



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

JEYDSON LUCKYANN FERST

ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO, UTILIZANDO-SE DE DUAS JAZIDAS DA CIDADE DE PALMAS - TO

Palmas - TO

2015



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

JEYDSON LUCKYANN FERST

ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO, UTILIZANDO-SE DE DUAS JAZIDAS DA CIDADE DE PALMAS - TO.

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) do curso de Engenharia Civil do CEULP ULBRA, orientado pelo Professor Msc. Fabrício Bassani.

Aprovado em novembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Fabrício Bassani

Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Esp. Miguel Negri

Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Esp. Fernando Suarte.

Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2015

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe Marli Luciene Ferst que sempre acreditou em mim e me apoiou, é a pessoa que sempre esteve ao meu lado mesmo quando me criticaram e desacreditaram, ela é a pessoa que custeava toda a minha estadia e meu curso superior.

Dedico também ao meu primo que deixou muitas saudades Thalisson Matheus (in memoriam) que sempre esteve comigo em todos os momentos, participou de toda a minha infância como um irmão, e é assim que o considero. Também por ele ser um ser humano fantástico, pois nunca vi pessoa de alma mais pura e bondosa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar saúde e disposição para a realização deste trabalho.

Agradeço a minha namorada Ana Cláudia Ribeiro Motta pelo apoio, ajuda e compreensão que tem me dado durante estes dias de luta que passei e passarei futuramente.

Agradeço a minha mãe por me ajudar e custear todo meu estudo, por me apoiar durante a redação deste trabalho, por ser sempre prestativa ao meu precisar.

Agradeço aos meus avós por ter me criado com muito amor e carinho, por me ensinarem a ser uma pessoa honrada, digna e de palavra.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Fabricio Bassani, pela orientação competente, amizade e disponibilidade para atender-me durante a realização deste trabalho. Agradeço também por me ensinar a planejar primeiro para depois executar o trabalho de forma mais otimizada, por transmitir seu conhecimento e me ajudar a conseguir mais conhecimento com suas indagações e dicas.

Agradeço ao professor Erico por ter avaliado meu trabalho mesmo não sendo o professor avaliador do mesmo.

Agradeço a empresa IPASA Ltda, por ter me cedido o cimento, e em especial ao seu Antônio por ter colaborado bastante com a pesquisa.

Agradeço a Nova Era mineração por ter cedido a areia, o seixo rolado e britado, que foi crucial para a pesquisa.

Agradeço também a Pedreira Anhanguera por ter cedido à brita granítica, que foi utilizado nos concretos referência da pesquisa.

Agradeço aos colegas de laboratório Miller e André pela colaboração nos ensaios, em especial o Miller que muito me ajudou.

Agradeço aos meus amigos Daniel e Romário por me ajudar na confecção dos concretos, assim como meu primo Pablo.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	III
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VII
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
1.0 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS.....	12
1.1.2 Objetivos Gerais	12
1.1.3 Objetivos específicos.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO.....	13
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 CONCRETO.....	15
2.2 TIPOS DE CONCRETO	15
2.3 CONSTITUINTES DO CONCRETO.....	16
2.3.1 Cimento Portland.....	16
2.3.2 Agregados.....	18
2.3.2.1 Classificação dos agregados	19
2.3.2.1.1 Classificação dos agregados quanto à origem	19
2.3.2.1.2 Classificação dos agregados quanto à massa específica.....	19
2.3.2.1.3 Classificação dos Agregados Quanto ao Tamanho das Partículas	21
2.3.2.1.3.1 Agregados miúdo.....	21
2.3.2.1.3.2 Agregados graúdo	22
2.3.2.2 Obtenção dos Agregados	23
2.3.2.3 Características dos Agregados.....	25
2.3.3 Água	29
2.3.4 Aditivo	29
2.4 INFLUÊNCIA DO AGREGADO GRAÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO.....	30
2.4.1 Concreto no estado fresco.....	31
2.4.2 Concreto no estado endurecido.....	32
2.4.2.1 Resistência à compressão	32
2.4.2.2 Resistência à tração	33
2.4.2.3 Porosidade do concreto.....	33
2.5 DOSAGEM DO CONCRETO	34

3.0 METODOLOGIA.....	37
3.1 CLASSIFICAÇÕES DA PESQUISA	37
3.2 PROJETO METODOLÓGICO	37
3.3 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS	38
3.3.1 Variáveis independentes	39
3.3.1.1 Brita granítica	39
3.3.1.2 Seixo rolado.....	39
3.3.1.3 Seixo britado.....	40
3.3.2 Variáveis dependentes	40
3.3.2.1 Trabalhabilidade	40
3.3.2.2 Resistência à compressão	40
3.3.2.3 Tração por compressão diametral.....	40
3.3.2.4 Absorção de água por imersão.....	41
3.3.3 Parâmetros fixos	41
3.3.3.1 Consumo de cimento	41
3.4 MATERIAIS EMPREGADOS NA PESQUISA	42
3.4.1 Cimento Portland.....	42
3.4.2 Agregado miúdo	42
3.4.3 Agregado graúdo	42
3.4.4 Água	43
3.5 PROJETO EXPERIMENTAL	43
3.6 METODOLOGIA DE ENSAIO.....	44
3.6.1 Caracterização dos materiais	44
3.6.1.1 Determinação da composição granulométrica dos agregados graúdos e miúdos	45
3.6.1.3 Determinação da massa específica dos materiais	56
3.6.1.4 Determinação da massa unitária dos materiais.....	59
3.6.1.5 Dosagem e execução dos concretos.....	60
3.6.2 Concreto no estado fresco.....	63
3.6.2.1 Trabalhabilidade	63
3.6.2.2 Produção dos corpos-de-prova	64
3.6.3 Propriedades do concreto no estado endurecido	65
3.6.3.1 Resistência à compressão axial.....	66
3.6.3.2 Resistência à tração por compressão diametral	66
3.6.4.3 Determinação de absorção de água por imersão	68
3.6.4.3 Determinação de absorção de água por imersão	68
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
4.1 ESTADO FRESCO	69

4.2 ESTADO ENDURECIDO	73
4.2.1 Resistência à compressão axial.....	73
4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral	79
4.2.3 Determinação de absorção de água por imersão	82
5.0 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Condições de umidade dos agregados.	26
Figura 2 - Planejamento das variáveis do projeto.	39
Figura 3 - Quarteamento sobre superfície rígida, limpa e plana.	45
Figura 4 - Procedimento de quarteamento dos materiais empregados na pesquisa – a) Quarteamento do seixo britado. b) Quarteamento da areia.	45
Figura 5 - Procedimento de peneiramento mecânico dos agregados – a) Lançamento da brita granítica nas peneiras para agitação mecânica das mesmas. b) Conformação das peneiras do agregado miúdo e ativação da máquina agitadora.	46
Figura 6 - Pesagem da areia retida nas peneiras.	47
Figura 7 - Seixo rolado retido nas peneiras durante o ensaio de granulometria.	49
Figura 8 - Pesagem do material retido nas peneiras.	50
Figura 9 - Método de determinação da massa específica do agregado miúdo pelo frasco Chapman.	57
Figura 10 – Determinação da massa específica do agregado miúdo pelo frasco de Chapman.	57
Figura 11 – Determinação da massa específica do agregado graúdo pelo método do Picnômetro.	58
Figura 12 – Execução do ensaio de massa unitária do agregado graúdo.	60
Figura 13 – Pesagem dos agregados graúdo – a) Pesagem da brita granítica para um traço de 75% de brita. b) Pesagem do seixo rolado para um traço de 25% de seixo rolado.	62
Figura 14 – Procedimento de lançamento do material na betoneira – a) Lançamento da brita granítica na betoneira. b) Lançamento da metade da água.	63
Figura 15 – Sequencia esquemática do ensaio.	64
Figura 16 – Consumo do ensaio de abatimento de tronco de cone – a) Adensando a primeira camada com 25 golpes. b) Medindo a trabalhabilidade do concreto.	64
Figura 17 – Procedimento de execução dos corpos-de-prova.	65
Figura 18 - Rompimento de corpos-de-prova do concreto em estudo.	66
Figura 19 – Corpo-de-prova alinhado centralizando no dispositivo de compressão diametral.	67
Figura 20 - Procedimento de ensaio de absorção por imersão.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de cimento Portland comercializados no Brasil.	17
Tabela 2 – Composição e massa específica de agregados pesados.	20
Tabela 3 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.	27
Tabela 4 – Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.	28
Tabela 5 – Planejamento dos traços a serem estudados.	43
Tabela 6 – Planejamento dos corpos-de-prova em relação aos ensaios.	44
Tabela 7 – Características da areia empregada nos concretos da pesquisa.	48
Tabela 8 – Características do seixo rolado empregado nos concretos do programa experimental.	51
Tabela 9 – Características do seixo britado empregado nos concretos do programa experimental.	53
Tabela 10 – Características da brita granítica empregada nos concretos do programa experimental.	55
Tabela 11 – Cálculo da massa específica da areia.	58
Tabela 12 – Cálculos da massa específica do agregado graúdo.	59
Tabela 13 – Cálculo da massa unitária dos materiais.	60
Tabela 14 – Trabalhabilidade do concreto para cada teor de substituição do seixo rolado.	69
Tabela 15 – Trabalhabilidade do concreto para cada teor de substituição do seixo britado.	71
Tabela 16 – Resistência à compressão do concreto para cada teor de substituição do seixo rolado aos 7 dias.	73
Tabela 17 – Resistência à compressão do concreto para cada teor de substituição do seixo britado aos 7 dias.	75
Tabela 18 - Resistência à compressão do concreto para cada teor de substituição do seixo rolado aos 28 dias.	76
Tabela 19 - Resistência à compressão do concreto para cada teor de substituição do seixo britado aos 28 dias.	77
Tabela 20 - Resistência à tração do concreto para cada teor de substituição do seixo rolado aos 28 dias.	79
Tabela 21 - Resistência à tração do concreto para cada teor de substituição do seixo britado aos 28 dias.	81
Tabela 22 - Absorção por imersão dos concretos com adição de seixo rolado.	82
Tabela 23 - Absorção por imersão dos concretos com adições de seixo britado.	83

RESUMO

O principal objetivo do estudo foi avaliar a influência do agregado graúdo nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido: trabalhabilidade, resistência à compressão, resistência à tração, absorção por imersão. Para isso foram produzidos concretos com três tipos de agregados: brita granítica, seixo britado e seixo rolado, onde calculou-se um traço de 50MPa usando a brita granítica como agregado do concreto referência e variou-se os seixos rolado e britado nas proporções de 25%, 50%, 75%, e 100%. Os materiais foram cedidos por empresas locais, viabilizando assim os estudos. No estudo foi utilizado um único lote de cimento do tipo CP I-40, areia natural de rio e água proveniente de abastecimento público. O programa experimental foi dividido em três etapas: caracterização dos materiais, estudo da trabalhabilidade do concreto e estudo das propriedades do concreto no estado endurecido, sendo todos os experimentos seguindo recomendações das normas brasileiras NBRs. As propriedades mecânicas dos concretos foram avaliadas nas idades de 7 e 28 dias após a fabricação, e o ensaio de absorção por imersão foi verificado aos 28 dias. Os resultados indicam um desempenho melhor dos concretos produzidos com agregado graúdo britado quanto às propriedades mecânicas e, seixo rolado quanto à trabalhabilidade do concreto.

Palavras chave: Concreto, Propriedades, Estado fresco, Estado endurecido.

ABSTRACT

The main objective of the study was to evaluate the influence of coarse aggregate in concrete properties in fresh and hardened: workability, compressive strength, tensile strength, immersion absorption. For that they were produced concrete with three types of aggregates: granite gravel, crushed pebble and boulder where we calculated a trace of 50MPa using granite gravel as aggregate reference concrete and ranged up the rolled pebbles and crushed in the proportions 25 %, 50%, 75% and 100%. The materials were provided by local businesses, thus enabling studies. In the study we used a single batch of cement type CP I - 40, natural river sand and water from public supply. The experimental program was divided into three stages: characterization of materials, concrete workability of study and study the concrete properties in the hardened state, with all experiments following recommendations of the Brazilians standards NBR5. The mechanical properties of the concretes were measured at the ages of 7 and 28 days after manufacturing, and immersion absorption test was verified to 28 days. The results indicate better performance of concrete made with coarse aggregate crushed as the mechanical properties and, pebble rolled on the workability of the concrete.

Keywords: Concrete, Properties, fresh state, hardened state.

1.0 INTRODUÇÃO

A cidade de Palmas Tocantins está crescendo muito em termos populacionais, e com este crescimento, há uma necessidade de ampliação de vários setores como hospitais, indústrias, comerciais, lojas, casas, edifícios, dentre outros, para que se possa atender a demanda da população quanto suas necessidades. Para que essa ampliação aconteça faz-se necessário que a construção civil opere em máxima escala, pois onde há crescimento tanto populacional como econômico a construção civil se alavanca para atender as necessidades da população local.

Quando se fala em construção civil não tem como deixar de falar em concreto, pois segundo ABCP este é o produto mais consumido no mundo. A pesquisa da ABCP (2013) em parceria com a UBM chegou à conclusão de que entre 2005 e 2012, o consumo de cimento avançou mais de 80%, e o aumento de concreto preparado em centrais aumentou 180%, na pesquisa foi estimado que foram produzidos 51 milhões de metros cúbicos no ano de 2012. A pesquisa realizada pela ABCP e UBM, nos dão parâmetros de que o concreto realmente é um produto fundamental para o crescimento de qualquer País, Estado ou Município. Este material tão importante para o crescimento é produzido em sua maioria pela mistura de cimento Portland, agregados miúdo (areia), graúdo (pedras) e água.

Sabe-se que o concreto não é tão resistente quanto o aço, então, vem um a indagação porque ele é mais utilizado na engenharia? Segundo (MEHTA; MONTEIRO, 1994) o concreto possui propriedades excelentes, como boa resistência a água, ao contrario da madeira e do aço comum, o concreto é capaz de resistir sem sofrer deterioração séria. A segunda razão para o grande uso do concreto é a facilidade para se elaborar elementos estruturais de várias formas e tamanhos, isto porque quando ele esta em seu estado fresco tem uma plasticidade que permite ao material fluir nas fôrmas pré-fabricadas. A terceira razão seria pelo seu custo ser inferior ao aço, como também, a facilidade de ser encontrado no canteiro, pois os principais ingredientes para a execução do concreto como cimento Portland e agregados, são relativamente baratos e disponíveis na maior parte do mundo.

Na confecção do concreto segundo (BASTOS, 2006) os agregados são de suma importância, pois, cerca de 70 % da composição do concreto é agregado, e são os materiais de menor custo dos concretos. Os agregados tem a finalidade de reduzir o custo final do concreto e aumentar a resistência do mesmo, já que as pedras utilizadas na confecção do mesmo tem resistência maior que a própria pasta endurecida.

Sabendo da importância dos agregados, e que na cidade de Palmas do Tocantins existem periodicamente três tipos de agregado para se trabalhar no concreto, que são estes: o seixo rolado (cascalho), cascalho britado e brita granítica, e também da falta de pesquisa sobre estes materiais no Estado. O trabalho tem intuito de comparar o concreto produzido com brita granítica que foi usado como referência, o seixo rolado e britado demonstrando assim quais as propriedades do mesmo perante a confecção utilizando estes materiais, e assim guiar futuras utilidades para estes, de forma que se saberá qual agregado será mais pertinente para qual tipo de concreto e finalidade do mesmo, demonstrando as propriedades do concreto em seu estado fresco e endurecido.

1.1 OBJETIVOS

1.1.2 Objetivos Gerais

Avaliar as propriedades do concreto convencional em seu estado fresco e endurecido utilizando-se de três agregados distintos como a brita granítica, seixo rolado e seixo britado.

1.1.3 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são divididos em 4 etapas para chegar ao objetivo geral, estas etapas são:

- Elaborar um traço para os concretos em estudo;
- Estudar a trabalhabilidade do concreto;
- Estudar as propriedades do concreto em seu estado endurecido, tais como, resistência à compressão, à tração por compressão diametral e absorção por imersão;
- Comparar os concretos produzidos com os agregados graúdos de brita granítica, seixo rolado e seixo britado.

1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

Como a variabilidade de materiais para a produção de concreto é muito grande, é de suma importância, que se façam estudos relativos a estes materiais, para um melhor conhecimento e entendimento dos mesmos, a fim de delimitar melhor uso para os materiais de acordo com as necessidades do projeto.

Sabe-se que um bom parâmetro para se avaliar a qualidade do concreto, esta na qualidade e tipo dos agregados utilizados na confecção do mesmo, também é visto que os agregados representam de 60 a 80% do volume do concreto, e que influenciam diretamente nas propriedades do concreto.

Para se fazer um bom projeto de concreto é de fundamental importância que se saiba as características dos materiais constituinte do mesmo. Ou seja, para que se possa fazer um concreto de qualidade, é de suma importância que se conheça as características dos materiais que compõem o concreto, visto que, este conhecimento nos informa parâmetros que nos dá a possibilidade de otimizar o projeto de concreto com a simples variação de materiais.

Para tanto, neste trabalho pesquisou-se a confecção de concreto com agregados graúdos seixo rolado e britado, utilizando-se do concreto confeccionado com brita granítica como referência. Sabendo que no município de Palmas Tocantins o material de cascalho (seixo) é abundante devido ao lago, então confeccionou-se concretos com estes três agregados, a fim de verificar as divergências, semelhanças e comportamentos para os seus usos tanto no estado fresco quanto no endurecido.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação foi dividida em três partes: uma teórica, que inclui o presente Capítulo e o Capítulo 2, outra experimental, que engloba o capítulo 3 e 4 e por ultimo a conclusiva que engloba o Capítulo 5.

O presente Capítulo apresenta a introdução do trabalho, os objetivos da pesquisa, a justificativa e importância do trabalho e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2, é apresentada uma revisão da bibliografia sobre o assunto, contendo breves definições e salientando a influência do agregado graúdo nas propriedades do concreto devido as suas características particulares, tais como: forma dos grãos, granulometria e textura.

O Capítulo 3, apresenta o programa experimental, compreendendo a metodologia empregada para obtenção dos resultados, as variáveis de ensaio adotadas, a caracterização dos materiais utilizados, a dosagem dos concretos, bem como os ensaios e os métodos empregados para a obtenção dos resultados.

No Capítulo 4, são apresentados os resultados e feitas às análises dos resultados obtidos durante o programa experimental.

As conclusões, as considerações finais e as sugestões para pesquisas futuras são apresentadas no Capítulo 5.

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO

Segundo Petrucci, (1998, apud COSTA, 2005) o concreto é um material de construção produzido a partir da mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes (agregado miúdo e ou graúdo) e água. Em seu estado fresco deve oferecer plasticidade aqueda ao manuseio e lançamento nas formas, adquirindo com o tempo, pelas reações entre os constituintes, coesão e resistência.

A produção do concreto exige uma série de etapas e controle, tanto da produção, quanto dos materiais, para que se possa obter um concreto que resista esforço advindo das mais diversas condições de carregamento ou ser submetido a estes (MEHTA; MONTEIRO, 1994). As etapas são as seguintes:

- Dosagem ou quantificação dos materiais;
- Mistura dos materiais;
- Lançamento do concreto;
- Adensamento, que consiste em uma técnica para eliminar os vazios e tornar a massa o mais denso o possível;
- Cura, que consiste nos cuidados para que o concreto não sofra uma perda precoce de umidade (água) e controlar a temperatura do concreto durante um período suficiente para que este alcance um nível de resistência desejado.

Para tanto, para obter-se um concreto de boa qualidade é preciso que todas as etapas sejam bem executadas, caso contrário, haverá problemas com o concreto e não se terá um resultado satisfatório, vindo a comprometer sua utilização.

2.2 TIPOS DE CONCRETO

Segundo Mehta e Monteiro (1994), tomando como base a massa específica, o concreto pode ser classificado em três grandes categorias. O concreto de peso normal que é produzido com areia natural e seixo rolado ou pedra britada, visto que, este tipo de concreto pesa cerca de 2400 kg/m³ e é mais usado para peças estruturais. O concreto leve tem a massa menor que 1800 kg/m³,

e usa-se quando se precisa de concretos com massa mais leve. Já o concreto pesado, usado as vezes nas blindagens de radiações, é produzido a partir de agregados de altas densidades e que geralmente pesa mais do que 3200 kg/m³.

A classificação do concreto quanto à resistência à compressão em 28 dias é:

- **Concreto de baixa resistência:** resistência a compressão menor que 20 MPa
- **Concreto com resistência Moderada:** resistência a compressão de 20 a 40 MPa
- **Concreto de alta resistência:** resistência superior a 40 Mpa

2.3 CONSTITUINTES DO CONCRETO

O concreto hidráulico é um material composto pela mistura de um aglomerante, e imersão de partículas ou fragmentos de agregados. Estes agregados são subdivididos em dois tipos, que são os agregados miúdos (areias) e graúdos (pedras), já o aglomerante é formado pela mistura de cimento Portland e água, porém estes materiais serão melhor abordado nos itens a seguir (NEVILLE, 1997).

2.3.1 Cimento Portland

Segundo a ABCP (2002), “cimento Portland é a denominação convencional mundialmente para o material usualmente conhecido na construção civil como cimento”. O aglomerante foi descoberto por Joseph Aspdin em 1824, e teve seu nome dado pela percepção de que ao mistura-lo com água e após o seu enrijecimento torna-se uma massa pétrea semelhante em cor, solidez e durabilidade ao calcário da Ilha Inglesa de Portland.

O cimento é composto de clínquer e adições, o clínquer é o seu principal componente, que tem como matérias-primas básicas o calcário e a argila. As propriedades básicas do clínquer é que ele é um ligante hidráulico, que reage quimicamente na presença da água, primeiramente tornando-se pastoso e em seguida endurecendo, adquirindo elevada resistência e durabilidade (NEVILLE, 1997).

Para a produção do clínquer a rocha de calcário é britada e moída é misturada com argila moída. A mistura é submetida a uma alta temperatura de até 1450 °C e logo em seguida bruscamente resfriadas, formando pelotas (o clínquer). E após o processo de moagem o clínquer transforma-se em pó (ABCP, 2002).

As adições são outras matérias-primas como o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e carbonáticos, que quando combinadas ao clínquer na fase de moagem, permitem a produção dos vários tipos de cimento portland hoje disponíveis no mercado (ABCP, 2002). Na Tabela 1, é demonstrado os cimentos produzidos no Brasil, apresentando resumidamente o nome, as classes de resistência mecânica, composição em percentual para os diversos tipos e as siglas para os quais foram designados.

Os cimentos CP III E CP IV, quando em contato com água tem um baixo calor de hidratação, visto que durante sua hidratação libera energia mais lentamente em relação a outros cimentos. O CP III é muito utilizado quando se deseja uma alta resistência inicial, ou seja em peças de concreto que precisam absorver esforços o mais breve o possível na obra. O CP IV é mais para quando se deseja um baixo calor de hidratação é boa resistência final. Já o CP V por ter reações aceleradas pelos silicatos tricálcicos, possui alto calor de hidratação em idades iniciais, por isso, deve-se corrigir em processo de cura, para que na concretagem de elementos estruturais, a perda de água do concreto por evaporação não venha manifestar patologias/problemas futuramente. Para se evitar é viável fazer a cura molhando as peças que é um método tradicional e muito utilizado nos canteiros de obras (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

O CP V tem alta resistência ao sulfato, pois este tem o teor de C_3A menor que os demais cimentos, e segundo Neville (1997), os sulfatos proveniente do exterior regem com um composto do cimento, que é o C_3A , e esta reação tem como resultado a etringita, que já é um dos compostos do cimento endurecido, então com isso há um aumento deste composto que causa a expansão do concreto, fazendo com que este fissure.

O cimento CP I é o cimento Portland comum, é muito adequado para o uso em construções de concreto em geral, porém salvo exceções quando há exposição do concreto aos sulfatos no solo ou em águas subterrâneas (NEVILLE, 1997).

O CP II é o cimento Portland composto, tem moderado calor de hidratação e moderada resistência aos sulfatos (KIHARA et al, 2005, apud SILVA, 2012).

Tabela 1 - Tipos de cimento Portland comercializados no Brasil.

Nome Técnico do Cimento Portland	Conteúdo dos componentes (%)					
	Sigla	Classes	Clínquer + Gesso	Escória	Pozolana	Filer calcário
Comum	CPI	25, 32,40	100	-	0	-
Comum com Adição	CPI – S	25, 32,40	99-95	-	1-5	-
Adição						

Composto com Escória	CPII-E	25, 32,40	94-96	6-34	0	0-10
Composto com Pozolana	CPII-Z	25, 32,40	94-97	0	6-14	0-10
Composto com Filer	CPII-F	25, 32,40	94-90	0	0	6-10
Alto Forno	CPIII	25, 32,40	65-25	37-70	0	0-5
Pozolânico	CPIV	25,32	5-45	0	15-50	0-5
Alta Resistência Inicial	CPV-ARI	-	100-95	0	0	0-5
Resistência a Sulfatos	RS	25, 32,40	-	-	-	-
Baixo calor de hidratação	BC	25, 32,40	-	-	-	-
Branco Estrutural	CPB	25, 32,40	-	-	-	-

Fonte: Kihara e Centurione (2005, apud SILVA, 2012).

2.3.2 Agregados

Os agregados são materiais granulados geralmente inertes e fazem parte da composição de argamassas e concretos. Os agregados são de suma importância para o concreto, fazendo parte de 60 a 80% do volume do mesmo, e são os materiais de menor custo do concreto.

De acordo com Petrucci (2005 apud SILVA, 2012), os agregados graúdos interferem diretamente na resistência mecânica e trabalhabilidade do concreto. “O autor em seu livro compara concreto produzido com cascalho (seixo rolado) e brita, estabelecendo comparações entre as propriedades físicas das rochas utilizadas” (SILVA, 2012).

A partir desta comparação ficou evidente que as propriedades do concreto estão diretamente ligadas com as características dos agregados, pois segundo Mehta e Monteiro (1994) “a porosidade ou a massa específica, a composição granulométrica, a forma e textura superficial dos agregados determinam as propriedades dos concretos no estado fresco”. Além da porosidade, a composição mineralógica do agregado afeta a sua resistência à compressão, a rigidez da peça, o módulo de elasticidade, ou seja, as propriedades do concreto em seu estado endurecido.

A fase agregado têm responsabilidade direta quanto à massa unitária, ao módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. A massa específica do agregado graúdo influi inteiramente na massa específica do concreto, visto que, é o material de maior volume do concreto, e por sua vez, está diretamente ligada à resistência do concreto, ou seja, quanto mais poroso for o agregado menor massa específica ele terá, e conseqüentemente, o concreto

terá menor resistência. Já os agregados mais densos e compactos terão maior massa específica, e isto significa que o concreto confeccionado com este agregado terá maior massa específica e, portanto, maior resistência (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Os agregados podem ser classificados de diferentes modos, pois existem vários tipos e formas, vejamos a seguir as classificações dos agregados.

2.3.2.1 Classificação dos agregados

Os agregados são classificados: quanto à origem, massa específica e tamanho das partículas.

2.3.2.1.1 Classificação dos agregados quanto à origem

Os agregados são classificados quanto à origem em naturais e artificiais, visto que, os agregados naturais são aqueles encontrados na natureza sem que passe por processos de modificação para uso, como areia de rios e pedregulhos (seixo rolado). Já os agregados artificiais são aqueles que são encontrados na natureza, porém, alterados para atender a necessidades e funções no que diz respeito aos agregados, podemos citar como exemplo a pedra britada, conhecida como brita (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Os agregados naturais são de suma importância para a produção de concreto de cimento Portland, pois a maioria dos concretos confeccionados na cidade de Palmas do Tocantins se utiliza de agregados naturais tais como areia de rio e seixo rolado. Também é vital sua utilização em municípios onde há carência de agregados artificiais tais como a brita granítica ou semelhante, visto que, é quase inviável a importação destes materiais de lugares distantes pelo alto custo do transporte destes, então a utilização dos agregados naturais se torna crucial.

2.3.2.1.2 Classificação dos agregados quanto à massa específica

Na maioria dos agregados naturais, tais como areia e pedregulho tem sua massa unitária entre 1520 e 1680 Kg/m³ e produzem concretos convencionais de massa específica de aproximadamente 2500 Kg/m³. Para fins especiais, agregados mais leves podem ser utilizados para confeccionar concretos leves, quando é necessário que o concreto seja menos denso que o normal devido ao projeto estrutural exigir esta propriedade. Também pode se ter concretos densos utilizando-se de agregados pesados, então os agregados utilizados variam de acordo com o projeto estrutural e suas propriedades exigidas. Os agregados com massa unitária

menor 1120 Kg/m^3 são chamados de leves, e aqueles com mais de 2080 Kg/m^3 são chamados de pesados (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

- Agregados Leves

São aqueles agregados cuja massa específica é inferior 1120 Kg/m^3 e é aplicado para vários tipos de concreto leves, com funções estruturais ou não, isto é, dependendo da sua massa específica, ou seja, agregados muito porosos que são bem leves tendem a ser mais fracos e é mais adequado serem utilizados na produção de concretos isolantes não estruturais. Já por outro lado estão aqueles agregados leves que são menos porosos, a sua estrutura porosa consiste de poros finos distribuídos de forma uniforme, por este motivo agregado é usualmente resistente e capaz de produzir concreto estrutural (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Os agregados leves tem uma estrutura celular com o índice de vazios maior que os agregados normais e pesados, então, por este motivo eles tem menor massa unitária e resistência característica. Nos agregados leves tem-se pedras pomes, vermiculita, argila expandida e dentre outros.

- Agregados Pesados

Os agregados chamados de pesados tem sua massa superior a 2080 Kg/m^3 , são utilizados para fabricar concretos pesados com massa variando de 2880 a 6100 Kg/m^3 que é muito utilizado para blindagens de radiação nuclear. “As rochas naturais adequadas para a produção de agregados pesados consistem predominantemente de dois minerais de bário, vários minérios de ferro e um de titânio” (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Tabela 2 – Composição e massa específica de agregados pesados.

Tipos de agregado	Composição química do mineral principal	Massa específica do mineral puro (Kg/m^3)	Massa unitária típica (Kg/m^3)
Waterita	BaCO ₃	4290	2320
Barita	BaSO ₄	4500	2560
Magnetita	Fe ₃ O ₄	5170	2720
Hematita	Fe ₂ O ₃	4900-5300	3040
Lepidocrocita	Óxido de ferro	3400-400	2240
Geotita	Hidratos contendo		
Limonita	de 8 a 12% de água		
Ilmenita	FeTiO ₃	4720	2560
Fosfato de ferro	Fe ₃ P, Fe ₂ P, FeP	5700-6500	3680
Agregado de aço	Fe	7800	4480

Fonte: MEHTA; MONTEIRO (1994).

2.3.2.1.3 Classificação dos Agregados Quanto ao Tamanho das Partículas

A classificação dos agregados quanto às partículas é subdividida em duas, que são os agregados miúdos e os agregados graúdos. Os agregados graúdos têm partículas maiores do que 4,8 mm e tem seus fragmentos retidos na peneira número 4, e os agregados miúdos têm suas partículas inferiores a 4,8 mm e maiores que 75 µm, ou seja, os agregados miúdos ficam retidos na peneira número 200 e passam pela peneira número 4. Vejamos abaixo com mais detalhes (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

2.3.2.1.3.1 Agregados miúdo

Os agregados miúdos são as areias utilizadas na composição do concreto. Estas areias podem ser naturais ou artificiais.

- Areia natural

A areia natural é um material de origem mineral e tem o quartzo como seu principal componente. As suas partículas são passantes pela peneira de 4,8 mm e retidas na peneira de 75 µm, o que significa dizer que passam pela peneira número 4 e ficam retidas na peneira número 200 (COSTA, 2005).

Segundo Costa (2005), a areia pode ser extraída dos rios e de cava. Nos leitos dos rios a areia é removida dos depósitos sedimentares por meio de sucção, que bombeiam a água, contendo cerca de 5 a 10% de areia, para lagoas de decantação. Já a areia de cava é extraída por escavação mecânica ou desmonte hidráulico dos depósitos aluviâres em fundos de vales, cobertos por capa de solo.

A areia natural pode ser ponderada em areia fina, média e grossa, dependendo do tamanho de suas partículas.

- Areia artificial

Segundo Costa (2005), a areia artificial é derivada de rocha que após ser explodida ou perfurada passa por um processo de britagem até que se atinja a granulometria desejada. Após a extração dos fragmentos de rocha, estes são transportados até o conjunto de britagem, e passam pelo processo até que atinjam partículas inferiores a 4,8 mm. Posteriormente deve-se passar por processo de lavagem para que se retire os finos excedentes.

D e a c o r d o c o m P e t r u c c i ,

As melhores areias artificiais são as que provêm de granitos e pedras com grande proporção de sílica. As areias provenientes de basalto apresentam, em geral, muitos grãos em forma de placa ou agulha, que irão produzir argamassas ásperas, geralmente as menos trabalháveis, proporcionando maior aderência que a areia natural (1998, apud Costa, 2005).

2.3.2.1.3.2 Agregados graúdo

As pedras mais utilizadas no concreto como agregado graúdo são os seixos e as britas. Os seixos rolados são muito utilizados em locais onde há escassez de brita, ou até mesmo por conta do custo, visto que, o seixo rolado é bem mais barato que a brita por ter um processo de obtenção mais simples, este é geralmente a dragagem, ou seja, todo o processo de obtenção do seixo rolado é muito simples, então conseqüentemente seu custo é menor. A brita é o agregado graúdo mais utilizado e conhecido do concreto, salvo onde há escassez do material. A brita é mais cara que o seixo de fato, porém é um agregado fantástico quando se enfatiza a resistência do concreto, e a norma NBR 7211:2005 refere-se somente a brita como agregado graúdo para concreto, então é mais conhecida e famosa, por isso é mais usada que o seixo em termos mundiais. Há o surgimento de mais uma espécie no mercado, pode-se dizer que é a mistura dos processos, ou seja, o seixo rolado passa por um processo de britagem transformando-se em seixo britado.

Como proposto pela NBR 7211:2005, os agregados graúdos são enumerados de acordo com seus diâmetros máximos característicos.

- Pedra 0, tem seu diâmetro característico de 4,8 a 9,5 mm;
- Pedra 1, tem seu diâmetro característico de 9,5 a 19 mm;
- Pedra 2, tem seu diâmetro característico de 19 a 25 mm;
- Pedra 3, tem seu diâmetro característico de 25 a 50 mm;
- Pedra 4, tem seu diâmetro característico de 50 a 76 mm;
- Pedra 5, tem seu diâmetro característico de 76 a 100 mm.

Segundo Pimenta (2012), quando se trata de pedras britadas, as rochas mais utilizadas na produção de brita são os granito e gnaiss com 85%, em seguida vem o calcário e dolomito com 10%, e por ultimo basalto e diabasio com 5%.

Os agregados graúdos mais conhecidos comercialmente são as britas do tipo graníticas e os seixos, visto que, estes serão melhor abordados nos tópicos a seguir.

- **Brita granítica**

O agregado britado mais usado na cidade de Palmas Tocantins é a brita granítica. O granito é uma rocha magmática, ou seja, é originado a partir do resfriamento e solidificação do magma.

O granito é classificado como uma rocha plutônica, pois este não se solidifica na superfície da terra, e sim em profundidades variáveis, às vezes encontra-se perto da superfície, porém também podem estar bem mais profundo, isso depende dos caminhos percorrido pelo magma e do tempo de resfriamento da rocha (ULBRA, MUSEU DE CIÊNCIAS NATURAIS).

A constituição mineralógica essencial do granito é o quartzo, feldspato e, normalmente, também mica (CABRAL, 2007).

O granito é visto como a rocha plutônica mais abundante da crosta terrestre, e a rocha que é mais usada para a produção de brita no Brasil (ULBRA, MUSEU DE CIÊNCIAS NATURAIS).

- **Seixo rolado**

O seixo rolado é muito usado pelo ponto de vista econômico, pois é um agregado barato em relação à brita, e também por sua boa resistência a compressão. É um dos agregados mais usado no município.

O seixo rolado é uma rocha sedimentar, ou seja, a rocha matriz passa por um processo de intemperismo através de vento, chuva, sol, variação de umidade, de temperatura e dentre outros, acarretando na destruição da rocha. Com este processo ocorrido muitos minerais podem ser alterados ou serem destruídos, fazendo que a rocha sedimentar torne-se diferente da rocha matriz (ALVES, 1999 apud CABRAL, 2007).

Os detritos das rochas são transportados pela água, fazendo com que aja um choque entre estas partículas durante a rolagem dos grãos, oque deixa o seixo com aspecto arredondado.

2.3.2.2 Obtenção dos Agregados

Para os agregados naturais, isto é, formados na natureza e que não sofrem ação humana, são oriundos de jazidas de solo grosso graduado, que são ótimas fontes de areia

natural e cascalho. Mas, como usualmente depósitos de solo contêm quantidades significativas de silte e argila, ou seja, substâncias deletérias, que prejudicam as propriedades do concreto em seu estado fresco e endurecido, estas substâncias podem ser removidas dos agregados por dois meios, a lavagem do mesmo e o peneiramento a seco, visto que a escolha do método a ser utilizado irá influenciar na quantidade de materiais deletérios no agregado, pois sabe-se que recobrimentos de argila podem não ser removidas tão facilmente por peneiramento a seco, quanto por lavagem (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Outro tipo de jazida natural muito utilizada são as de leito de rios, que podem ser por cava seca ou imersa. Os agregados extraídos deste tipo de jazidas são as areias e cascalhos (seixo rolado), que são extraídos por processo de dragagem. Na cidade de Palmas do Tocantins tanto as areias como os cascalhos são retirados dos rios por mineradoras locais. A vantagem de se extrair estes agregados dos rios, é pelo motivo de que, não se precisa de um projeto de recuperação ambiental tal como as jazidas de solo, que precisa passar por um processo de recuperação após a extração, nos rios a maior exigência é para que não se extraia muito no mesmo local para não dar impacto ambiental, ou seja, se for retirada migrando para diferentes pontos do rio não há problemas.

Dentro dos processos de obtenção dos agregados a cava imersa consiste em dragagem flutuante de areia e cascalho, situadas as margens de rios. Semelhantemente a cava imersa, a cava seca ocorre em camadas de areia e sua extração consiste em desmonte da jazida por processo hidráulico ou escavação mecânica. Já o solo de alteração é atingido por um jato de pressão de água, separando os materiais finos das areias, que logo passa pelo processo de peneiramento (NETO, 2005 apud SILVA 2012).

Os agregados artificiais são produzidos por meio de operações industriais, que envolve aglomeração de partículas solidas, como: argilas, folhelhos e ardósia, que rebem um tratamento térmico de cerca de 1000 a 1100°C, de forma que uma porção do material se funde para gerar uma massa viscosa, e os gases liberados pela decomposição química de alguns constituintes presentes nas matérias primas, são misturados a lava gerando assim uma expansão da massa, e por isso são chamados de agregados expandidos. Há também os agregados chamados britados, cuja obtenção se dá por meios de pedreiras desenvolvidas a partir de afloramentos de rocha. Para a coleta dos materiais a ser britados é necessário a explosão da rocha e transporte ate o britador, depois de transportado o material passa por processo de britagem, e em seguida por peneiramento para fazer a seleção granulométrica (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

O processo de britagem se dá por meio da separação e diminuição dos diâmetros dos agregados. Depois da rocha explodida e transportada, ela é esmagada por duas placas de metal em forma de “V”. Consecutivamente ela é transportada por esteiras passando pelos britadores que a britaram de acordo com o diâmetro desejado, e passando também pelo processo de peneiramento para a separação dos agregados (NETO, 2005 apud SILVA, 2012).

2.3.2.3 Características dos Agregados

As características mais importantes dos agregados para a tecnologia do concreto incluem a porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes. Estas características derivam da composição mineralógica, das condições em que a rocha foi exposta, dos tipos de operação e equipamentos usados para a produção do agregado (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

O conhecimento de certas características dos agregados, tais como massa específica composição granulométrica e teor de humidade, são requisitos mínimos para a dosagem dos concretos. “A porosidade ou a massa específica, a composição granulométrica, a forma e textura superficial dos agregados determinam as propriedades dos concretos no estado fresco” (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Além da porosidade, a composição mineralógica do agregado afeta a sua resistência à compressão, a rigidez da peça, o módulo de elasticidade, ou seja, as propriedades do concreto em seu estado endurecido (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

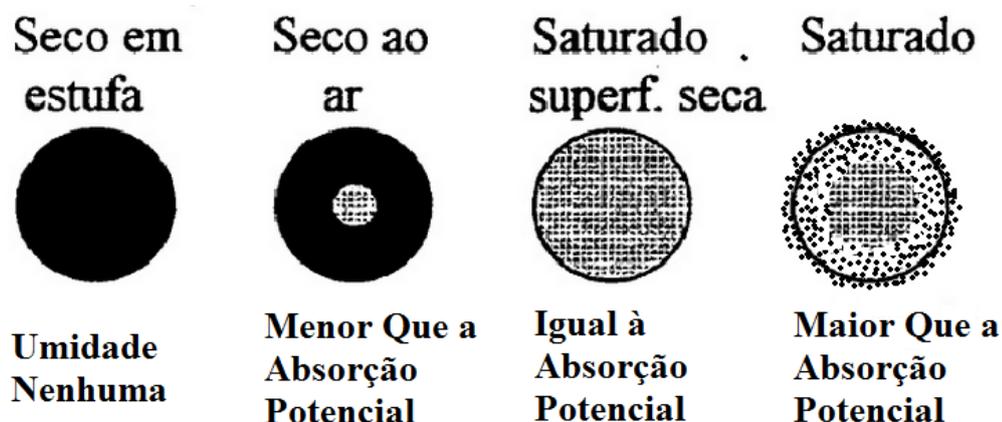
Em literaturas diversas como o livro de Neville, Mehta e Monteiro, artigos do Ibracon são mencionados os estudos das características dos agregados para que se possa elaborar um bom estudo de dosagem. Para tanto serão apresentados a seguir características de suma importância para estudo de dosagem.

- Massa específica: A massa específica segundo Mehta e Monteiro (1994), “é definida como a massa do material por unidade de volume incluindo os poros internos das partículas”. Os valores de massa específica de rochas mais utilizadas nos concretos variam entre 2600 e 2700 Kg/m³. Para a determinação da massa específica da areia é utilizado o frasco de Chapman, que consiste num ensaio regido pela NBR 9776 (1987).
- Massa unitária: A massa unitária segundo Mehta e Monteiro (1994), “é definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume”. O fenômeno da massa unitária surge, pelo fato de que não é possível empacotar as

partículas de modo que não fiquem vazios no concreto. Por isso, a NBR NM 45:2006, determina a massa unitária dos materiais inertes em seu estado compactado, que constituem o concreto. Os agregados graúdos, como o seixo e a brita de granito, apresentam massa unitária entre 1500 e 1700 Kg/dm³ (NETO, 2005 apud SILVA, 2012).

- Absorção de água: podem existir vários estágios de absorção para o agregado, que depende da situação em que se encontra a umidade do mesmo. Quando o agregado encontra-se completamente seco, ou seja, não há nenhuma humidade presente em suas partículas, pode dizer que o agregado esta na condição seca em estufa. Visto que quando o agregado é seco ao ar livre, não há a retirada total de água das partículas do mesmo, pois a temperatura do ar varia muito, diferentemente da estufa que é constante, então por este motivo há a presença de água nos poros mais internos do agregado. Já quando todos os poros permeáveis do agregado encontram-se saturados, porem sua superfície encontra-se seca, é dito que o agregado encontra-se no estado saturado com superfície seca. Esta situação é encontrada na pratica de determinação de absorção e massa especifica do agregado graúdo, E por ultimo o estado saturado, onde o agregado esta com os poros totalmente preenchidos por liquido e sua superfície encontra-se saturada também, quando isto ocorre é dito que o agregado esta em estado saturado (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Logo abaixo a Figura 1 ilustra perfeitamente estes estágios.

Figura 1 - Condições de umidade dos agregados.



Fonte: MEHTA ; MONTEIRO (1994)

As propriedades das rochas são muito influenciadas pela absorção de água. Rochas com alta absorção d'água apresentam aumento na massa específica aparente saturada, por

exemplo, enquanto que a resistência mecânica diminui, por enfraquecimento das ligações intergranulares (NEVILLE, 1997).

Quanto às formas e características dos grãos dos agregados, é necessário o conhecimento da sua classificação, por meio da sua composição granulométrica e sua forma e textura superficial, que segue logo a baixo.

- Composição granulométrica: é a proporção relativa, em porcentagem, dos diferentes tamanhos dos grãos que constituem o agregado. A composição granulométrica tem grande influência nas propriedades dos concretos, tanto no estado fresco quanto endurecido. É determinada por peneiramento, através de uma bateria de peneiras intercaladas. A granulometria determina, também, o diâmetro máximo do agregado, que é a abertura da peneira em que fica retida acumulada uma porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5%. Outro índice importante determinado pela granulometria é o módulo de finura, que é a soma das porcentagens retidas acumuladas divididas por 100 NBR 7211 (2005).

Os limites da distribuição granulométrica serão descritos nas Tabelas 3 e 4. Segundo a NBR 7211 (2005).

Tabela 3 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Abertura das Peneiras (mm) (NBR NM ISO 3310-1:2010)	Porcentagem em massa retida acumulada (%)			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,8 mm	0	0	5	10
2,4 mm	0	10	20	25
1,2 mm	5	20	30	50
600µm	15	35	55	70
300µm	50	65	85	95
150µm	85	90	95	100

Fonte: NBR 7211:2005.

- 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90
- 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20
- 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

Para os agregados graúdos os limites de distribuição granulométrica são os seguintes.

Tabela 4 – Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D ¹				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/76
75 mm	-	-	-	-	0 - 5
63 mm	-	-	-	-	5-30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5-30	90 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	5 - 25 ²	87-100	-
19 mm	-	2 - 15 ²	65 ² - 95	95-100	-
12,5 mm	0 - 5	40 ² - 65 ²	92-100	-	-
9,5 mm	2 - 15 ²	80 ² - 100	95-100	-	-
6,3 mm	40 ² - 65 ²	92-100	-	-	-
4,75 mm	80 ² - 100	95-100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

Fonte: CARVALHO (2009).

¹ Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

² Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo 5% em apenas um dos limites marcados com ². Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Os agregados que tem granulometria bem graduada tem boa qualidade para a produção de concreto, pois a variabilidade dos grãos permite a melhor conformação dos agregados dentro do concreto, ou seja, o concreto tem menos vazios e, é mais compacto.

- Forma e textura superficial dos grãos: a forma dos grãos esta diretamente relacionada à trabalhabilidade do concreto, pois agregados com formas arredondadas produzem concretos mais trabalháveis que agregados angulosos ou lamelares. Para tanto concretos confeccionados com seixo rolado terão melhor trabalhabilidade do que os produzidos com brita. Já a textura superficial esta diretamente ligada a aderência da pasta endurecida com o agregado, oque por sua vez esta relacionado com a resistência do concreto, pois quanto mais aderente for esta ligação mais compacta será a mistura e mais difícil de romper este concreto. Visto que, agregados britados tem textura superficial mais ásperas e consequentemente melhor aderência e maior resistência que concretos produzidos com seixo rolado (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

2.3.3 Água

Segundo Petrucci (1998, COSTA, 2005), “e usual dizer-se que toda a água que serve para beber pode ser utilizada na confecção de concretos”. Porém, a recíproca não é verdadeira, visto que, muitas águas utilizáveis sem dano no concreto não podem ser ingeridas pelo homem.

É de suma importância que se tome devidas precauções quanto à água utilizada na confecção do concreto, pois se, esta conter impurezas capaz de prejudicar as reações entre ela e os compostos de cimento, o concreto terá sua estrutura comprometida. Da mesma forma tem que se avaliar a qualidade da água de cura do concreto de maneira rigorosa para que não haja nesse processo a renovação de agentes agressivos ao concreto (NEVILLE, 1997).

A frase de Petrucci poderia ser refeita da seguinte maneira: “a água de abastecimento público é a mais adequada para a produção de concreto”. Visto que, esta não precisa de ensaio para sua utilização na confecção do concreto.

A água potável que atende a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde e considerada dentro dos padrões exigidos pela norma do ABNT/CB-18 e pode ser utilizada sem restrição para a preparação do concreto.

Para o uso de qualquer outro tipo de água a não ser a de abastecimento é necessário que se faça o ensaio da mesma antes que se possa utiliza-la no concreto, por este motivo é que se diz que a água de abastecimento é a melhor para a produção de concreto. As águas ensaiadas não deverão apresentar substâncias que modifiquem ou atrapalhem as reações entre o cimento e a água.

2.3.4 Aditivo

A NBR 11768 (1992) define aditivos como “produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições”.

Os aditivos têm várias finalidades para ser empregado no concreto. Segundo o Comitê ACI 212 (1981 apud MEHTA; MONTEIRO, 1994) as principais finalidades para o emprego dos aditivos no concreto são, por exemplo, para aumentar a plasticidade do concreto sem aumentar o teor de água, reduzir a exsudação e segregação, retardar ou acelerar o tempo de pega, acelerar a velocidade do desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, retardar a taxa de evolução de calor, e aumentar a durabilidade em condições específicas de

exposição. O poder de modificar as propriedades do concreto tanto no estado fresco quanto no endurecido tornou o aditivo muito popular e utilizado em concretos.

Os aditivos variam de tensoativos, sais solúveis e polímeros a minerais insolúveis. Segundo Mehta e Monteiro (1994), os sais solúveis e os polímeros, agentes tensoativos ou outros, são adicionados ao concreto em pequenas doses, como principal objetivo de incorporar ar, tornar o concreto no estado fresco mais plástico, ou controlar o tempo de pega. Já os aditivos minerais são adicionados no concreto em grades doses. Estes aditivos além da redução do custo e melhora da trabalhabilidade do concreto, podem ser empregados com sucesso na melhora da resistência do concreto, também podem melhorar a resistência quanto a fissuração térmica do mesmo, a expansão álcali-agregado, e ao ataque por sulfatos.

Segundo a NBR 11768 (1992) os aditivos são classificados como:

- P - plastificante ou redutor de água (mínimo 6% de redução);
- A - acelerador do tempo de pega;
- R - retardador do tempo de pega;
- PR - plastificante e retardador do tempo de pega;
- PA - plastificante e acelerador do tempo de pega;
- IAR - incorporador de ar;
- SP - superplastificante (mínimo 12% de redução de água);
- SPR - superplastificante retardador;
- SPA - superplastificante acelerador.

2.4 INFLUÊNCIA DO AGREGADO GRAÚDO NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO.

Em estudo realizado por Helene (1993, apud SILVA, 2012) foi constatado que as propriedades pretendidas do concreto em seu estado fresco e endurecido, são inversamente proporcionais, ou seja, concretos que tem boa trabalhabilidade possui resistência inferior aqueles que não têm boa trabalhabilidade. Com isto o autor observou algumas características importantes dos agregados graúdos que influenciam nas propriedades de resistência e trabalhabilidade do concreto, além do custo que é fundamental para o produto final do mesmo, pois, quanto mais consegue-se economizar mantendo propriedades requisitadas para o concreto, mais otimizado será a produção do mesmo.

Segundo Helene (1993, apud SILVA, 2012), a geometria dos grãos do agregado graúdo influencia nos parâmetros de dosagem, tal como trabalhabilidade, resistência mecânica e custo do concreto. Em seus estudos é observado que o pedregulho tipo esférico produz concretos com boa trabalhabilidade. Já agregados irregulares tipo britados dão melhores propriedades mecânicas ao concreto e, menos trabalhabilidade que o concreto fabricado com pedregulho. É visto também que o pedregulho tem um custo menor que o agregado britado, devido ao seu processo de obtenção que é mais simples, este é extraído geralmente de leitos de rios por dragagem, semelhante à retirada da areia de rio, já o agregado britado passa por processo de explosão da rocha mãe por dinamite, tem que ser transportado até o britador, e por fim passar por processo de britagem e peneiramento das partículas.

O agregado graúdo mais utilizado em concreto que geralmente tem forma arredondada é o seixo rolado. O agregado mais utilizado e conhecido em concreto com forma angulosa é a brita, ou pedra britada.

Segundo Bauer (2005), os agregados são classificados quanto a sua forma em cuboides, alongados e lamelares, onde os agregados britados tem forma angulosa e superfícies irregulares. O seixo rolado apresenta grande quantidade porcentagem de grãos cuboides, com formas arredondadas e lisas. Visto que, a forma dos grãos tem efeito na trabalhabilidade e resistência mecânica do concreto.

Em virtude disso, será abordado mais a seguir as propriedades do concreto em seu estado fresco e endurecido devido à influência do agregado.

2.4.1 Concreto no estado fresco

No estado fresco a propriedade mais pretendida para o concreto é a trabalhabilidade. Segundo ASTM C 125 (1993, apud MEHTA; MONTEIRO, 1994) a trabalhabilidade é definida como a propriedade que determina o esforço necessário para manusear uma quantidade de concreto fresco com perda mínima de homogeneidade, incluindo-se no significado do termo manusear, as operações das primeiras idades como lançamento, adensamento e acabamento do concreto.

Para peças esbeltas de concreto armado, assim como figuras geométricas peculiares como círculos, semicírculos e dentre outros. É de suma importância que o concreto tenha boa trabalhabilidade, para poder ser lançado, adensado e perfeitamente moldado na fôrma.

Para concretos mais trabalháveis é necessário que se utilize agregado graúdo que tenha forma característica do grão mais arredondada. O mesmo já foi descrito no tópico

anterior, o qual o seixo rolado produzira concretos mais trabalháveis que os agregados britados, podendo assim reduzir a quantidade de água para determinada trabalhabilidade exigida. Isso se dá pela forma dos grãos e a lisura das faces da superfície do seixo rolado.

2.4.2 Concreto no estado endurecido

As principais propriedades do concreto no estado endurecido são a resistência à compressão, resistência à tração e índice de vazios do concreto. Estas propriedades serão melhores abordadas a seguir.

2.4.2.1 Resistência à compressão

É definida como a capacidade do concreto de resistir ao esforço axial sem que haja a ruptura do mesmo. Geralmente é considerada a propriedade mais importante do concreto.

Segundo Neville (1997), a resistência é um conceito geral da qualidade do concreto, pois, ela está inteiramente relacionada com a estrutura da pasta de cimento hidratada. Indo além disso, pode-se afirmar que há um conceito geral da qualidade dos agregados utilizados na confecção do concreto, pelo motivo óbvio de que, concretos de qualidade têm em sua composição materiais com qualificações semelhantes, ou seja, para se produzir um betão de qualidade é necessário que se tenha matérias com tais características.

As características dos agregados graúdos tais como granulometria, forma dos grãos, porosidade e textura superficial têm influência nesta propriedade do concreto.

A granulometria dos agregados influencia nas propriedades mecânicas do concreto, visto que, agregados bem graduados diminuem o índice de vazios do concreto, pois se harmonizam melhor dentro do concreto, elevando assim a resistência do mesmo.

A forma arredondada do grão dá uma maior trabalhabilidade ao concreto, por tanto necessita de uma quantidade menor de água para atingir determinada trabalhabilidade, como é sabido que o fator água/cimento (a/c) está diretamente ligado à resistência, pois quanto menor este fator maior será a resistência mecânica do concreto, é possível aumentar a resistência do concreto confeccionado com seixo diminuindo assim a quantidade de água no traço. Já a brita como é mais angulosa necessita de mais água na mistura para atingir determinada trabalhabilidade, e se aumenta a água sobre o fator a/c , então logicamente decresce a resistência do concreto confeccionado com material britado (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Segundo Neville (1997), a porosidade do grão também tem relação com a resistência do concreto, pois materiais porosos têm resistência menor que materiais compactos, se o agregado graúdo é muito poroso este rompe primeiro que a pasta endurecida, tornando-se

assim o elo fraco do concreto. Agregado como os seixos rolado têm menos vazios que a brita granítica, pois os agregados graníticos passam por um processo de explosão onde a rocha é fraturada para a coleta e transporte ao britador, essa explosão as vezes danifica os poros internos da rocha deixando assim mais porosas.

A textura superficial também tem influência na resistência, pois agregados arredondados de textura lisa tem uma menor aderência com a pasta endurecida (matriz), o que ocasiona um elo fraco no concreto, tendo como consequência a minoração da propriedade de resistir à compressão do concreto. Os agregados britados tem uma textura superficial áspera e angulosa oque faz com que estes agregados tenham uma boa aderência com a matriz, tornando assim o concreto com mais capacidade para resistir esforços axiais. Segundo Mehta e Monteiro (1994), um dos elos fraco do concreto com resistência abaixo de 50 Mpa é a zona de transição entre a pasta e o agregado, logo se o agregado tiver textura lisa e forma arredondada influenciará diretamente para que este elo fraco do concreto minore a resistência do mesmo, já se o agregado for áspero e anguloso terá uma melhor aderência com a pasta endurecida diminuindo assim a influência da zona de transição na resistência do concreto levando em consideração os agregados de textura lisa e redonda, ou seja, agregados britados melhoram a zona de transição, pois possuem uma melhor aderência com a matriz.

2.4.2.2 Resistência à tração

É definida como a capacidade do material de resistir esforços quando submetido à flexão, ou seja, é quanto o material pode resistir a um esforço que cause uma deformação de flecha na peça de concreto sem que aja a ruptura da mesma.

Segundo Neville (1997) a aderência entre o agregado e pasta de cimento é um importante fator da resistência do concreto, em especial a resistência à flexão. Então a resistência à tração tem mais a ver com aderência da pasta com o agregado graúdo, pois é mais fácil que a peça de concreto rompa na zona entre pasta e agregado do que propriamente no agregado, ou seja, o elo fraco do concreto torna-se a ligação entre agregado e matriz.

2.4.2.3 Porosidade do concreto

A porosidade é definida como a capacidade do material de absorver líquidos, ou de transpassar líquidos pelo mesmo.

Os agregados porosos são capazes de produzir concretos leves, com funções estruturais ou não, visto que concretos leves tem função estrutural restrita, pois não são capazes de adquirir elevadas resistências (NEVILLE, 1997).

Os agregados leves tem uma estrutura celular com o índice de vazios maior que os agregados normais e pesados, então, por este motivo eles tem menor massa unitária e resistência característica (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Quando se usa agregados com índices de vazios elevados tem-se logicamente concretos menos densos e com mais capacidade de absorção de água, ou seja, o concreto é mais poroso, o que significa que ele tem mais vazios, como os vazios estão relacionados com a resistência do concreto, então o concreto muito poroso terá baixa resistência mecânica.

2.5 DOSAGEM DO CONCRETO

Segundo Vasconcellos (1977, Apud BOGGIO, 2000), dosar um concreto é quantificar os materiais de forma que após sua apropriada execução (medição; mistura; transporte; lançamento; adensamento e cura) e das reações de hidratação da pasta de cimento e água, resulte em um material pétreo que proporcione propriedades como resistência mecânica, impermeabilidade e durabilidade que o certifique a constituir uma peça isolada ou uma estrutura completa em um projeto. Tendo em vista que o custo é fundamental para a dosagem do concreto, pois dosar um concreto é conseguir achar as proporções adequadas de material que atenda as necessidades de projeto da maneira mais econômica o possível, o parâmetro custo fio o que faltou a quase perfeita definição de Vasconcellos.

Para uma definição mais simplificada, dosar um concreto é achar as proporções de materiais de maneira mais econômica o possível, que atenda aos requisitos mínimos das propriedades do concreto tanto no estado fresco quanto no endurecido.

Segundo Neville (1997), estuda-se as propriedades do concreto basicamente com o objetivo de determinar as proporções adequadas dos ingredientes da mistura do concreto. Observado que quando se quer concreto com mais trabalhabilidade, que é uma das propriedades mais importante do concreto no estado fresco, pode-se alcançar esta propriedade de três maneiras. Uma delas é, aumentar a quantidade de água na mistura, e assim mexendo no fator água/cimento, que é determinante para a resistência do concreto. Outra maneira é aditivar o concreto com aditivos plastificantes ou superplastificantes. Claro que para o uso destes depende muito da quantidade de abatimento do troco de cone (trabalhabilidade) que se deseja alcançar para o concreto. A outra maneira é utilizar agregados mais esféricos como o seixo rolado, que dá uma maior trabalhabilidade para o concreto, quando se usa como referência os agregados britados, tendo em vista também que é um material mais barato que os materiais britados.

Para a dosagem do concreto é fundamental o estudo dos materiais constituintes, a granulometria, a forma, a textura superficial, a massa específica e unitária dos materiais. Para assim ter parâmetros satisfatórios de conhecimento dos mesmos para o cálculo das proporções de materiais do traço, visando às propriedades essenciais do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

É difícil que se consiga uma determinação exata do traço, pois os materiais usados são intrinsecamente variáveis e muitas das suas propriedades não podem ser aferidas de um modo verdadeiramente quantitativo. Por exemplo, a granulometria, a forma e a textura superficial do agregado, não podem ser determinadas de um modo inteiramente satisfatório. Para tanto não basta calcular as proporções de matérias do concreto, mais também é necessário que se façam misturas experimentais. Verificando assim as propriedades dessas misturas e fazendo se os ajustes das proporções até chegar em uma composição satisfatória, ou seja, na maioria das vezes é necessário que se faça correção no traço (NEVILLE, 1997).

Os fatores que controlam a dosagem do concreto são a resistência, a durabilidade, a trabalhabilidade, o teor de cimento, a granulometria e tipo de agregado.

A resistência à compressão é uma das propriedades mais importantes do concreto no estado endurecido, além da resistência a tração, absorção por capilaridade, durabilidade e dentre outras (MEHTA; MONTEIRO, 1994). A resistência à compressão é a propriedade mais exigida do concreto, tanto é que, na dosagem do concreto ela é um parâmetro muito influente para o traço. Visto que, o projeto estrutural baseia-se em uma resistência mínima de concreto a qual deve ser alcançada pelo traço calculado.

A durabilidade é outro fator muito importante no concreto, porém, não existe um processo de dosagem plenamente aceito e confiável que resultem em concretos duráveis em diversas condições de exposição (NEVILLE, 1997).

A trabalhabilidade é a propriedade principal do concreto no estado fresco. Segundo Neville (1997), quando a seção é esbelta e complicada, ou quando existem muitas arestas e partes inacessíveis, o concreto deve ter trabalhabilidade elevada de modo que o adensamento não exija uma grande quantidade de esforço. Em virtude disso, a trabalhabilidade sem dúvidas influencia no processo de dosagem e faz parte do cálculo do traço.

A granulometria tem influência sobre as proporções da mistura, visto que areis muito finas exigem mais água para atingir determinada trabalhabilidade, e com isso o concreto perde resistência, pois a resistência esta diretamente ligada com o fator água cimento, além de que o excesso de agregado miúdo prejudica o adensamento pleno do concreto, resultando também na perda de resistência. Já granulometrias muito grossa pode dar problemas quanto à coesão

do concreto. O ideal é manter uma granulometria bem graduada, para evitar problemas no concreto, e ter um concreto com as propriedades mínimas requeridas (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A forma do grão e textura superficial também exerce influência na dosagem do concreto, visto que, agregados mais arredondados produzem concretos mais trabalháveis que agregados britados, podendo assim mexer no fator água/cimento quando comparado o traço entre os agregados arredondados e britados, ou seja, quanto ao traço calculado para agregados britados, o traço com agregados arredondados poderá ter um menor fator água/cimento para obter a mesma trabalhabilidade. Há também a questão de que texturas ásperas e angulosas como as dos agregados britados, tem uma melhor aderência com a pasta endurecida, o que dá uma maior resistência para o concreto em relação aos agregados que tem textura lisa.

O traço pode ser medido em massa ou em volume. Geralmente quando não se especifica a unidade, supõe-se que o traço esteja em massa, visto que, quando o traço consistir em volume deve ser indicado. Mais também pode ter uma indicação mista. Por exemplo, o cimento em massa e o agregado em volume. O traço geralmente é expresso da seguinte maneira 1:a:p além da relação água cimento (a/c). onde “1” significa cimento, “a” quer dizer areia e “p” significa a pedra ou agregado graúdo (NEVILLE, 1997).

3.0 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa é classificada como aplicada, pois tem o intuito de avaliar as possibilidades de usar agregados graúdos alternativos na produção do concreto no município de Palmas Tocantins, demonstrando assim quais as propriedades que irão melhorar ou piorar no concreto produzido com seixo rolado e/ou britado em relação ao concreto confeccionado com brita granítica.

Quanto ao procedimento metodológico é uma pesquisa experimental, pois utiliza-se de experimentos laboratoriais (ensaios), objetivando avaliar as variáveis de pesquisa (dependentes), para assim com estudos chegar as variáveis de resposta (independentes).

Tem caráter quantitativo, pois utiliza-se de resultados numéricos gerados por ensaios, para avaliação dos resultados e tratamento destes, para assim chegar ao objetivo final de quantificar a influência dos materiais divergentes no concreto. Tendo assim o intuito de utilizar os dados tratados para gerar gráficos e tabelas para o melhor entendimento dos resultados da pesquisa.

O objeto de estudo é o agregado graúdo de três diferentes tipos, sendo estes a brita granítica, seixo rolado e seixo britado, adicionado no traço de concreto, onde estes serão variados objetivando saber quais as divergências ou semelhanças das propriedades que estes darão ao concreto.

3.2 PROJETO METODOLÓGICO

Nessa parte do trabalho é apresentado os métodos para avaliar as características dos agregados graúdos e as propriedades do concreto em seu estado fresco e endurecido, produzido com as diferentes proporções de seixo rolado e britado em substituição à brita granítica.

Para tanto, a pesquisa é desenvolvida para verificar a influência do seixo rolado e britado em substituição à brita granítica, nas propriedades do concreto em seu estado fresco e endurecido.

A pesquisa é realizada com base em um traço, pelo método da ABCP/ACI, e houve a variação dos agregados graúdos no supracitado, com fins de verificar os objetivos do trabalho.

Para isto, foi elaborado um traço de referência com brita granítica e posterior substituição por seixo rolado como também por seixo britado nas proporções de (25, 50, 75 e 100%).

Na caracterização dos materiais constituintes do concreto, avaliou-se, por meio de ensaios a granulometria, a massa específica e massa unitária dos materiais. Após a caracterização dos materiais iniciou-se o processo de dosagem do concreto.

Logo que o concreto foi dosado avaliou-se a propriedade do concreto em estado fresco, por meio do ensaio de abatimento de tronco-de-cone.

No concreto em seu estado endurecido analisou-se a resistência à compressão ao 7 dias.

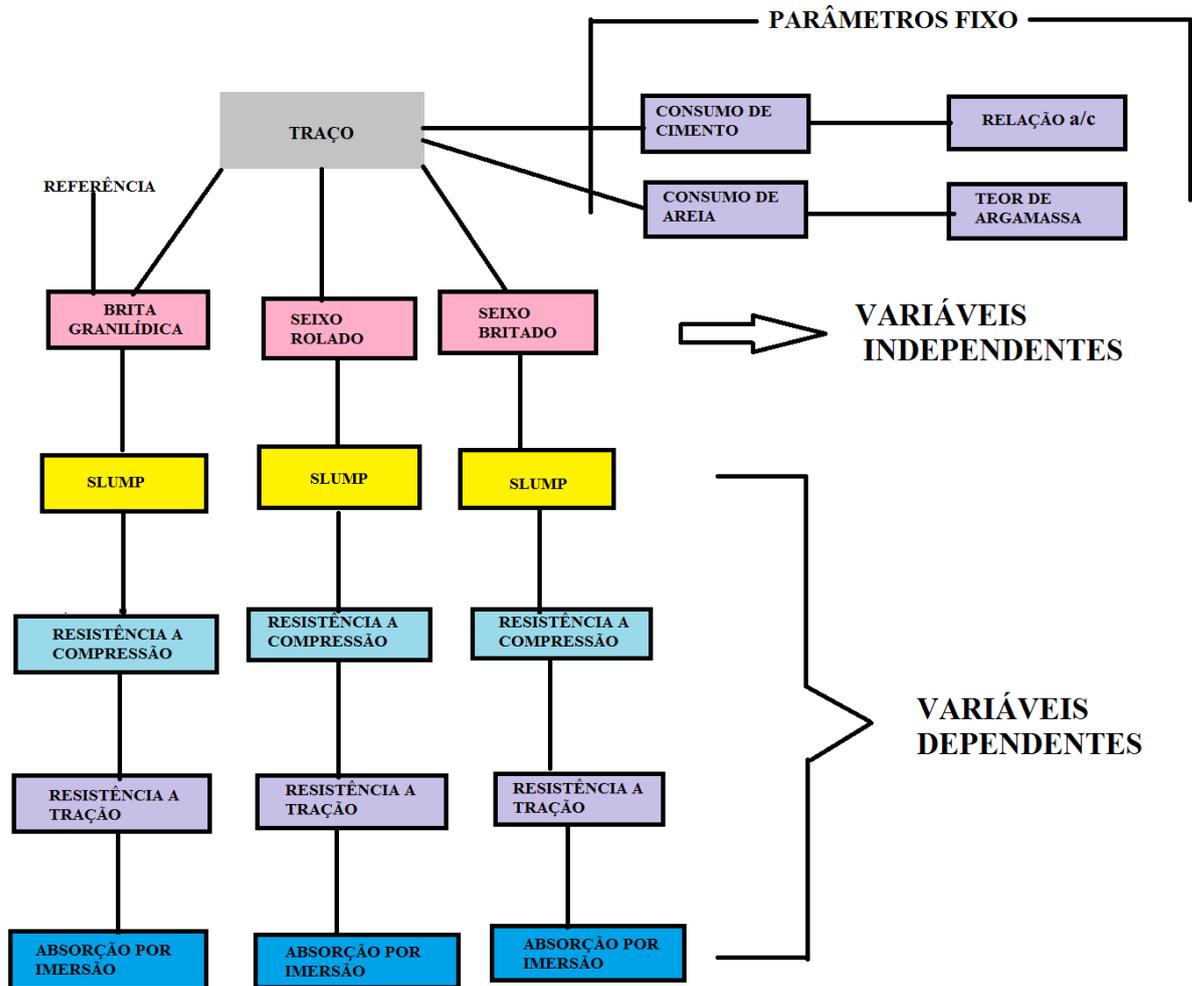
Os ensaios de caracterização dos materiais e, propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, foram realizados seguindo as recomendações das Normas Brasileiras (NBRs), no Laboratório de Engenharia Civil do CEULP-ULBRA (Centro Universitário Luterano de Palmas).

Os materiais foram cedidos por empresas locais, com o objetivo de colaborar com a pesquisa.

3.3 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

As variáveis independentes, dependentes e parâmetros fixos estão descritos nos itens abaixo. A Figura 2 ilustra o planejamento das variáveis.

Figura 2 - Planejamento das variáveis do projeto.



3.3.1 Variáveis independentes

As variáveis independentes são a brita granítica, seixo rolado e seixo britado.

3.3.1.1 Brita granítica

A brita granítica foi utilizada como agregado graúdo do concreto de referência, para fins de comparar os concretos produzidos com seixo rolado e seixo britado.

3.3.1.2 Seixo rolado

O seixo rolado é um dos agregados graúdo constituinte do concreto a ser comparado com o concreto de referência, o concreto produzido com este material teve substituições aleatórias nas porcentagens de 25, 50, 75 e 100%, a fim de observar o comportamento do concreto quando se substitui os agregados graúdos.

3.3.1.3 Seixo britado

O seixo britado é o outro agregado graúdo constituinte do concreto a ser comparado com o concreto de referência, sendo que o concreto produzido com este material teve substituições aleatórias nas mesmas proporções do seixo rolado.

3.3.2 Variáveis dependentes

As variáveis dependentes são também conhecidas como variáveis de reposta.

Para o melhor entendimento, as variáveis dependentes são as propriedades do concreto como resposta a variação do agregado graúdo, tais variáveis são a trabalhabilidade, resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e absorção por imersão.

3.3.2.1 Trabalhabilidade

No estudo, foi optado pela produção de concreto onde, variou-se apenas os agregados graúdos em diferentes proporções, mantendo assim o fator água/cimento fixo, pelo motivo de que este é um dos fatores que podem alterar a trabalhabilidade, ou seja, a relação água/cimento influencia na trabalhabilidade. Desta forma, é possível analisar a influência que o agregado graúdo terá nesta propriedade do concreto.

3.3.2.2 Resistência à compressão

O motivo pelo qual este ensaio foi feito, é que é uma das propriedades mais importantes do concreto, e os agregados graúdos tem influência direta nesta propriedade, pois a forma e textura dos grãos podem aumentar ou diminuir a resistência do concreto, então, para que se possa avaliar as divergências e semelhanças quando se faz a substituição dos agregados graúdos no concreto é fundamental que se faça este ensaio.

3.3.2.3 Tração por compressão diametral

A diferença entre a resistência a tração para a compressão, é que a resistência à tração não é considerada tão importante quanto à resistência à compressão, pois, o concreto tem uma resistência à tração significativamente menor que à compressão, e o aço faz o papel de resistir à tração já que o concreto não tem esta resistência como sua principal característica, porém, salvo isso, é estudado pelos mesmos motivos da resistência à compressão.

3.3.2.4 Absorção de água por imersão

Sabendo que a resistência do concreto esta ligada a porosidade do mesmo, ou seja, quanto mais poroso for o concreto, menor resistência ele terá, então, é de suma importância que seja analisado este parâmetro no projeto, para cada teor de substituição do agregado graúdo no traço do concreto.

3.3.3 Parâmetros fixos

Os parâmetros fixos são o consumo de cimento, consumo de areia, a relação água/cimento e teor de argamassa.

3.3.3.1 Consumo de cimento

O consumo de cimento foi mantido fixo em 500 Kg/m³, para verificar a influência dos agregados graúdos quanto à aderência com a matriz, tendo em vista, que agregados de textura lisa, quando utilizado em concretos de alta resistência tem menor aderência com a pasta endurecida, ocasionando assim o elo fraco do concreto (zona de transição), deixando-o com uma resistência inferior ao dos agregados britados.

3.3.3.2 Consumo de areia

O consumo de areia foi mantido fixo em 660,58 Kg/m³ em todos os teores de substituição das pedras, isto, para que não houvesse alteração do traço e que se pudesse avaliar o agregado graúdo no concreto de forma individual, pois este é o objeto da pesquisa.

3.3.3.3 Relação água/cimento

A relação água/cimento foi mantida fixa em 0,39 para todos os teores de substituição da pedra, para que se possa avaliar a influência do agregado graúdo na trabalhabilidade do concreto, tanto quanto à resistência, pois este fator esta ligado justamente a estas duas propriedades do concreto.

3.3.3.4 Teor de argamassa

Como o teor de argamassa está diretamente ligado aos materiais finos do concreto, ou seja, agregado miúdo e o cimento, e estes têm seus consumos fixos no traço, logo o teor de argamassa foi fixo também.

3.4 MATERIAIS EMPREGADOS NA PESQUISA

Neste tópico serão apresentados os materiais empregados na pesquisa. Os materiais foram todos obtidos na cidade de Palmas Tocantins, cedidos por empresas locais.

3.4.1 Cimento Portland

O cimento que foi empregado nos concretos de todo programa experimental é o Cimento Portland CP I – Comum, Classe 40.

O cimento foi cedido pelo senhor Antônio gerente da empresa IPASA Ltda.

O consumo de cimento ficou em 500 Kg por metro cubico de concreto, sendo utilizado 3 sacos de cimento no programa experimental.

3.4.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo empregado no programa experimental foi a areia natural de rio. Pelo motivo deste material ser predominantemente o agregado miúdo empregado em concretos da cidade de Palmas Tocantins.

A areia é extraída do lago de Palmas – TO por mineradoras locais, e o processo extração é a dragagem.

O agregado miúdo foi cedido pela empresa Nova Era Mineração Ltda, tendo seu consumo fixado em 660,58 Kg/m³.

3.4.3 Agregado graúdo

Os agregados graúdos empregados na pesquisa foram a brita granítica, o seixo rolado e britado. Pelo motivo de que, estes são os agregados mais utilizados no município, o seixo rolado é o agregado graúdo mais usual na construção civil local, seguido pela brita granítica. Já o seixo britado não é tão explorado quanto aos citados anteriormente, então não se tem informações divulgadas quanto suas características na confecção do concreto.

Para tanto estes foram os objetos da minha pesquisa, pois a pesquisa tem o intuito de avaliar quais as propriedades do concreto em seu estado fresco e endurecido confeccionado com estes diferentes agregados graúdos.

O seixo rolado é extraído do lago de Palmas – TO, assim como o seixo britado, que é um agregado derivado do citado anteriormente, porem passa por processo de britagem. A extração do seixo se da por meio de dragagem assim como a areia.

A brita granítica é extraída de rochas mãe que são implodidas por dinamites gerando assim cavacos de rochas que são transportados até o britador e posteriormente passam por processo de britagem. No município de Palmas –TO, os britadores ficam na região Rural de Taquaralto.

A empresa que cedeu o seixo rolado e britado foi à Nova Era Mineradora, e a que cedeu a brita granítica foi a Pedreira Anhanguera S/A.

3.4.4 Água

A água utilizada na produção de concreto foi proveniente da rede de abastecimento público: Foz Saneatins.

O consumo de água foi fixado em 195 litros por metro cubico.

3.5 PROJETO EXPERIMENTAL

Para a realização da pesquisa, os experimentos foram divididos em três etapas. Inicialmente, foram realizados ensaios de caracterização dos materiais empregados na composição do concreto. Em seguida, uma vez determinado o traço e dosagem dos materiais, foi verificado a propriedade essencial do concreto em seu estado fresco. Por último, foi verificado as propriedades do concreto em seu estado endurecido.

Para um melhor entendimento. Na Tabela 5 é apresentado o planejamento dos traços estudados e, na Tabela 6 é apresentado o planejamento quanto aos corpos-de-prova em relação aos ensaios.

Tabela 5 – Planejamento dos traços a serem estudados.

Traço	Componentes	% de material	Especificação	Abreviações
1	Brita granítica	100	Concreto referência	CR
2	Seixo rolado	25	Concreto com 25% de seixo rolado	CSR25
3	Seixo rolado	50	Concreto com 50% de seixo rolado	CSR50
4	Seixo rolado	75	Concreto com 75% de seixo rolado	CSR75
5	Seixo rolado	100	Concreto seixo rolado	CSR
6	Seixo Britado	25	Concreto com 25% de seixo britado	CSB25
7	Seixo Britado	50	Concreto com 50% de seixo britado	CSB50
8	Seixo Britado	75	Concreto com 75% de seixo britado	CSB75
9	Seixo Britado	100	Concreto seixo britado	CSB

Tabela 6 – Planejamento dos corpos-de-prova em relação aos ensaios.

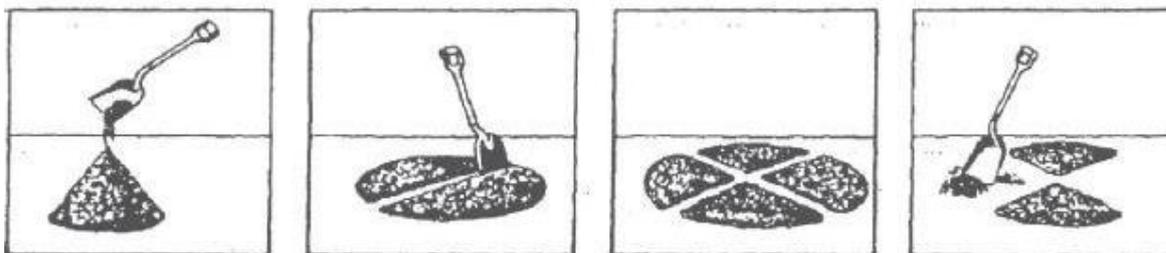
TRAÇO	TIPO	RESIST. À COMPRESSÃO		TRAÇÃO P/ COMPRESSÃO DIAMETRAL	ABSORÇÃO P/ IMERSÃO
		Nº DE CP's		Nº DE CP's	Nº DE CP's
Brita	Referência	7 dias	28 dias	28 dias	28 dias
		3	6	3	3
SUB-TOTAL DE AMOSTRAS			15		
Seixo Rolado	25%	3	6	3	3
	50%	3	6	3	3
	75%	3	6	3	3
	100%	3	6	3	3
SUB-TOTAL DE AMOSTRAS		12	24	12	12
Seixo Britado	25%	3	6	3	3
	50%	3	6	3	3
	75%	3	6	3	3
	100%	3	6	3	3
SUB-TOTAL DE AMOSTRAS		12	24	12	12
TOTAL GERAL DE AMOSTRAS			135		
Vol. do corpo-de-prova (m³)			0,00157		
Volume de concreto (m³)			0,21195		

3.6 METODOLOGIA DE ENSAIO

3.6.1 Caracterização dos materiais

Para os ensaios de caracterização dos materiais, os agregados foram reduzidos e homogeneizados pelo método de quarteamento NBR NM 27: 2001. Este procedimento foi executado para a redução e homogeneização da amostra, afim de, evitar possíveis tendências a erros nos ensaios. Na figura 3 é apresentado o procedimento de redução da amostra por quarteamento.

Figura 3 - Quarteamento sobre superfície rígida, limpa e plana.



Fonte: Assessoria Técnica Itambé - Apostila de ensaios de concretos e agregados 3ª Edição.

A Figura 4 demonstra o procedimento de quarteamento dos materiais empregados no programa experimental da pesquisa.

Figura 4 - Procedimento de quarteamento dos materiais empregados na pesquisa – a) Quarteamento do seixo britado. b) Quarteamento da areia.



a)

b)

3.6.1.1 Determinação da composição granulométrica dos agregados graúdos e miúdos

A granulometria é a proporção relativa, em porcentagem, dos diferentes tamanhos dos grãos que constituem o agregado.

Com o ensaio de granulometria pode-se determinar o diâmetro máximo dos agregados, planejar um melhor empacotamento dos grãos e reduzir o índice de vazios.

O procedimento para o ensaio de granulometria dos agregados é regido pela norma NBR NM 248: 2003. Por tanto o ensaio procedeu conforme esta norma. Na Figura 5 é demonstrado o procedimento de peneiramento mecânico.

Figura 5 - Procedimento de peneiramento mecânico dos agregados – a) Lançamento da brita granítica nas peneiras para agitação mecânica das mesmas. b) Conformação das peneiras do agregado miúdo e ativação da máquina agitadora.



a)

b)

Figura 6 - Pesagem da areia retida nas peneiras.

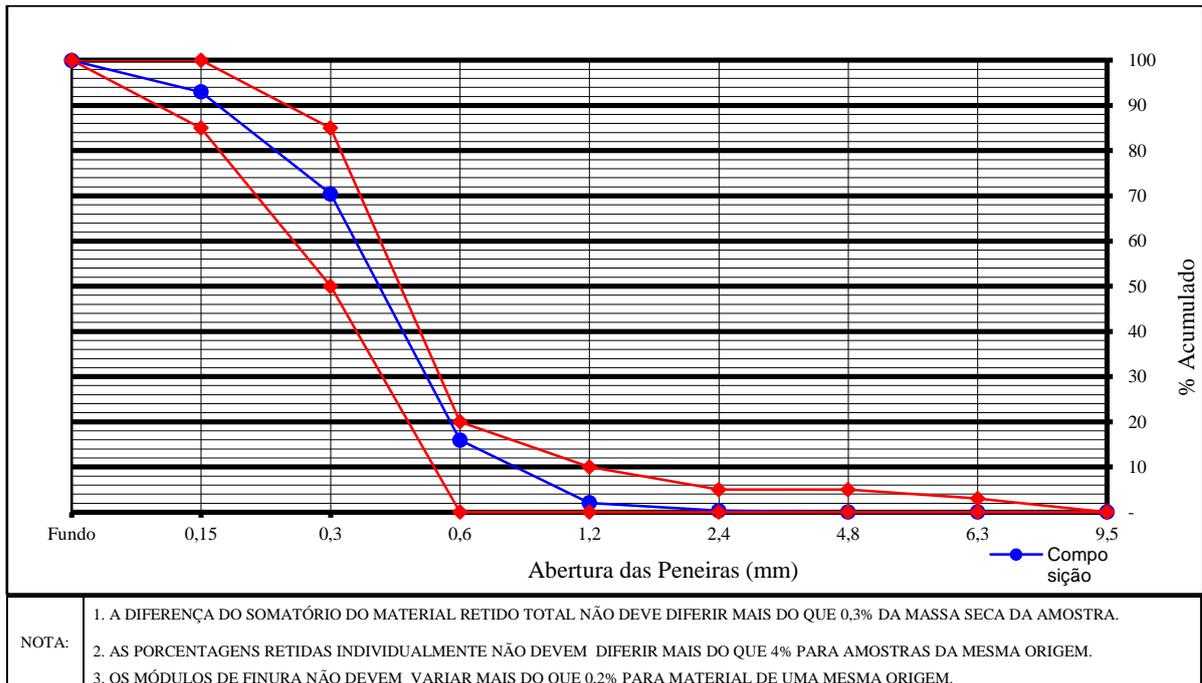


A Tabela 7 apresenta as características da areia usada no programa experimental, tal como, granulometria, classificação e modulo de finura. E o gráfico 1 apresenta a curva granulométrica da areia.

Tabela 7 – Características da areia empregada nos concretos da pesquisa.

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA	
		MASSA	% RETIDA		MASSA	% RETIDA		% RETIDA	
Pol / N°	(mm)	Retida (g)	Simple	Acumul.	Retida (g)	Simple	Acumul.	Simple	Acumul.
3/8	9,5		-	-	-	-	-	-	-
¼	6,3		-	-	-	-	-	-	-
4	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-
8	2,4	1,40	0,28	0,28	1,90	0,38	0,38	0,33	0,33
16	1,2	8,20	1,64	1,92	9,00	1,80	2,18	1,72	2,05
30	0,6	68,10	13,62	15,54	70,90	14,18	16,36	13,90	15,95
50	0,3	276,00	55,20	70,74	268,50	53,70	70,06	54,45	70,40
100	0,15	114,00	22,80	93,54	111,80	22,36	92,42	22,58	92,98
FUNDO		31,70	6,34	99,88	37,80	7,56	99,98	6,95	99,93
TOTAL		499,40	99,88		499,90	99,98		99,93	
TOTAL DA AMOSTRA		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00	
DIF. DA AMOSTRA		0,60	0,12		0,10	0,02		0,07	
MÓDULO DE FINURA		1,82			1,81			1,82	
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA EM mm:				2,4	-				
FAIXA GRANULOMÉTRICA									
DETERMINE A ZONA:		1							
		Areia muito fina							

Gráfico 1 – Curva granulométrica da areia.



A Figura 7 apresenta os agregados graúdos retidos nas peneiras. E na Figura 8 é apresentado a pesagem do material retido nas peneiras.

Figura 7 - Seixo rolado retido nas peneiras durante o ensaio de granulometria.



Figura 8 - Pesagem do material retido nas peneiras.



As Tabelas 8,9 e 10 apresentam as características do agregado gráúdo usado no programa experimental, tal como, granulometria, classificação e modulo de finura.

Nos gráficos 2,3 e 4 são apresentadas as curvas granulométricas do agregado gráúdo empregado na pesquisa.

Tabela 8 – Características do seixo rolado empregado nos concretos do programa experimental.

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA	
		MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		Simple	Acumul
Pol / Nº	(mm)		Simple	Acumul.		Simple	Acumul.	Simple	Acumul
2	50,00	-	-	-	-	-	-	-	-
1 ½	38,00	-	-	-	-	-	-	-	-
1 ¼	32,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	25,00	76,60	1,53	1,53	65,50	1,31	1,31	1,42	1,42
	19,00	4.447,81	88,96	88,96	4.482,60	89,65	89,65	89,30	89,30
	12,50	449,90	9,00	97,95	418,10	8,36	98,01	8,68	97,98
	9,50	21,10	0,42	98,38	23,10	0,46	98,48	0,44	98,43
	6,30	3,00	0,06	98,44	2,70	0,05	98,53	0,06	98,48
	4,80	-	-	98,44	-	-	98,53	-	98,48
	2,40	-	-	98,44	-	-	98,53	-	98,48
	1,20	-	-	98,44	-	-	98,53	-	98,48
	0,60	-	-	98,44	-	-	98,53	-	98,48
	0,30	-	-	98,44	-	-	98,53	-	98,48
	0,15	-	-	98,44	-	-	98,53	-	98,48
FUNDO		1,59	0,03	98,47	2,80	0,06	98,59	0,04	98,53
TOTAL		5.000,00	100,00		4.994,80	99,90		99,95	
TOTAL DA AMOSTRA		5.000,00	100,00		5.000,00	100,00		100,00	
DIF. DA AMOSTRA		-	-		5,20	0,10		0,05	
MÓDULO DE FINURA		7,78			7,79			7,79	
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA EM mm:				25,0					
FAIXA GRANULOMÉTRICA									
DETERMINE GRADUAÇÃO:				2					
				Seixo Rolado					

Gráfico 2 – Granulometria do seixo rolado empregado na pesquisa.

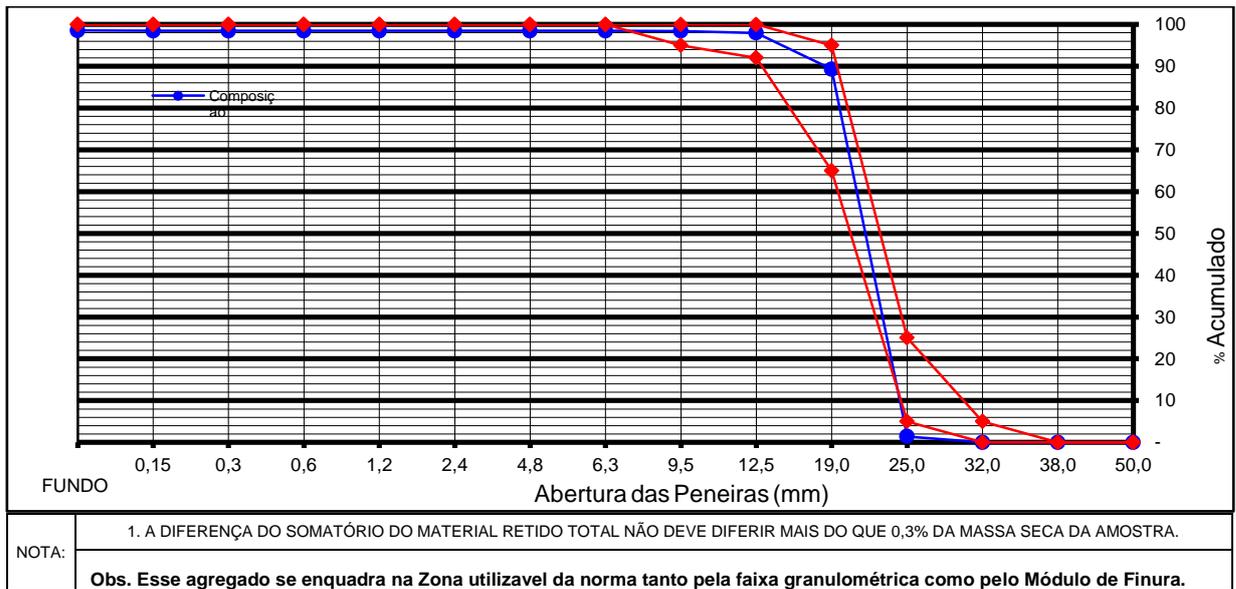


Tabela 9 – Características do seixo britado empregado nos concretos do programa experimental.

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA	
		MASSA	% RETIDA		MASSA	% RETIDA		Simples	Acumul.
Pol / N°	(mm)	Retida (g)	Simples	Acumul.	Retida (g)	Simples	Acumul.		
2	50,00	-	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2	38,00	-	-	-	-	-	-	-	-
1 1/4	32,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	25,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	19,00	76,60	1,53	1,53	101,00	2,02	2,02	1,78	1,78
	12,50	3.751,40	75,03	75,03	3.679,80	73,60	75,62	74,31	76,09
	9,50	1.104,30	22,09	97,11	1.134,30	22,69	98,30	22,39	98,47
	6,30	88,40	1,77	98,88	50,90	1,02	99,32	1,39	99,87
	4,80	3,30	0,07	98,95	2,10	0,04	99,36	0,05	99,92
	2,40	-	-	98,95	-	-	99,36	-	99,92
	1,20	-	-	98,95	-	-	99,36	-	99,92
	0,60	-	-	98,95	-	-	99,36	-	99,92
	0,30	-	-	98,95	-	-	99,36	-	99,92
	0,15	-	-	98,95	-	-	99,36	-	99,92
FUNDO		9,00	0,18	99,13	9,10	0,18	99,54	0,18	100,10
TOTAL		4.956,40	100,66		4.977,20	99,54		100,10	
TOTAL DA AMOSTRA		5.000,00	100,00		5.000,00	100,00		100,00	
DIF. DA AMOSTRA		43,60	0,88		22,80	0,46		0,67	
MÓDULO DE FINURA		6,92			6,96			6,94	
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA EM mm:				19,0					
FAIXA GRANULOMÉTRICA									
DETERMINE GRADUAÇÃO:			1						
			Seixo Britado						

Gráfico 3 – Granulometria do seixo britado empregado na pesquisa.

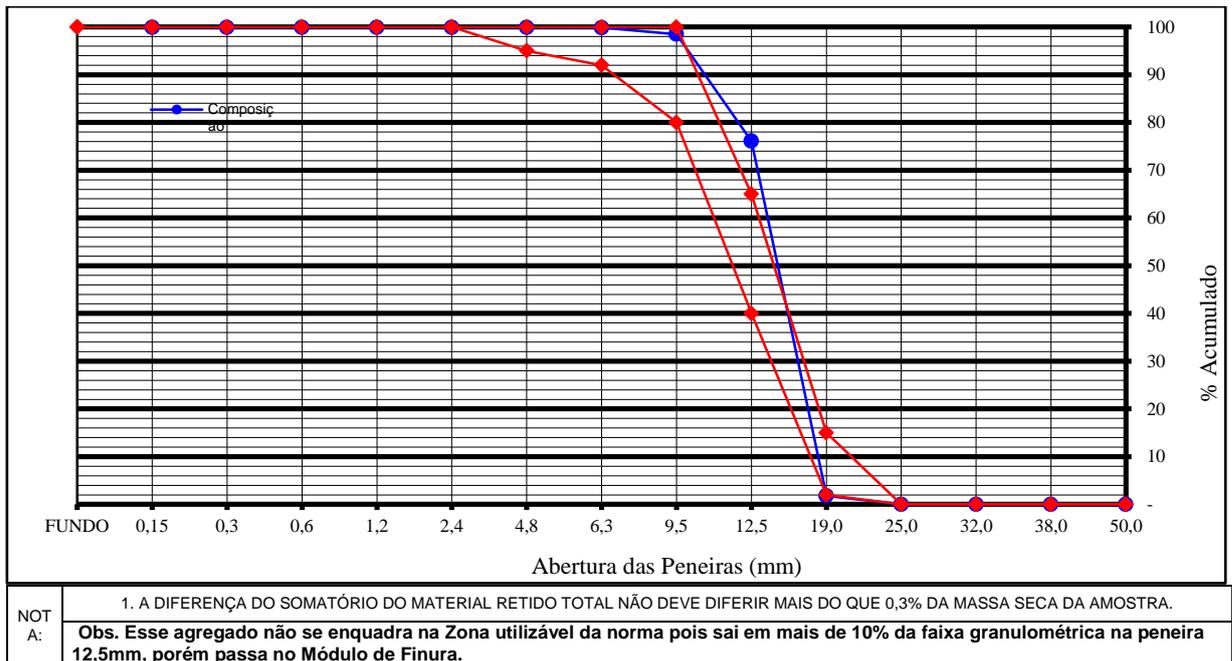
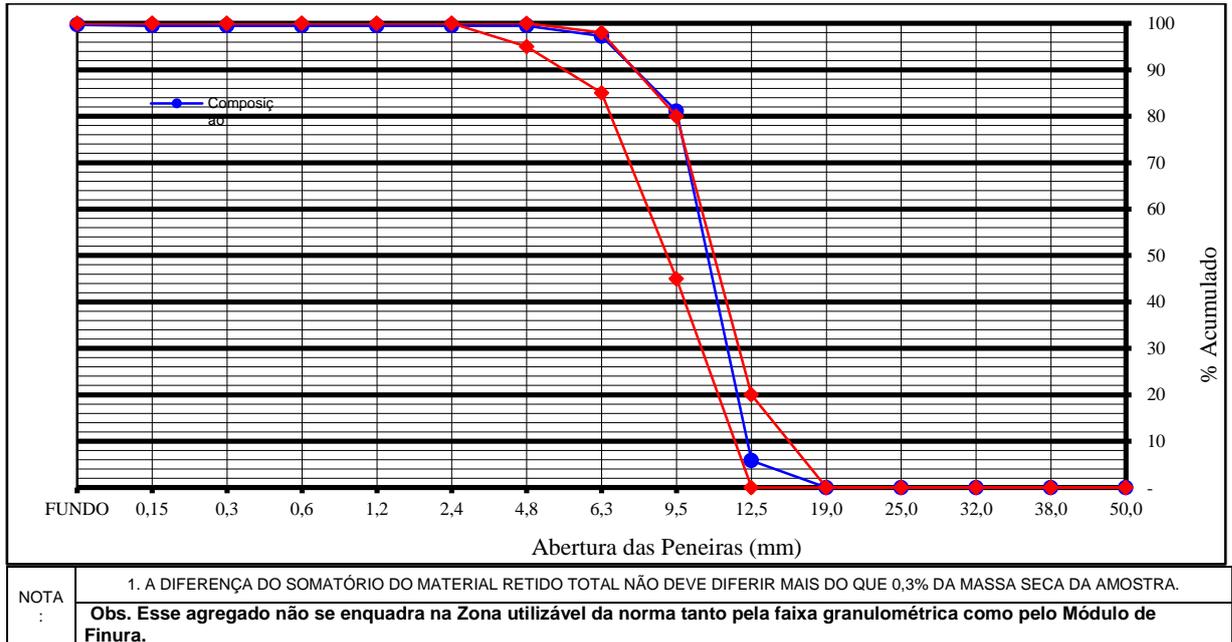


Tabela 10 – Características da brita granítica empregada nos concretos do programa experimental.

PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA	
		MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		Simple	Acumul.
Pol / N°	(mm)		Simple	Acumul.		Simple	Acumul.	Simple	Acumul.
2	50,00	-	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2	38,00	-	-	-	-	-	-	-	-
1 1/4	32,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	25,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	19,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	12,50	282,60	5,65	5,65	300,60	6,01	6,01	5,83	5,83
	9,50	3.771,70	75,43	81,09	3.753,70	75,07	81,09	75,25	81,09
	6,30	806,10	16,12	97,21	810,10	16,20	97,29	16,16	97,25
	4,80	113,00	2,26	99,47	110,00	2,20	99,49	2,23	99,48
	2,40	-	-	99,47	-	-	99,49	-	99,48
	1,20	-	-	99,47	-	-	99,49	-	99,48
	0,60	-	-	99,47	-	-	99,49	-	99,48
	0,30	-	-	99,47	-	-	99,49	-	99,48
	0,15	-	-	99,47	-	-	99,49	-	99,48
FUNDO		10,07	0,20	99,67	12,10	0,24	99,73	0,22	99,70
TOTAL		4.983,47	99,67		4.986,50	99,73		99,70	
TOTAL DA AMOSTRA		5.000,00	100,00		5.000,00	100,00		100,00	
DIF. DA AMOSTRA		16,53	0,33		13,50	0,27		0,30	
MÓDULO DE FINURA		6,78			6,78			6,78	
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA EM mm:				19,0					
FAIXA GRANULOMÉTRICA									
DETERMINE GRADUAÇÃO:			0						
			Brita						

Gráfico 4 – Granulometria da brita granítica empregada na pesquisa.



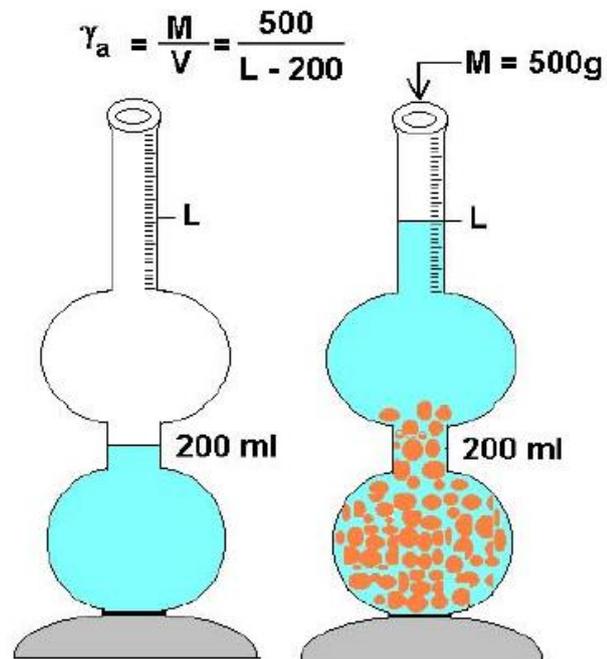
3.6.1.3 Determinação da massa específica dos materiais

Devido à falta de matérias no laboratório, a massa específica do agregado graúdo e miúdo foi obtida conforme normas antigas, visto que, não tem materiais conforme as normas NBR NM 53:2009 e NBR NM 52:2009. Para a determinação da massa específica do agregado miúdo foi utilizado o método do frasco Chapman (NBR 9779/1987). E para a determinação da massa específica do agregado graúdo foi utilizado o método do Picnômetro – IPT-M9-76.

A Figura 9 demonstra o procedimento de ensaio de massa específica do agregado miúdo pelo método do frasco Chapman. E a Figura 10 mostra a determinação da massa específica do agregado miúdo empregado nos concretos do programa experimental.

Figura 9 - Método de determinação da massa específica do agregado miúdo pelo frasco Chapman.

Massa Específica pelo Frasco de Chapman



Fonte: Carvalho (2009).

Figura 10 – Determinação da massa específica do agregado miúdo pelo frasco de Chapman.



O ensaio de massa específica da areia procedeu conforme (NBR 9779/1987). A Tabela 11 demonstra o ensaio de massa específica da areia.

Tabela 11 – Cálculo da massa específica da areia.

Agregado	Massa (g)	Leitura Inic.	Leitura 1	Leitura 2	M. especif. 1 (g/cm ³)	M. especif. 2 (g/cm ³)	M. especif. final (g/cm ³)
Areia	500	200	385,5	386,0	2,70	2,69	2,70

Para fins de cálculo de dosagem foi adotado a maior massa específica, para que o consumo de agregado miúdo fosse significativamente maior que o do cimento.

A massa específica do agregado graúdo foi pelo método do Picnômetro – IPT-M9-76. A Figura 11 mostra a determinação da massa específica do agregado graúdo pelo método do Picnômetro.

Figura 11 – Determinação da massa específica do agregado graúdo pelo método do Picnômetro.



O cálculo da massa específica pelo método do Picnômetro se dá pela seguinte fórmula

$$\gamma = \frac{500}{M_{picn.} + 500 - Leitura}$$

Onde:

M. picn. = Massa do Picnômetro cheio de água;

Leitura = Massa do Picnômetro cheio de água mais agregado.

A tabela 12 exprime a conformidade dos cálculos da massa específica.

Tabela 12 – Cálculos da massa específica do agregado graúdo.

Agregado	Massa Picn. (g)	Massa agreg. (g)	Leitura 1 (g)	Leitura 2 (g)	M. especific. 1 (g/cm ³)	M. especific. 2 (g/cm ³)	M. especific. final (g/cm ³)
Brita Granítica	2394,9	500	2712,4	2712,5	2,74	2,74	2,74
Seixo Rolado	2395	500	2715,14	2715,15	2,78	2,78	2,78
Seixo Britado	2395	500	2712,5	2712,5	2,74	2,74	2,74

3.6.1.4 Determinação da massa unitária dos materiais

A massa unitária é a massa do agregado em relação ao volume considerando os vazios entre os grãos. É fundamental para o estudo de dosagem do concreto, pois é necessário que se saiba este parâmetro para que se possa realizar um traço de maneira otimizada.

Este ensaio foi executado conforme recomendações da NBR NM 45:2006. A Figura 12 mostra o agregado em estudo sendo ensaiado conforme prescrição da norma regente.

Figura 12 – Execução do ensaio de massa unitária do agregado graúdo.



Foram pesados três amostras de cada um dos agregados que compõem o concreto. As leituras da pesagem estão na tabela a seguir.

Tabela 13 – Cálculo da massa unitária dos materiais.

Agregado	Leitura 1 Kg	Leitura 2 Kg	Leitura 3 Kg	Média Kg	Vol Recip. dm ³	Massa Unitar. (Kg/dm ³)
Brita Granítica	21,25	21,35	21,3	21,3	15	1,42
Seixo Rolado	23,3	22,8	23	23,03	15	1,54
Seixo Britado	21,3	21,65	21,3	21,42	15	1,43
Areia	22,65	22,8	22,45	22,63	15	1,51

3.6.1.5 Dosagem e execução dos concretos

A dosagem do concreto foi pelo método da ABCP/ACI.

Este método consiste em uma sequencia de etapas bem definida, que aliam um conjunto de gráficos e tabelas, que dão uma maior facilidade na determinação dos parâmetros necessários para a obtenção do traço inicial, podendo ser feitas correções ou não, dependendo

apenas do concreto atingir as propriedades exigidas em projeto. As etapas para a constituição do traço pelo método ABCP/ACI são as seguintes.

PASSO 1: Escolha do abatimento do tronco de cone.

O abatimento escolhido foi o mínimo para dar acabamento ao concreto, para que se possa moldar os corpos-de-prova, este em pesquisa situava-se em torno de 2,5 a 3 cm. O primeiro traço calculado não levou em consideração o abatimento, já que para o estudo do abatimento levava-se em conta o agregado graúdo como um fator significativo para a trabalhabilidade, no entanto ao decorrer da dosagem verificou-se que não havia abatimento o suficiente para moldar os corpos-de-prova, logo foram feitas correções no traço para dar acabamento a mistura e uma melhor conformação nas fôrmas cilíndricas.

PASSO 2: Escolha da dimensão máxima característica do agregado graúdo.

O diâmetro máximo característico do agregado foi 25 mm.

PASSO 3: Estimativa de água de amassamento (expressa em litros/m³) em função da dimensão máxima do agregado e do abatimento.

De início pela razão da escolha de manter o consumo de cimento em 450 Kg/m³ e o fator *a/c* calculado em 0,3, então o consumo de água havia ficado em 135,44. Logo com a correção ficou em 195 L/m³.

PASSO 4: Escolha da relação água/cimento.

A escolha da relação água/cimento foi equacionada pela curva de Abrans e obtida pela equação o valor de 0,3, porém com a correção do traço esta saltou para 0,39, isso para que o concreto desse o acabamento necessário para a moldagem nos corpos-de-prova.

PASSO 05: Estimativa do consumo de cimento.

De início o consumo de cimento havia sido adotado em 450 Kg/m³, porém com as correções devido a trabalhabilidade, esse consumo chegou a 500 Kg/m³.

PASSO 6: Estimativa do consumo de agregado graúdo.

Devido ao módulo de finura da areia ser muito baixo e a tabela de auxílio de cálculo da ABCP relacionar o módulo de finura com o consumo de agregado graúdo, logo o consumo de agregado graúdo foi alto, chegando em torno de 1093,4 Kg/m³.

PASSO 7: Estimativa do consumo de agregado miúdo.

O cálculo do consumo de agregado miúdo leva em conta o volume absoluto, ou seja, o volume que falta para chegar a 1 m³ de concreto, logo pelos cálculos o consumo de agregado miúdo primeiramente havia ficado em torno de 864,95 Kg/m³ de areia, logo com a correção esse consumo ficou em 660,58 Kg/m³.

PASSO 8: Ajustes nas misturas experimentais.

Como eu já havia dito antes as correções foram feitas devido a trabalhabilidade do concreto, logo o traço inicial era 1:1,92:2,43:0,3 com as devidas correções o traço ficou da seguinte maneira 1:1,32:2,19:0,39.

A execução dos concretos se deu em duas ordens, a primeira foi à pesagem do material constituinte do concreto, em seguida o lançamento do material na betoneira. As Figuras 13 e 14 mostram o procedimento de execução dos concretos.

Figura 13 – Pesagem dos agregados graúdo – a) Pesagem da brita granítica para um traço de 75% de brita. b) Pesagem do seixo rolado para um traço de 25% de seixo rolado.



a)



b)

O lançamento do material na betoneira tem que obedecer uma ordem específica indicada no manual do fabricante da betoneira. No manual rege que o lançamento deve ser na seguinte ordem: Primeiramente deve-se lançar o agregado graúdo, seguido da metade da água, deixando-os rodar na betoneira. Logo com o fim do primeiro processo, deve-se lançar o cimento com o restante da água, da mesma forma deixando-os rodar na betoneira até homogeneização. Por último quando a pasta tiver homogeneizada deve-se lançar a areia, para que se forme uma argamassa que envolva o agregado graúdo. Como recomendado no manual da betoneira, assim foi o processo de lançamento do material na mesma. Na Figura 13 mostra o procedimento de lançamento do material na betoneira.

Figura 14 – Procedimento de lançamento do material na betoneira – a) Lançamento da brita granítica na betoneira. b) Lançamento da metade da água.



a)



b)

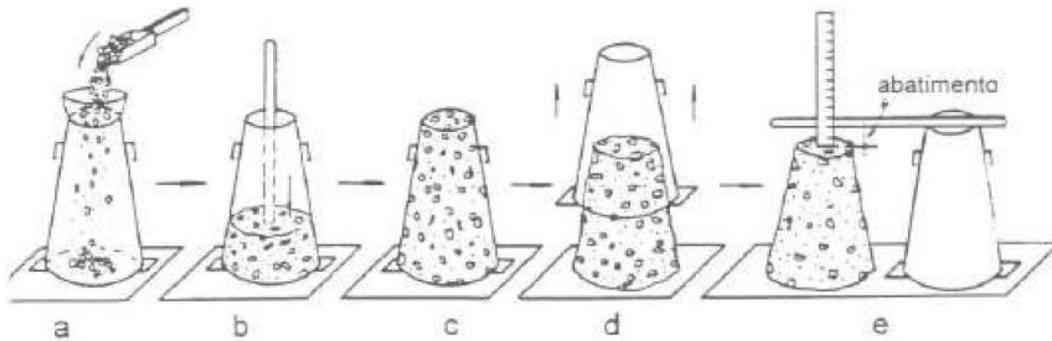
3.6.2 Concreto no estado fresco

3.6.2.1 Trabalhabilidade

Para esta etapa do trabalho foi analisado a trabalhabilidade do concreto pelo método do tronco-de-cone, visto que, o ensaio foi realizado para cada um dos traços em estudo.

O ensaio foi realizado conforme ABNT NM 67:1998. A Figura 15 mostra esquematicamente a sequência do ensaio e a Figura 16 mostra a consumação do ensaio de abatimento.

Figura 15 – Sequencia esquemática do ensaio.



Fonte: Assessoria Técnica Itambé - Apostila de ensaios de concretos e agregados 3ª Edição.

Figura 16 – Consumação do ensaio de abatimento de tronco de cone – a) Adensando a primeira camada com 25 golpes. b) Medindo a trabalhabilidade do concreto.



a)



b)

Logo após o ensaio de tronco-de-cone foram moldados os corpos-de-prova.

3.6.2.2 Produção dos corpos-de-prova

As dimensões dos corpos-de-prova (CPs) são de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. As amostras foram manualmente adensadas nos CPs conforme a norma NBR 5738, 2003.

O numero de corpos-de-prova que foi produzido é de 135 CPs, com um volume total de concreto de 0,21 m³.

O procedimento de execução dos corpos-de-prova foi realizado conforme NBR 5738:2003. Na Figura 17 mostra o procedimento de execução dos corpos-de-prova.

Figura 17 – Procedimento de execução dos corpos-de-prova.



A cura dos CPs está sendo por imersão em água até as data predestinadas aos ensaios. A cura está seguindo as recomendações da norma NBR 9479: 1994.

3.6.3 Propriedades do concreto no estado endurecido

Para esta etapa foi analisada a resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e absorção por imersão.

Os corpos de provas foram ensaiados quanto a resistência à compressão aos 7 e 28 dias. O ensaio de absorção por imersão e resistência à tração por compressão diametral foram realizado aos 28 dias de cura do concreto.

3.6.3.1 Resistência à compressão axial

A resistência à compressão do concreto é um dos fatores mais importante do mesmo, pois, os projetos estruturais tem como foco maior esta resistência, visto que, o concreto não tem tanta capacidade de resistir à tração quanto à compressão. E em alguns casos a resistência e vista como fator de qualidade do concreto e agregados, pois bons agregados produzem bons concretos.

O ensaio procedeu conforme NBR 5739:2007. A Figura 17 mostra o rompimento de um corpo-de-prova por compressão axial.

Figura 18 - Rompimento de corpos-de-prova do concreto em estudo.



3.6.3.2 Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral consiste em aplicar uma carga constante ao longo de duas linhas axiais diametralmente opostas. Logo a carga axial é um

esforço de compressão, porém, gera um esforço de tração também, como o concreto tem resistência à tração bem menor que a compressão ele rompe por tração primeiro, daí a ideia da tração por compressão diametral de Lobo Carneiro. Na Figura 19 é apresentado como conformar os CPs na prensa.

Figura 19 – Corpo-de-prova alinhado centralizando no dispositivo de compressão diametral.



O ensaio foi realizado conforme norma NBR 7222:2010. E os resultados foram anotados em forma de tabelas e demonstrados graficamente.

3.6.4.3 Determinação de absorção de água por imersão

O ensaio de absorção por imersão consiste em avaliar o quão poroso o concreto está, visto que, quanto mais se absorve água mais poros existem no concreto e conseqüentemente menor resistência do mesmo.

O ensaio foi realizado conforme NBR 9778:2009. Na Figura 20 é mostrado como procedeu o ensaio de absorção por imersão.

Figura 20 - Procedimento de ensaio de absorção por imersão.



4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios dos concretos em estudo. Os resultados dos ensaios são divididos em dois tópicos, os quais são as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

4.1 ESTADO FRESCO

Nos ensaios de abatimento de troco de cone, foram verificados duas vezes para cada teor de substituição dos agregados graúdo a trabalhabilidade dos concretos em estudo. A Tabela 14 e 15 mostram os resultados gerados pelos ensaios de cada teor de substituição dos agregados nos concretos.

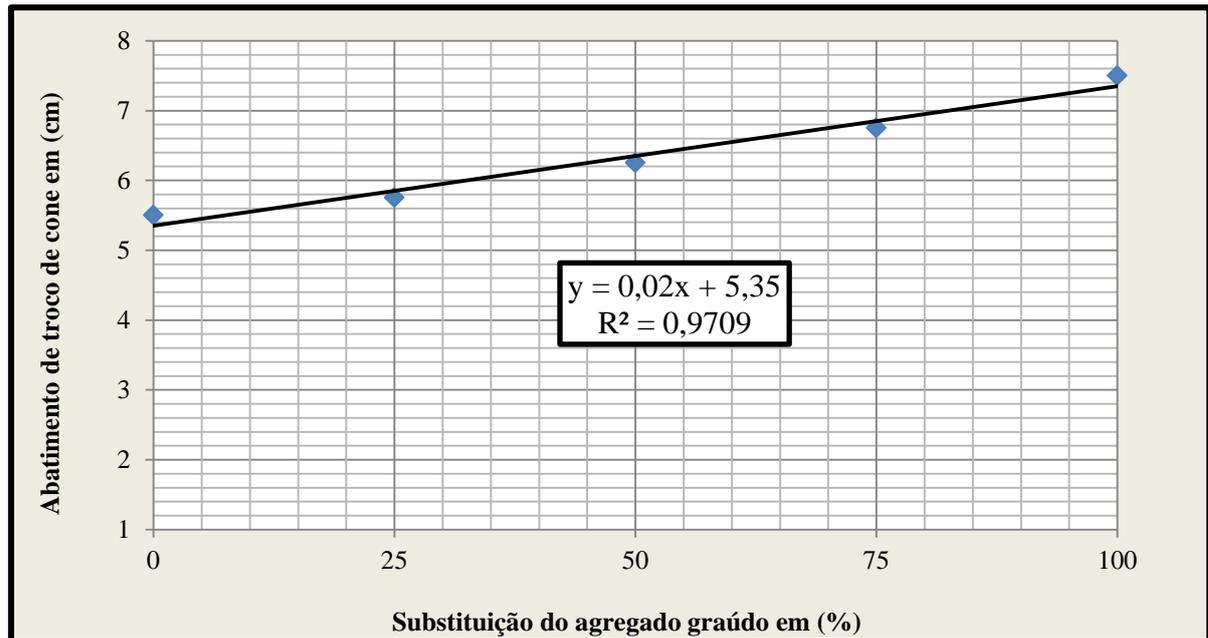
A pesquisa foi realizada com 95% de confiança, tolerando, uma margem de erro de 5% para mais ou para menos, gerando assim três gráficos para que se possa fazer uma melhor interpretação dos dados.

Tabela 14 – Trabalhabilidade do concreto para cada teor de substituição do seixo rolado.

Variação do SR (%)	Valores de abatimento de troco-de-cone (cm)							
	Ensaio 1	Ensaio 2	Média	D. padrão	C. variaç.	M. erro	L. inferior	L. super.
0	6	5	5,5	0,71	0,13	6,36	-0,86	11,86
25	6	5,5	5,75	0,35	0,06	3,18	2,57	8,93
50	6,5	6	6,25	0,35	0,06	3,18	3,07	9,43
75	7	6,5	6,75	0,35	0,05	3,18	3,57	9,93
100	8	7	7,5	0,71	0,09	6,36	1,15	13,86

Logo os abatimentos esperados para os variados teores de substituição de seixo rolado são as médias expressas na Tabela 14, tolerando, com 95% de confiança, as margens de erros mostradas também na Tabela 14. Resumindo, o abatimento estará sempre entre os limites demonstrados na Tabela. Também é observado que devido aos valores negativos a amostra não funciona estatisticamente, visto que, para se fazer uma análise estatística mais apurada precisava-se de mais repetições do ensaio em questão, o que não pode ser feito por motivos de tempo.

Gráfico 5 – Médias dos abatimentos dos concretos com adições de seixo rolado.



No gráfico 5, observa-se que o seixo rolado tem um comportamento linear em relação a trabalhabilidade do concreto referencia, este fato evidencia que o seixo rolado devido a sua superfície lisa e forma arredondada dá ao concreto uma trabalhabilidade maior quando comparado com agregados com textura áspera e de forma lamelar, assim como a brita granítica. A brita granítica tem uma textura áspera que absorve água e pasta quando misturada ao concreto, além de que ainda possui forma lamelar, que faz a argamassa se envolver mais por sua volta, deixando assim a argamassa mais grossa e menos trabalhável. O seixo por sua vez tem a textura lisa, deixando assim de absorver água e pasta, pois não tem poros superficiais para armazenar água como a brita granítica, também não tem forma lamelar, pois seus grãos são mais arredondados, o que faz com que a pasta não fique presa a ele e possa ser fluida. Logo por estes motivos o seixo rolado dá ao concreto uma melhor trabalhabilidade do que a brita granítica, evidenciando assim o aumento de abatimento à medida que se substitui o seixo rolado no traço, deixando assim com forma linear o gráfico 5.

Observa-se também que no gráfico o coeficiente de correlação é de 97%, isso significa que a variável está 97% relacionada com a resposta, ou seja o seixo rolado está quase em sua totalidade relacionado com o abatimento do concreto, os outros 3% estão relacionados com outros fenômenos que não foram objeto da pesquisa.

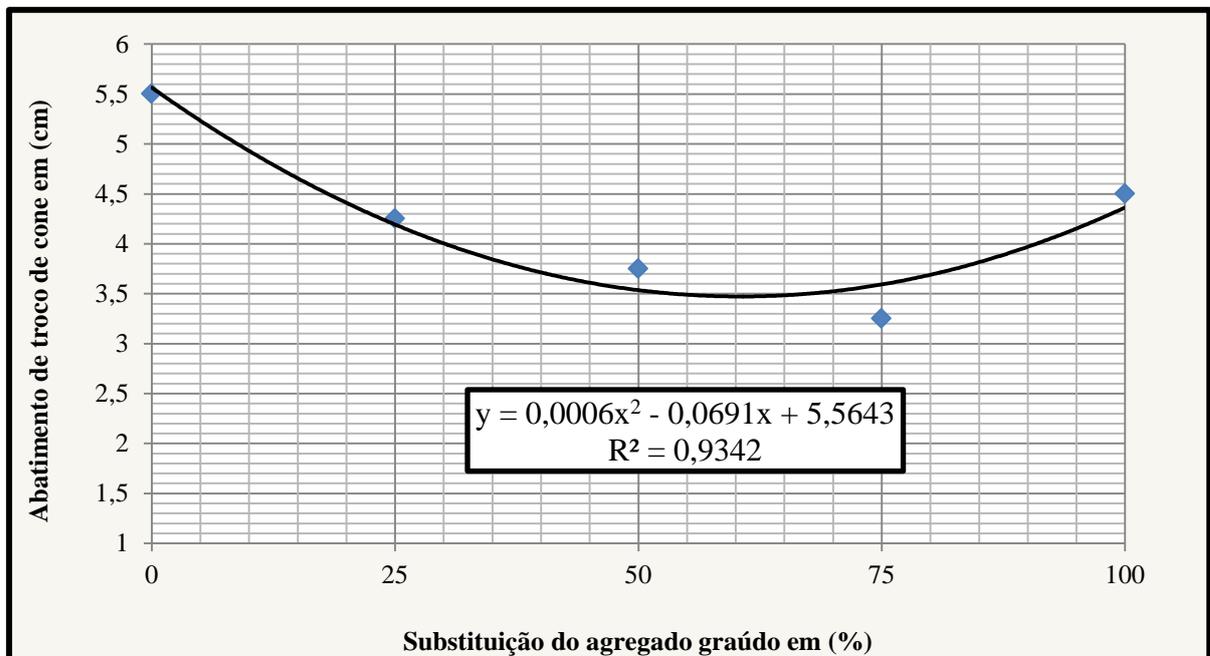
Tabela 15 – Trabalhabilidade do concreto para cada teor de substituição do seixo britado.

Variação do SB (%)	Valores de abatimento de troco-de-cone (cm)							
	Ensaio 1	Ensaio 2	Média	D. padrão	C. variaç.	M. erro	L. inferior	L. super.
0	6	5	5,5	0,71	0,13	6,36	-0,86	11,86
25	4,5	4	4,25	0,35	0,08	3,18	1,07	7,43
50	4	3,5	3,75	0,35	0,09	3,18	0,57	6,93
75	3,5	3	3,25	0,35	0,11	3,18	0,07	6,43
100	5	4	4,5	0,71	0,16	6,36	-1,86	10,86

Assim como dito anteriormente, os abatimentos esperados para os teores de substituição do seixo britado estão descritos nas médias da Tabela 15, tolerando, com 95% de confiança, as margens de erro demonstradas na Tabela 15. O que quer dizer que os limites mostrados na tabela são a variação aceitável da pesquisa. Como já demonstrado as repetições para este ensaio foram muito poucas, o que faz com que a margem de erro para um intervalo de 95% de confiança seja muito grande, tornando assim alguns valores dos limites inferiores negativos, deixando as amostras sem função estatística.

Para um melhor entendimento e análise dos dados foram gerados dois gráficos que nos dão uma visão mais interessante dos resultados.

Gráfico 6 – Médias dos abatimentos dos concretos com adições de seixo britado.

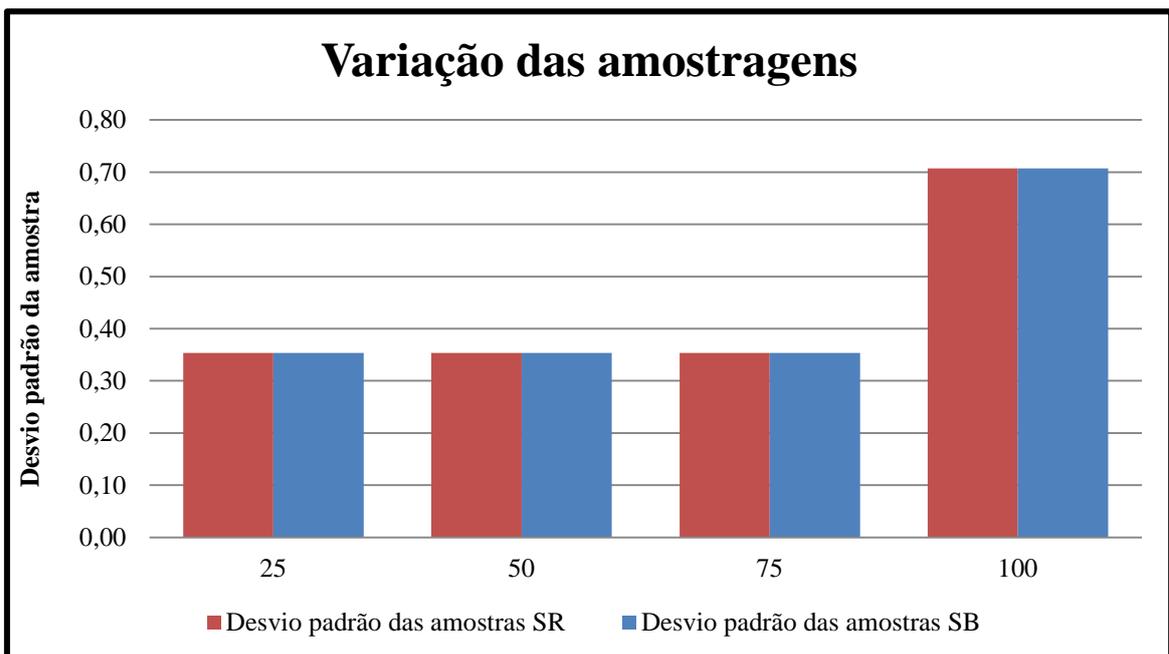


No gráfico 6, observa-se que o comportamento do material em relação ao abatimento torna-se uma parábola cônica para cima, o que indica que quando se substitui a brita granítica pelo seixo britado o abatimento decresce de maneira considerável. O seixo britado possui

formas variadas e uma granulometria bem confusa, porém, a maioria dos grãos britados tem forma lamelar aguda, ou seja, tem a forma lamelar mais acentuada que a brita granítica, e este é um dos fatores que vão contra a trabalhabilidade, pois, as partículas lamelares se envolvem mais a pasta do que as partículas arredondadas deixando a pasta com aspecto grosso, e como o seixo britado tem esse aspecto lamelar mais acentuada que a brita, logo tem uma trabalhabilidade inferior também. Outro ponto é que o seixo britado tem em sua maioria os grãos com superfície áspera, o que faz ele absorver água e pasta para si, diminuindo assim a trabalhabilidade do concreto mais ainda. Logo por este motivo é que o seixo britado dá o comportamento de uma parábola para os testes, pois suas propriedades petrográficas tendem a ser piores para esta propriedade do que a da brita granítica, visto que, o concreto com 100% de seixo britado dá uma melhor trabalhabilidade ao concreto do que com 75%, pelo motivo de que a granulometria e mistura das propriedades das pedras absorvem uma grande quantidade de água, e para sua envolvimento roubam muita pasta, deixando assim a argamassa com um aspecto grosso que vai de contra a trabalhabilidade, esse é o principal efeito que faz do gráfico uma parábola.

Observa-se no gráfico que o coeficiente de correlação é de 93,42%, indicando assim que as variáveis estão 93,42% relacionadas com as respostas para os abatimentos, ou seja, a substituição da brita granítica por seixo britado esta relacionada à perda de trabalhabilidade em 93,42%, os 6,58% restantes estão relacionados a outros fenômenos que não foram objetos da pesquisa.

Gráfico 7 – Desvio padrão dos abatimentos dos concretos em estudo.



Analisando o gráfico 7, verifica-se que para cada teor de substituição dos agregados graúdos o desvio padrão é 0,35, tanto para o seixo rolado quanto para o seixo britado, e na substituição total da brita por seixo rolado ou britado também tem-se um desvio padrão igual a 0,71 para ambos. Fazendo outra análise em cima disso, observa-se que o desvio padrão para as substituições totais é o maior valor entre todos os desvios, isso significa que as substituições totais fazem os valores de trabalhabilidade serem mais heterogêneos que os valores de trabalhabilidade das substituições parciais.

Fazendo outra análise em cima do gráfico 7, observa-se que a taxa de variação entre as dispersões das amostras é de 49,30%, ou seja, a variação das substituições totais em relação a substituição parcial é de 49,30%.

4.2 ESTADO ENDURECIDO

Para esta etapa foram analisadas a resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e absorção por imersão.

4.2.1 Resistência à compressão axial

Os corpos de provas foram ensaiados quanto a resistência à compressão aos 7 e 28 dias.

Nos ensaios de resistência à compressão, foram verificadas 3 vezes aos 7 dias para cada teor de substituição dos agregados graúdo a resistência dos concretos em estudo e 6 vezes para os 28 dias. As Tabelas 16 e 17 mostram os resultados gerados pelos ensaios para cada teor de substituição dos agregados nos concretos aos 7 dias e as Tabelas 18 e 19 demonstram os valores de resistência a compressão para os concretos aos 28 dias.

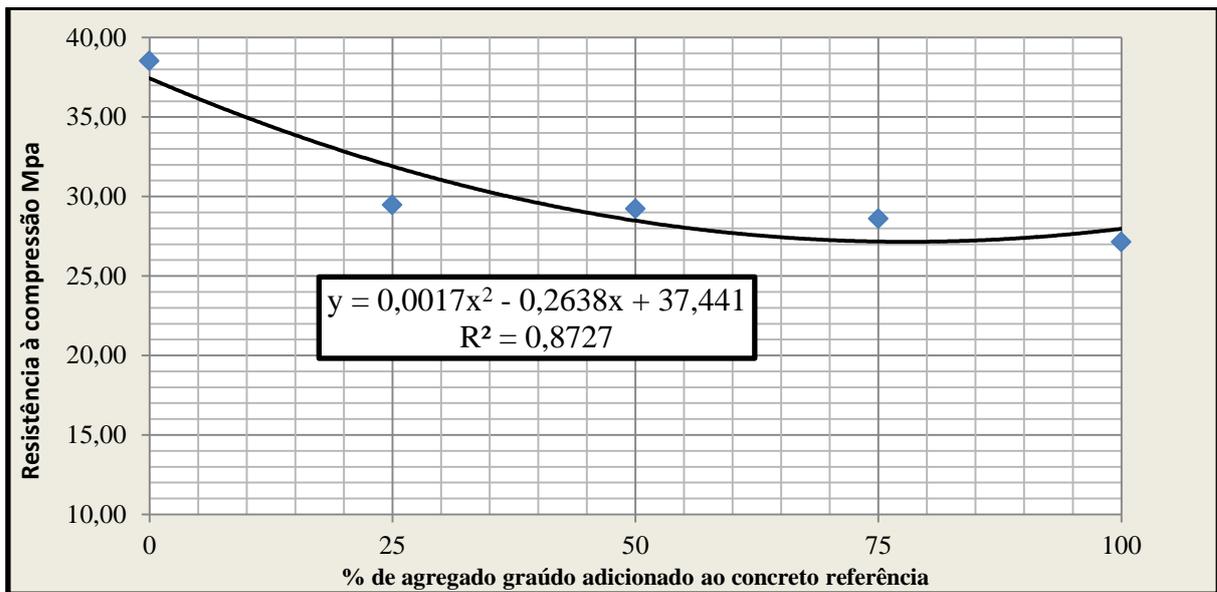
A pesquisa foi realizada com 95% de confiança, admitindo então uma margem de erro de 5% para mais ou para menos. Foram gerados gráficos para uma melhor interpretação dos dados.

Tabela 16 – Resistência à compressão do concreto para cada teor de substituição do seixo rolado aos 7 dias.

Variação do SR (%)	Valores de resistência à compressão aos 7 dias (MPa)							
	CP 1	CP 2	CP 3	Média	DSVPAD	M. erro	L. inferior	L. super.
0	40	36,7	38,9	38,53	1,68	4,17	34,36	42,71
25	30,8	28,1	29,5	29,47	1,35	3,35	26,11	32,82
50	29,5	28,3	29,9	29,23	0,83	2,07	27,16	31,30
75	28,9	29	27,9	28,60	0,61	1,51	27,09	30,11
100	27,8	26,2	27,4	27,13	0,83	2,07	25,06	29,20

As resistências à compressão esperadas para os variados teores de substituição de seixo rolado são as médias expressas na Tabela 16, tolerando, com 95% de confiança, as margens de erros mostradas também na tabela à cima. Por conseguinte, o valor de resistência à compressão do concreto para cada teor de substituição estará sempre entre os limites demonstrados na tabela a cima.

Gráfico 8 – Médias das resistências à compressão dos concretos de seixo rolado aos 7 dias.



Através do modelo matemático representado no Gráfico 8, entende-se que o modelo remete a um polinômio de grau 2, sendo inversamente proporcional a variável, ou seja, quando se substitui a brita granítica no seixo rolado, há uma queda na resistência a compressão de 0,26 unidades, para cada teor de substituição.

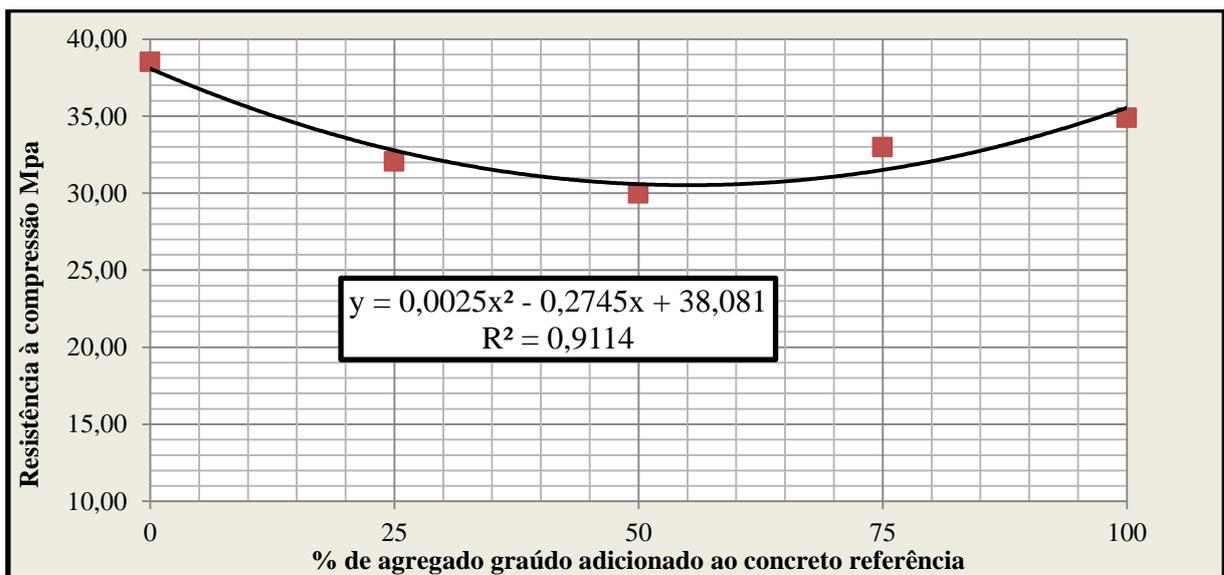
O modelo mostra a correlação da variável independente com a variável dependente, ou seja, a influencia do seixo rolado na resistência a compressão do concreto, é visto que a variável esta relacionada 87,27% com a resistência do concreto, sendo os outros 12,73% relacionado a outros fatores que não foram objeto da pesquisa.

Tabela 17 – Resistência à compressão do concreto para cada teor de substituição do seixo britado aos 7 dias.

Variação do SB (%)	Valores de resistência à compressão aos 7 dias (MPa)							
	CP 1	CP 2	CP 3	Média	DSVPAD	M. erro	L. inferior	L. super.
0	40	36,7	38,9	38,53	1,68	4,17	34,36	42,71
25	33,1	32	31,1	32,07	1,00	2,49	29,58	34,56
50	30,5	29,1	30,4	30,00	0,78	1,94	28,06	31,94
75	30,3	34,7	34	33,00	2,36	5,87	27,13	38,87
100	34,3	35,4	35	34,90	0,56	1,38	33,52	36,28

Os valores de resistência à compressão para os concretos com substituição do seixo britado estão demonstrados nas médias da Tabela 17, tolerando, com 95% de confiança, as margens de erros mostradas na mesma tabela. Por conseguinte, o valor de resistência à compressão do concreto para cada teor de substituição estará sempre entre os limites demonstrados na Tabela 17.

Gráfico 9 – Médias das resistências à compressão dos concretos de seixo britado aos 7 dias.



No Gráfico 9, de resistência à compressão é observado que o comportamento sugere um modelo matemático polinomial de grau 2, onde há duas partes, uma que se refere inversamente proporcional a variável, no qual há um decréscimo de 0,27 unidades na resistência do concreto a medida que se substitui seixo britado no concreto, então logo que esta chega ao seu ponto mínimo, tem um comportamento diretamente proporcional a variável, fazendo com que o concreto tenha um leve aumento levando o concreto com 100% de seixo britado a divergir 3,63 MPa do concreto referência.

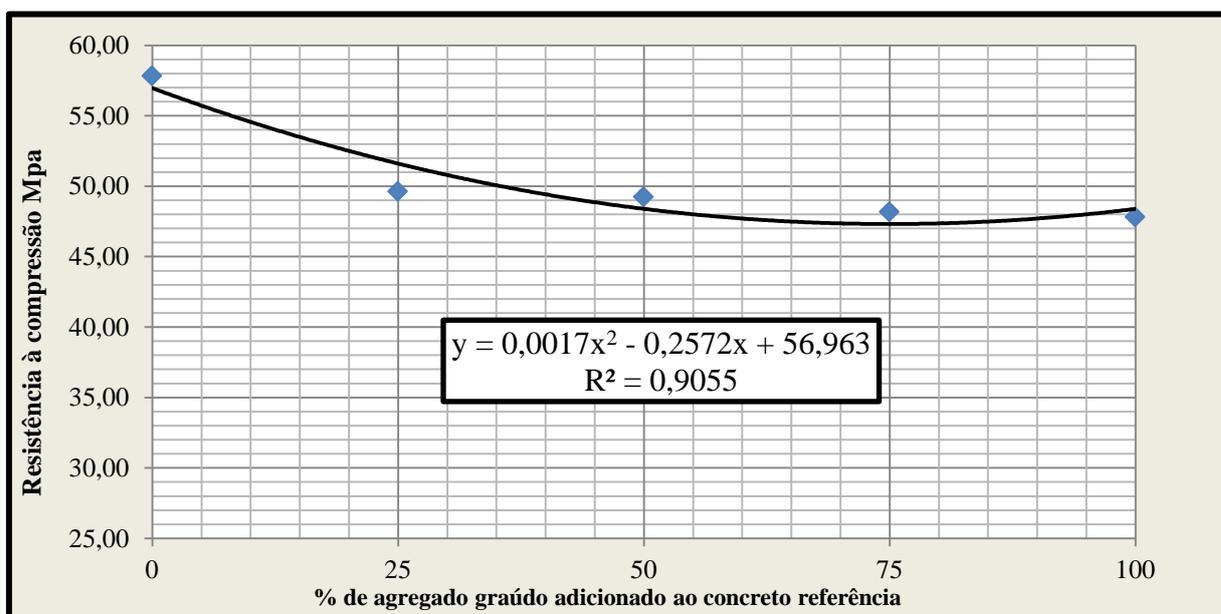
O modelo também sugere que a variável de pesquisa está relacionada 91,14% com a variável de resposta, sendo os outros 8,86% relacionados a outros fatores que não foram objeto dessa pesquisa.

Tabela 18 - Resistência à compressão do concreto para cada teor de substituição do seixo rolado aos 28 dias.

Variação do SR (%)	Valores de resistência à compressão aos 28 dias (MPA)										
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	Média	DSVPAD	M. erro	L. inferior	L. super.
0	58,5	57,2	57,4	58,9	58,2	56,7	57,82	0,85	0,89	56,93	58,71
25	48,5	49,8	49,4	49,9	50,7	49,4	49,62	0,73	0,76	48,86	50,38
50	49,6	50,9	48,3	48,9	49,5	48,2	49,23	1,00	1,05	48,18	50,29
75	48,2	47,4	48,2	50,0	48,4	46,9	48,18	1,06	1,11	47,07	49,29
100	47,8	49,7	48,3	48,9	46,7	45,5	47,82	1,52	1,60	46,22	49,41

Na Tabela 18, tem-se um numero maior de corpos de prova rompido, pois esta tabela reflete a resistência à compressão dos concretos aos 28 dias, aumentou-se o numero de ensaios para assim diminuir a margem de erro, visando tornar a pesquisa mais confiável ainda, sendo que tem uma margem de confiança de 95%, tolerando uma margem de erro de 5%. Todos os resultados do ensaio de resistência à compressão estão demonstrados na Tabela 18, assim como os tratamentos estatísticos.

Gráfico 10 – Médias das resistências à compressão dos concretos de seixo rolado aos 28 dias.



O Gráfico 10, tem comportamento semelhante ao Gráfico 8, isso mostra que a pesquisa não sofreu alterações significativa que poderia compromete-la.

Como já vimos anteriormente, o agregado graúdo tem influência na resistência a compressão do concreto. Vimos que a forma, textura além dos poros tem influência nas propriedades mecânica do concreto.

Sabemos que o seixo rolado tem a textura lisa e forma arredondada, o que o torna uma variável inversamente proporcional à resistência a compressão do concreto, ou seja, o seixo rolado por ter textura lisa e forma arredondada dificulta a aderência com a matriz, fazendo com que o efeito da zona de transição no concreto se agrave, tornando a zona o elo mais fraco do concreto, fazendo com que este rompa primeiro na ligação da pasta endurecida e o agregado. Por este motivo o concreto produzido com seixo rolado teve queda de resistência para cada teor de substituição do agregado.

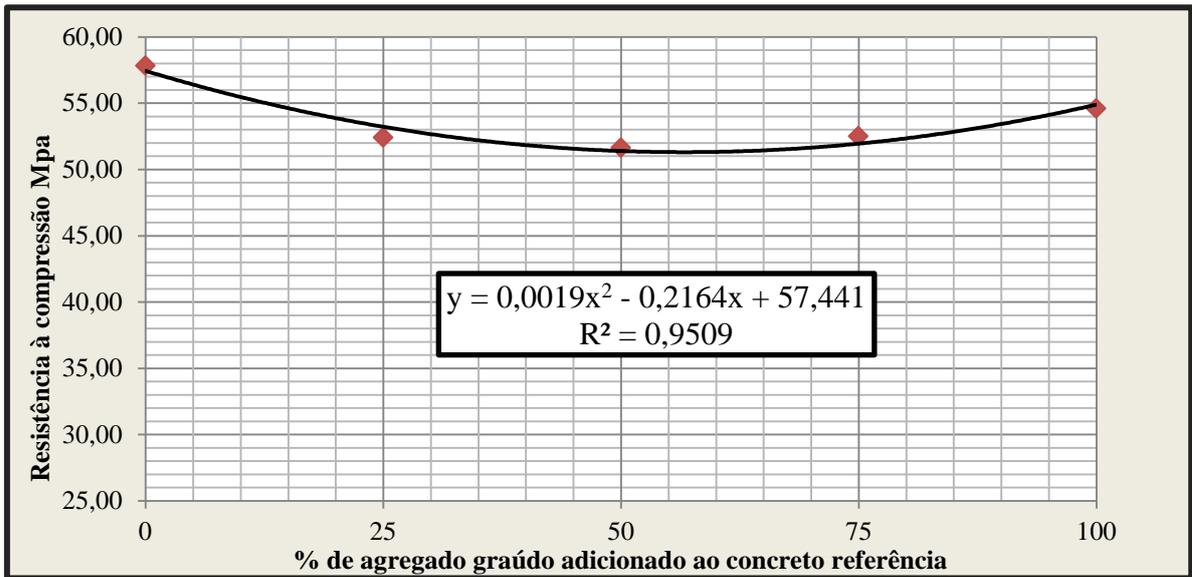
A brita granítica tem textura áspera e forma irregular, o que facilita na aderência da matriz com o agregado granítico, diminuindo assim a fragilidade da zona de transição, tendo efeito contrario ao do seixo rolado no concreto, logo por este motivo o concreto produzido com brita granítica teve desempenho superior ao do concreto adicionando seixo rolado, fazendo com que o gráfico tivesse um comportamento de queda em relação ao concreto referência.

Tabela 19 - Resistência à compressão do concreto para cada teor de substituição do seixo britado aos 28 dias.

Variação do SB (%)	Valores de resistência à compressão aos 28 dias (MPA)											
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	Média	DSVPAD	M. erro	L. inferior	L. super.	
0	58,5	57,2	57,4	58,9	58,2	56,7	57,82	0,85	0,89	56,93	58,71	
25	53,5	52,9	51,2	52,3	52,2	52,3	52,40	0,77	0,81	51,59	53,21	
50	52,8	51,9	51,4	51,6	49,4	52,6	51,62	1,22	1,28	50,34	52,89	
75	51,9	51,3	52,1	54,2	52	53,4	52,48	1,09	1,14	51,34	53,62	
100	52,8	54,1	54,5	56,3	55,3	54,6	54,60	1,17	1,23	53,37	55,83	

Como dito na Tabela 18, a Tabela 19 também tem 6 repetições do ensaio de resistência a compressão, e também possui todas as informações do tratamento estatístico, contendo as médias, desvios padrões, margens de erro e limites inferior e superior das resistências a compressão.

Gráfico 11 – Médias das resistências à compressão dos concretos de seixo rolado aos 28 dias.



O Gráfico 11, tem comportamento semelhante ao Gráfico 9, demonstrando assim que a realização da pesquisa foi bem sucedida e que não houve alterações que a comprometeu.

O seixo britado é uma incógnita difícil de explicar, até mesmo o gráfico dele tem um comportamento divergente do esperado, pois, esperava-se uma queda de resistência não sendo tão acentuada como a do seixo rolado, mais esperava-se um comportamento onde a variável fosse sempre inversamente proporcional ao do concreto referência, e não que em algum ponto ele aumentasse a resistência deixando a diretamente proporcional, fazendo o gráfico ter dois comportamentos onde o inicial torna-se inversamente proporcional e a partir de 50% de substituição torna-se diretamente proporcional.

Devido ao comportamento curioso, pesquisei mais um pouco, observei CPs rompidos, e estudei um pouco a ruptura destes, com isso pude observar que em alguns casos o seixo britado tinha partículas rompidas, não eram todas mais tinha algumas que romperam, ou seja, o concreto estava rompendo no agregado, este fator não deveria acontecer, pois geralmente a rocha tem mais resistência à compressão que o traço de 50 MPa, sabe-se que geralmente o seixo tem como sua principal composição o quartzo, que é uma rocha bastante resistente, porém como ele é uma rocha sedimentar e este tipo de rocha pode sofrer alterações em sua composição observou-se que algumas partículas tinha menos resistência que outras, devido aos diferentes minerais em sua composição, então estas partículas podem ter colaborado para que o concreto produzido com seixo britado não chegasse a resistência que o produzido com brita granítica chegou.

Outo fator que colabora com a perda de resistência é a granulometria do seixo britado, o seixo britado tem granulometria ruim, e quando se tem uma granulometria ruim o concreto fica com mais vazios, o que faz deste menos resistente, pois não há um bom empacotamento dos grãos interior do betao deixando assim espaços vazios que se torna um dos elos fraco do concreto.

Observou-se também que nem todos os grãos ficam com superfície áspera, que é um dos fatores que ajudam na aderência da matriz com o agregado fazendo com que diminua o efeito da zona de transição na resistência a compressão do concreto.

4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral foram verificados aos 28 dias.

A pesquisa foi realizada com 95% de confiança, admitindo então uma margem de erro de 5% para mais ou para menos. Foram gerados gráficos para uma melhor interpretação dos dados.

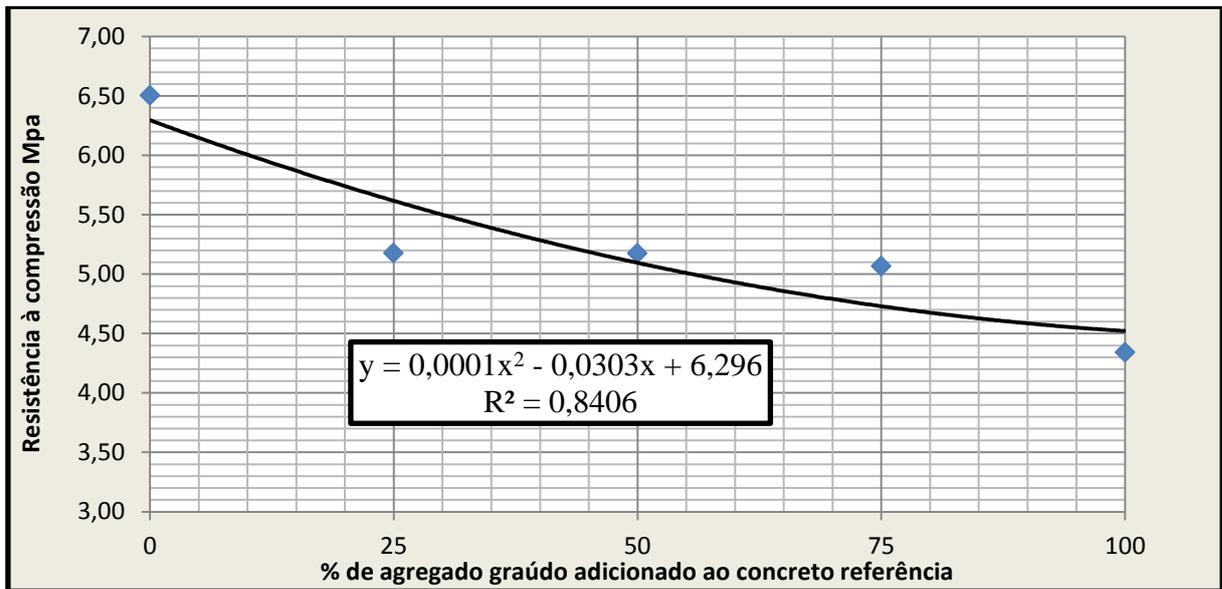
As Tabelas 20 e 21 mostram os resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral, assim como os tratamentos estatísticos dos resultados gerado pelo ensaio em questão. Foram gerados gráficos para uma melhor interpretação dos dados.

Tabela 20 - Resistência à tração do concreto para cada teor de substituição do seixo rolado aos 28 dias.

Variação do SR (%)	Valores de resistência à tração aos 28 dias (MPa)							
	CP 1	CP 2	CP 3	Média	DSVPAD	M. erro	L. inferior	L. super.
0	6,5	6,54	6,47	6,50	0,04	0,09	6,42	6,59
25	5,17	5,00	5,36	5,18	0,18	0,45	4,73	5,62
50	5,15	5,22	5,15	5,17	0,04	0,10	5,07	5,27
75	5,05	5,15	5,00	5,07	0,08	0,19	4,88	5,26
100	4,68	4,00	4,46	4,34	0,48	1,19	3,15	5,53

Na Tabela 20, tem-se todos resultados de resistência a tração, assim como o tratamento estatístico, sendo evidenciada as médias pelo motivo de que estas representam a resistência a tração do concreto graficamente.

Gráfico 12 – Médias das resistências à tração dos concretos com adição de seixo rolado aos 28 dias.



No Gráfico 12, observa-se que este remete a uma modelo matemático polinomial de grau 2, cuja variável independente é inversamente proporcional a variável de resposta, tendo coeficiente negativo que remete a uma queda de resistência a medida que se adiciona seixo rolado ao concreto referência. Observa-se também que a relação entre a variável de pesquisa e a resposta é de 84,06%, ou seja, na pesquisa o seixo rolado tem 84,06% de influência na resistência à tração do concreto, sendo os outros 15,94% relacionados a outros fatores que não foram objeto de estudo.

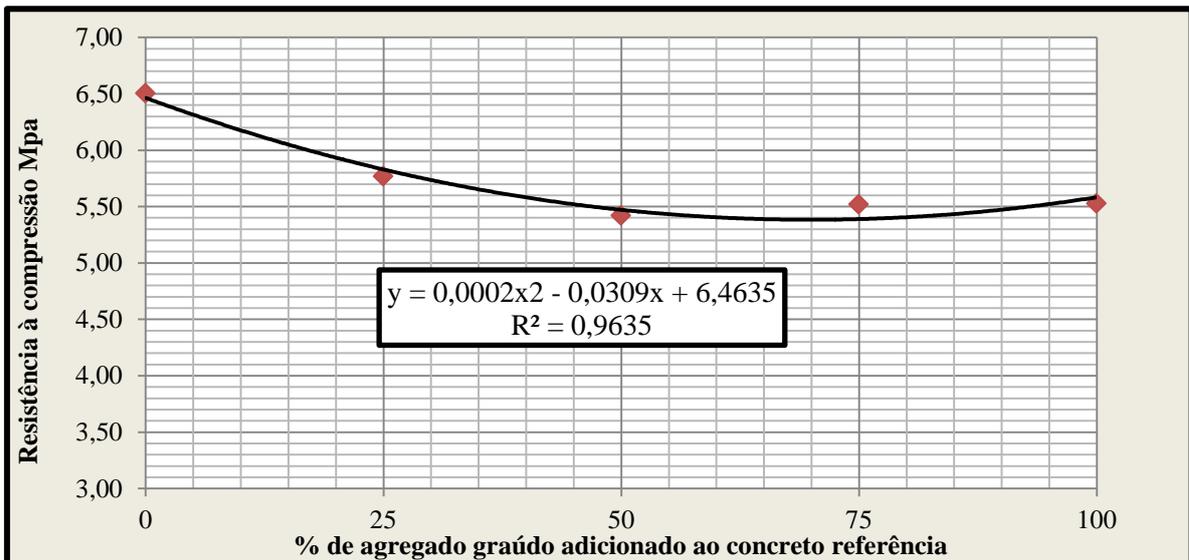
O comportamento de queda de resistência à tração do Gráfico 12, deve-se a aderência do seixo rolado com a matriz, pois sua textura lisa e forma arredondada diminui a aderência da pasta endurecida com o agregado fazendo com que este rompa na ligação agregado graúdo e matriz, aja visto que, na resistência a tração é de suma importância a aderência entre pasta e agregado, pois este esforço exige muito da zona de transição, já que o concreto não esta sendo mais comprimido e sim de modo grosseiro esticado, então neste esforço a textura e forma do agregado tem um efeito maior ainda, pois quando se comprime o concreto causa um empurramento das partículas no interior deste, já quando se traciona as partículas sofrem distanciamento no sentido horizontal causando a desagregação com a matriz, e o seixo por ser redondo e ter textura lisa facilita essa desagregação entre matriz e agregado.

Tabela 21 - Resistência à tração do concreto para cada teor de substituição do seixo britado aos 28 dias.

Variação do SB (%)	Valores de resistência à tração aos 28 dias (MPa)							
	CP 1	CP 2	CP 3	Média	DSVPAD	M. erro	L. inferior	L. super.
0	6,5	6,54	6,47	6,50	0,04	0,09	6,42	6,59
25	5,69	5,81	5,8	5,77	0,07	0,17	5,60	5,93
50	5,49	5,5	5,27	5,42	0,13	0,32	5,10	5,74
75	5,54	5,47	5,55	5,52	0,04	0,11	5,41	5,63
100	5,54	5,63	5,41	5,53	0,11	0,27	5,25	5,80

Na Tabela 20, tem-se os resultados de resistência a tração do seixo britado, assim como os devidos tratamento estatístico e as médias estão evidenciadas pelo motivo de que estas serão utilizadas para confecção do gráfico para uma melhor interpretação dos dados.

Gráfico 13 – Médias das resistências à tração dos concretos com adição de seixo britado aos 28 dias.



No Gráfico 13, pode-se observar um modelo matemático polinomial de grau 2 que representa a substituição da brita granítica pelo seixo britado, este modelo remete que minha variável de pesquisa é inversamente proporcional a minha variável de resposta, ou seja, a medida que se substitui a brita granítica por seixo britado, tem-se um decréscimo de resistência a tração. O modelo também mostra que minha variável está relacionada com a resistência a tração 96,35%, isso significa que o seixo britado tem uma influência na resistência a tração, dentro do que foi pesquisado de 96,35%, sendo os outros 3,65% relacionados a outros fatores que não foram objeto de estudo.

Os concretos produzidos com seixo britado obteve resistência à tração superior aos produzidos com seixo rolado, devido à forma mais angulosa do agregado britado e sua textura

ser mais áspera que o agregado rolado, porém se saiu pior do que a brita de granito pelo motivo do seixo britado não ter todos os grãos ásperos, pois sua britagem não é eficaz como a do granito, por ser uma pedra redonda e ter textura lisa, logo onde a placa de metal não pega ficam pedaços lisos que acabam influenciando na resistência do concreto, majorando assim o efeito da zona de transição em relação ao agregado de granito, este efeito torna o gráfico uma parábola inversamente proporcional a resistência a tração do concreto diminuindo a medida que se acrescenta o seixo britado no traço referência.

4.2.3 Determinação de absorção de água por imersão

O ensaio de absorção por imersão foi realizado aos 28 dias de cura do concreto.

A pesquisa foi realizada com 95% de confiança, admitindo então uma margem de erro de 5% para mais ou para menos.

Tabela 22 - Absorção por imersão dos concretos com adição de seixo rolado.

Variação do SR (%)	Valores de absorção por imersão %							
	CP 1	CP 2	CP 3	Média	DSVPAD	M. erro	L. inferior	L. super.
0	2,81	3,87	3,42	3,37	0,53	1,31	2,05	4,68
25	2,80	3,81	3,01	3,20	0,53	1,33	1,88	4,53
50	0,67	3,66	2,05	2,13	1,50	3,72	-1,59	5,85
75	2,55	4,20	2,06	2,94	1,12	2,79	0,15	5,72
100	2,21	4,61	3,28	3,36	1,20	2,99	0,38	6,35

A Tabela 22 mostra as porcentagens de absorção de água dos concretos com adição de seixo rolado, assim como os tratamentos estatístico dos dados obtidos a partir do ensaio em questão.

No Gráfico 14, observa-se um modelo matemático polinomial de grau 2, onde a parábola tem dois comportamentos distintos, sendo que num primeiro instante a semiparábola tem um comportamento inversamente proporcional da variável em estudo com a absorção de água do concreto, já num segundo instante a semiparábola tem comportamento diretamente proporcional, onde a medida que se acrescenta seixo rolado no concreto tem-se um aumento na absorção de água do concreto. Observa-se também que a média de substituição total da brita granítica por seixo rolado é semelhante em ambas 3,37%, o que nos diz que o agregado desde que tenha boa granulometria não influi tanto na absorção de água do concreto.

Gráfico 14 – Médias das porcentagens de absorção por imersão dos concretos com adição de seixo rolado.

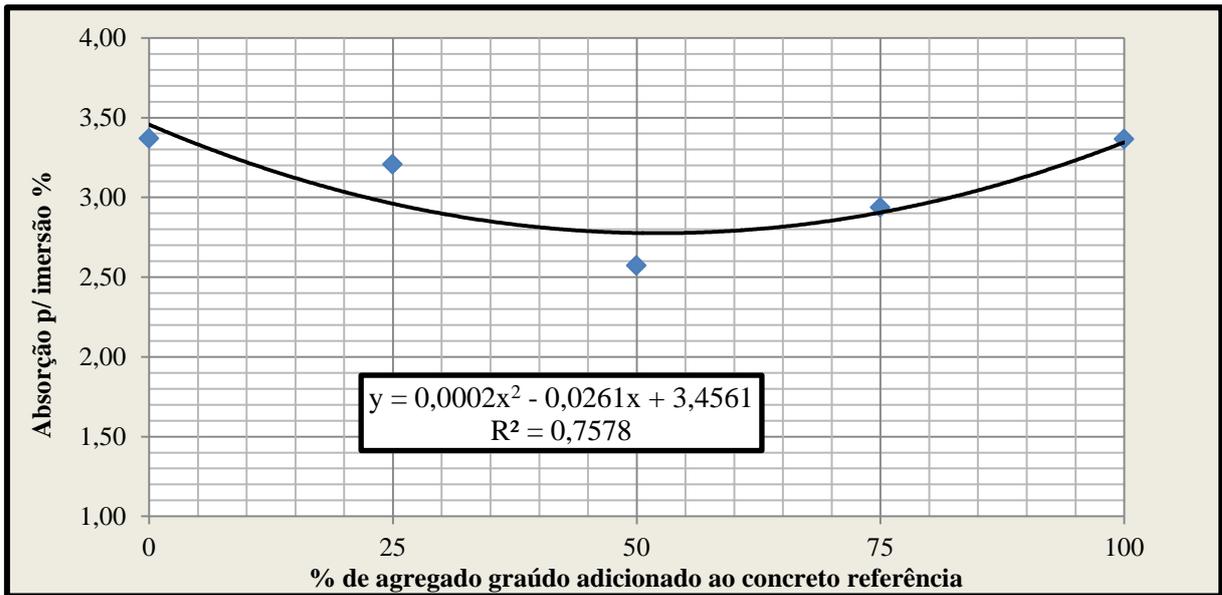


Tabela 23 - Absorção por imersão dos concretos com adições de seixo britado.

Variação do SB (%)	Valores de absorção por imersão %							
	CP 1	CP 2	CP 3	Média	DSVPAD	M. erro	L. inferior	L. super.
0	2,81	3,87	3,47	3,38	0,54	1,33	2,05	4,71
25	2,46	3,81	2,16	2,81	0,88	2,19	0,62	5,00
50	2,78	4,00	2,60	3,13	0,76	1,90	1,23	5,02
75	3,01	2,56	2,95	2,84	0,24	0,61	2,23	3,45
100	3,49	4,26	2,73	3,49	0,77	1,90	1,59	5,40

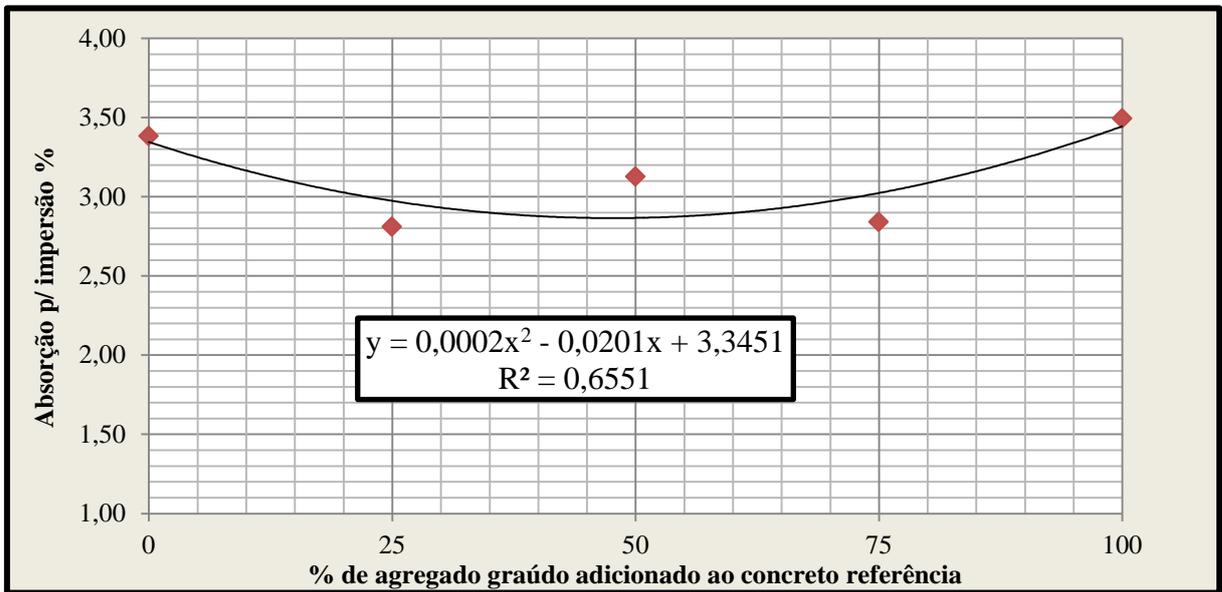
A Tabela 23 mostra as porcentagens de absorção de água dos concretos com adição de seixo britado, assim como os tratamentos estatístico demonstrando as médias, desvio padrão da amostra, a margem de erro e os limites inferiores e superiores.

Observando o Gráfico 15, nota-se também uma parábola assim como no gráfico anterior, que também tem dois comportamentos distintos, sendo uma primeira parte inversamente proporcional a variável em estudo, e em seguida diretamente proporcional a variável estudada.

Observa-se também que na substituição total da brita de granito por seixo britado, tem-se um aumento da absorção de água em relação ao concreto referência, este fator deve-se a granulometria péssima do seixo britado, pois nos estudo de granulometria o seixo britado ficou muito fora dos padrões de norma na peneira 12,5 mm. Quando se tem uma granulometria ruim então o agregado não tem um empacotamento bom no interior do

concreto, e quando não há um bom empacotamento dos grãos, logo o concreto terá mais vazios, facilitando assim a absorção de água.

Gráfico 14 – Médias das porcentagens de absorção por imersão dos concretos com adição de seixo britado.



5.0 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para o bom entendimento da proposta desta pesquisa, foi realizada uma revisão bibliográfica específica sobre o tema e uma série de ensaios sobre os agregados e sobre os concretos produzidos com os mesmos. Foram analisadas de forma teórica e científica várias propriedades dos agregados graúdos como a brita granítica, seixo rolado e seixo britado e propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido produzidos com estes agregados.

Nos ensaios de caracterização dos materiais foi constatado que a granulometria do seixo britado não está de acordo com a norma (NBR 7211, 2005), pois sai de dentro da zona ótima na peneira 12,5 mm, este fato levou a alterações nos concretos produzidos com este agregado, pois concretos que não têm boa granulometria não têm um empacotamento adequado dos grãos e isso prejudica o concreto quanto aos vazios em seu interior. Outro fato que ficou evidente na caracterização dos materiais foi que o seixo rolado que é vendido como seixo 1, porém enquadra-se na faixa granulométrica 2, ou seja, o produto que é passado como tendo um diâmetro característico na verdade tem outro. Isso também ocorreu com a areia, pois para concretos é bom usar areia de média a grossa, pois o que foi passado como areia grossa, na caracterização dos materiais ficou na faixa 1, classificada como muito fina, o que seria ideal para acabamentos e não para concreto.

No que se refere à textura e à forma dos grãos a brita granítica tem baixo grau de esfericidade, forma das partículas do tipo lamelar e textura superficial do tipo áspera, já o seixo britado tem baixo grau de esfericidade, forma das partículas do tipo alongada lamelar e textura superficial relativamente áspera, o seixo rolado tem alto grau de esfericidade, forma das partículas do tipo arredondada e textura superficial lisa.

A partir dos resultados e das análises, foi verificado que o uso dos seixos rolado e britado, em substituição à brita granítica promoveu alterações no concreto com reflexos no seu comportamento mecânico e na trabalhabilidade do mesmo.

Quanto ao comportamento do concreto no estado fresco (trabalhabilidade) o seixo rolado teve um desempenho fantástico, elevando a trabalhabilidade do concreto de forma linear, e um dos motivos para que este aumento de trabalhabilidade acontecesse foi à forma e textura dos seus grãos, assim como discutido nos resultados. O seixo rolado é uma ótima alternativa como agregado para concretos que necessitem de trabalhabilidade elevada, do tipo bombeável, por exemplo, salvo exceções para concretos que necessitem de altas resistências à compressão, haja visto que nos resultados observou-se que o seixo rolado não teve bom desempenho quanto às resistências à tração e compressão. O uso de seixo rolado para

concretos trabalháveis pode reduzir custos, pois como este da ao concreto uma maior trabalhabilidade do que os agregados britado, economiza-se em cimento, pois não precisará aumentar o teor de argamassa e também em aditivos do tipo plastificante.

Quanto ao comportamento mecânico, observou-se durante a pesquisa que o seixo rolado não teve boas respostas, pois não chegou a atingir a resistência de dosagem estimada em 50 MPa, como já discutido no Capítulo anterior isso se deu pela forma e textura das suas partículas, porém o seixo britado se mostrou uma alternativa interessante do ponto de vista de resistência mecânica do concreto, tendo sua média final atingindo a resistência de dosagem e bem próximo a do concreto produzido com brita granítica. Por conseguinte, do ponto de vista econômico, o seixo britado é uma alternativa muito atraente, pois é relativamente mais barato que o agregado de granito britado e da ao concreto propriedades mecânicas pouco abaixo dos agregados graníticos, sendo viável seu uso para concretos até 50 MPa, que foi até a resistência na qual foi pesquisada no trabalho.

Em um apanhado geral os agregados em estudo deram propriedades divergente ao concreto, sendo cada um mais adequado a um tipo específico de propriedades pretendidas.

O trabalho teve como intuito demonstrar as propriedades do concreto, para que os leitores do artigo venham a otimizar o uso dos agregados para determinadas requisições de projetos de concreto, então no que foi proposto foi realizado o estudo e demonstrado quais propriedades cada agregado deu aos concretos produzidos.

As sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar aspectos referentes à durabilidade dos concretos com brita granítica, seixo rolado e britado, tal como a resistência à carbonatação e à penetração de cloretos;
- Avaliar as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido confeccionado com areia de britagem e natural;
- Verificar o comportamento de argamassas produzidas com areia de britagem para assentamento e revestimento;
- Analisar os custos de traços produzidos com brita granítica, seixo rolado e britado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSESSORIA TÉCNICA ITAMBÉ. *Apostila de ensaios de concretos e agregados*. 3ª Edição. Curitiba-PR, 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NM 67**: Concreto – *Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: *Aditivos para concreto de cimento Portland – especificações*. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - *Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto*. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados - *Agregados para concreto*. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Argamassa e concreto – *Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479**: Argamassa e concreto - *Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova*. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776**: Agregados - *Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - *Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – *Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro, 2006.

BARBETA, Pedro Alberto; REIS, Marcelo M.; BORNIA, Antonio C., *Estatística: para cursos de engenharia e informática*. Editora Atlas, 3ª Edição, São Paulo, 2010.

BASTOS, Paulo Sérgio Dos Santos, *Fundamentos do concreto armado*. Notas de aula, Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo, 2006.

BAUER, L.A., *Materiais de construção*. Editora LTC, 5ª Edição, Rio de Janeiro, 2005.

BOGGIO, Aldo J, *Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland*. Dissertação de pós-graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

CABRAL, Keillon Oliveira, *Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-gnaiss nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido*. Dissertação de mestrado em engenharia civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

CARVALHO, Espedito Felipe Teixeira de, *Materiais de construção i – civ237*. Apostila, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2009.

COSTA, Marlo Jorge da, *Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento portland*: aplicabilidade de um método de dosagem. Dissertação de Conclusão de Curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2005.

DOWNING, Douglas; CLARK, Jeffrey, *Estatística aplicada*. Tradução de Alfredo Alves de Farias. Editora Saraiva, 2ª Edição, São Paulo, 2002.

MEHTA, Kumar P., MONTEIRO, Paulo J.M., *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*. Editora Pini Ltda, 1ª Edição. São Paulo, 1994.

NEVILLE, Adam M., *Propriedades do concreto*. Editora Pini Ltda, 2ª Edição. São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, Izelman, *Materiais de construção civil I – agregados*. Apostila, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, 2012.

PIMENTA, Dhiego Saraiva, *Produção de concreto convencional com a utilização de pó de brita*. Dissertação de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

Portal ABCP, *Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto*. Disponível em: < <http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto> > Acesso em 29 de maio de 2015.

Portal do Concreto, *Determinações da massa específica do agregado graúdo pelo método do picnometro – IPT-M9-76*. Disponível em: < http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/agregado_3.html > Acesso em 29 de maio de 2015.

SILVA, Francisco Benedito da, *Estudo comparativo das propriedades do concreto convencional utilizando brita granulítica e seixo rolado do sertão de Pernambuco*. Dissertação de Conclusão de Curso, Faculdade do Vale do Ipojuca, Caruaru, 2012.

SIQUEIRA, Lígia Vieira M., *Laboratório de materiais de construção – II, 1ª parte – agregados*. Apostila, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2008.

Ulbra, Museu de ciências naturais. **Rochas**. Disponível em: http://sites.ulbra.br/mineralogia/conceito_rochas.htm > Acesso em 28 de abril de 2015.

ANEXOS