



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

RAFAELA LEITE DE OLIVEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS PROPRIEDADES DE CONCRETOS
PRODUZIDOS EM LABORATÓRIO E EM CANTEIRO DE OBRAS**

PAU DOS FERROS – RN

2017

RAFAELA LEITE DE OLIVEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS PROPRIEDADES DE CONCRETOS
PRODUZIDOS EM LABORATÓRIO E EM CANTEIRO DE OBRAS**

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

Orientador: Prof. Bel. Jennef Carlos Tavares – UFERSA.

Coorientador: Prof. Me. Alisson Gadelha de Medeiros – UFERSA.

PAU DOS FERROS – RN

2017

© 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.

048e Oliveira, Rafaela Leite de.
 Estudo comparativo entre as propriedades de
 concretos produzidos em laboratório e em canteiro
 de obras / Rafaela Leite de Oliveira. - 2017.
 64 f. : il.

 Orientador: Jennef Carlos Tavares.
 Coorientador: Alisson Gadelha de Medeiros.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2017.

 1. Concreto manual. 2. concreto betonado. 3.
produtividade. 4. controle tecnológico. I.
Tavares, Jennef Carlos, orient. II. Medeiros,
Alisson Gadelha de, co-orient. III. Título.

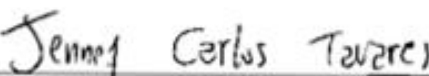
RAFAELA LEITE DE OLIVEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS PROPRIEDADES DE CONCRETOS
PRODUZIDOS EM LABORATÓRIO E EM CANTEIRO DE OBRAS**

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

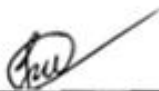
APROVADA EM: 20 / 10 / 2017

BANCA EXAMINADORA


Prof. Bel. Jennef Carlos Tavares – Orientador (UFERSA)


Prof. Me. Alisson Gadelha de Medeiros – Coorientador (UFERSA)


Prof. Me. José Daniel Jales Silva – 1º Membro (UFERSA)


Eng. Civil Jairo Cesar de Queiroz – 2º Membro (Externo)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre ter se mostrado presente em minha vida e pela força e coragem que me concedeu durante essa caminhada, não me permitindo desistir.

Aos meus amados pais, Antônio Leite Sobrinho e Angelina Nunes de Oliveira Leite, por partilharem dos meus sonhos, por todo o esforço que fizeram para que eu chegasse até aqui, por todo o carinho, cuidado e amor que sempre tiveram por mim e por terem sempre acreditado que eu seria capaz.

Aos meus irmãos, Micarle Queiroz, Adriana Leite, Luiza Leite e Alison Leite, por sempre estarem ao meu lado, dando força e carinho.

Ao meu noivo, Roni Alves, por estar sempre comigo, me dando apoio, amor e carinho e por tudo que fez por mim.

Ao meu orientador, Prof.º Jennef Carlos Tavares, e ao meu coorientador, Prof.º Alisson Gadelha de Medeiros, pela disponibilidade, paciência e por todos os conhecimentos repassados.

Aos grandes docentes do curso de Engenharia Civil da UFERSA – CMPF, por todos os ensinamentos preciosíssimos transmitidos, pela disponibilidade e pela seriedade com que se dedicam às suas profissões.

Aos amigos que estiveram presentes em todas as situações, por toda ajuda e por todos os momentos compartilhados.

Aos colegas de graduação, por toda amizade e por todos os conhecimentos compartilhados durante todo o curso.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, *campus* Pau dos Ferros, e a todos que fazem parte dessa instituição, e que contribuíram de alguma forma para a minha formação e realização dessa pesquisa.

À Construtora J. Queiroz, empresa colaboradora desse estudo. Ao engenheiro Jairo Queiroz, por ceder os materiais necessários a realização dessa pesquisa.

Em especial, aos amigos Karine, Daniel, Ires, Fabíola, Cíntia e Sara, pela amizade, lealdade e por estarem prontos a me ajudar sempre.

RESUMO

Atualmente, grande parte dos concretos utilizados em obras são produzidos em centrais de usinagens. Porém, em obras de menor porte ou por opção do próprio construtor, pode-se estar empregando também o concreto produzido no canteiro de obras, o qual pode se dar com o auxílio de uma betoneira, o chamado concreto betonado, ou pode contar com o método de mistura manual, realizada pelos colaboradores da obra. Este estudo analisa e compara esses dois métodos de produção de concreto, o manual, produzido no laboratório da UFERSA – CMPF, e o mecânico, produzido no canteiro de uma obra residencial, usando o mesmo traço em ambos. Para tal, confeccionou-se 10 corpos-de-prova, sendo 5 CP's de concreto manual e 5 CP's de concreto betonado. Em seguida, foram realizados os ensaios: slump test e massa específica para os concretos no estado fresco, e os ensaios: absorção, porosidade, massa específica e resistência à compressão para os concretos no estado endurecido, após serem submetidos à 28 dias de cura submersa. O concreto betonado, produzido em canteiro, apresentou uma maior plasticidade da pasta, cerca de 77% a mais que o concreto manual, e conseqüentemente, uma maior trabalhabilidade, porém no estado endurecido, apresentou valores de resistência abaixo da resistência de projeto, atingindo apenas 53,12% desse valor, o que comprova a necessidade de se estar realizando o controle tecnológico da produção de concreto no canteiro de obras, seja ela por meio de mistura mecânica, ou manual, visto que a falta desse controle pode trazer resultados insatisfatórios, e bastante abaixo do esperado.

Palavras-chave: Concreto manual, concreto betonado, produtividade, controle tecnológico.

ABSTRACT

Currently, most of the concrete used in construction works are produced in machining centers. However, in works of smaller size or at the option of the builder himself, the concrete produced at the construction site can also be used, which can be done with the aid of a concrete mixer, the so-called concreted concrete, or can count on the method of manual mixing, performed by the project's employees. This study analyzes and compares these two methods of concrete production, the manual, produced in the laboratory of UFERSA - CMPF, and the mechanic, produced in the construction site of a residential project, using the same trait in both. For this, 10 specimens were made, 5 CP's of manual concrete and 5 CP's of concrete. The following tests were performed: slump test and specific mass for concrete in the fresh state, and the tests: absorption, porosity, specific mass and compressive strength for concretes in the hardened state, after being submitted to 28 days of submerged cure. The concreted concrete, produced in construction site, presented a higher plasticity of the paste, about 77% more than manual concrete, and consequently, a higher workability, but in the hardened state, presented values of resistance below the design resistance, reaching only 53,12% of this value, which proves the need to be carrying out the technological control of the concrete production at the construction site, be it through mechanical or manual mixing, since the lack of this control can bring unsatisfactory results, and well below expected.

Keywords: Manual concrete, concreted concrete, productivity, technological control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: a) Cimento. b) Pasta de cimento e água. c) Agregado miúdo (areia). d) Argamassa. e) Agregado graúdo (pedra ou brita). f) Concreto simples.....	19
Figura 2: Seção polida de um corpo-de-prova de concreto	21
Figura 3: Curva de Abrams do cimento	28
Figura 4: Representação esquemática de coesão e falta de coesão	33
Figura 5: Fluxograma de pesquisa.....	39
Figura 6: Areia utilizada para a produção dos concretos.....	40
Figura 7: Brita utilizada para a produção dos concretos	41
Figura 8: Corpos-de-prova de concreto betonado após a desmoldagem	46
Figura 9: Equipamento utilizado no Slump Test	47
Figura 10: Prensa hidráulica utilizada para o ensaio de resistência à compressão.....	48
Figura 11: Curva granulométrica do agregado miúdo.....	50
Figura 12: Curva granulométrica do agregado graúdo.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classe de Agressividade	28
Tabela 2 – Consumo de água aproximado em função do abatimento da mistura e do Diâmetro Máximo Característico (DMC) do agregado	29
Tabela 3 – Volume compactado seco (Vpc) de agregado graúdo por metro cúbico de concreto	30
Tabela 4 – Tempo de cura x Fator a/c	37
Tabela 5 – Quantitativo dos materiais utilizados.....	43
Tabela 6 – Quantidade de CP's para cada ensaio	43
Tabela 7 – Quantidade de materiais necessários à produção dos CP's por mistura manual	44
Tabela 8 – Resultados do ensaio de massa específica real e de massa unitária	49
Tabela 9 – Composição granulométrica do agregado miúdo	50
Tabela 10 – Resultados do ensaio de massa específica real e de massa unitária	51
Tabela 11 – Composição granulométrica do agregado graúdo	52
Tabela 12 – Valores de consistência dos concretos.....	53
Tabela 13 – Valores de massa específica dos concretos	53
Tabela 14 – Porcentagem de absorção de água dos concretos produzidos	54
Tabela 15 – Porosidade dos concretos produzidos.....	54
Tabela 16 – Massa específica das amostras secas	55
Tabela 17 – Resistência a compressão dos concretos produzidos.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
Al_2O_3	Alumina
ASTM	American Society for Testing and Materials
CaO	Cal
C_3A	Aluminato Tricálcico
C_2S	Silicato Bicálcico
C_3S	Silicato Tricálcico
CMPF	Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros
CP's	Corpos-de-prova
CP I	Cimento Portland Comum
CP I - S	Cimento Portland Comum com adição
CP I - RS	Cimento Portland Resistente a Sulfatos
CP II - E	Cimento Portland Composto com Escória
CP II - Z	Cimento Portland Composto com Pozolana
CP II - F	Cimento Portland Composto com Filer
CP III	Cimento Portland de Alto Forno
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
CP V - ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
C - S - H	Silicato de Cálcio
DMC	Diâmetro Máximo Característico
Fe_2O_3	Óxido de Ferro
MF	Módulo de Finura
MgO	Óxido de Magnésio
NM	Norma Mercosul
NBR	Norma Brasileira Registrada
SiSO_2	Sílica
SO_3	Anidrido Sulfúrico
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 ORIGEM DO CONCRETO	16
2.2 HISTÓRICO	17
2.3 CONCRETO	18
2.3.1 Classificações do concreto	20
2.3.2 Macro e Microestrutura do concreto	21
2.4 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO	22
2.4.1 Cimento Portland	22
2.4.2 Agregados	24
2.4.3 Água	25
2.4.4 Aditivos	25
2.5 DOSAGEM	26
2.5.1 Método ABCP/ACI	27
2.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO	31
2.6.1 Propriedades do concreto no estado fresco	31
2.6.1.1 Trabalhabilidade	31
2.6.1.2 Consistência	32
2.6.1.3 Coesão	33
2.6.1.4 Exsudação	34
2.6.2 Propriedades do concreto no estado endurecido	34
2.6.2.1 Resistência à compressão axial	35
2.6.2.2 Permeabilidade	35
2.7 CURA DO CONCRETO	36
3 METODOLOGIA	38
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	39
3.1.1 Agregado miúdo	39

3.1.2 Agregado graúdo	40
3.1.3 Cimento	41
3.1.4 Água	42
3.2 DOSAGEM E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS	42
3.2.1 Traço dos concretos e dosagens	42
3.2.2 Quantitativo de materiais	43
3.2.3 Produção dos corpos-de-prova	44
3.2.3.1 Concreto misturado manualmente	44
3.2.3.2 Concreto misturado em betoneira	45
3.3 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	46
3.3.1 Abatimento do tronco de cone (<i>slump test</i>)	46
3.3.2 Massa específica do concreto fresco	47
3.4 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	47
3.4.1 Absorção de água e porosidade	47
3.4.2 Resistência à compressão	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO	49
4.1.1 Massa específica real e massa unitária	49
4.1.2 Determinação da composição granulométrica	49
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO	51
4.2.1 Massa específica real e massa unitária	51
4.2.2 Determinação da composição granulométrica	51
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO	52
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO	53
4.4.1 Ensaio de abatimento de tronco de cone	53
4.4.2 Ensaio de massa específica	53
4.4.3 Ensaio de absorção de água e porosidade	54
4.4.4 Massa específica dos concretos endurecidos	55
4.4.5 Ensaio de resistência à compressão	55
4.5 DOSAGEM DO TRAÇO CORRIGIDO	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS	60
APÊNDICE	63

I – QUESTIONÁRIO APLICADO AO ENG. DA CONSTRUTORA J. QUEIROZ	63
---	----

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material manufaturado mais utilizado no planeta, sendo o seu consumo cerca de dez vezes maior que o do aço, o segundo da lista dos materiais estruturais mais consumidos atualmente pela indústria da construção civil. A elevada resistência à compressão, aliada à versatilidade de formas, ao custo relativamente baixo e à rapidez na execução, garantem a diversificação da utilização desse material, que pode ser aplicado na construção de edificações, pontes, viadutos, túneis, barragens e pavimentos (ISAIA, 2005). Contudo, do ponto de vista de alguns autores, para que o concreto possa ser utilizado de maneira satisfatória, faz-se necessário que o projetista e o executante estejam familiarizados com a tecnologia desse material (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Conforme Lima *et al.* (2014), concreto é composto basicamente de cimento Portland, areia, pedra e água, porém, para se ter um melhor aproveitamento e desempenho desse material, é necessário que se faça a correta escolha dos materiais constituintes, a dosagem de um traço que garanta a resistência e durabilidade desejada, o preparo da mistura de forma a se obter a total homogeneidade e os devidos cuidados nos momentos do transporte, do lançamento, do adensamento e da cura.

Atualmente, grande parte dos concretos utilizados em obras são produzidos em centrais de usinagens, daí o nome concreto usinado. Porém, Krug, Habitzreitter e Bueno (2016) afirmam que em algumas obras de menor porte ou por opção do próprio construtor, pode-se estar empregando também o concreto produzido no canteiro de obras, o qual é geralmente usado quando a obra for projetada com fundações superficiais e/ou na concretagem de pilares.

A produção do concreto no canteiro de obras, por sua vez, pode se dar ainda de duas maneiras distintas: a primeira é o concreto sendo produzido em betoneira, na qual a mistura do material é feita de forma mecânica, e a segunda é o concreto sendo produzido manualmente, na qual a mistura do material é feita de forma manual, como o próprio nome sugere.

O processo de mistura mecânica do concreto, realizado em betoneiras, possibilita a obtenção de uma mistura mais homogênea, bem como uma maior produtividade do que no processo de mistura manual. Entretanto, por ser um equipamento eletromecânico, exige instalação adequada no canteiro de obras, além de uma mão-de-obra especializada para sua operação.

Contudo, independentemente da sua forma de produção, um dos principais fatores que influenciam nos resultados finais do concreto é a sua dosagem, ou seja, a correta proporção entre os seus constituintes, a qual é buscada constantemente, a fim de que se possa alcançar,

simultaneamente, todas as propriedades necessárias que o concreto deve conter para que se obtenha dele o melhor aproveitamento possível (HELENE e ANDRADE, 2010).

De acordo com Menezes *et al.* (2013), a grande necessidade da redução de custos, a racionalização dos canteiros de obras e a constante busca por qualidade fazem do uso do concreto um estudo cada vez mais necessário. Neste sentido, o presente trabalho apresenta um comparativo entre os concretos produzidos por mistura manual, em laboratório, e por mistura mecânica, feita no canteiro de obras, através da caracterização das principais propriedades desses dois concretos, dentre elas a trabalhabilidade ou consistência no concreto fresco e a resistência à compressão do concreto endurecido, propondo ainda, a partir desses parâmetros, um novo traço que possa ser aplicado na produção desses concretos proporcionando-os atingir melhores resultados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo traçar um comparativo entre as propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos através de meios manuais em laboratório e concreto betonado, produzido em canteiro, utilizando o traço aplicado no concreto de uma obra residencial, localizada no município de Pau dos Ferros.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os materiais a serem utilizados para a produção dos concretos;
- Produzir concretos através de mistura manual, em laboratório, e mecânica, no canteiro da obra, bem como seus respectivos corpos-de-prova;
- Realizar ensaios no estado fresco e no estado endurecido dos concretos produzidos por meio de ambas as misturas;
- Avaliar o desempenho dos concretos de produção manual e mecânica, no que tange às suas propriedades de consistência, massa específica, resistência à compressão, absorção e porosidade;
- Indicar as principais causas das disparidades entre os concretos;
- Sugestão de dosagem de um traço corrigido para aplicação na obra em análise.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nas civilizações primitivas, o homem empregava os materiais assim como os encontrava na natureza, e não os trabalhava. Com isso, os primeiros materiais de construção utilizados foram as pedras, as palhas, os galhos e troncos de árvores e, sem dúvida, a terra ou o barro, e a partir deles o homem foi capaz de construir belíssimas obras de engenharia. Porém, aos poucos, foram aumentando as exigências do homem, bem como os padrões requeridos, havendo uma busca por materiais de maior resistência, maior durabilidade e melhor aparência do que aqueles até então empregados, e daí surgiu o concreto, o qual ficou conhecido por ser trabalhável como o barro e resistente como a pedra (BAUER, 2000).

2.1 ORIGEM DO CONCRETO

De acordo com Neville (2016), a utilização de materiais cimentícios é bastante antiga. Os antigos egípcios utilizavam gesso impuro. Os gregos e os romanos utilizavam calcário calcinado e, mais tarde, aprenderam a adicionar areia e pedra fragmentada ou fragmentos de tijolos ou telhas ao calcário e à água. Esse foi, portanto, o primeiro concreto da história.

Evidentemente, esse concreto desenvolvido pelos romanos pouco se aproxima dos concretos produzidos atualmente (concreto simples ou armado). Segundo Carvalho (2008), na época, sua grande utilização foi como argamassa de assentamento nas alvenarias de pedras, porém, em alguns casos como nas estradas e em algumas obras de coberturas essas pedras eram muito pequenas (assim como a brita atual), tornando essa mistura muito semelhante à argamassa de concreto atual.

Carvalho (2008) afirma ainda que o desenvolvimento tecnológico do concreto durante o Império Romano foi bastante notável. Este foi desenvolvido com o uso de agregados leves e com o uso de reforço, as barras metálicas. Os romanos usaram esse cimento na construção de suas pontes, estradas, docas, drenos pluviais e aquedutos; edificaram aquedutos que levavam água limpa até as cidades e também desenvolveram complexos sistemas de esgoto para dar vazão a água servida e aos dejetos da casa.

2.2 HISTÓRICO

A descoberta do concreto no fim do século XIX e seu intensivo uso no século XX o transformaram no material mais consumido pelo homem, depois da água, e revolucionaram a arte de projetar e construir estruturas, cuja evolução sempre esteve associada ao desenvolvimento das civilizações ao longo da história da humanidade (HELENE e ANDRADE, 2010).

Porém, conforme Tutikian e Helene (2011), até o século XIX, pouco se conhecia acerca do proporcionamento adequado dos materiais constitutivos dos concretos e argamassas. Em 1828, na França, Louis J. Vicat constatou experimentalmente que uma determinada relação cimento/areia conduzia à máxima resistência das argamassas e fez considerações sobre os inconvenientes do excesso e da insuficiência de areia no traço. O mesmo autor descreveu também que, Rondelet, em 1830, preconizou a utilização de areia tão grossa quanto possível para obtenção de argamassas e concretos econômicos.

Em 1836, tiveram início na Alemanha os primeiros ensaios sistemáticos para determinação da resistência a tração e compressão do cimento. Nesta mesma década houve um desenvolvimento incipiente do uso do concreto, principalmente em fundações, estabelecendo-se o termo concreto para uma massa sólida em que cimento, areia, água e pedras são combinadas (KAEFER, 1998).

Préauveau, em 1881, apresentou formalmente um método de dosagem das argamassas e concretos. Propôs que fosse determinado o volume de vazios da areia e que o volume da pasta aglomerante deveria ser 5% superior ao volume de vazios encontrado no agregado miúdo. Em seguida, deveria ser determinado o volume de vazios da pedra, a partir do qual se calcula o volume da argamassa como sendo 10% superior ao volume de vazios do agregado graúdo (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

Ainda conforme os mesmos autores, mais tarde, em 1918, Duff A. Abrams, após o estudo de inúmeros traços e de mais de 50000 corpos-de-prova, enunciou a “Lei de Abrams”, mundialmente aceita até os dias de hoje. Abrams introduziu também o termo “Módulo de Finura”, que propôs representar, por meio de um único índice, a distribuição granulométrica dos agregados. Em 1922, Abrams introduziu ainda a noção de trabalhabilidade do concreto e propôs a medida da sua consistência, por meio de um molde de tronco de cone, de altura de 30 cm e bases de 10 cm e 20 cm.

Em 1932, Inge Lyse publicou sua contribuição ao estudo da dosagem dos concretos, demonstrando que, respeitados certos limites e mantidos os mesmos materiais, é possível

considerar a massa de água por unidade de volume de concreto como a principal determinante da consistência do concreto fresco, qualquer que seja a proporção dos materiais da mistura (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

Segundo Kaefer (1998), houve, na década de 70, a introdução do concreto reforçado com fibras e de concretos de altas resistências, e na década seguinte, a introdução dos superplastificantes nas misturas.

2.3 CONCRETO

O concreto de cimento Portland é o material estrutural e de construção civil de maior importância na atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida (HELENE e ANDRADE, 2010).

Segundo Pedroso (2009), o concreto pode ser definido como uma pedra artificial que se molda à inventividade construtiva do homem, o qual depois de endurecido tem resistência similar às das rochas naturais e, quando no estado fresco, é um composto plástico: possibilita sua modelagem em formas e tamanhos variados.

Já para Araújo (2010), o concreto é o material resultante da mistura dos agregados (naturais ou britados) com cimento e água. Em função de necessidades específicas, são acrescentados aditivos químicos (retardadores ou aceleradores de pega, plastificantes e superplastificantes, etc.) e adições minerais (escórias de alto-forno, pozolanas, fíleres calcários, microssílica, etc.) que melhoram as características do concreto fresco ou endurecido.

Assim, conforme Bastos (2006), pode-se indicar, esquematicamente, que a pasta é o cimento misturado com a água; a argamassa é a pasta misturada com a areia; e o concreto é a argamassa misturada com a pedra ou a brita, também chamado de concreto simples (concreto sem armaduras), como mostram as Figuras 1-a, 1-b, 1-c, 1-d, 1-e e 1-f.

Figura 1: a) Cimento. b) Pasta de cimento e água. c) Agregado miúdo (areia). d) Argamassa. e) Agregado graúdo (pedra ou brita). f) Concreto simples



Fonte: Bastos (2006).

Araújo (2010) afirma que a resistência do concreto endurecido depende de vários fatores, como o consumo de cimento e de água da mistura, o grau de adensamento e os tipos de agregados e de aditivos. Quanto maior o consumo de cimento e menor a relação água-cimento, maior é a resistência à compressão. A relação água-cimento determina a porosidade da pasta de cimento endurecida e, portanto, as propriedades mecânicas do concreto.

A principal característica do concreto é a sua alta resistência à compressão, e por contrapartida, baixa resistência a tração, sendo esta, conforme Araújo (2010), correspondente à cerca de 10% da sua resistência à compressão.

O concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento e conter pozolanas, como cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, agregados de concreto reciclado, polímeros, fibras, entre outros (NEVILLE e BROOKS, 2013). De acordo com Helene e Andrade (2010), a proporção entre os diversos constituintes do concreto é determinada de acordo com as propriedades a serem atendidas simultaneamente, como às propriedades mecânicas, físicas, de durabilidade e a trabalhabilidade necessária para o transporte, lançamento e adensamento do concreto.

2.3.1 Classificações do concreto

Segundo a NBR 8953/2015, os concretos podem ser classificados de acordo com a sua massa específica, a sua resistência à compressão aos 28 dias e a sua consistência no estado fresco, determinada a partir do ensaio de abatimento pela NBR NM 67/1998. Assim, quanto a sua massa específica, o concreto pode ser classificado em:

- Concreto leve: concreto com massa específica seca, de acordo com a NBR 9778/2005, inferior a 2000 kg/m^3 ;
- Concreto normal: concreto com massa específica seca, de acordo com a NBR 9778/2005, compreendida entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 ;
- Concreto pesado: concreto com massa específica seca, de acordo com a NBR 9778/2005, superior a 2800 kg/m^3 .

Quanto a sua resistência à compressão aos 28 dias, o concreto pode ser classificado em:

- Concreto de baixa resistência: menos de 20 MPa (não adequado à finalidade estrutural, segundo a NBR 6118/2014);
- Concreto de resistência normal: 20 a 50 MPa;
- Concreto de alta resistência: mais de 50 MPa.

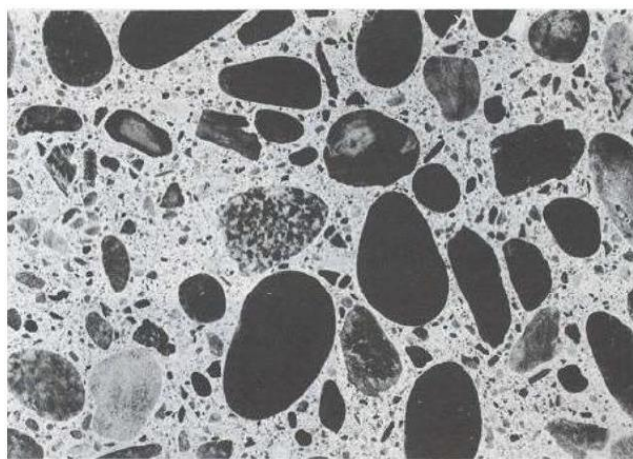
E por fim, quanto a sua consistência no estado fresco, o concreto pode ser classificado como:

- S10: possui um abatimento de $10 \leq A < 50 \text{ mm}$, é utilizado como concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado;
- S50: possui um abatimento $50 \leq A < 100 \text{ mm}$, utilizado em alguns tipos de pavimentos e fundações;
- S100: possui um abatimento de $100 \leq A < 160 \text{ mm}$, utilizado em elementos estruturais com lançamento convencional;
- S160: possui um abatimento de $160 \leq A < 220 \text{ mm}$, utilizado em elementos estruturais com lançamento bombeado;
- S220: possui um abatimento de $\geq 220 \text{ mm}$, utilizado em elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armadura.

2.3.2 Macro e Microestrutura do concreto

O concreto tem uma estrutura altamente complexa e heterogênea e, embora seja o material estrutural mais amplamente utilizado no mercado, as suas relações microestrutura-propriedade não estão ainda completamente desenvolvidas. Ao analisar a sua macroestrutura, através da seção transversal de um corpo-de-prova mostrada na Figura 2, pode-se distinguir duas fases, as quais são as partículas de agregado, de formas e tamanhos variados, e o meio ligante composto de uma massa de pasta de cimento hidratada. Em nível macroscópico, portanto, o concreto pode ser considerado como um material bifásico (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Figura 2: Seção polida de um corpo-de-prova de concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

Para Mehta e Monteiro (2008, p. 23),

Em nível microscópico, as complexidades da microestrutura do concreto são evidentes. Nesse caso as duas fases da microestrutura não são distribuídas de forma homogênea entre elas, nem elas mesmas são homogêneas entre si. Por exemplo, algumas regiões da pasta de cimento aparentam serem tão densas quanto o agregado, enquanto que outras são altamente porosas. Além das duas fases já abordadas, é possível destacar ainda uma terceira fase, que fica localizada na interface dos agregados com a pasta, chamada portanto de zona de transição. Esta zona é geralmente mais fraca do que os outros dois componentes principais do concreto, e, conseqüentemente, exerce uma influência muito maior sobre o comportamento mecânico do concreto do que pode ser esperado pela sua espessura.

Mehta e Monteiro (2008) afirmam ainda que, observando-se concretos endurecidos, fabricados com diferentes idades e relações água/cimento percebe-se, em geral, que o volume

de vazios capilares na pasta de cimento hidratada diminui com a redução da relação água/cimento ou com o aumento da idade de hidratação.

2.4 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

2.4.1 Cimento Portland

Os produtos empregados na construção civil para fixar ou aglomerar outros materiais entre si podem ser definidos como aglomerantes. Normalmente são materiais em forma de pó, que quando misturados com a água, formam uma pasta capaz de endurecer por simples secagem ou devido à ocorrência de reações químicas (HAGEMANN, 2011). Existem diversos tipos de aglomerantes empregados nas mais variadas atividades, destacando-se o cimento Portland, asfalto, cal e gesso. No caso do concreto estudado no presente trabalho, o aglomerante a ser utilizado é o cimento Portland.

O cimento Portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Esses silicatos e aluminatos complexos, ao serem misturados com água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, que pode então oferecer elevada resistência mecânica (PETRUCCI, 1998).

Para Bauer (2000), o cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

Ainda conforme Bauer (2000), os constituintes fundamentais do cimento são a cal (CaO), a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3), o óxido de ferro (Fe_2O_3), certa proporção de Óxido de Magnésio (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO_3), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto, dentre outros constituintes presentes em menores quantidades.

As reações pelas quais o cimento Portland se torna um material aglomerante acontecem na pasta, constituída por água e cimento, resultando em uma massa firme e resistente, ou seja, a pasta de cimento hidratada (NEVILLE, 2016).

A hidratação evolui com o tempo, tendo aos 28 dias de cura cerca de 70-80% 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 entre água e cimento, da temperatura de cura e da presença de aditivos químicos e minerais (GONÇALVES; FILHO e FAIRBAIRN, 2006).

Os principais compostos hidratados podem ser classificados como silicatos de cálcio hidratados e aluminato tricálcico hidratado (NEVILLE, 2016). De maneira geral, os silicatos de cálcio após a hidratação são chamados de C-S-H. Já a hidratação do aluminato tricálcico (C_3A) se dá de forma muito rápida, transformando sua estrutura em uma forma cristalina cúbica circundada pelos silicatos de cálcio hidratados, com o objetivo de desacelerar a sua pega é adicionado sulfato de cálcio ao clínquer (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Segundo Bauer (2000), o principal responsável pela resistência em todas as idades do concreto é o silicato tricálcico (C_3S), especialmente no primeiro dia, até o fim do primeiro mês de cura. Já o silicato bicálcico (C_2S) se torna extremamente importante no processo de endurecimento em idades mais avançadas, sendo responsável pelo ganho de resistência no período de um ano ou mais. No início do período de cura, o aluminato de cálcio (C_3A) é o principal contribuinte para o calor de hidratação e quando presente em forma cristalina é também o maior responsável pela rapidez de pega, sendo o silicato tricálcico (C_3S) o segundo componente mais importante para estes processos.

Os vários tipos de cimentos 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 de cimento, e as classes são indicadas pelos números 25, 32 e 40, os quais correspondem aos valores mínimos de resistência à compressão, após 28 dias (SOUZA, 2007).

Conforme Mehta e Monteiro (2008), os principais tipos de cimento Portland comercializados são:

- Cimento Portland Comum – CP I;
- Cimento Portland Comum com adição – CP I – S;
- Cimento Portland Composto com Escória – CP II – E;
- Cimento Portland Composto com Pozolana – CP II – Z;
- Cimento Portland Composto com Filler – CP II – F;
- Cimento Portland de Alto Forno – CP III;
- Cimento Portland Pozolânico – CP IV;
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – CP V – ARI;
- Cimento Portland Resistente a Sulfatos – CP I – RS , CP I – S RS, CP II – E RS, CP II – Z RS, CP II – F RS, CP III RS, CP IV RS.

2.4.2 Agregados

De acordo com a NBR 7211/2009, os agregados são grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, que não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que afetem a hidratação e o endurecimento do cimento, a durabilidade ou, a proteção da armadura contra a corrosão, ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

Para Bauer (2000), agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. O termo “agregado” é de uso generalizado na tecnologia do concreto. Já nos outros ramos da construção, é conhecido, conforme cada caso, pelo nome específico: filer, pedra britada, bica-corrida, entre outros.

Conforme Neville (2016), a princípio, os agregados eram tidos como materiais inertes, dispersos na pasta de cimento e eram utilizados principalmente por razões econômicas. Entretanto, é possível adotar uma visão contrária e considerá-los um material de construção ligado a um todo coeso por meio da pasta de cimento, de modo semelhante à alvenaria. Na realidade, os agregados não são verdadeiramente inertes, já que suas propriedades físicas, térmicas e, algumas vezes, químicas influenciam o desempenho do concreto.

Neville (2016) afirma ainda que os agregados são mais baratos do que o cimento, sendo mais econômico utilizá-los na maior quantidade possível, diminuindo assim a quantidade de cimento. Porém, a economia não é a única razão para o uso dos agregados, os quais garantem vantagens técnicas consideráveis ao concreto, devido a maior estabilidade de volume e maior durabilidade do que a pasta de cimento hidratada.

Segundo Bauer (2000), os agregados classificam-se segundo a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente. Segundo a origem, podem ser naturais: os que já se encontram na forma particulada na natureza (areia e cascalho); e industrializados: os que têm sua composição particulada obtida por processos industriais. Nestes casos, a matéria prima pode ser rocha, escória de alto forno e argila.

Quanto às dimensões das partículas, de acordo com a NBR 7211/2009, os agregados podem ser classificados como miúdos: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m; e graúdos: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm, e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Quanto ao peso específico aparente, conforme Bauer (2000), os agregados são classificados em leves, médios e pesados, de acordo com a densidade do material que constitui as partículas, assim sendo, aproximadamente:

- agregados leves: $g < 1000 \text{ kg/m}^3$;
- agregados médios: $1000 < g < 2000 \text{ kg/m}^3$;
- agregados pesados: $g > 2000 \text{ kg/m}^3$.

2.4.3 Água

De acordo com Isaia (2011), o consumo mundial de água é, aproximadamente, igual a 200 l/dia/hab, sendo 22 vezes maior que o consumo de concreto, o qual é o segundo material mais consumido pelo homem. O consumo de água na produção de concreto não é significativo, porém, sob o ponto de vista técnico-científico, as transformações que esse consumo provoca na microestrutura das pastas são muito importantes.

Ainda segundo Isaia (2011), essa importância vem do fato de a água regular as reações de hidratação, pozolânicas, as propriedades reológicas de concreto fresco e propriedades do concreto endurecido como retração, fluência e mecanismos de transporte de massa. Também atua como um dos agentes mais importantes na degradação e processos patológicos de estruturas.

Assim, Neville e Brooks (2013) enfatizam que a procedência da água usada para a produção do concreto é um fator determinante para a sua qualidade final, pois a alta concentração de sódio, potássio, dentre outras substâncias, podem afetar negativamente a sua resistência, corroer as armaduras e ainda provocar manchas em sua superfície, sendo, portanto, a água potável a mais recomendada para o uso no processo de produção do concreto, tanto no momento do amassamento como também no momento da realização da cura.

2.4.4 Aditivos

É possível alterar algumas das propriedades dos cimentos de uso mais comum pela incorporação de uma adição, um aditivo para cimento ou um aditivo para concreto. Em alguns casos, essa incorporação é a única maneira de se alcançar um determinado efeito (NEVILLE e BROOKS, 2013).

A NBR 11768/2011 define aditivos como sendo produtos que adicionados em pequena quantidade à concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições.

Para Bauer (2000), o termo aditivo pode ser definido como todo produto não indispensável à composição e finalidade do concreto, que colocado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura do concreto, em quantidades geralmente pequenas e bem homogêneo, faz aparecer ou reforça certas características.

De acordo com a NBR 11768/2011, os aditivos podem ser classificados como:

- Plastificante (tipo P): Aumenta o índice de consistência do concreto, mantendo a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 6% da quantidade de água de amassamento para produzir um concreto com determinada resistência;
- Retardador (tipo R): Aumenta os tempos de início e fim de pega do concreto;
- Acelerador (tipo A): Diminui os tempos de início e fim de pega do concreto e acelera o desenvolvimento das suas resistências iniciais;
- Plastificante retardador (tipo PR): Combina os efeitos dos aditivos plastificantes e retardadores;
- Plastificante acelerador (tipo PA): Combina os efeitos dos aditivos plastificantes e aceleradores;
- Incorporador de ar (tipo IAR): Incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto;
- Superplastificante (tipo SP): Aumenta o índice de consistência do concreto, mantendo a quantidade de água de amassamento, ou possibilita a redução de, no mínimo, 12% da quantidade de água de amassamento para produzir um concreto com determinada consistência;
- Superplastificante retardador (tipo SPR): Combina os efeitos dos aditivos superplastificante e retardador;
- Superplastificante acelerador (tipo SPA): Combina os efeitos dos aditivos superplastificante e acelerador.

2.5 DOSAGEM

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), antes de fazer uma mistura de concreto, a seleção dos materiais componentes apropriados e das suas proporções é o primeiro passo para

a obtenção de um produto que deverá atender à resistência especificada. Na prática, muitos parâmetros para definição da dosagem são interdependentes e, assim, suas influências não podem ser efetivamente isoladas.

Entende-se por estudo de dosagem dos concretos de Cimento Portland os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecido por traço. Essa proporção ideal pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferível e sempre mais rigorosa a proporção expressa em massa seca de materiais (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

Para Tutikian e Helene (2011), deve-se considerar como materiais passíveis de uso nos concretos e possíveis de serem utilizados num estudo de dosagem os vários cimentos, os agregados miúdos, os agregados graúdos, a água, o ar incorporado, o ar aprisionado, os aditivos, as adições, os pigmentos e as fibras.

Ainda conforme o mesmo autor, os requisitos básicos usuais a serem atendidos num processo de dosagem são a resistência mecânica, a trabalhabilidade, a durabilidade, a deformabilidade e a sustentabilidade.

Existem diversos métodos de dosagem experimental, tais quais o IPT, INT, ACI, ABCP, dentre outros. Neste trabalho, o método a ser adotado será o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) de dosagem.

2.5.1 Método ABCP/ACI

O método ABCP foi desenvolvido e adaptado às condições brasileiras tomando por base o método de dosagem do ACI (American Concrete Institute) e é um dos mais utilizados, devido suas considerações acerca dos materiais da dosagem (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

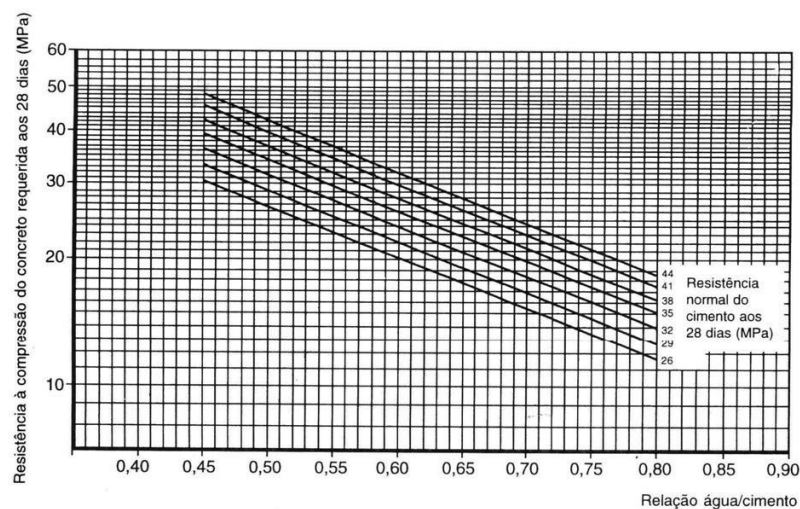
1ª Etapa: Definição da relação água/cimento (a/c)

Nesta etapa são consideradas a resistência mecânica e a durabilidade que se deseja do concreto a ser dosado.

- Quanto à resistência mecânica: a relação água/cimento pode ser estimada pelo gráfico da Curva de Abrams do cimento (Figura 3), obtido através de traços realizados com cimentos brasileiros. Se a classe do cimento não é conhecida, adota-se a classe 25, que é a mínima especificada para cimentos nacionais.

- Quanto à durabilidade: a relação água/cimento deve ser adotada conforme mostrado na Tabela 1, extraída da NBR 12655/2015.

Figura 3: Curva de Abrams do cimento



Fonte: ABCP, 2005.

Tabela 1 – Classe de Agressividade

Concreto	Tipo	Classe de Agressividade			
		I	II	III	IV
Relação a/c	Armado	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	Protendido	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe do concreto	Armado	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	Protendido	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

Fonte: ABNT NBR 12655 (2015).

Porém, antes de analisar o gráfico da curva de Abrams, deve-se calcular a resistência de dosagem do concreto (f_{cj}) para 28 dias, através da Equação 1, descrita abaixo:

$$f_{c_{28}} = f_{ck} + 1,65 \times sd(MPa)$$

Equação 1

Onde o f_{ck} é a resistência à compressão característica e o sd é o desvio padrão, o qual varia de acordo com as condições de preparo, sendo que para a condição A tem-se um $sd = 4,0$ MPa; condição B, $sd = 5,5$ MPa e condição C, $sd = 7,0$ MPa.

2ª Etapa: Determinação aproximada do consumo de água (C_a)

A quantidade de água necessária para que o concreto atinja um determinado abatimento depende da dimensão máxima característica, da granulometria e forma dos agregados e quantidade de ar incorporado. Na falta de valores experimentais e de uma lei matemática que conduza a resultados seguros, pode-se estimar a quantidade de água pela Tabela 2.

Tabela 2 – Consumo de água aproximado em função do abatimento da mistura e do Diâmetro Máximo Característico (DMC) do agregado

Consumo de água aproximado (l/m^3)					
Abatimento (mm)	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Rodrigues (1998).

3ª Etapa: Determinação do consumo de cimento (C)

O consumo de cimento é igual ao quociente do consumo de água pela relação água/cimento, dado pela Equação 2:

$$C = \frac{C_a}{a/c} (kg / m^3)$$

Equação 2

4ª Etapa: Determinação do consumo de agregado graúdo (C_g)

O consumo do agregado graúdo pode ser obtido do quadro a partir da Tabela 3, em função da dimensão máxima característica ($D_{máx}$) e do módulo de finura (MF) da areia.

Tabela 3 – Volume compactado seco (V_{pc}) de agregado graúdo por metro cúbico de concreto

Volume compactado seco (V _g) de agregado graúdo por m ³ de concreto					
MF	D _{máx} (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,885
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,865

Fonte: Rodrigues (1998).

A determinação de C_g é feita através da Equação 3:

$$C_g = V_g MU_g (kg / m^3)$$

Equação 3

Onde MU_g é a massa unitária compactada do agregado graúdo (brita).

5ª Etapa: Determinação do consumo de agregado miúdo (C_m)

O volume de areia é dado pela diferença dos demais constituintes do concreto já determinados anteriormente, conforme a Equação 4.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{C_g}{\rho_g} + \frac{C_a}{\rho_a} \right)$$

Equação 4

Onde V_m é o volume de areia, e ρ_c, ρ_g e ρ_a são as massas específicas do cimento, agregado graúdo e água, respectivamente. E o consumo de areia, por sua vez, é dado pela Equação 5.

$$C_m = \rho_m \times V_m$$

Equação 5

Onde ρ_m é a massa específica da areia.

6ª Etapa: Definição do traço

Obtêm-se o traço através da divisão de todas as massas obtidas pela massa do cimento, como é dado na Equação 6.

$$\frac{C}{C} : \frac{C_m}{C} : \frac{C_g}{C} : \frac{C_a}{C}$$

Equação 6

2.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO

2.6.1 Propriedades do concreto no estado fresco

São propriedades do concreto fresco a trabalhabilidade, a consistência, a coesão e a exsudação. Para muitos autores, a trabalhabilidade é uma propriedade que reúne as demais propriedades, não sendo tratada, portanto, separadamente (SOUZA, 2007). Porém, neste trabalho serão abordadas individualmente cada uma dessas quatro propriedades, pois estas representam características particulares importantes do concreto fresco.

2.6.1.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade do concreto é definida pela ASTM – American Society for Testing and Materials – como a propriedade que determina o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto fresco com uma perda mínima de homogeneidade (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Para Mehta e Monteiro (2008), a trabalhabilidade do concreto fresco determina a facilidade com o qual um concreto pode ser manipulado sem segregação nociva. Um concreto que seja difícil de lançar e adensar não só aumentará o custo de manipulação como também terá resistência, durabilidade e aparência, inadequadas. De forma similar, misturas com elevadas

segregação e exsudação, são mais difíceis e mais caras na hora do acabamento e fornecerão concreto menos durável. Portanto, a trabalhabilidade pode afetar tanto o custo quanto a qualidade do concreto.

Segundo Souza (2007), a trabalhabilidade não é uma propriedade intrínseca do concreto, pois deve ser relacionada ao tipo de construção e aos métodos de produção que serão empregados na obra. Ela influencia diretamente para uma maior ou menor facilidade de utilização do concreto, pois permite que o operário realize mais facilmente todas as tarefas necessárias ao manuseio do material.

Ainda de acordo com Souza (2007), por ser uma propriedade muito influenciada por outras propriedades, não há um ensaio específico para medir a trabalhabilidade do concreto fresco. A consistência é uma propriedade que confere característica de plasticidade ao concreto que, consequentemente, atribui características próprias a trabalhabilidade, ou seja, o material fica mais ou menos fácil de ser empregado para uma determinada finalidade. O ensaio que mede a consistência, chamado de Abatimento do Tronco de Cone ou *Slump Test* (ABNT NBR NM 67/1998), é a principal referência para estimação da trabalhabilidade.

2.6.1.2 Consistência

A consistência é uma propriedade que representa o grau de umidade do concreto, intimamente relacionado com o grau de plasticidade da massa, sendo um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade. Ela depende principalmente da quantidade de água presente na mistura, de modo que, aumentando a quantidade de água, a mistura fresca se torna mais mole, mais plástica, mais trabalhável (GIAMUSSO, 1992).

A consistência é definida pelo ACI como sendo a relativa mobilidade ou facilidade de o concreto ou argamassa escoar; e pela ASTM, como sendo a resistência de um material não newtoniano à deformação (BAUER, 2000).

Para Mehta e Monteiro (2008), a consistência é usada como um simples índice da mobilidade ou da fluidez do concreto fresco. Pode ser avaliada em termos de abatimento, a qual depende da umidade da mistura de concreto, isto é, quanto mais úmida a mistura, maior o abatimento.

A consistência pode ser medida por diversos métodos, mas o mais utilizado é o do abatimento do tronco de cone (*slump test*), o qual consiste em se moldar um tronco de cone com o concreto a ser ensaiado e verificar o abatimento causado na massa de concreto pelo seu próprio peso (SOUZA, 2007).

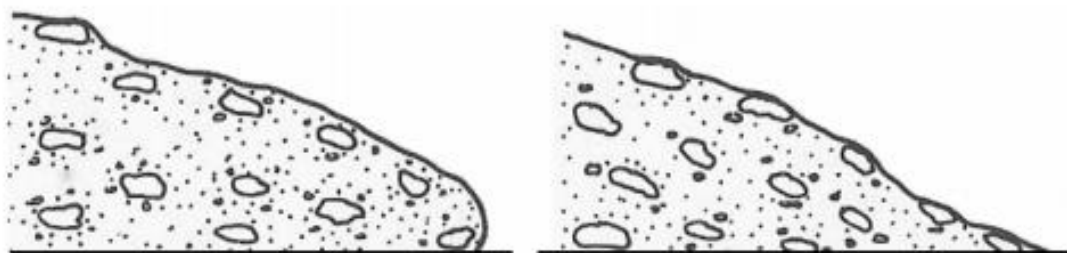
2.6.1.3 Coesão

A coesão, por sua vez, é a propriedade pela qual o concreto se mantém misturado, isto é, seus componentes não se separam (GIAMUSSO, 1992). A falta de coesão resulta em um problema de segregação, a qual pode ser definida como a separação dos componentes de uma mistura heterogênea, de modo que sua distribuição não seja mais uniforme. No caso do concreto, são as diferenças de tamanhos das partículas e da massa específica dos componentes da mistura que constituem a causa primária da segregação, mas esta pode ser controlada pela escolha de granulometria adequada e pelo cuidado no seu manuseio (NEVILLE, 2016).

Souza (2007) afirma que essa propriedade ainda não é mensurável em ensaios correntes. Na prática, avalia-se a coesão do concreto pelo aspecto da mistura (Figura 4), de acordo com as seguintes características:

- Os agregados não tendem a se mostrar limpos ou lavados;
- As bordas das misturas se mostram convexas, como gotas de líquidos que não se espalham sobre uma superfície;
- Não há evidência de separação de água ou pasta, principalmente nas bordas da mistura.

Figura 4: Representação esquemática de coesão e falta de coesão



Fonte: Giamusso (1992).

Assim, um concreto coeso é aquele que se mantém íntegro, homogêneo e sem separar-se durante o processo do transporte, ou seja, é resistente à segregação e à exsudação (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O efeito de segregação do concreto pode, portanto, ser ocasionado através dos seguintes processos: transporte inadequado do concreto; lançamento de grandes alturas para as formas; e principalmente, a execução de adensamento mecânico prolongado. Neste último caso, quando a vibração é muito prolongada, pode haver deslocamento de agregado graúdo para o fundo, e da pasta para cima, o que pode caracterizar também o fenômeno da exsudação, que será tratado

a seguir. Para muitos autores, a exsudação indica a segregação de misturas muito fluidas (SOUZA, 2007).

2.6.1.4 Exsudação

Mehta e Monteiro (2008) definem a exsudação como sendo um fenômeno cuja manifestação externa é o aparecimento de água na superfície após o concreto ter sido lançado e adensado, porém antes de ter ocorrido a sua pega.

Esse fenômeno ocorre pela maior ou menor impossibilidade que apresentam os materiais constituintes de manter a água de amassamento dispersa em massa (SOUZA, 2007).

A água é o componente mais leve da mistura de concreto. Consequentemente, a exsudação é uma forma de segregação, porque os sólidos em suspensão tendem a se sedimentar sob a ação da força da gravidade (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Para Andriolo (1984), a quantidade e a velocidade da exsudação dependem da dosagem do concreto, teor de água, temperatura, finura do cimento, granulometria do agregado e da ação de certos aditivos.

Nesse fenômeno, parte da água de exsudação sobe a superfície e a outra fica retida embaixo dos agregados maiores e nas barras horizontais da armadura. O primeiro caso representa a manifestação externa da exsudação, causada pela tendência da água percolar nos capilares internos do concreto, carregando partículas mais finas de cimento, depositando-as sob forma de lama na superfície do concreto. Essa camada de nata superficial contém uma relação água/cimento bastante elevada, sendo, portanto, porosa, mole e fraca. Já no segundo caso, a água, na ascensão através do concreto, abre uma grande quantidade de canalículos e, encontrando partículas maiores de agregado e barras da armadura, forma bolsas na parte inferior, prejudicando a aderência e a resistência do concreto (GIAMUSSO, 1992).

2.6.2 Propriedades do concreto no estado endurecido

O fim da pega é o momento que caracteriza o enrijecimento do material, ou seja, a partir deste instante, todas as propriedades relacionadas ao concreto fresco não incidem mais sobre o material, e as que o fazem são as propriedades do concreto endurecido, ou seja, a resistência mecânica à compressão, o módulo de elasticidade, a retração, a fluência, a permeabilidade, a durabilidade, dentre outras. Para este trabalho, contudo, as que mais interessam são a resistência à compressão e a permeabilidade, as quais serão abordadas a seguir. É importante citar ainda

que, depois de endurecido, o concreto pode apresentar uma massa específica entre 2300 kg/m^3 e 2500 kg/m^3 , incluindo os vazios do material (SOUZA, 2007).

2.6.2.1 Resistência à compressão axial

A resistência é a característica mecânica mais importante do concreto, e pode ser definida como sendo a medida da tensão exigida para romper determinado material. O concreto é o material de construção estrutural mais adequado para resistir às cargas de compressão. Sendo a resistência do concreto função do processo de hidratação do cimento, o qual é relativamente lento, tradicionalmente as especificações e ensaios de resistência do concreto são baseados em corpos-de-prova curados em condições específicas de temperatura e umidade por um período de 28 dias, conforme a NBR 5739/2007 (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Helene e Terzian (1993), são vários os fatores que podem interferir na resistência à compressão do concreto, tais quais a heterogeneidade dos materiais constituintes, a variabilidade do proporcionamento desses materiais, principalmente o fator água/cimento, a qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura e as eficiências das operações de ensaio e controle.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), as resistências do concreto à compressão, à tração, à flexão e ao cisalhamento podem ser relacionadas e, normalmente, a magnitude de uma é refletida pelas demais. Pode-se mencionar que as resistências à tração e à flexão típicas do concreto são da ordem de 10 a 15%, respectivamente, da resistência à compressão, isso graças a estrutura heterogênea e complexa do concreto.

2.6.2.2 Permeabilidade

O concreto é um material necessariamente poroso, devido a sua própria constituição, pois não é possível preencher a totalidade dos vazios do agregado com uma pasta de cimento. A interconexão desses vazios de água ou ar torna o concreto permeável. A permeabilidade do concreto está relacionada com a porosidade da pasta, de tal maneira que, quanto menos porosa, menos permeável será a pasta e, conseqüentemente, o concreto. Os vazios contidos no concreto podem ser causados por adensamento incompleto ou por exsudação, e ocupam de 1 a 10% do volume do concreto, sendo o último valor a resultante de um concreto com muitas falhas (NEVILLE, 2016).

De acordo com Andriolo (1984), permeabilidade é a propriedade do concreto que permite a passagem de um fluido através do seu interior. Todo concreto absorve certa quantidade de água e é permeável dentro de certa escala.

A permeabilidade do concreto está relacionada com a durabilidade. Busca-se, na prática, um concreto pouco permeável para que seja impedido o acesso de agentes agressivos que possam deteriorar a armadura ou o próprio concreto (SOUZA, 2007).

2.7 CURA DO CONCRETO

A cura é um elemento essencial no processo do controle tecnológico do concreto e deve, portanto, ser cuidadosamente executada, de modo a garantir o seu total desempenho (SILVA et al., 2012).

Para Bauer (2000), o processo de cura do concreto favorece a resistência mecânica à ruptura e ao desgaste, a impermeabilidade e a resistência ao ataque de agentes agressivos. Outro fator importante a ser considerado é que a cura em água reduz a retração da peça na fase em que o concreto tem pouca resistência, fato este de fundamental importância, pois evita a formação de fissuras de retração, as quais podem comprometer a impermeabilidade do concreto.

Segundo Botelho e Marchetti (2010), existe uma quantidade mínima de água que possibilita a hidratação do cimento e uma boa trabalhabilidade e, de acordo com Bauer (2000), essa quantidade precisa ser mantida no interior do concreto por meio do processo de cura, para que seja permitido o progresso da formação de gel no cimento presente no concreto, o que o torna cada vez mais resistente e impermeável.

De acordo com a NBR 14931/2004, os elementos estruturais de superfície devem ser curados até que atinjam resistência característica à compressão (f_{ck}), de acordo com a NBR 12655/2015, igual ou maior que 15 MPa.

Com relação ao tempo gasto na cura do concreto, Bauer (2000) afirma que quanto mais perfeita e mais demorada for a cura do concreto, melhores serão as suas características. Contudo, na prática, é necessário conciliar os requisitos da qualidade com os da economia, podendo estes serem atendidos num período mínimo de, em média, 7 a 10 dias.

Contudo, Bauer (2000) estabelece ainda que o tempo de cura em água pode variar com o fator água/cimento, conforme indicado na Tabela 4.

Tabela 4 – Tempo de cura x Fator a/c

Fator a/c	Tempo de Cura
0,40	3 dias
0,45	7 dias
0,50	14 dias
0,60	180 dias
0,70	360 dias
> 0,70	impossível

Fonte: Bauer (2000).

3 METODOLOGIA

Para a realização deste estudo utilizou-se de uma metodologia de pesquisa experimental, para a caracterização qualitativa e quantitativa das principais propriedades do concreto, no seu estado fresco e no seu estado endurecido, produzido por dois métodos distintos de mistura, a manual, feita em laboratório, e a mecânica, feita no canteiro de obras, sendo esta última executada por meio do uso de uma betoneira.

Os materiais necessários a produção dos concretos foram disponibilizados pela construtora J. Queiroz, sob a administração do engenheiro civil Jairo Queiroz, assim como o concreto betonado foi produzido no canteiro de uma das obras sob a sua responsabilidade. Já os ensaios de caracterização dos materiais constituintes dos concretos, a dosagem, a produção do concreto manual, a confecção dos corpos-de-prova e os ensaios dos concretos nos estados fresco e endurecido foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro Multidisciplinar Pau dos Ferros – CMPF.

O concreto betonado utilizado para estudo foi o concreto a ser aplicado na concretagem dos pilares de uma residência unifamiliar de um pavimento, com 75 m² de área construída num terreno de 200 m², a qual está localizada na rua França, bairro Nações Unidas, na cidade de Pau dos Ferros – RN, cujo projeto e execução da obra estão sob a responsabilidade do engenheiro Jairo Queiroz. Quanto ao concreto produzido através de mistura manual, utilizou-se do mesmo traço do concreto aplicado na obra, afim de estabelecer um comparativo entre os dois, através da realização dos ensaios.

E quanto aos ensaios de caracterização dos materiais, estes possibilitaram, juntamente com as informações recolhidas a partir da aplicação de um questionário (APÊNDICE I) junto ao engenheiro civil, administrador da empresa colaboradora deste trabalho e responsável pela obra em questão, dosar um traço “ótimo” que será apresentado ao engenheiro da obra, como sugestão de aplicação na produção dos concretos dos pilares, em suas obras futuras, de acordo com a resistência de projeto que se deseja alcançar combinada às características dos materiais utilizados.

O procedimento experimental utilizado para a concretização das etapas desse trabalho seguiu o fluxograma da Figura 5.

Figura 5: Fluxograma de pesquisa



Fonte: Autor (2017).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.1.1 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado para a produção do concreto em ambas as misturas foi areia lavada e previamente peneirada, mostrada na Figura 6, fornecida pela construtora J. Queiroz, empresa colaboradora deste trabalho.

Figura 6: Areia utilizada para a produção dos concretos



Fonte: Autor (2017).

Para a caracterização desse material foram realizados os ensaios de massa específica e de granulometria. Os ensaios de massa específica seguiram os procedimentos descritos na NBR NM 52/2009 e na NBR NM 45/2006, as quais têm por objetivo estabelecer o método de determinação da massa específica real e da massa unitária, respectivamente, dos agregados miúdos a serem usados em concreto. Para a realização de cada um desses ensaios foram utilizadas duas amostras.

Já o ensaio de granulometria do agregado miúdo foi realizado segundo os procedimentos descritos na NBR NM 248/2003, a qual tem por objetivo a determinação da composição granulométrica dos agregados, miúdos e graúdos, para concreto, ou seja, visa estabelecer a percentagem que cada faixa de dimensão de grão representa na amostra. Para a realização do ensaio, assim como é estabelecido na norma, foram utilizadas duas amostras. E os resultados foram obtidos a partir da aplicação do método da curva.

3.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado neste estudo foi a brita granítica, mostrada na Figura 7, também fornecida pela Construtora J. Queiroz.

Figura 7: Brita utilizada para a produção dos concretos



Fonte: Autor (2017).

A caracterização desse material foi obtida a partir da realização dos ensaios de massa específica e de granulometria. Os ensaios de massa específica real e de massa unitária seguiram os procedimentos descritos na NBR NM 53/2009 e na NBR NM 45/2006, respectivamente, e têm por objetivo a determinação da massa específica real e da massa unitária dos agregados graúdos, destinados ao uso em concreto. Foram utilizadas duas amostras para estes ensaios, conforme é estabelecido em norma.

Quanto ao ensaio de granulometria do agregado graúdo, este foi realizado segundo os procedimentos descritos na NBR NM 248/2003, a qual tem por objetivo a determinação da composição granulométrica dos agregados, miúdos e graúdos, para concreto, estabelecendo assim a percentagem que cada faixa de dimensão de grão representa na amostra. Para a realização deste ensaio, assim como é estabelecido na norma, foram utilizadas duas amostras. E os resultados foram obtidos a partir da aplicação do método da curva.

3.1.3 Cimento

O cimento utilizado para a produção dos corpos-de-prova de concreto em ambos os métodos de mistura, foi o cimento Portland CP-V ARI RS, da marca Mizu. Esse tipo de cimento, segundo Morato (2017), é caracterizado por sua alta resistência inicial, podendo atingir 20 MPa decorrido de apenas 1 dia de cura. Sua utilização se deu pelo fato desse ser o cimento utilizado na obra em análise, justamente por ele possuir essa característica de alta resistência inicial.

Em razão do não fornecimento de dados pela fábrica, a caracterização desse material foi feita a partir de trabalhos já publicados, acerca do mesmo tipo cimento e de mesma marca.

Assim, de acordo com Cavalcanti e Ribeiro (2013), obteve-se a massa específica desse material a partir do método do picnômetro de hélio, utilizando o aparelho Accupyc 1330 V2.01 – Micrometrics, já a sua granulometria foi determinada pelo sedígrafo Horiba CAPA-700.

3.1.4 Água

A água de amassamento utilizada para a fabricação das amostras de concreto foi obtida a partir da rede de abastecimento local.

3.2 DOSAGEM E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

3.2.1 Traço dos concretos e dosagens

O traço utilizado na referida obra para a execução dos concretos dos pilares, segundo o engenheiro responsável é, geralmente, de 1 : 2 : 2. Porém em alguns casos, como no dia em que foi cedido o concreto para a realização desse trabalho, utilizou-se 1 : 1,5 : 1,5, para uma quantidade de, aproximadamente, 30 L de água, estando essa quantidade sujeita a alterações, visto que quase sempre acontece o equívoco de ser adicionado mais água do que é previsto no traço. Essa relação de água é dada para 1 saco de cimento (50 kg) em função das padiolas de agregados.

Sabendo-se que a padiola, também chamada de carro de mão, utilizada no canteiro da obra possui dimensões de 54x35x26 cm, obteve-se um volume de 58,38 dm³. Conhecido o volume da padiola e a massa unitária da areia (1,40 kg/dm³), foi possível calcular a massa de 1,5 padiola (1 padiola e meia) de areia, sendo essa de 122,60 kg. De posse também da massa unitária da brita (1,50 kg/dm³), calculou-se o volume de brita de 1,5 padiola (1 padiola e meia), obtendo-se 131,36 kg. Considerou-se também a massa unitária do cimento como sendo 1 kg/dm³.

Encontrado, portanto, o traço em massa para um saco de cimento:

$$50 : 122,60 : 131,36 : 30,$$

obteve-se a partir dele o traço unitário em massa, sendo:

$$1 : 2,45 : 2,63 : 0,6.$$

Assim, para a realização do comparativo entre as misturas de concreto feitas manual e mecanicamente, utilizou-se do seguinte traço de proporcionalidade em massa: 1 : 2,45 : 2,63 (cimento, areia e brita), para uma relação água cimento de 0,6.

Após a definição do traço, foi calculada a quantidade dos materiais necessários à confecção dos 5 corpos-de-prova (CP's) de cada mistura, totalizando, portanto, 10 corpos-de-prova. Esse quantitativo é mostrado na Tabela 5, na qual se define a nomenclatura dos corpos-de-prova referindo-se ao método da mistura, sendo CP-B para o concreto misturado em betoneira, no canteiro de obras, e CP-M para o concreto misturado manualmente, em laboratório.

Tabela 5 – Quantitativo dos materiais utilizados

Concreto	Proporção Unitária (kg)				Consumo (kg/m ³)			
	Cimento	Areia	Brita	a/c	Cimento	Areia	Brita	a/c
CP-B	1	2,45	2,63	0,6	359,28	880,24	944,91	215,57
CP-M	1	2,45	2,63	0,6	359,28	880,24	944,91	215,57

Fonte: Autor (2017).

3.2.2 Quantitativo de materiais

A partir da definição do traço a ser utilizado e da quantidade de corpos-de-prova a serem produzidos, calculou-se o quantitativo de cada material necessário para a produção das amostras a serem produzidas por mistura manual, em laboratório, já que as amostras de concreto betonado foram feitas a partir do concreto produzido no canteiro, pela equipe de colaboradores do engenheiro civil da obra. Tais amostras de concreto consistem em corpos-de-prova de forma cilíndrica, com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. A Tabela 6 apresenta a quantidade de CP's utilizados em cada ensaio, para cada método de mistura.

Tabela 6 – Quantidade de CP's para cada ensaio

Ensaio	Quantidade de CP's (28 dias)	
	Manual	Betonado
Absorção, porosidade e massa específica	2	2
Resistência à compressão axial	3	3
Total	10	

Fonte: Autor (2017).

Vale salientar que, apesar da NBR 9778/2005 recomendar três amostras de corpos-de-prova para o ensaio de absorção, porosidade e massa específica, só puderam ser produzidos 2 CP's para este ensaio, devido algumas limitações enfrentadas para a realização desta pesquisa.

Por fim, como apresentado na Tabela 7, obteve-se a quantidade total de materiais necessária à produção dos 5 CP's por mistura manual, tendo sido adicionados ainda cerca de 10% da quantidade necessária de cada material, tanto para a prevenção contra a ocorrência de eventuais imprevistos, como para a utilização de parte desse material nos ensaios de caracterização.

Tabela 7 – Quantidade de materiais necessários à produção dos CP's por mistura manual

CONCRETO	Proporção			
	Cimento	Areia	Brita	Água
Fator unitário	1	2,45	2,63	0,6
Fator multiplicador	3	3	3	3
Traço aumentado	3	7,35	7,89	1,8
Massa específica real (kg/dm³)	3,17	2,59	2,64	1,00
Volume necessário para 5 CP's (L)	7,85			
Volume produzido na mistura manual (L)	8,57			

Fonte: Autor (2017).

3.2.3 Produção dos corpos-de-prova

3.2.3.1 Concreto misturado manualmente

O concreto manual foi produzido no laboratório de Engenharia Civil da UFRSA, e os constituintes do concreto para esse método de mistura foram despejados num recipiente de zinco, de superfície plana e impermeável, conforme o procedimento listado a seguir:

- Foi adicionado ao recipiente o agregado miúdo (areia);
- Logo depois adicionou-se o cimento, misturando bem os dois com o auxílio de uma colher de pedreiro, de maneira a obter-se uma coloração uniforme;
- A seguir, adicionou-se o agregado graúdo (brita), sempre de maneira a obter uma mistura uniforme;
- Forma-se uma cratera no centro dos materiais misturados, onde é colocada a quantidade calculada de água de amassamento e continua-se a misturar, de forma a obter-se a homogeneização do concreto;

- e) Realizou-se os ensaios de abatimento de tronco de cone (*slump test*) e de massa específica, de acordo com as prescrições da NBR NM 67/1998 e da NBR 9833/2008, respectivamente;
- f) Por fim, realizou-se a moldagem dos corpos-de-prova por adensamento manual, em moldes previamente lubrificados, obedecendo ao procedimento descrito na NBR 5738/2015, deixando os CP's mantidos no próprio laboratório;
- g) Decorridas as primeiras 24h após a moldagem, foi feita a desmoldagem dos CP's, submetendo-os à cura submersa até a idade de 28 dias, para a então realização dos ensaios do concreto manual, no estado endurecido.

3.2.3.2 Concreto misturado em betoneira

Os constituintes do concreto foram misturados numa betoneira estacionária de eixo inclinado, com capacidade de 400 litros. Antes de adicionar o material na betoneira, ela foi previamente umedecida, afim de evitar que parte da água de amassamento fosse absorvida pela parede interna do equipamento. A introdução dos materiais na betoneira e a confecção das amostras de concreto se deram a partir do seguinte procedimento:

- a) Com a betoneira devidamente ligada, foi adicionado o agregado graúdo (brita);
- b) Posteriormente foi adicionado cerca de 50% da água de amassamento;
- c) Logo após, adicionou-se cerca de 50% do agregado miúdo (areia) à mistura;
- d) Em seguida, foi adicionado 100% da quantidade de cimento definida na dosagem;
- e) Adicionou-se o restante do agregado miúdo;
- f) E por fim, adicionou-se o restante da água de amassamento;
- g) O equipamento se manteve ligado após a inserção dos constituintes por cerca de 5 minutos, para a devida mistura e homogeneização dos materiais;
- h) Parte da mistura em estado fresco, aproximadamente 10 litros de concreto, foi descarregada num recipiente plástico com capacidade para 12 litros, previamente umedecido. O restante da mistura produzida foi utilizada na obra referida anteriormente, para a concretagem dos pilares;
- i) O concreto foi transportado até o laboratório da UFERSA, trajeto realizado em 15 minutos, aproximadamente, tomando-se o devido cuidado para evitar a segregação dos materiais;

- j) Realizou-se os ensaios de abatimento de tronco de cone (*slump test*) e de massa específica, de acordo com as prescrições das NBR NM 67/1998 e NBR 9833/2008, respectivamente;
- k) Por fim, realizou-se a moldagem dos corpos-de-prova por adensamento manual, em moldes previamente lubrificados, obedecendo ao procedimento descrito na NBR 5738/2015, deixando os CP's mantidos no próprio laboratório;
- l) Decorridas as primeiras 24h após a moldagem, foi feita a desmoldagem dos CP's (Figura 8), submetendo-os à cura submersa até a idade de 28 dias, para a então realização dos ensaios do concreto betonado, no estado endurecido.

Figura 8: Corpos-de-prova de concreto betonado após a desmoldagem



Fonte: Autor (2017).

3.3 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

3.3.1 Abatimento do tronco de cone (*slump test*)

Para a determinação da trabalhabilidade e da consistência das duas misturas de concreto fresco utilizou-se do método de abatimento de tronco de cone ou *slump test*, cujo procedimento é descrito na NBR NM 67/1998. Esta norma tem por objetivo determinar a consistência do concreto fresco, através da medida do seu assentamento com o desmolde da mistura do interior de um tronco de cone, o qual é preenchido com três camadas de iguais alturas, sendo cada camada adensada com 25 golpes. Os equipamentos utilizados neste ensaio são mostrados na Figura 9.

Figura 9: Equipamento utilizado no *Slump Test*



Fonte: Autor (2017).

3.3.2 Massa específica do concreto fresco

A determinação da massa específica dos concretos frescos se deu conforme o procedimento descrito na NBR 9833/2008, a qual define a massa específica do concreto fresco como sendo a sua massa de unidade de volume, adensada, considerando também o volume de ar aprisionado ou incorporado.

3.4 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

3.4.1 Absorção de água e porosidade

Este ensaio foi aplicado a 2 corpos-de-prova de cada tipo de mistura, na idade de 28 dias, e tem como objetivo avaliar a velocidade da absorção de água através de imersão, e a determinação do índice de vazios e da massa específica dos concretos endurecidos. O procedimento para a realização deste ensaio é descrito na NBR 9778/2005.

3.4.2 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme o procedimento descrito na NBR 5739/2007, e foi aplicado a 3 corpos-de-prova de cada mistura, também na idade de 28 dias, afim de obter os valores de resistência à compressão dessas amostras.

O equipamento utilizado para o rompimento dos corpos-de-prova foi a prensa hidráulica da marca Solocap, Modelo *CI 100/200* toneladas força, mostrada na Figura 10.

Figura 10: Prensa hidráulica utilizada para o ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autor (2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

4.1.1 Massa específica real e massa unitária

Neste ensaio, o agregado miúdo apresentou uma massa específica real de 2,588 kg/dm³ e uma massa unitária de 1,444 kg/dm³, sendo tais valores obtidos pela média dos resultados das duas amostras ensaiadas, conforme é dado na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados do ensaio de massa específica real e de massa unitária

Ensaio	Massa específica real (kg/dm ³)	Massa unitária (kg/dm ³)
Amostra 1	2,598	1,432
Amostra 2	2,577	1,456
Média	2,588	1,444

Fonte: Autor (2017).

Os resultados encontrados se enquadram na faixa de valores comumente obtidos em areias utilizadas para a produção de concretos, como pode ser visto em Silva (2015), por exemplo, o que torna esses valores bastante satisfatórios.

4.1.2 Determinação da composição granulométrica

Através da realização deste ensaio obteve-se a composição granulométrica, bem como o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado utilizado. Na Tabela 9 são mostrados os resultados encontrados para essa composição.

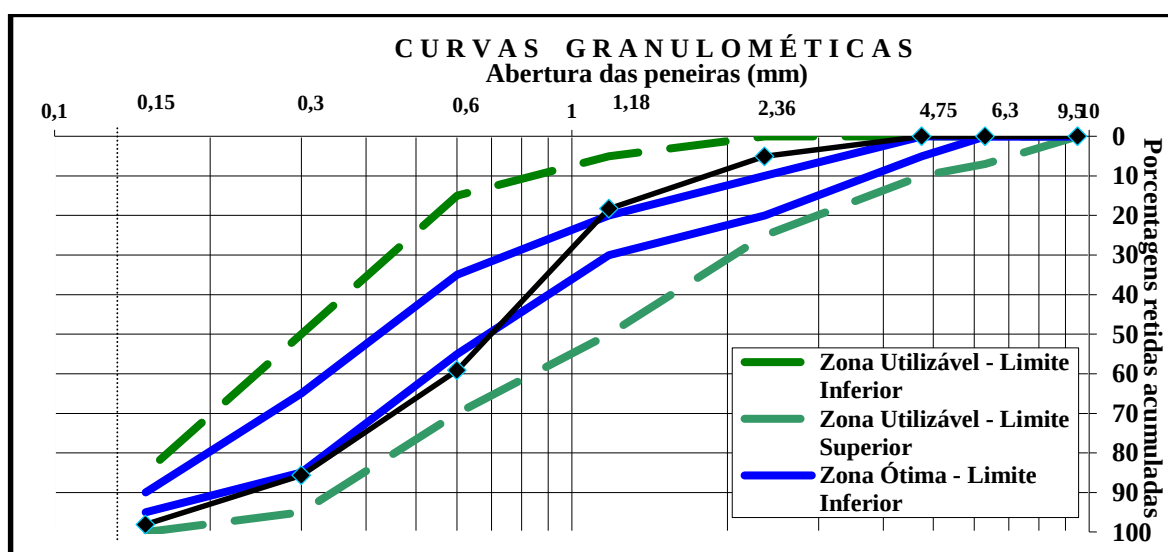
Tabela 9 – Composição granulométrica do agregado miúdo

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		Percentagem média (%)	
	Amostra 1	Amostra 2	Retida	Acumulada
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	0
4,75	0	0	0	0
2,36	19,7	20,8	5,1	5,1
1,18	51,2	54,5	13,2	18,3
0,6	159,6	167,2	40,8	59,1
0,3	106,8	105,6	26,6	85,7
0,15	54,0	45,4	12,4	98,1
<0,15	8,7	6,5	1,9	100,0
TOTAL	400,0	400,0	100,0	

Fonte: Autor (2017).

A disposição granulométrica do agregado está demonstrada através da curva granulométrica indicada na Figura 11.

Figura 11: Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor (2017).

A partir dos valores da composição granulométrica do agregado foi possível verificar que o agregado miúdo utilizado possui um módulo de finura igual 2,66 e um diâmetro máximo característico igual a 4,75 mm. De acordo com a NBR 7211/2009, a qual define o intervalo do módulo de finura da zona ótima entre os valores de 2,20 a 2,90, e conforme o gráfico apresentado na Figura acima, o agregado miúdo em análise pode ser definido como utilizável para a fabricação de concretos e possui uso indicado também para argamassas de revestimento, especialmente nas camadas de emboço.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

4.2.1 Massa específica real e massa unitária

A partir da realização deste ensaio, pode-se constatar que o agregado graúdo apresentou uma massa específica real de 2,643 kg/dm³ e uma massa unitária de 1,356 kg/dm³, sendo tais valores obtidos pela média dos resultados das duas amostras ensaiadas, conforme é dado na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de massa específica real e de massa unitária

Ensaio	Massa específica real (kg/dm³)	Massa unitária (kg/dm³)
Amostra 1	2,644	1,348
Amostra 2	2,642	1,364
Média	2,643	1,356

Fonte: Autor (2017).

Os valores obtidos para o agregado graúdo em análise também se enquadram na faixa de resultados comumente encontrados em outras literaturas relacionadas.

4.2.2 Determinação da composição granulométrica

Realizado o procedimento do ensaio, obteve-se a composição granulométrica e a dimensão máxima característica do agregado graúdo utilizado. Na Tabela 11 são mostrados os resultados da composição. Vale salientar que o laboratório de Engenharia Civil da UFERSA – CMPF ainda possui algumas limitações, e não conta com todas as peneiras necessárias à execução do ensaio, o qual foi realizado, portanto, apenas com as peneiras que constam na referida Tabela.

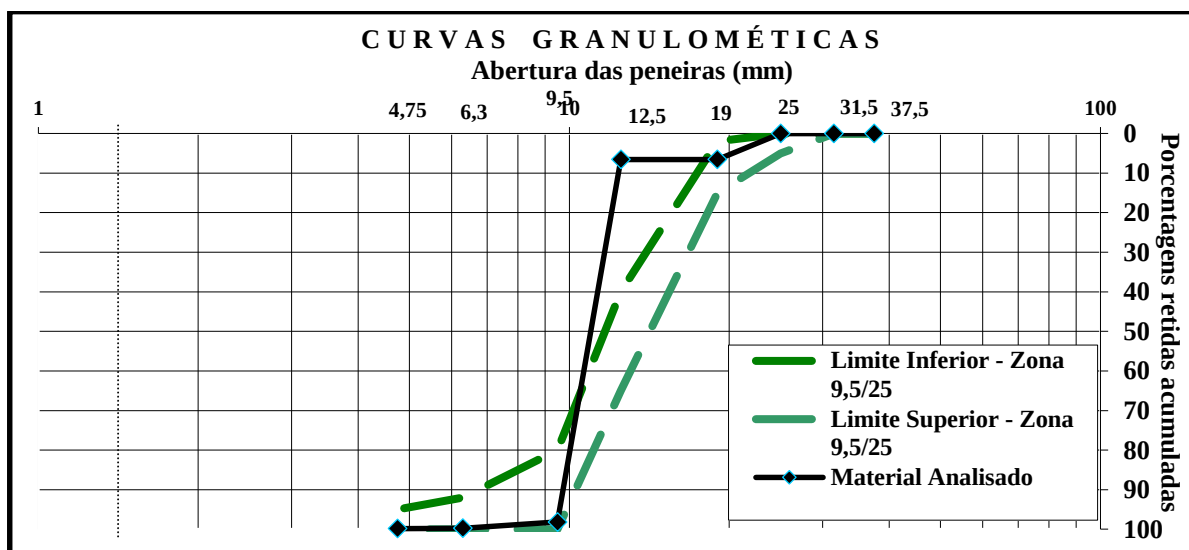
Tabela 11 – Composição granulométrica do agregado graúdo

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		Percentagem média (%)	
	Amostra 1	Amostra 2	Retida	Acumulada
19	337,6	318,6	6,6	6,6
9,5	4588,5	4570,2	91,6	98,1
6,3	60,8	98,9	1,6	99,7
4,75	4,2	4,3	0,1	99,8
<4,75	8,9	8,0	0,2	100,0
TOTAL	5000,0	5000,0	100,0	

Fonte: Autor (2017).

A partir desses resultados obteve-se a dimensão máxima característica das amostras de agregado graúdo ensaiadas, sendo esta de 25 mm. Na Figura 12 é apresentada a curva granulométrica obtida para a composição granulométrica desse material, a qual se encontra em parte na zona 9,5/25, podendo ser classificado com base na NBR 7211/2009, como brita 1.

Figura 12: Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Autor (2017).

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO

Conforme Cavalcanti e Ribeiro (2013), o cimento Portland CP-V ARI RS da marca Mizu apresentou uma massa específica de 3,17 kg/dm³ e uma massa unitária de 1,00 kg/dm³. A amostra ensaiada apresentou também uma curva granulométrica conforme especificado pela NBR 5732/1991, e verificou-se que a percentagem de material cimentícios retido na peneira de

75 μm foi de apenas 1,5%, estando, portanto, dentro do limite sugerido pela norma, o qual é de 12%. E por fim, a área superficial apontou um valor de 8924 cm^2/g .

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

4.4.1 Ensaio de abatimento de tronco de cone

A partir da realização do ensaio do tronco de cone (*slump test*), foi possível obter informações referentes ao comportamento plástico dos concretos produzidos, as quais são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores de consistência dos concretos

Mistura	Abatimento (cm)
Manual	3
Mecânica	13

Fonte: Autor (2017).

Verifica-se que houve uma diferença bastante significativa entre os valores de consistência apresentados pelos dois concretos, sendo que o concreto manual apresenta um nível de trabalhabilidade reduzido em 76,92% comparado ao concreto betonado.

4.4.2 Ensaio de massa específica

Os resultados do ensaio de massa específica dos concretos frescos são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores de massa específica dos concretos

Mistura	Massa específica (kg/dm^3)
Manual	2,185
Mecânica	2,148

Fonte: Autor (2017).

Pode-se observar que o concreto produzido mecanicamente apresentou uma massa específica com um percentual de apenas 1,69% mais baixo que o concreto produzido manualmente. Assim, os dois concretos apresentaram valores de massa específica bastante

semelhantes e de acordo a NBR 8953/2015, podem ser classificados como sendo concretos de peso normal.

4.4.3 Ensaio de absorção de água e porosidade

Os valores de absorção de água e de porosidade, ou índice de vazios, para o traço estudado são apresentados nas Tabelas 14 e 15, respectivamente. Tais valores foram obtidos através da média dos percentuais das duas amostras ensaiadas, em ambos os métodos de mistura.

Tabela 14 – Porcentagem de absorção de água dos concretos produzidos

Absorção (%)	
CP's	Idade (28 dias)
Manual	6,35
Betonado	9,12

Fonte: Autor (2017).

Tabela 15 – Porosidade dos concretos produzidos

Porosidade (%)	
CP's	Idade (28 dias)
Manual	13,64
Betonado	18,72

Fonte: Autor (2017).

Com a análise desses resultados é possível constatar que tanto o índice de absorção quanto o índice de vazios é superior nos CP's de concreto betonado, o qual foi produzido no canteiro da obra.

Com isso, o concreto betonado apresentou uma superioridade de 2,77% para a absorção e 5,08% para o índice de vazios quando comparado com o concreto manual. Este comportamento pode ser explicado por se tratar da mistura que obteve maior plasticidade, o que resulta numa maior taxa de incorporação de ar na massa, e portanto, há um aumento da porosidade.

É importante ressaltar também que esses dois parâmetros, absorção de água e porosidade, estão intimamente relacionados, pois os percentuais de índice de vazios refletem diretamente na propriedade de absorção de água do concreto, uma vez que a água absorvida se instala nos poros e vazios do material, portanto quanto maior o índice de vazios de um material,

maior será também a sua capacidade de absorção de água, assim como foi constatado a partir da realização deste ensaio.

4.4.4 Massa específica dos concretos endurecidos

A partir da realização do ensaio de massa específica das amostras secas dos concretos no estado endurecido, que aconteceu simultaneamente ao procedimento do ensaio de absorção e porosidade, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 16, os quais foram obtidos a partir da média de duas amostras de cada tipo de mistura.

Tabela 16 – Massa específica das amostras secas

Massa específica (kg/dm³)	
CP's	Idade (28 dias)
Manual	2,148
Betonado	2,054

Fonte: Autor (2017).

De acordo com Almeida (2002), a massa específica de concretos endurecidos depende de muitos fatores, principalmente da natureza dos agregados, da sua granulometria e do método de adensamento empregado.

Assim, observando os valores de massa específica encontrados para os dois concretos, percebe-se que esses valores deram aproximados, e que a diferença de apenas cerca de 4,38% pode ter sido devida ao método de adensamento ou até mesmo mal adensamento das amostras de concretos, já que os agregados utilizados em ambas as misturas são de mesma natureza. É importante citar também que ambas as massas específicas encontradas se aproximam de 2,300 kg/dm³, que é o valor teórico da massa específica de concretos não-armados, no estado endurecido.

4.4.5 Ensaio de resistência à compressão

A Tabela 17 apresenta os valores de resistência a compressão dos corpos-de-prova de concreto manual, produzido em laboratório, e de concreto betonado, produzido no canteiro da obra, ambos ensaiados na prensa hidráulica, na idade de 28 dias.

Tabela 17 – Resistência a compressão dos concretos produzidos

Resistência a compressão dos CP's (MPa)		
Ensaio	Manual	Betonado
CP 01	23,11	12,65
CP 02	18,96	14,48
CP 03	20,94	12,72
Média	21	13,28

Fonte: Autor (2017).

Os resultados obtidos mostraram que apenas as amostras de concreto produzidos manualmente, em laboratório, atingiram ou se aproximaram da resistência desejada em projeto, que está entre 20 e 25 MPa, conforme citado pelo engenheiro quando questionado a respeito do assunto (APÊNDICE I).

Quanto ao concreto produzido no canteiro da obra, verifica-se que nenhuma das amostras atingiram a resistência desejada. Tal fato pode ser explicado por um possível erro de dosagem, ou também pelo possível excesso de água adicionada a mistura, o que é bastante comum acontecer, visto que não é realizado o controle tecnológico dos concretos da obra, podendo ocasionar, portanto, a diminuição da resistência à compressão das amostras.

Mais precisamente, as médias das resistências das amostras de concreto manual e betonado atingiram, respectivamente, os percentuais de 84% e 53,12% da resistência máxima de projeto, 25 MPa. Esse fato pode estar relacionado também aos índices de porosidade apresentados pelos dois concretos, sendo que o concreto betonado apresentou um maior índice de vazios quando comparado ao concreto manual, conforme discutido no item anterior, e, consequentemente, mostrou uma menor resistência à compressão.

4.5 DOSAGEM DO TRAÇO CORRIGIDO

De posse dos resultados dos ensaios de caracterização dos materiais utilizados para a produção dos concretos e das informações recolhidas a partir da aplicação de um questionário (APÊNDICE I) junto ao engenheiro civil responsável pela obra em questão, foi possível a realização de um novo traço para a obra, baseando-se no método de dosagem da ABCP, descrito no Tópico 2.5.1 deste trabalho.

Considerando, portanto, o cimento como sendo o cimento Portland CP-V ARI RS, da marca Mizu, de massa específica igual a 3,17 kg/dm³ e de resistência normal aos 28 dias igual a 32 MPa; uma areia de módulo de finura igual a 2,66, massa específica de 2,59 kg/dm³ e massa

unitária de 1,44 kg/dm³; a brita de DMC igual a 25 mm, massa específica de 2,64 kg/dm³ e massa unitária de 1,36 kg/dm³; e um concreto com f_{ck} igual a 25 MPa e um abatimento de ± 80 mm, calculou-se, a partir da Equação 1, a resistência de dosagem do concreto (f_{cj}), sendo encontrado um valor de 36,55 MPa.

A partir dessa resistência de projeto, verificou-se no gráfico da curva de Abrams (Figura 3) a relação água/cimento (a/c), a qual apresentou um valor de 0,46. Em seguida, verificou-se na Tabela 2, a partir do DMC e do abatimento do concreto (± 80 mm), o consumo de água necessário (C_a) à mistura, que foi de 200 L.

Através da Equação 2, calculou-se um consumo de cimento (C) igual a 434,78 kg/m³, e através da Equação 3, calculou-se um consumo de brita igual a 972,40 kg/m³. Já o volume (V_m) e o consumo de areia (C_m) foram calculados a partir das Equações 4 e 5, respectivamente, sendo este último igual a 761,46 kg/m³. E por fim, calculou-se por meio da Equação 6, o traço em massa otimizado a ser apresentado como sugestão de utilização na produção de concretos betonados, produzidos em canteiro de obras:

$$1 : 1,75 : 2,64 : 0,46$$

Comparando esse traço com o traço utilizado na produção das amostras de concreto desta pesquisa, percebe-se que houve uma diminuição de 0,7 kg (700 g) na quantidade de areia, ou seja, uma redução de 28,57%; um pequeno aumento de 0,01 kg (10 g), ou 0,38%, na quantidade de brita; e uma diminuição bastante significativa da relação a/c , passando de 0,6 a 0,46, ou seja, uma redução de 0,14, e em percentual, uma redução de 23,33%.

Com isso, pode-se prever um aumento significativo na resistência à compressão de tais concretos caso venham a ser produzidos admitindo esse traço, visto que quanto menor a relação a/c , maior será a resistência do concreto.

Em contrapartida, a diminuição da quantidade de água no traço pode causar uma consequente diminuição da plasticidade da mistura, reduzindo a sua trabalhabilidade. Uma solução, portanto, seria aderir ao uso de aditivos plastificantes ou superplastificantes, os quais aumentam a consistência da pasta mantendo a mesma quantidade de água de amassamento ou reduzindo essa quantidade em, no mínimo, 6% e 12%, respectivamente, para a produção dos concretos com resistência entre 20 e 25 MPa, ou outra resistência que se determine em projeto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa revelaram que o método de mistura empregado na produção de concretos influencia diretamente nas suas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Considerando, neste caso, a mistura feita em betoneira no próprio canteiro da obra, e a mistura manual, realizada em laboratório, as discrepâncias nos resultados de ambas as misturas foram mais evidentes nos parâmetros de trabalhabilidade e resistência à compressão.

Assim, de acordo com o estudo realizado acerca dos dois métodos de mistura empregados na produção dos concretos, pôde-se obter as seguintes conclusões:

- O concreto misturado em betoneira, no canteiro da obra, apresentou uma consistência ou trabalhabilidade cerca de 77% superior à do concreto misturado manualmente, obtendo-se, nos dois casos, um abatimento de 13 cm e 3 cm, respectivamente.
- O ensaio de massa específica dos concretos no estado fresco permitiu classificá-los como sendo concretos de peso normal.
- Com relação ao índice de vazios e ao de absorção de água, constatou-se que esses dois parâmetros foram mais significativos nos CP's de concreto betonado, sendo essa diferença mensurada em percentuais de 5,08% e 2,77%, respectivamente, quando comparados aos índices apresentados pelo concreto manual. Essa superioridade pode ser justificada pelo fato dos CP's de concreto betonado terem mostrado também uma maior consistência e plasticidade quando no estado fresco, resultando, conseqüentemente, numa maior porosidade.
- Quanto às massas específicas dos concretos no estado endurecido, 2,148 kg/dm³ e 2,054 kg/dm³, para os concretos manual (feito em laboratório) e betonado (feito no canteiro de obras), respectivamente, constatou-se que elas pouco diferiram entre si, e tal diferença, de apenas cerca de 4,38%, pode ser ainda explicada por um possível mal adensamento das misturas, no momento das moldagens dos corpos-de-prova, visto que os agregados utilizados para a produção dos concretos são de mesma natureza.
- O ensaio de resistência à compressão permitiu constatar que nenhum dos dois métodos de produção atingiu a resistência máxima de projeto, de 25 MPa, porém o concreto manual, de laboratório, foi o que mais se aproximou desse valor, apresentando uma resistência média de 21 MPa, a qual representa 84% do valor máximo de projeto. Já o concreto betonado, feito no canteiro da obra, apresentou uma resistência média de 13,28

MPa, alcançando, por sua vez, apenas 53,12% do valor máximo de projeto, e tal fato pode ser explicado por diversos fatores, como possíveis erros de dosagem dos materiais constituintes, um possível excesso de água adicionado às misturas de concreto, a porosidade elevada do concreto betonado, bem como um possível mal adensamento das amostras de concreto.

- Quanto a sugestão do novo traço para a obra, obteve-se a seguinte proporção em massa dos materiais: 1 : 1,75 : 2,64 : 0,46, onde verificou-se uma redução de 28,57% da quantidade de areia, um aumento de 0,38% da quantidade de brita e uma significativa redução de 23,33% da relação água/cimento, prevendo-se com isso, um aumento significativo na resistência à compressão de tais concretos caso venham a ser produzidos admitindo esse traço.

Deste modo, pode-se concluir que apesar de garantir uma maior homogeneidade da mistura de concreto e diminuir o trabalho braçal no canteiro de obras, aumentando assim a produtividade da equipe, apenas a produção de concreto realizada em betoneira não garante um melhor desempenho do concreto quando no estado endurecido, visto que aliado a esse método de mistura, é necessário que haja a realização de um controle tecnológico dessa produção, o qual deve estender-se desde o momento da dosagem e efetuação dos traços, até o momento de adição dos materiais na betoneira, bem como da concretagem dos elementos estruturais, do adensamento e da cura de tais peças.

De acordo com a realização desta pesquisa, cuja temática é bastante ampla, tem-se a expectativa de que sejam motivados novos estudos relacionados, principalmente no que tange ao estudo de outras variáveis desses concretos. Em face disto, alguns tópicos podem ser sugeridos para trabalhos futuros: produção de concretos através dos dois meios de mistura utilizados neste trabalho, tomando por base o traço sugerido de 1 : 1,75 : 2,64 : 0,46, com e sem o uso de aditivos e análise de seus comportamentos nos estados fresco e endurecido; e análise da influência desses dois métodos de mistura na durabilidade dos concretos.

REFERÊNCIAS

- ABCP. (2005): **Curso intensivo de tecnologia básica do concreto**. ABCP, São Paulo, 42p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5732. **Cimento Portland comum**. Rio de Janeiro, 5 p, 1991.
- _____. NBR 5738. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 1 p, 2015.
- _____. NBR 5739. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 9 p, 2007.
- _____. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 221 p, 2014.
- _____. NBR 7211. **Agregados para concreto – Especificações**. Rio de Janeiro, 15 p, 2009.
- _____. NBR 8953. **Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, 3 p, 2015.
- _____. NBR 9778. **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 4 p, 2005.
- _____. NBR 9833. **Concreto Fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 11 p, 2008.
- _____. NBR 11768. **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 4 p, 2011.
- _____. NBR 12655. **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro, 23 p, 2015.
- _____. NBR 14931. **Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 53 p, 2004.
- _____. NBR NM 45. **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 8 p, 2006.
- _____. NBR NM 52. **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 6 p, 2009.
- _____. NBR NM 53. **Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 8 p, 2009.
- _____. NBR NM 67. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 8 p, 1998.

_____. **NBR NM 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 6 p, 2003.

ALMEIDA, L. C. **Fundamentos do concreto armado.** Universidade Estadual de Campinas, 2002. (Apostila).

ANDRIOLO, F. R. **Construções de concreto.** São Paulo: Pini, 1984. 738 p.

ARAÚJO, J. M. de. **Curso de Concreto Armado.** 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010. 257 p.

BASTOS, P. S. dos S. **Fundamentos do Concreto Armado.** Bauru: Unesp, 2006.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção.** 5. ed. São Paulo: Ltc, 2000. 448 p.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado, eu te amo.** 6. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 507 p.

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

CAVALCANTI, L. M. A.; RIBEIRO, D. V. **Análises físicas e mecânicas de argamassas de cimento Portland com areia contendo cinzas da queima do bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo.** In: IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 1, p. 26-38, 2013.

GIAMUSSO, S. E. **Manual do Concreto.** São Paulo, Ed. Pini, 1992.

GOLÇAVES, J. P.; FLHO, R. D. T.; FAIRBAIRN, E. de M. R. **Estudo da hidratação de pasta de cerâmica Portland contendo resíduo cerâmico por meio de análise térmica.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. v. 6. p. 83-94. Porto Alegre, 2006.

HAGEMANN, S. E. **Apostila de Materiais de Construção Básicos.** 2011.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E PRINCÍPIOS DE CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS.** São Paulo: Ed. G. C. ISAIA, 2010. v. 2.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle de concreto.** 1ª Ed. São Paulo: Editora Pini, 1993.

ISAIA, G. C. (2005) O concreto: da era clássica à contemporânea. In: Isaia, G. C. (ed), **Concreto: ensino, pesquisa e realizações.** 1 ed., São Paulo: IBRACON, pp 1-43.

ISAIA, G. C. A água no concreto. In: **CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA.** Ed. G. C. ISAIA. – São Paulo: IBRACON. 2011. v. 1.

KAEFER, L. F. **A evolução do Concreto Armado.** São Paulo, 1998.

LIMA, C. I. V. et al. Concreto e suas inovações. **Cadernos de Graduação: Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, v. 1, n. 1, p.31-40, maio 2014.

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

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais** – 3ª edição. Português, p. 674, 2008.

MENEZES, A. A. S. et al. Programação para análise do custo benefício entre a utilização de concreto usinado e concreto feito em obra. **Cadernos de Graduação: Ciências exatas e tecnológicas**, Sergipe, v. 1, n. 17, p.71-82, out. 2013.

MORATO, R. C. de O. **Avaliação de durabilidade quanto à carbonatação de concretos com incorporação de resíduo cerâmico**. 2017. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2017.

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

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

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto e Construções**, São Paulo, v. 1, n. 53, p.14-19, jan. 2009. Trimestral.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo, 1998.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET-67. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON – Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SILVA, A. V. da R. et al. **Influência do processo de cura em concreto em seis idades**. XII CONNEPI, Palmas, 2012.

SILVA, J. D. J. **Avaliação da potencialidade de incorporação de lodo de uma indústria de produtos de limpeza como adição mineral em concretos de cimento Portland**. Natal, RN, 2015.

SOUZA, P. A. B. F. **Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato**. 2007. 232 f. Tese (Doutorado) – Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, Paulo. Dosagem dos concretos de cimento Portland. In: **CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA**. Ed. G. C. ISAIA. – Florianópolis: IBRACON. 2011. v. 1.

APÊNDICE

I – QUESTIONÁRIO APLICADO AO ENG. DA CONSTRUTORA J. QUEIROZ

- 1. Qual o traço utilizado para a produção do concreto dos diferentes componentes estruturais (fundações, vigas, pilares e lajes)?**

Geralmente usamos o traço 1:2:2 para todos os elementos.

- 2. Existe um método de dosagem? Qual? Se não, a partir de que se deu a escolha desse(s) traço(s)?**

Usamos um carro de mão dimensionado com aproximadamente duas latas.

- 3. Existe diferenciação quanto ao valor requerido de resistência das peças a serem concretadas? Qual(is) o(s) fck(s) de cada uma delas?**

Como não temos um controle tecnológico rigoroso, tentamos obter uma resistência entre 20 e 25 MPa no geral.

- 4. Há um controle de compra do agregado miúdo (areia)? Onde é comprado?**

Procuro comprar de apenas um fornecedor, areia lavada, e toda a areia utilizada é peneirada.

- 5. Você conhece a origem (de onde vem, de onde é extraído) desse agregado? Onde é feita a estocagem após a compra?**

O material de toda região é retirado, no geral, das margens do rio Apodi. O material é estocado no canteiro de obras.

- 6. E quanto ao agregado graúdo (brita), há um controle de compra? Onde é comprado?**

O material é comprado a um britador de Caraúbas.

- 7. Você conhece a origem (de onde vem, de onde é extraído) desse agregado (graúdo)? Onde é feita a estocagem após a compra?**

In loco não conhecemos o local da extração. O estoque é feito na própria obra.

- 8. Qual o número da brita utilizada (ou das britas, se forem mais de uma numeração)? Qual o DMC (Diâmetro Máximo Característico) utilizado (se existir esse controle)?**

A brita utilizada geralmente é a brita 1. Não faço o controle do DMC. Procurro ver se a brita vem limpa e não muito cascalho.

- 9. É utilizado algum tipo de aditivo na produção dos concretos?**

Não.

10. Onde são produzidos os concretos? E por meio de que tipo de mistura, manual ou mecânica?

Concreto produzido in loco, com betoneira.

11. Como é feito o adensamento do concreto, após lançado?

O adensamento é feito Manualmente.

12. É realizado algum tipo de ensaio nos concretos frescos e endurecidos? Quais?

Não.

13. Qual o período de espera para a retirada das escoras e formas das peças concretadas?

28 dias.

14. É realizado a cura nas peças concretadas? Qual o procedimento utilizado e qual o período da cura?

Nas lajes é feita a cura com água durante três dias.