. São Paulo.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. (2006): Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3º ed., IBRACON, São Paulo.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. (2008): Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3º ed., IBRACON, São Paulo.

MORAIVA, Weber Guadagnin (2007). Influência de parâmetros microestruturais na durabilidade do concreto leve produzido com argila expandida. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Minas Gerais.

NEVILLE, A.M. Propriedades do concreto. São Paulo, 1997.

NEVILLE, A.M. (2016). Propriedades do concreto. 5 ed Porto Alegre Paulo.

NUNES, Francisco Jordão Nunes de Lima (2016). Estudo comparativo da penetração de íons cloreto em concretos convencionais e leves de resistências semelhantes expostos em ambiente marinho. Monografia (Graduação) – Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA. Mossoró – RN. 58 p.

PACHECO, J.; Helene, P. (2013). Boletim técnico – controle da resistência do concreto. Mérida, México: ALCONPAT. 20 p.

PERES, Luciano Donizeti Pantano (2006). Avaliação de propriedades mecânicas de peças pré-moldadas submetidas à cura térmica pelo método da maturidade: estudo de caso. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista – UNESP. Ilha Solteira – SP. 163 p.

PETRUCCI, Eládio G. R.(1998). - Materiais de Construção. São Paulo: Editora Globo.

PHILIPPSEN, André Luiz A; SHIMOSAKA, Tobias J. (2014) Estudo do efeito da cura térmica na resistência inicial do concreto para aplicação na indústria de pré-moldados de concreto. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco.

PIRES, M.M. (1999). Sistemas de escoramento e cura do concreto e sua relação com o desempenho das estruturas. In: Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador.

RECENA, F.A.P.; PEREIRA, F.M. (2011). Produção e Controle de Concreto em Obras. In: ISAIA, G.C. Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo.

ROSSIGNOLO, João Adriano (2003). Concreto leve de alto desempenho modificado com sb para pré-fabricados esbeltos: dosagem, produção, propriedade e microestrutura. Tese (Doutorado), Instituto de Engenharia de São Carlos.

SANTOS, Liane Ferreira (2010). A influência do patamar de cura térmica sobre a resistência dos concretos auto-adensáveis elaborados com diferentes tipos de cimento: avaliação pelo método da maturidade. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista – UNESP. Ilha Solteira – SP. 279 p.

SANTOS, Wesley Fêu dos (2016). Influência da cura térmica nas propriedades mecânicas e na microestrutura do concreto auto adensável contendo adições de metacaulim e fíler calcário. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal-RN. 100 p.

SENFF, Luciano; FOLGUERAS, Marilene V; HOTZA, Dachamir (2005). Hidratação do cimento CPV ARI – RS: influência da água nas reações de hidratação. 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Pedro – SP.

SCHLOTTFELDT, Daniel Donida (2012). Os riscos associados ao uso do cimento na construção civil. Disponível em: <<http://www.segurancanotrabalho.eng.br/artigos/rcimento.pdf>>. Acessado 23 de março de 2018.

SILVA, JOSÉ DANIEL JALES (2015). Avaliação da potencialidade de incorporação de lodo de uma indústria de produtos de limpeza como adição mineral em concretos de cimento Portland. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 106 p.

THOMAZ, E. (2009). Lixiviação x carbonatação. Revista Técnica, São Paulo, ed. 151.

VAZ, Fernando Henrique de Brita; SILVA, Daniela Castro (2016). XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo – SP.

WATANABE, PAULA SUMIE (2008). Concretos especiais – propriedades, materiais e aplicações. Iniciação Científica – FAPESP. Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista. Bauru – SP, 192 p.