

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG
ALAYDE DA CRUZ LOÉRCIO NETA

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO AGREGADO MIÚDO ARTIFICIAL NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO

CASCADEL - PR
2016

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG
ALAYDE DA CRUZ LOÉRCIO NETA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO AGREGADO MIÚDO ARTIFICIAL NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de CursoII, do Curso de Engenharia Civil, da Faculdade Assis Gurgacz - FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Profª Orientadora: Esp. Andréa Resende Souza

CASCADEL - PR
2016

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

ALAYDE DA CRUZ LOÉRCIO NETA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO AGREGADO MIÚDO ARTIFICIAL NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor (a) Especialista em Engenharia Civil Andréa Resende Souza.

BANCA EXAMINADORA



Orientador (a) Prof^ª. Esp. Andréa Resende Souza
Centro Universitário FAG
Especialista em Engenharia Civil



Professor (a) Msc. Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres
Centro Universitário FAG
Mestre em Engenharia Civil



Professor (a) Esp. Jefferson Teixeira Olea Homrich
Centro Universitário FAG
Especialista em Engenharia Civil

Cascavel, 29 de outubro de 2016.

DEDICATÓRIA

“Lembramos continuamente, diante de nosso Deus e pai, o que vocês tem mostrado: o trabalho que resulta da fé, o esforço motivado pelo amor e a perseverança proveniente da esperança em nosso senhor Jesus Cristo.”

1 Tessalonicenses 1:3

AGRADECIMENTOS

“Pois tudo que deus criou é bom, e nada deve ser rejeitado, se for recebido com ação de graça, pois é santificado pela palavra de Deus pela oração”

1 Timóteo 4 – 5.

Hoje estou imensamente grata não apenas pelo dom da vida, e , sim também por ter encontrado mestres exemplares em minha jornada, sei que sem eles não estaria contemplando esse dia, vocês fizeram parte fundamental para formação de uma pessoa melhor que com a graça de Deus será uma ótima Engenheira Civil.

Deixo aqui o meu agradecimento especial a minha coordenadora Andréa Resende Souza, que foi paciente e atenciosa durante todo período em que precisei.

Obrigada meus pais e familiares por me incentivarem a lutar por meus sonhos e não desistir jamais, essa vitória é de vocês também .

Obrigada Ana por toda ajuda, por todos esses anos me aturando, e por todas as vezes que mais precisei sabia que podia contar com você.

Obrigada Leandro por todas as vezes que pude contar com você, inclusive a sua ajuda foi essencial para a elaboração do meu tão temido TCC.

Obrigada meu Amor, por estar ao meu lado sempre que precisei, me ajudando, dando força, me acalmando e me aturando até nos dias mais difíceis.

Gratidão eterna a Vanessa e Maikel Sucupira pela grande oportunidade, e por me apoiarem no momento em que mais precisei.

Obrigada meu Deus!

“Confia no senhor de todo o seu coração e não se apóie em seu próprio entendimento; reconheça o senhor em todos os seus caminhos, e ele endireitará as suas veredas.”

Provérbios 3:5-6

RESUMO

Os agregados são os produtos mais consumidos no mercado da construção civil, sendo que o setor que mais consome recursos naturais é a área de construção civil. A cada dia que passa os recursos naturais estão mais escassos e busca-se materiais para substituir a areia natural. A areia de pedra é uma boa alternativa para a substituição da areia natural, sendo necessários mais ensaios para verificação de qualidade do material como o ensaio de durabilidade e também o consumo de água adequado para a utilização do material, e após isso, pode-se fazer a substituição. O objetivo do trabalho foi analisar o uso da areia de pedra nas propriedades no estado fresco e endurecido de concretos convencionais. Foram confeccionados 64 corpos de prova em 6 betonadas com traços de concreto diferentes, com resistência a compressão de 25 MPa, o traço definido foi para o cimento CP II-z, areia natural e brita 0, utilizando como base nos traços utilizados na região de cascavel, a areia foi substituída em diferentes teores, 10%, 20%, 80%, 90% e 100% por areia de pedra. Após feita a mistura dos materiais foi feito um *slump test* para verificação da consistência de cada traço e então foram confeccionados 9 corpos de prova de 10x20cm para o traço 1 devido a utilização de pouco material e 11 corpos de prova também de 10x20cm de cada um dos demais traços, a resistência a compressão foi analisada com 7 e 28 dias e a resistência a tração por compressão diametral somente aos 28 dias. Analisando os resultados dos ensaios de *slump test*, compressão e tração por compressão diametral, o teor ideal para a substituição é o traço 3 e está na faixa de 80% de areia normal e 20% de areia de brita, sendo considerado que a escolha do teor da substituição depende principalmente da trabalhabilidade desejada, sendo que para a substituição foi necessário fazer um controle tecnológico adequado anteriormente a utilização do concreto, levando em consideração que o material tem uma alta porcentagem de finos e para uma substituição melhor deverá analisar a proporção água cimento também. Em relação ao concreto com 100% de areia natural a resistência a compressão obtivemos um ganho de entorno de 10% e a resistência a tração por compressão diametral o ganho foi de entorno de 1,5 % esses ganhos foram obtidos no traço 3 que foi o melhor traço com 80% de areia natural e 20% de areia de pedra.

Palavra chave: Areia de pedra, resistência a compressão e resistência a tração por compressão diametral.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Composições de concreto	17
Figura 2 - Britador de eixo vertical	24
Figura 3 - funcionamento britador de eixo vertical.	24
Figura 4- Processo de produção de areia de pedra via seca.....	25
Figura 5 - Mesa vibratória	28
Figura 6 - Curva granulométrica agregado graúdo.....	30
Figura 7 – 1 Curva granulometrica agregado miúdo (areia natural)	31
Figura 8 - Curva granulometrica agregado miúdo (areia de pedra)	32
Figura 9 - Proveta com 200 ml de água.....	33
Figura 10 - Proveta com 200 ml de água e 150g de agregado graúdo	34
Figura 11 - Picnometro com agregado e água	35
Figura 12 - Materiais sendo inseridos na betoneira.....	36
Figura 13 - Concreto sendo misturado na betoneira.....	36
Figura 14 - Moldagem dos Corpos de prova	38
Figura 15 - Corpos de prova desmoldados e identificados armazenados em câmara úmida. ..	39
Figura 16 - <i>Slump test</i>	40
Figura 17 - Corpo de prova sendo fresado.	41
Figura 18 - Prensa hidráulica.....	41
Figura 19 - Ensaio de compressão simples.....	42
Figura 20 - Corpo de prova sendo fresado	43
Figura 21 - Corpo de prova rompido através do ensaio de compressão por tração diametral..	43
Figura 22 - ensaio de tração por compressão diametral	44
Figura 23 - Resultado <i>Slump test</i>	46
Figura 24 - <i>slump test</i> traço 1	46
Figura 25 - <i>slump test</i> traço 2	47
Figura 26 - <i>slump test</i> traço 3	47
Figura 27 - <i>slump test</i> traço 4	48
Figura 28 - <i>slump test</i> traço 5	48
Figura 29 - <i>slump test</i> traço 6	48
Figura 30 - Resistência à Compressão simples do concreto aos 7 dias.....	49
Figura 31 - corpo de prova com alto nível de vazios.....	50
Figura 32 - Resistência à Compressão simples do concreto aos 28 dias	50
Figura 33 – corpo de prova do traço 4 sendo rompido.....	51
Figura 34 - Corpo de prova traço 5.....	52
Figura 35 – Evolução de resistência a compressão	52
Figura 36 – resistência a tração por compressão diametral	53
Figura 37 - corpo de prova com bastante vazios	54
Figura 38 - Corpo de prova após ser rompido por tração	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material – 2005	21
Quadro 2 - Classificação segundo a NBR 7211 – 2005 - Ensaios especiais para agregado miúdo.	26
Quadro 3 – Traços utilizados no estudo.	29
Quadro 4 - valores obtidos através de ensaio de densidade	33
Quadro 5 - valores obtidos através de ensaio de densidade	35
Quadro 6 - Traços utilizados	45
Quadro 7 - Quadro dos traços e suas composições com os resultados de Slump test.	60
Quadro 8 – Valores obtidos através do ensaio de compressão.....	61
Quadro 9 – Valores obtidos através do ensaio de tração por compressão diametral.....	62
Quadro 10 - Granulometria agregado graúdo.....	63
Quadro 11 - Granulometria agregado miúdo (areia natural).	64
Quadro 12 – Granulometria agregado miúdo (areia de pedra).....	65

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Classificação segundo a NBR 7211 - 2005 - Faixa granulométrica do agregado miúdo.....	18
Tabela 2 - Densidades aparentes médias.....	22
Tabela 3 - Ensaios normatizados para caracterização dos agregados	27

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
1.1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	15
2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1.1. Concreto	16
2.1.2 Materiais utilizados	17
2.1.3 Propriedades importantes dos agregados	19
2.1.4 Agregados miúdos.....	21
2.1.5 Tipos de agregados.....	21
2.1.6 Influência dos agregados nas propriedades.....	22
2.2 AREIA DE PEDRA	23
2.2.1 Fabricação	24
2.2.2 Propriedades.....	26
2.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	27
CAPÍTULO 3	28
3.1. METODOLOGIA	28
3.2. COLETA DAS AMOSTRAS	28
3.3. TRAÇO UTILIZADO.....	29
3.4. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	29
3.4.1. Granulometria do agregado graúdo.....	29
3.4.2. Granulometria do agregado miúdo	30
3.4.3. Determinação da massa específica do agregado graúdo	32
3.4.4. Determinação da massa específica do agregado miúdo	34
3.5. CONFECÇÃO DAS MISTURAS	35
3.5.1. Mistura do concreto.....	35

3.5.2. Moldagem dos corpos de prova	37
3.6. ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO	39
3.6.1. Abatimento de Tronco de Cone	39
3.6.2. Ensaio de compressão simples	40
3.6.3. Ensaio de tração por compressão diametral	42
3.7. ANÁLISE DOS DADOS	44
CAPÍTULO 4	45
4.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES.	45
4.2. RESULTADOS SLUMP TEST	45
4.3. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....	49
4.3.1. Resistência a tração por compressão diametral.....	53
CAPÍTULO 5	55
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
CAPÍTULO 6	56
6.1. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	56
ReFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A – RESULTADOS DE ENSAIOS DE SLUMP TEST.....	60
APÊNDICE B – RESULTADOS DE ENSAIOS DE COMPRESSÃO.	61
APÊNDICE C – RESULTADOS DE ENSAIOS DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	62
APÊNDICE D – RESULTADOS DE ENSAIOS DE GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO.	63
APÊNDICE E – RESULTADOS DE ENSAIOS DE GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO.....	64
APÊNDICE F – RESULTADOS DE ENSAIOS DE GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO.....	65

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

cm – Centímetros;

g/cm³ – Grama por centímetros;

CP-II Z – Cimento Portland composto com pozolana;

F_{ck} – Resistência característica à compressão;

Kg – Quilograma;

Kg/m³ – Quilograma por metro cúbico;

mm – Milímetros,

MPa – Mega pascal;

NBR – Norma brasileira;

AMB – Agregado miúdo britado;

AMN – Agregado miúdo natural;

CP's – Corpos-de-prova;

TCC – Trabalho de conclusão de curso;

C – cimento;

AR – areia;

BR – brita;

AG – Água;

d – densidade ;

m – peso do agregado graúdo;

M_s - altura da água na proveta com água e material;

M_a - altura da água na proveta com água;

d₁ – densidade da areia natural/pedra;

M – peso do agregado miúdo;

P_{ag} - Peso do picnometro com água;

P_{com} - Peso do picnometro com agregado e completo com água;

CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil e, por isso, foi necessário o conhecimento de algumas características dos agregados para a sua composição. Segundo Mehta e Monteiro (1994), as características necessárias são: porosidade, massa específica, composição granulométrica, forma e textura superficial.

Segundo Barbosa, John (2000, *apud*, COURA E MENDES 2008), o consumo estimado de agregados naturais, somente na produção de concretos e de argamassas era, no ano 2000, de aproximadamente 220 milhões de toneladas. Buest (2006) afirma que o consumo chega a 395 milhões de toneladas (2008, *apud* BUEST, 2006). Estes dados fizeram com que as empresas de construção civil buscassem inovações alternativas de materiais, através de subprodutos, que trouxessem qualidade para a construção e substituíssem cada vez mais o material natural que estava escasso na natureza.

A areia é um agregado miúdo que tem uma granulometria entre 0,075 e 4,8 mm, sendo obtido através dos finos na produção da brita. (COSTA, 2005). Areia industrial, areia de pedra ou até mesmo areia artificial é um material que está trazendo benefícios para as empresas de britagem que a utilizam para venda, pois ela aproveita um material que seria descartado. Além disso, geralmente as centrais de britagem têm melhor acesso e ficam mais próximas das centrais de concreto, que são as que mais utilizam o material. No entanto, para que se permitisse a substituição total da areia natural, deveríamos chegar ao mais próximo possível da sua granulometria. Por isso, as empresas de equipamentos de britagem estão investindo cada vez mais em equipamentos para retirar os materiais finos da britagem.

De acordo com Neville e Brooks (2010), a areia e a brita são os agregados utilizados no concreto e $\frac{3}{4}$ do seu volume é ocupado pelos agregados. Então, era de se esperar que sua qualidade fosse de grande importância. Entre os agregados, o que se tinha mais dificuldade em encontrar seria a areia natural, pois está cada dia mais difícil a extração devido as exigências ambientais. Além disso, está cada vez mais longe dos grandes centros os pontos de extração, fazendo com que o custo do frete aumente cada vez mais, tornando maior também o custo da areia.

Neste sentido, o objetivo deste estudo foi analisar a influência do uso de pedra nas propriedades, tanto no estado fresco quanto no endurecido de concretos convencionais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a influência do uso da areia de pedra nas propriedades no estado fresco e endurecido de concretos convencionais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar os danos ao meio ambiente que são causados pela extração da areia de pedra;
- Analisar a coesão do concreto por meio do *slump test*;
- Analisar a resistência à compressão e à tração do concreto nas idades de 7 e 28 dias;
- Comparar a resistência e trabalhabilidade, de concretos com diferentes teores de areia de pedra.

1.2 JUSTIFICATIVA

A utilização da areia natural nas construções tem sido um grande problema nos últimos tempos, vindo a ser muito frequente a dificuldade de encontrar o material. O maior problema seria conseguir liberação para explorar locais com o material desejado devido a sua escassez. A falta do material se tornava cada dia mais frequente, causando certo desconforto e dificuldade, pois é um agregado essencial na fabricação do concreto, fazendo parte do agregado miúdo, que por sua vez é 75% do concreto. (AOKI, 2009)

A comercialização do agregado é muito grande e cada dia aumenta ainda mais, pois em torno de 70% do volume de uma obra é agregado. Assim, a exploração da areia natural está cada dia mais difícil, pois o seu custo está cada vez mais alto devido a fretes de longa distância. (AOKI, 2009)

A areia artificial que é retirada através da britagem de rocha é um material de inovação no mercado. O trabalho foi feito para verificação de características específicas do concreto com a substituição da areia natural pela areia de pedra.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Quais são as influências nas propriedades no estado fresco e endurecido de concretos confeccionados com areia de pedra em relação a areia natural ? Quais suas vantagens e desvantagens?

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Para analisar os resultados foram elaborados dois tipos diferentes de concreto utilizando como base o traço 1:1,84:1,99:0,5 com cimento CP II-Z, brita 0, água e areia natural de rio e outro com a substituição parcial até a substituição total da areia de pedra nos teores de 10%, 20%, 80% e 100% de areia de pedra. Foi realizado o ensaio de *slump test* para determinar a trabalhabilidade e moldados 64 corpos de prova cilíndrico de 10x20 cm para rompimento de 12 corpos de prova aos 7 dias por compressão e aos 28 dias foram rompidos 52 corpos de prova sendo 18 rompidos por tração a compressão diametral e 34 por compressão.

Todos os ensaios foram realizados no laboratório da FAG e os materiais foram comprados em lojas de materiais de construção pelo acadêmico; a areia de pedra foi extraída da pedreira Ubiratã.

CAPÍTULO 2

2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1. Concreto

O material mais utilizado na construção civil é o concreto, que é a mistura adequada de materiais como: cimento, água e agregados. No princípio não existia uma dosagem correta, apenas se utilizava os traços já existentes e que teriam dado certo, mas com o passar dos tempos foram surgindo técnicas de cálculo, fazendo com que o concreto tivesse progressos notáveis. (MEHTA e MONTEIRO, 1994; RODRIGUES, 1998)

Segundo Rodrigues (1998), a utilização do concreto como material de construção remonta desde a época dos romanos, quando era utilizado um material semelhante, tendo como aglomerante uma mistura de cal e cinza vulcânica (pozolana natural). Com este material foram realizadas notáveis obras da engenharia.

Em muitos países o consumo de concreto chega a ser 10 vezes maior que o do aço, mesmo o aço tendo maior resistência e tenacidade. Ainda assim o concreto é mais utilizado, pois existe uma excelente resistência à água e por isso é utilizado em canalizações para conduzir água, em barragens, canais e tanques para estocagem, devido também à durabilidade em tipos de águas agressivas. (MEHTA e MONTEIRO, 1994)

Existe também o concreto armado, que contém barras de aço, utilizado para elementos estruturais expostos à umidade, levando em consideração que os dois materiais trabalham juntos, como em estacas, fundações, sapatas, pisos, vigas, pilares, entre outros. (MEHTA e MONTEIRO, 1994)

Ao prepararmos o concreto, devemos ter muito cuidado com a qualidade e a quantidade de água que será utilizada, sendo a água a responsável pela ativação química que transforma o cimento em pasta aglomerante. Por isso a importância e necessidade de utilizar a quantidade certa, pois se utilizarmos pouca água a reação será interrompida e se for maior que o necessário, diminuirá a resistência. (PORTAL DO CONCRETO, S.D.)

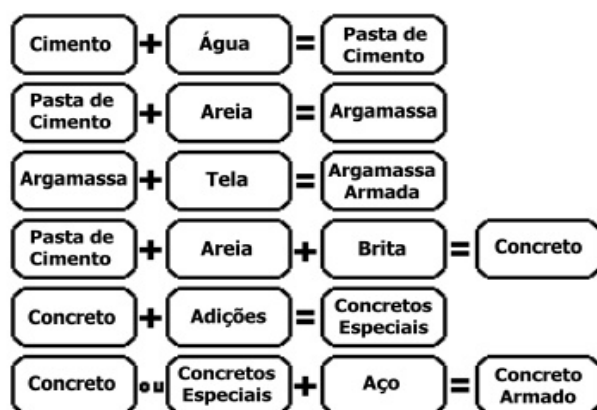
Devemos tomar cuidado com a distribuição granulométrica do concreto, pois deverá preencher todos os vazios presentes no concreto, sendo que a porosidade influencia diretamente na permeabilidade e na resistência das estruturas de concreto. (PORTAL DO CONCRETO, S.D.) A mistura pode ser tanto manual quanto mecânica. A mistura manual é feita em pequenos volumes ou em obras de pequeno porte. Deverá ser feita em uma superfície

plana, impermeável e resistente. Primeiro mistura-se os materiais secos, que são o cimento e os agregados até obter uma cor uniforme. Após, inserir água aos poucos até obter um aspecto uniforme. Será permitida a mistura de, no máximo, 100 kg de cimento por vez. (BAUER, 2000)

As misturas mecânicas são feitas através de máquinas especiais conhecidas como betoneiras. O material será colocado em betoneiras que trabalhem como caçamba carregadora, na seguinte ordem e percentuais: 50% do agregado graúdo, 100% do agregado miúdo, 100% do cimento e os 50 % restante do agregado graúdo; a água será inserida ao mesmo tempo em que os outros componentes do concreto. Já em betoneiras comuns, geralmente coloca-se a água e, em seguida, o agregado graúdo. Após, insere-se o cimento e, finalmente, o agregado miúdo. Tudo deverá ser misturado o tempo necessário, sem interrupção, até a mistura ficar homogênea. Existem dois modelos de funcionamento nas betoneiras: as betoneiras de queda livre ou gravidade, que produzem a mistura através de pás internas, levando o material até a parte superior e o deixando cair, pela gravidade ou queda livre, e as betoneiras de mistura forçada, que misturam o material mais rapidamente, misturando-o através do movimento da cuba e das pás. (BAUER, 2000)

Existem composições diferentes de concreto, como mostra a Figura 1.

Figura 1- Composições de concreto



Fonte: Portal do concreto, (S.D.)

2.1.2 Materiais utilizados

Os materiais utilizados serão: agregado miúdo (areia de porto e areia artificial), agregado graúdo (brita 1), cimento do tipo CP-II e água.

A areia como material de construção é considerado como agregado miúdo e provém de rios, cavas, britagem, escória, praias e dunas. Segundo a NBR 7211(2009,*apud* BAUER, 2000), a areia é dividida em quatro faixas: muito fina, fina, média e grossa, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação segundo a NBR 7211 - 2005 - Faixa granulométrica do agregado miúdo.

Peneiras	Porcentagem retida			
	Faixa 1 (muito fina)	Faixa 2 (fina)	Faixa 3 (média)	Faixa 4 (grossa)
6,3	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40
1,2	0 a 10	0 a 25	10 a 45	30 a 70
0,6	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3	50 a 85	60 a 88	70 a 92	80 a 95
0,15	85 a 100	90 a 100	90 a 100	90 a 100

Fonte: Bauer, (2000).

A areia de pedra é obtida através dos finos da britagem. A maior fonte consumidora da areia de brita é a técnica de preparo de concreto, permitindo ser utilizado o material vindo do processo elaborado a seco. A granulometria média da areia de brita é 0,15/4,8. (BAUER, 2000)

Segundo Tiecher (2003, *apud* COSTA, 2005), “a areia artificial é um produto alternativo, que causa menor degradação ao meio ambiente. Se utilizada para levantamento de alvenarias, denota maior aderência que a areia natural, pois possui grãos mais angulosos e ásperos”.

A brita 1 utilizada como agregado graúdo é o material britado já no estado final da bica. Tem granulometria segundo a NBR 7225(1993) de 4,8 mm a 100,0 mm. Conforme a utilização da brita, ela tem várias subdivisões granulométricas e, segundo Bauer (2000), a pedra britada é dividida em cinco categorias: o pedrisco e as pedras de 1 a 4 (a numeração da brita diferencia de pedreira para pedreira).

A água é o material que se deverá tomar mais cuidado na hora da utilização, pois deve ser acrescentada aos poucos. Pode-se utilizar qualquer água que tenha pH entre 6 e 8, sem sabor salino ou salabro. A qualidade da água é importante, pois impurezas presentes nela

podem interferir em sua pega, afetar sua resistência à corrosão e causar manchas externas, podendo levar ainda à corrosão das armaduras.

Segundo Neville e Brooks (2013), os antigos romanos foram, provavelmente, os primeiros a utilizarem um concreto baseado em cimento hidráulico, que é um material que endurece pela ação da água.

A mistura de argila, calcário, materiais silicosos, alumina e materiais que contenham óxido de ferro é dado por *cimento portland*. A mistura é queimada na temperatura de clinquerização. A produção consiste em moer a matéria prima crua, até a obtenção de um pó necessariamente muito fino, antes mesmo de fazer a queima, sendo necessário até 1400 °C para a queima. A mistura pode ser feita tanto com a utilização de água quanto a seco. (NEVILLE e BROOKS, 2013)

O cimento utilizado será o tipo II, o *cimento portland* composto, que tem maior durabilidade e menos porosidade. É o mais utilizado, pois resiste a ambientes agressivos, como esgoto e chuva ácida, e é utilizado também em fundações e barragens. (EQUIPEDEOBRA, 2008)

2.1.3 Propriedades importantes dos agregados

Segundo Bauer (2000), uma das propriedades do cimento é a densidade: considerada 3,15 podendo variar para valores inferiores. Na pasta de cimento o valor da densidade varia com o tempo e aumenta na medida em que aumente a hidratação, o que é conhecido como retração e ocorrem nas pastas, argamassas. Em 24 h pode atingir cerca de 7 mm/m na pasta pura, 4,5 mm/m na argamassa padrão e 2mm/m em concretos dosados.

A finura é relacionada com o tamanho dos grãos do produto. Existem duas maneiras de definir: pelo tamanho do grão, pelo peso retido em peneiramento quando há especificações e pela soma das superfícies dos grãos. A finura é quem define a velocidade da reação de hidratação e quanto maior a finura, melhor a resistência de primeira idade, aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão, sendo definida a finura naturalmente no processo de fabricação e também nos ensaios de recepção do cimento. (BAUER, 2000)

São prescritos limites de retenção de material na peneira 200, onde o cimento comum não deve ultrapassar 15%; já os de alta resistência inicial diminuem para 6%. (BAUER, 2000)

O cimento e a água, e a reação conhecida como tempo de pega, que é o enrijecimento da pasta de cimento, pega e a mudança do estado fluido para o rígido, o início da pega é considerado uma rápida elevação e o fim de pega relaciona-se com um alto valor de

temperatura, devemos diferenciar o início e o fim de pega com a falsa pega que na maioria das vezes ocorrem após poucos minutos da mistura com a água. Na falsa pega não há liberação de calor, podendo assim remisturar o concreto sem sequer a adição de água; já a pega instantânea que ocorre poucos minutos após a mistura com a água é caracterizada pela liberação de calor. (NEVILLE e BROOKS, 2013)

A resistência é determinada através de vários ensaios: tração direta, compressão e flexão. Os ensaios de tração foram substituídos pelos ensaios de compressão. (NEVILLE e BROOKS, 2013).

A resistência mecânica dos cimentos é determinada através da ruptura dos corpos de prova. Molda-se a argamassa em corpo de prova com base de 125 e 80 mm e com altura 65 mm sobre uma placa lisa utilizando a NBR NM 67 (1998). (BAUER, 2000)

Os agregados têm como propriedades a massa específica, que é a massa que constitui o agregado. A determinação da massa específica é estabelecida conforme a NBR 9976. Tem também a massa específica, que é a massa da unidade de volume do agregado, determinada também para agregados adensados, utilizando a NBR 7810. (BAUER, 2000)

A porosidade também é uma das propriedades do agregado. É a relação entre o volume dos vazios existentes e o volume do agregado. A compactidade é a relação entre o volume total ocupado pelos grãos e o volume do agregado; no agregado a compactidade e a porosidade não são constantes. O índice de vazios é a diferença de volume de vazios e o volume total dos grãos; e o módulo de finura é a soma das porcentagens retidas em cada peneira e divididas por 100. (BAUER, 2000)

A granulometria dos agregados é considerada uma propriedade muito importante. É determinada através de peneiras e, segundo Bauer (2000),

Se um determinado agregado é retido em peneira (malhas quadradas) de abertura de dimensão a, e passa na peneira de abertura de dimensão b, pode ser denominado agregado a/b. Esta relação denomina-se graduação do agregado, recebendo as dimensões a e b o nome genérico de diâmetro. (BAUER, 2000, p. 90)

A utilização da água é essencial. Deve ocorrer em quantidade correta, pois elevados teores de água podem comprometer sua resistência mecânica e quanto maior a quantidade de água, menor será a tensão de escoamento. (MELO, 2005)

2.1.4 Agregados miúdos

É conhecido como agregado todo material granular que tenha forma e volume diferente e com dimensões e propriedades para utilização na construção civil. Os agregados são classificados como agregados naturais, que são retirados da natureza, direto para o consumo, e os agregados artificiais, que são aqueles que necessitam da ação do homem por meio da utilização de processos industriais (VIACELLI, 2012).

Segundo NBR 7211(2005), os agregados cujos grãos passam pela peneira de abertura de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 150 mm em ensaio realizado, é classificado como agregado miúdo. Independente do custo, o uso do agregado no concreto é vantajoso (NEVILLE E BROOKS, 2013).

As substâncias nocivas também são definidas pela NBR 7211 (2005), no Quadro 1.

Quadro 1 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material – 2005

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado miúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218		3,0
Materiais carbonosos ¹⁾	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5,0
Impurezas orgânicas ²⁾	ABNT NBR NM 49		A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução-padrão
	ABNT NBR 7221	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência à compressão comparativos	10 %

¹⁾ Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTM C 123).

²⁾ Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura do que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na ABNT NBR 7221.

Fonte: NBR 7211, (2005).

2.1.5 Tipos de agregados

Segundo Bauer (2000), o termo agregado é de uso generalizado na tecnologia do concreto; nos outros ramos da construção é conhecido, conforme cada caso, pelo nome

específico: fíler, pedra britada, bica-corrida, rachão, entre outros. Os agregados serão classificados segundo sua origem, peso específico, e as dimensões das partículas.

A origem pode ser natural, que são os que se encontram na natureza, como a areia e o cascalho, e os artificiais que são os que necessitam ser industrializados, sendo a matéria prima a rocha e o material obtido a pedra britada. (BAUER, 2000)

Segundo a dimensão poderão ser classificados como miúdo que podem ser as areias ou qualquer material, segundo NBR 7211(2005), passante na peneira 4,75mm e retido na 150 mm, e o graúdo que pode ser as pedras britadas de diferentes dimensões desde que, segundo NBR 7211 (2005), passem pela peneira 75 mm e fiquem retidos na peneira 4,75. (BAUER, 2000)

O peso específico aparente é determinado entre leve, médio e pesado. A tabela 3 representa a classificação dos materiais.

Tabela 2 - Densidades aparentes médias.

<i>Leves</i>		<i>Médios</i>		<i>Pesados</i>	
vermiculita	0,3	calcário	1,4	barita	2,9
argila expandida	0,8	arenito	1,45	hematita	3,2
escória granulada	1	cascalho	1,6	magnetita	3,3
		granito	1,5		
		areia	1,5*		
		basalto	1,5		
		escória	1,7		

* está é a densidade aparente média da areia "seca ao ar". Ver 4.3.2.1.a.

Fonte: Bauer, (2000).

2.1.6 Influência dos agregados nas propriedades

A propriedade dos agregados, como a forma, tem maior influência na resistência à flexão, de que em ensaios de resistência à tração ou até mesmo compressão, devido à presença de um gradiente de tensões que retarda a fissuração que é o que leva o concreto à ruptura. Isso faz com que agregados angulosos tenham maior resistência à flexão que os agregados arredondados, principalmente em mistura com baixa relação de água/cimento. O agregado arredondado requer menor quantidade de água que o anguloso. Portanto, suas resistências serão semelhantes. (NEVILLE e BROOKS, 2013)

2.2 AREIA DE PEDRA

A areia de pedra é um material obtido através dos finos resultantes da produção da brita. É considerado um agregado miúdo que também é considerado artificial, pois provém de britagem. A areia de pedra é uma das alternativas de substituição do agregado miúdo natural e o agregado miúdo resultante de britagem de rochas. O material é denominado bica corrida e considerado rejeito em pedreiras, pois é o que contém menores granulometrias descartadas da produção de pedra britada. (TEODORO, 2013)

A areia artificial, tal como a natural, tem várias classificações. A areia média fina, que tem de 0,075 a 1,2 mm e é utilizada em levantamento de alvenarias e reboco e serviços em que são utilizadas as argamassas em geral. A areia média a grossa que vai de 0,075 a 4,8 mm, e é utilizada em pré-fabricados, concretos estruturais, entre outros e existe também a granilha, que é retirada dos finos da britagem. Sua granulometria é de 4,8 mm e pouca percentagem de finos da peneira. 0,075 é utilizado para asfaltos, concretos compactos, pré-fabricados e até mesmo para salpique em reboco de alvenaria. (COSTA, 2005)

Levamos em conta também que a areia artificial é considerada inovação no mercado de trabalho, considerado um produto alternativo com ótimo custo/benefício, uma notável redução de matéria prima e inovando, pois a produção pode ser feita nos canteiros de obra das pedreiras mais próximas à obra. (COSTA, 2005)

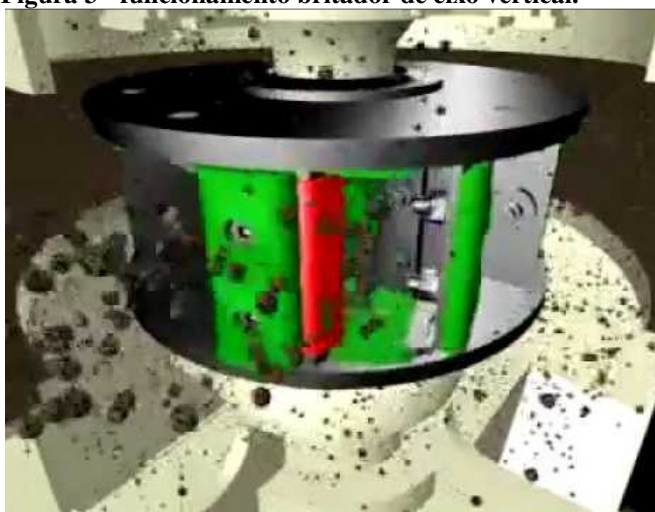
O britador utilizado para retirar a areia industrial pode ser o que está representado nas figuras 2 e 3. O diferencial do britador de eixo vertical é que a rocha é alimentada na máquina para triturar a si mesma, fazendo com que diminua a lamelaridade da brita e surja a areia artificial. (METSO, 2013)

Figura 2 - Britador de eixo vertical



Fonte: Metso, (2013).

Figura 3 - funcionamento britador de eixo vertical.



Fonte: Metso, (2013).

2.2.1 Fabricação

Segundo Viacelli (2012), existem duas possibilidades de produção de areia industrial, sendo um a seco como mostra a figura 4 e outro úmido. Quando o processo ocorre a seco, chama o material extraído de pó de pedra. Se o processo ocorre a úmido, resultam dois materiais: o agregado miúdo britado e uma lama resultante do material pulverulento. A lama é enviada para bacias ou lagos de decantação.

Hoje, no mercado, já existem britadores utilizados para a produção do agregado miúdo britado, o que traz viabilidade econômica, sem a necessidade de passar pelo processo a

úmido, não gerando os lagos de decantação, a porcentagem gerada de materiais fino durante a britagem varia devido vários fatores, como as condições do uso do equipamento, o equipamento utilizado, e o local de onde são extraídas as rochas. (VIACELLI, 2012)

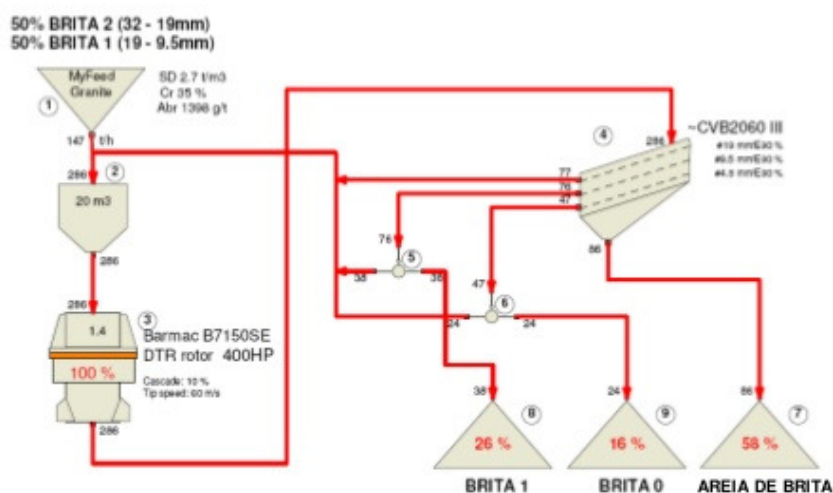
Segundo Almeida e Sampaio (2002, *apud* BUEST NETO, 2006), devido à disponibilidade dos novos equipamentos de britagem, como os de impacto de eixo vertical da figura 3, tornou-se mais fácil a extração da areia de pedra, pois o equipamento supera uma das principais restrições para utilização do material, que é a dificuldade na trabalhabilidade do concreto, provocada pelo formato inadequado dos grãos. O equipamento retira toda a lamelaridade e o formato alongado da brita. Isso acontece devido à forma com que o britador trabalha: por meio de impacto, rocha contra rocha.

Figura 4- Processo de produção de areia de pedra via seca

PROCESSO VIA SECA

CIRCUITO DEDICADO

PRODUÇÃO SIMULTÂNEA DE BRITAS



- Menor controle sobre a curva da areia
- Obtenção de britas de forma superior



Fonte: Metso,(2013).

2.2.2 Propriedades

Segundo luz e lins (2005, *apud* BGS, 2004), “as areias de construção são usadas por suas propriedades físicas, enquanto as areias industriais são valorizadas por suas propriedades físicas e químicas”.

Existe uma vasta variação nas propriedades físicas e composições químicas das areias industriais. Sua matéria prima é de minerais de origem secundária, encontrando-se no domínio dos sedimentos e nas rochas sedimentares. (LUZ E LINS, 2005)

Segundo a NBR 7211(2005), em regiões e concretos específicos são necessários alguns requisitos citados no quadro 2.

Quadro 2 - Classificação segundo a NBR 7211 – 2005 - Ensaios especiais para agregado miúdo.

Propriedades físicas	Método
Massa específica	ABNT NBR NM 52
Massa unitária	ABNT NBR 7251
Absorção de água	ABNT NBR NM 30
Inchamento	ABNT NBR 6467
Teor de partículas leves	ABNT NBR 9936
Umidade superficial	ABNT NBR 9775

Fonte: NBR 7211, (2005).

2.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

A tabela 3 mostra os ensaios de caracterização dos agregados, apresentando a norma utilizada, a importância do ensaio e o assunto em que ela está relacionada.

Tabela 3 - Ensaio normatizados para caracterização dos agregados .

Característica	Importância	ASTM*	Nº do Método ABNT	Critério ou Assunto relacionado
Resistência à abrasão e desintegração	Índice de qualidade do agregado; resistência ao desgaste de pisos, pavimento	ASTM C 131 ASTM C 535 ASTM C 779	NBR 6465/84	Porcentagem máxima de perda de massa Profundidade e tempo de desgaste
Resistência ao congelamento e degelo	Escamamento superficial, espessura, perda de seção e esburacamento	ASTM C 666 ASTM C 682		Nº máximo de ciclos ou período p/ resistir ao congelamento fator durabilidade
Resistência à desintegração por sulfatos	Durabilidade sob ação do intemperismo	ASTM C 88	NBR 12695/92 NBR 12696/92 NBR 12697/92	Perda de massa, partículas danificadas
Forma da partícula e textura superficial	Trabalhabilidade do concreto fresco	ASTM C 295 ASTM D 3398	NBR 7809/83	Porcentagem máxima de partículas lamelares ou alongadas
Composição granulométrica	Trabalhabilidade do concreto fresco; economia	ASTM C 117 ASTM C 136	NBR 7217/87	Porcentagens máximas e mínimas passantes em peneiras normalizadas
Massa unitária	Cálculos de dosagem; classificação	ASTM C 29	NBR 7810/83 NBR 7251/82	Massa compactada e massa no estado sólido
Massa específica	Cálculos de dosagem	ASTM C 127, agr. Miúdo ASTM C 128, agr. graúdo	NBR 9776/87 NBR 9937/87	-
Absorção e umidade superficial	Controle da qualidade do concreto	ASTM C 70 ASTM C 127 ASTM C 128 ASTM C 566	NBR 9775/87 NBR 9777/87 NBR 9937/87 NBR 9939/87	-
Resistência à compressão e à flexão	Aceitação de agregado miúdo reprovado em outros testes	ASTM C 39 ASTM C 78	NBR 7221/87	Resistência maior do que 95% da resistência obtida com areia limpa
Terminologia e definição dos constituintes	Entendimento e comunicação inequívocos	ASTM C 125 ASTM C 294	NBR 9935/87 NBR 7225/82 NBR 09942/87	-
Constituintes dos agregados	Determinação do teor de materiais deletérios e orgânicos	ASTM C 40 ASTM C 87 ASTM C 117 ASTM C 123 ASTM C 142 ASTM C 295	NBR 7220/87 NBR 7221/87 NBR 7219/87 NBR 9936/87 NBR 7218/87 NBR 7389/92	Porcentagem máxima individual dos constituintes
Resistência à reatividade com álcalis e variação de volume	Sanidade contra a mudança de volume	ASTM C 227 ASTM C 289 ASTM C 295 ASTM C 342	NBR 9773/87 NBR 9774/87 NBR 7389/92 NBR 10340/88	Expansão máxima, teores de sílica e dos constituintes alcalinos

Fonte: Siqueira, (2008).

CAPÍTULO 3

3.1. METODOLOGIA

Os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova foram coletados na pedreira Ubiratã. Coletou-se 100 kg de cada material utilizado, sendo que como na pedreira não é feita a separação da areia, coletou-se o pó de pedra através do auxílio da mesa vibratória e das peneiras como mostra figura 5. Foram peneirados 100 kg de pó para obter a quantidade necessária de areia artificial.

Figura 5 - Mesa vibratória



Fonte: Autor, (2016)

Foram feitas análises dos materiais anteriormente da confecção dos cp's, analisou-se a granulometria e a densidade de cada um dos materiais utilizados, após todas as análises prontas, calculou-se a quantidade de material necessária para cada traço e iniciou-se a confecção dos corpos de prova.

3.2. COLETA DAS AMOSTRAS

Foram feitos ensaios com os materiais coletados para analisar a massa específica do material, para calcula-se então a quantidade de material que será utilizado em cada traço. Utilizando a NBR NM 30 (2000) para determinar a absorção de água do agregado miúdo a NM 52 (2002) determina a massa específica também do agregado miúdo a NM 53 (2000)

determina a massa específica e a absorção de água do agregado graúdo e a NBR 7211(2009) que determina os agregados para o concreto e foi utilizado para o ensaio de granulometria do material.

3.3. TRAÇO UTILIZADO

Foram confeccionados concretos com resistência característica à compressão de 25 MPa, utilizando o cimento CP II-Z, areia natural, areia de pedra, brita 0 e água. O traço utilizado foi definido através do TCC do aluno Luiz Fernando Fabro Haas (2014), a areia natural foi substituída parcialmente pela areia de pedra utilizando teores de 10%, 20%, 80%, 90% e 100%. As substituições efetuadas foi definido em relação ao tcc do Luiz Fernando Fabro Haas (2014), estão todas no quadro 3 a seguir.

Quadro 3 – Traços utilizados no estudo.

Traço	Teores de substituição	C	AR. NAT	AR. PEDRA	BR	AG
T-1	100% Areia Natural	1	1,84	0	1,99	0,5
T-2	90% Areia Nat. e 10% Areia de pedra	1	1,656	0,184	1,99	0,4
T-3	80% Areia Nat. e 20% Areia de pedra	1	1,51	0,38	1,99	0,4
T-4	20% Areia Nat. e 80% Areia de pedra	1	0,38	1,51	1,99	0,5
T-5	10% Areia Nat. e 90% Areia de pedra	1	0,184	1,656	1,99	0,5
T-6	100% Areia de pedra	1	0	1,84	1,99	0,5

Fonte: Autor, 2016

Após executar os traços, um de cada vez, foi realizado o *slump* e moldado 9 corpos de prova para o primeiro traço e 11 para os demais traços os corpos de prova são de dimensões 20x10 e as análises serão feitas com 7 e 28 dias.

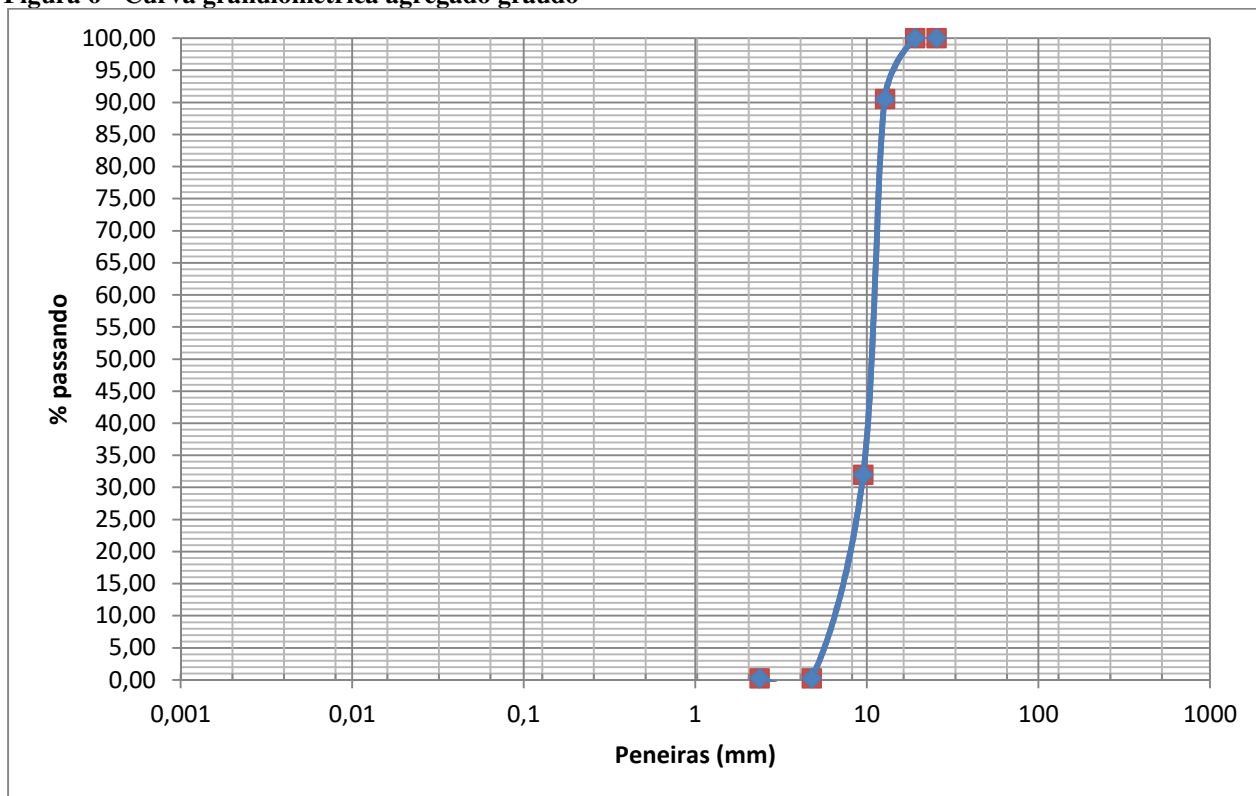
3.4. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

3.4.1. Granulometria do agregado graúdo

A granulometria do agregado graúdo foi feita com o jogo de peneiras de malha, #25,4; #19; #12,7; #9,5; #4,75; #2,36 e o fundo, utilizando a mesa vibratória para uma melhor análise granulométrica. O quadro 4 encontrado na apêndice D nos mostra a quantidade de

material retida em cada peneira. Através do quadro quatro conseguimos obter a curva granulométrica representada à figura 6.

Figura 6 - Curva granulométrica agregado graúdo



Fonte: Autor, (2016)

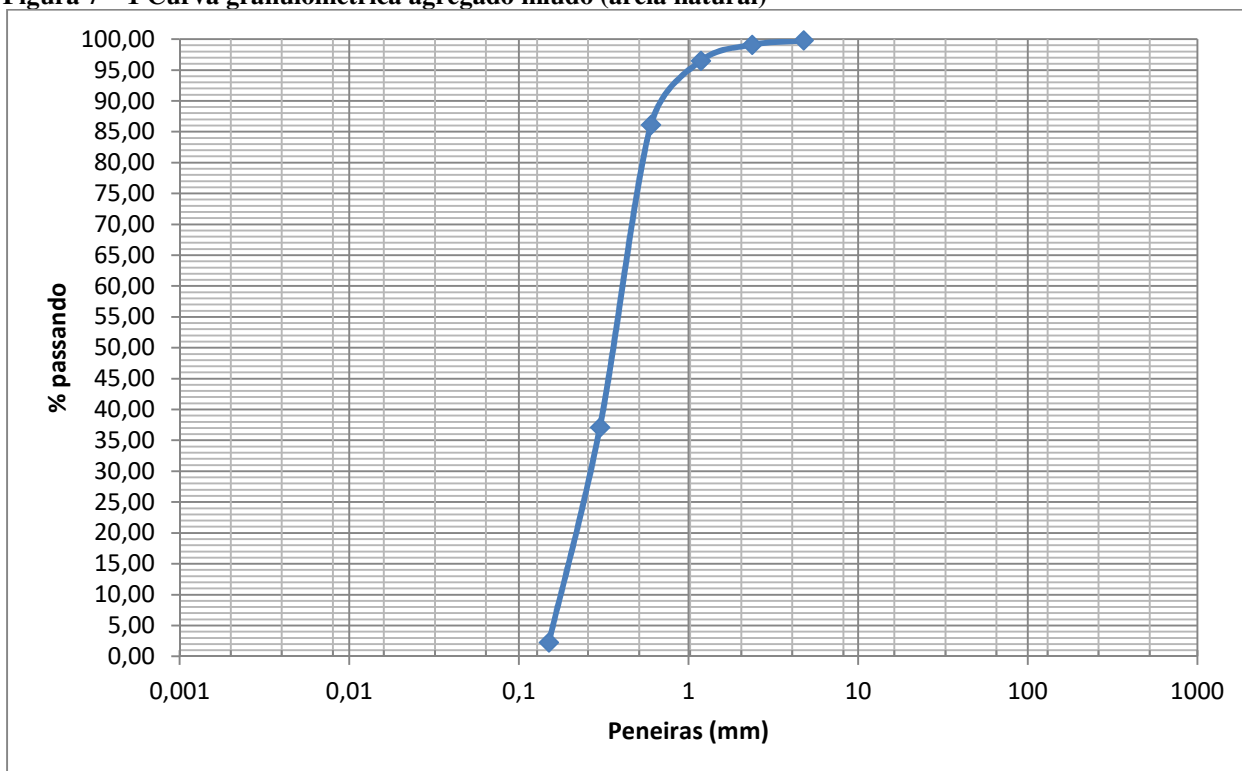
A faixa granulométrica do agregado graúdo por norma é 75mm á 12,5mm.

O agregado graúdo utilizado para a elaboração dos cp's é denominado como brita 0, tendo como diâmetro máximo 12,5 mm e diâmetro mínimo 2,36 mm tendo como modulo de finura 1,77.

3.4.2. Granulometria do agregado miúdo

Foram feitas duas granulometrias para os agregados miúdos, uma para areia natural e uma para a areia de pedra. Para a areia natural utilizam-se o jogo de peneiras de malha #4,75; #2,36; #1,18; #600; #300; # 150 e, o fundo, sendo apresentado no quadro 5 que está no apêndice E quanto ficou retido em cada peneira e através do quadro obteve-se a curva granulométrica (figura 7).

Figura 7 – 1 Curva granulométrica agregado miúdo (areia natural)



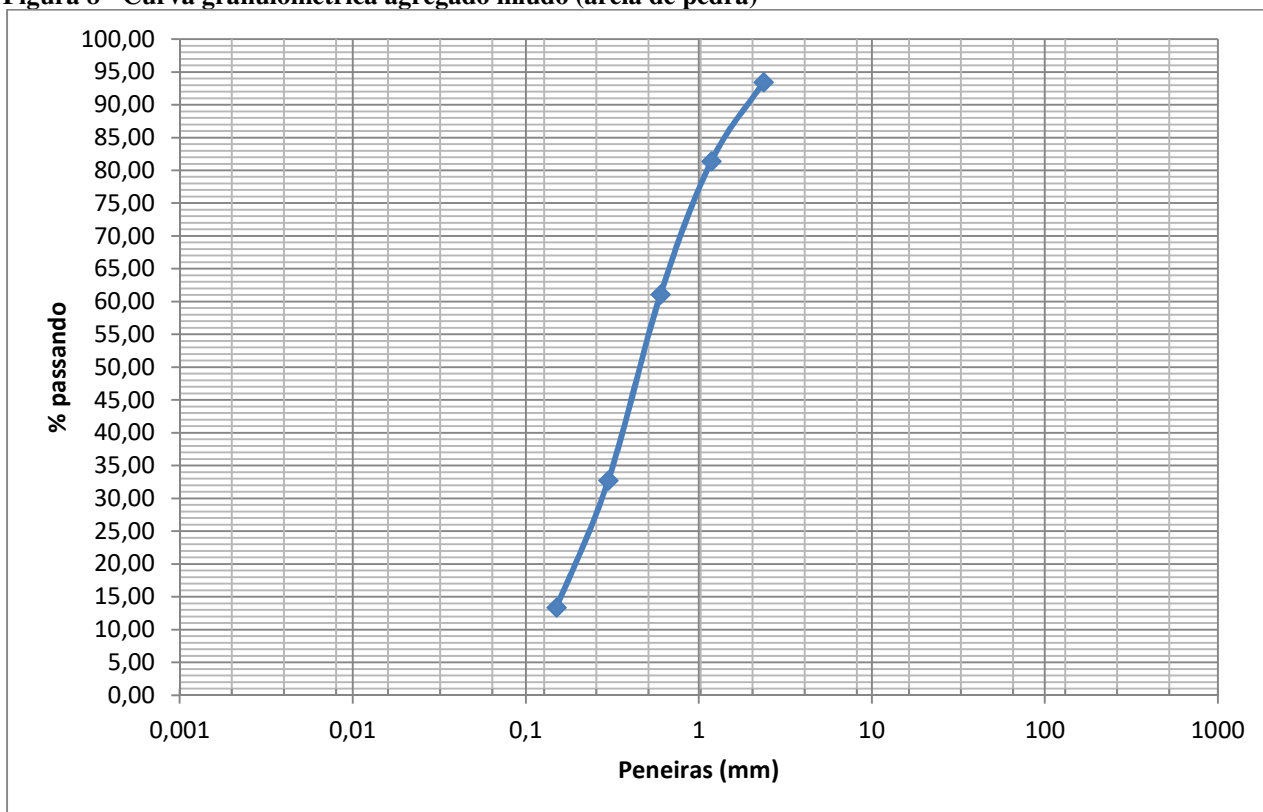
Fonte: Autor, (2016)

A areia natural utilizada para a confecção dos cp's foi a areia média tendo como diâmetro máximo, 4,75mm e diâmetro mínimo 0,15 mm, e o seu módulo de finura de aproximadamente 1,8.

A faixa granulométrica do agregado miúdo definida pela NBR 7211 (2009), é 9,5mm á 150 μ m. E para a areia natural utilizamos a granulometria definida por norma e para a areia de pedra foi utilizada as peneiras de 2,36 a 150 μ m.

Para a areia de pedra foi utilizado o jogo de peneira, #1,18; #600; #300; #150; #75 e o fundo. O quadro 6 que está na apêndice F apresenta o material que ficou retido em cada peneira e a figura 8 mostra a curva granulométrica.

Figura 8 - Curva granulometrica agregado miúdo (areia de pedra)



Fonte: Autor, (2016)

Para a areia de pedra encontra-se como diâmetro máximo de 2,36 e mínimo de 0,15 e o modulo de finura é de 2,18.

3.4.3. Determinação da massa específica do agregado graúdo

Para a determinação da massa específica do agregado graúdo utilizam-se a NBR NM 53 (2003). Fez-se necessário a utilização de uma proveta com 200 ml de água (figura 9), após colocarmos a água, inseriu-se 150 g do agregado graúdo seco (figura 10), fazendo com que a água subisse até 250 ml, com os dados obtidos conclui-se a massa específica do agregado graúdo através da equação.

Equação 1:

$$d = \frac{m}{M_s - M_a}$$

Onde :

d= densidade (g/cm³)

m= peso do agregado (g)

M_s= altura da água na proveta com água e material(cm)

M_a= altura da água na proveta com água (cm)

Quadro 4 - valores obtidos através de ensaio de densidade

Agregado graúdo	
D (g/cm ³)	3
M (g)	150
Ms (cm)	250
Ma(cm)	200

Fonte, autor (2016)

Figura 9 - Proveta com 200 ml de água

Fonte: Autor, (2016)

Figura 10 - Proveta com 200 ml de água e 150g de agregado graúdo



Fonte: Autor, (2016)

3.4.4. Determinação da massa específica do agregado miúdo

Para a determinação da massa específica do agregado miúdo, fez – se necessário o uso de um picnômetro, um funil e a balança (figura 11). Pesou primeiramente 150g de material seco, após o picnômetro completo com água, retirou um pouco da água e com a ajuda do funil colocou o agregado dentro do picnômetro e completou novamente com água voltando a pesá-lo como mostra a figura 11. Com os resultados obtidos resolvemos a seguir na equação 2:

$$d_1 = \frac{M}{P_{ag} - (P_{com} - M)}$$

Onde:

d_1 = Densidade da areia natural/pedra (g/cm³)

M = Peso do agregado (g)

P_{ag} = Peso do picnômetro com água (g)

P_{com} = Peso do picnômetro com agregado e completo com água (g)

Quadro 5 - valores obtidos através de ensaio de densidade

Agregado miúdo		
	Areia natural	Areia de pedra
d (g/cm ³)	2,650176678	2,879078695
M (g)	150	150
Pag (g)	601,4	601,4
Pcom (g)	694,8	699,3

Fonte, autor (2016)

Figura 11 - Picnometro com agregado e água

Fonte: Autor, (2016)

3.5. CONFEÇÃO DAS MISTURAS

3.5.1. Mistura do concreto

A mistura foi feita após umedecer a betoneira e pesar os materiais individualmente e um traço de cada vez. Para cada traço pesou-se areia natural, areia de pedra, brita 0, cimento e inclusive a água.

Na fabricação do concreto os materiais foram inseridos manualmente e em etapas na betoneira como mostra a figura 12, adicionando primeiro agregado graúdo após 50% da água, seguindo do cimento e do restante da água, e por último o agregado miúdo. A betoneira

misturou o material por 7 a 8 minutos, como mostra a figura 13, podendo verificar após a finalização da fabricação do concreto o *slump* e moldar os corpos de prova necessários.

Figura 12 - Materiais sendo inseridos na betoneira



Fonte: Autor, (2016)

Figura 13 - Concreto sendo misturado na betoneira



Fonte: Autor, (2016)

3.5.2. Moldagem dos corpos de prova

Foram feitos 11 corpos de prova conforme NBR 5738 (2004), para cada traço realizado, os corpos de prova são cilíndricos de dimensões 10x20, e foram feitos para analisarmos a resistência a compressão e a resistência a tração.

Antes mesmo de proceder à moldagem dos corpos de prova foi necessário preparar os moldes de corpo de prova passando em cada um dele uma camada fina de óleo desmoldante. Em seguida colocou-se duas camadas de concreto e em cada uma das camadas aplicou-se 12 golpes manuais para o adensamento do concreto conforme a figura 14.

Figura 144 - Moldagem dos Corpos de prova



Fonte: Autor, (2016)

Após 24 horas da moldagem dos corpos de prova, eles foram desmoldados (figura 15), nomeados e armazenados em câmara úmida até o momento do ensaio sendo com 7 e 28 dias.

Figura 155 - Corpos de prova desmoldados e identificados armazenados em câmara úmida.



Fonte: Autor, (2016)

3.6. ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

3.6.1. Abatimento de Tronco de Cone

Foi realizado para cada traço um ensaio de abatimento do tronco de cone (figura 16), utilizando a NBR NM 67 (1998), onde o cone e a base utilizados no ensaio e fabricados de metal não facilmente atacado pela pasta de cimento e a haste e feita de aço, o procedimento é simples, umedecer a placa e o molde, e preencher o molde com três camadas de aproximadamente um terço da altura do cone, cada camada e necessário compactar com 25 golpes utilizando a haste de adensamento. Após o preenchimento do cone levantou-se cuidadosamente na direção vertical, em um intervalo de 5 e 10 segundos, imediatamente após a retirada do molde foi medido a altura do ponto mais alto com a altura do eixo do corpo de prova, sendo essa altura considerada o valor do abatimento.

Figura 166 - Slump test



Fonte: Autor, (2016)

3.6.2. Ensaio de compressão simples

Após o período de cura, foram realizados os ensaios de compressão nas idades de 7 e 28 dias, para o ensaio de compressão simples foram feitos 5 corpos de prova de cada traço exceto o traço 1 que foi feito apenas 4, totalizando 29 corpos de prova para o ensaio.

A NBR 5739 (2007) foi utilizada para o processo de ruptura dos corpos de prova, sendo que todos devem ser capeados de forma a manter a sua superfície lisa para aplicação de carga uniforme. Por tanto os corpos de prova foram sujeitados a frisagem conforme a figura 17.

Figura 17 - Corpo de prova sendo fresado.



Fonte: Autor, (2016)

Após a frisão, os corpos de prova foram ensaiados em prensa hidráulica automática como mostram as figuras 18 e 19.

Figura 18 - Prensa hidráulica



Fonte: Autor, (2016)

Figura 19 - Ensaio de compressão simples.



Fonte: Autor, (2016)

3.6.3. Ensaio de tração por compressão diametral

Existem três formas de se obter a resistência a tração de um concreto sendo a tração direta, tração por compressão diametral e tração na flexão, sendo fornecidos diferentes valores nos ensaios citados. O ensaio que foi realizado foi o de tração por compressão diametral, após o período de cura fizemos o ensaio de tração por compressão diametral, para o ensaio de tração por compressão diametral foram feitos 18 corpos de prova sendo 3 de cada traço.

A NBR NM 8 (1994) foi utilizada para o processo de ruptura, todos os corpos de prova foram fresados como na figura 20, e após foi posicionado na prensa de modo que ficasse em repouso ao longo de uma geratriz sobre o prato da prensa como na figura 21. Colocou-se duas pequenas chapas de metal entre os pratos da prensa, aplicando carga continuamente até o momento de ruptura do corpo de prova.

Figura 20 - Corpo de prova sendo fresado



Fonte: Autor, (2016)

Figura 21 - Corpo de prova rompido através do ensaio de compressão por tração diametral



Fonte: Autor, (2016)

Os ensaios de tração por compressão diametral foram realizados em prensa hidráulica automática, mostrados na figura 22 como o ensaio de compressão. O resultado esperado para o ensaio é cerca de 10% do valor obtido no ensaio de compressão NBR 8,(1994)

Figura 22 - ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Autor, (2016)

3.7. ANÁLISE DOS DADOS

A análise de dados foi feita através de gráficos e tabelas, sendo que os dados obtidos no rompimento dos 64 cp's foram feito a média de cada traço e cada idade diferente, apresentando os valores nos gráficos e nas tabelas devidas.

CAPÍTULO 4

4.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

A apresentação e discussão dos resultados foram apresentados conforme o traço e tipo de ensaio, *slump test*, resistência a compressão, resistência a tração, conforme o quadro 7.

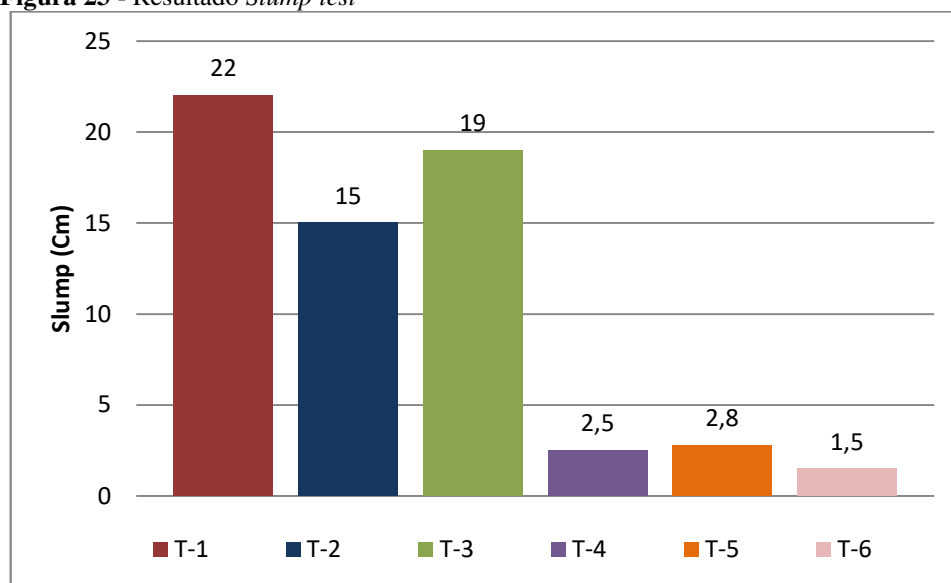
Quadro 6 - Traços utilizados

Traço	Teores de substituição	C	AR. NAT	AR. PEDRA	BR	AG
T-1	100% Areia Natural	1	1,84	0	1,99	0,5
T-2	90% Areia Nat. e 10% Areia de pedra	1	1,656	0,184	1,99	0,4
T-3	80% Areia Nat. e 20% Areia de pedra	1	1,51	0,38	1,99	0,4
T-4	20% Areia Nat. e 80% Areia de pedra	1	0,38	1,51	1,99	0,5
T-5	10% Areia Nat. e 90% Areia de pedra	1	0,184	1,656	1,99	0,5
T-6	100% Areia de pedra	1	0	1,84	1,99	0,5

Fonte: Autor, (2016)

4.2. RESULTADOS *SLUMP TEST*

O quadro 8 encontrado da apêndice A mostra os valores de abatimento de cada traço encontrado nos ensaios e a figura 23 mostra um gráfico com os valores de *slump test* para os concretos ensaiados.

Figura 23 - Resultado *Slump test*

Fonte: Autor, (2016)

O objetivo do trabalho foi verificar a influência da areia de pedra na consistência do concreto, foram feitas pequenas alterações na quantidade de água da mistura pelo fato de ter ficado muito seco o resultado do primeiro ensaio, alterando a consistência do concreto devido à alta presença de finos e pela textura dos agregados.

Observa-se, que conforme a adição de areia de pedra foi feita alterações no *slump test* como mostram as figuras 24, á 29, onde até o traço 3 obteve-se pouca diferença no abatimento de cone já para os traços 4,5 e 6 a redução do *slump* foi muito significativa, chegando ao menos *slump* que é o de 1,5, que é o traço onde mais utilizamos areia de pedra.

Figura 24 - *slump test* traço 1

Fonte: Autor,(2016)

Figura 25 - slump test traço 2



Fonte: Autor,(2016)

Figura 26 - slump test traço 3



Fonte: Autor,(2016)

Figura 27 - slump test traço 4



Fonte: Autor,(2016)

Figura 28 - slump test traço 5



Fonte: Autor,(2016)

Figura 29 - slump test traço 6



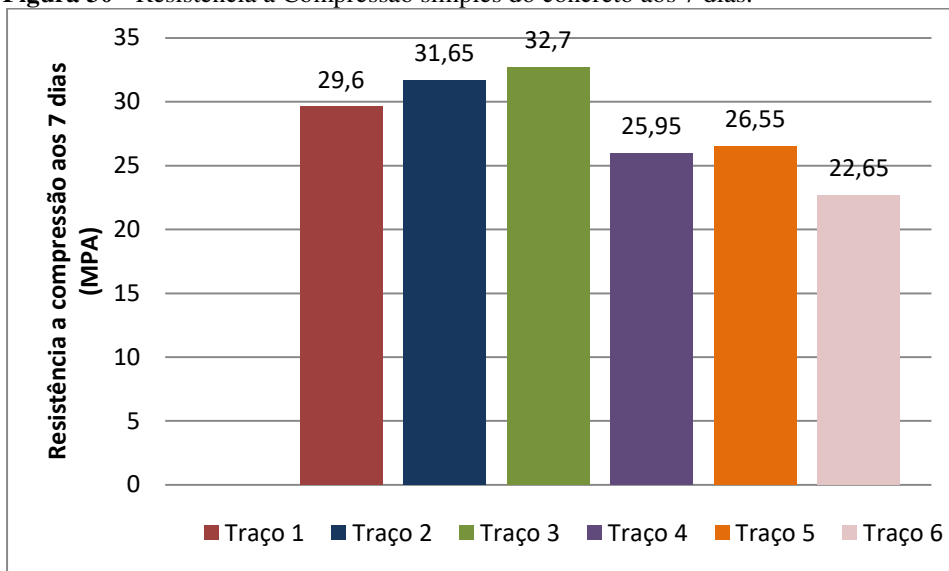
Fonte: Autor,(2016)

Utilizando as normas NBR 6118 (2013) e a NBR 12655 (2006) que falam da aplicação do concreto, de estruturas de concreto e do concreto de cimento Portland, para o preparo controle e recebimento; ou seja para a utilização dos traços 4, 5 e 6 seria recomendado o acréscimo de água para que sua consistência seja ajustada para a sua aplicação em obra, sendo que dentre os traços realizados o que teve a melhor consistência foi o traço 3 onde apresenta 80% de areia natural e 20% de areia de pedra.

4.3. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

As análises de resistência foram feitas para comparação do traço 1 com os demais traços onde não contém a adição de areia de pedra. Na figura 30, está os dados referentes à resistência a compressão na idade de 7 dias, onde, rompeu-se 2 corpos de prova de cada traço como mostra no apêndice B, obtendo a média entre eles para a elaboração do gráfico que esta na figura 30.

Figura 30 - Resistência à Compressão simples do concreto aos 7 dias.



Fonte: Autor, (2016)

Analisando a figura 28, resistência a compressão aos 7 dias, verificou-se que nos primeiros traços aumentou a resistência e conforme aumentou o consumo da areia de pedra nas misturas, menores são os valores de resistência a compressão do concreto. Isso ocorre

devido a falta de água no traço do concreto tendo um alto nível de material fino necessitando assim um maior volume de água, devido a falta de água os traços 4, 5 e 6, ficaram com um alto nível de vazios como mostra a figura 31 fazendo com que isso influencie diretamente na resistência do corpo de prova.

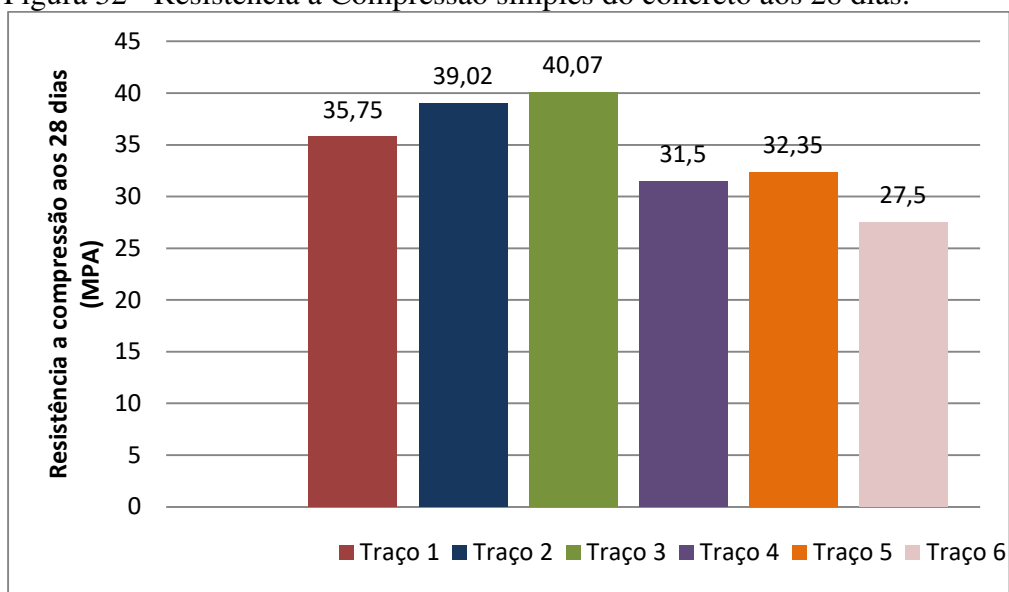
Figura 31 - corpo de prova com alto nível de vazios



Fonte: Autor, (2016)

Foram rompidos 6 corpos de prova para o ensaio de compressão para cada traço exceto o traço 1 que rompeu-se apenas 4, como mostra a apêndice B.

Figura 32 - Resistência à Compressão simples do concreto aos 28 dias.



Fonte: (Autor, 2016)

Com base na figura 32 a resistência a compressão aos 28 dias o ganho de resistência final foi significativo, sendo que os traços 4, 5 e 6 da mesma maneira que quando rompido aos

sete dias foram os que obtiveram a menor resistência devido a falta de água no traço apresentando então um grande numero de vazios nos corpos de prova, sendo que a moldagem e o adensamento manual, também não favorecer o ganho de resistência realmente pela mistura estar muito seca a imagens 33 nos mostra o traço 4 podendo assim analisarmos a diferença de resistência devido ao grande numero de vazios presentes no corpo de prova e por isso obtivemos uma melhor resistência no traço 5 onde os vazios foram menor como mostra a imagem 34.

Sendo considerado o traço 1 como o de referencia, o maior ganho de resistência foi no traço 3 que contem apenas 20 % de areia de pedra, tendo como acréscimo 12,1%, dentre os traços realizados a composição com maior viabilidade em relação a resistência seria esse.

Figura 33 – corpo de prova do traço 4 sendo rompido



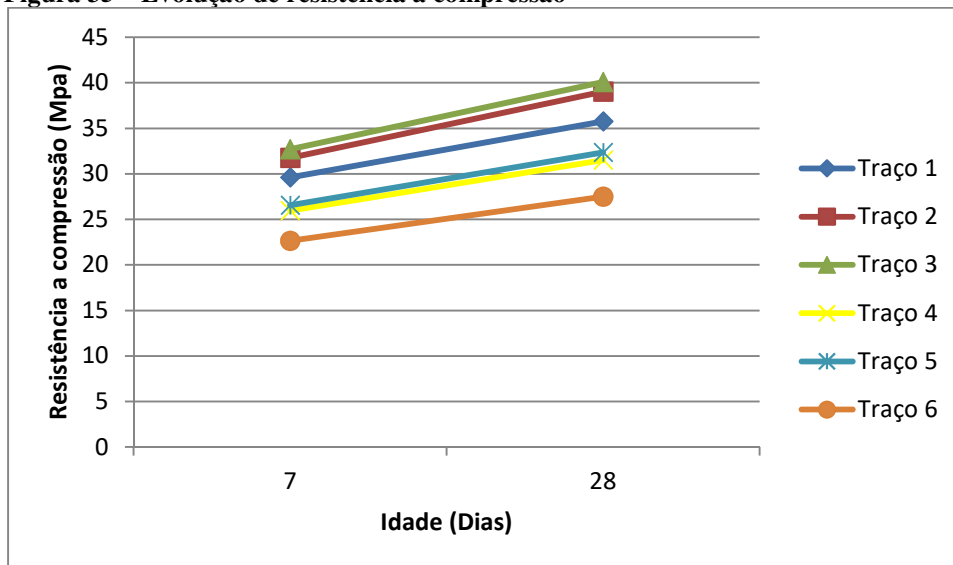
Fonte: Autor, (2016)

Figura 34 - Corpo de prova traço 5



Fonte: Autor, (2016)

Figura 35 – Evolução de resistência a compressão



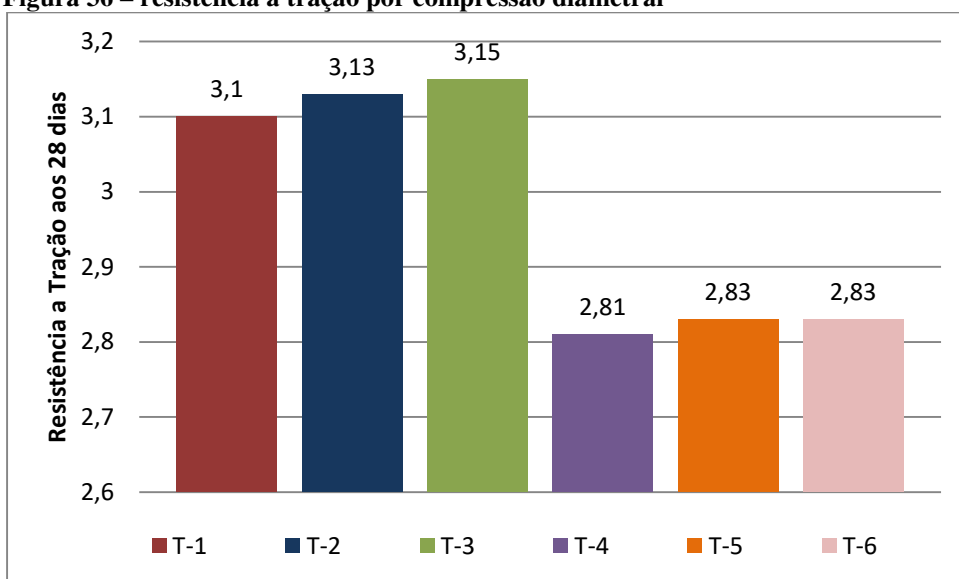
Fonte: Autor, (2016)

Através da figura 35 podem-se analisar que todas as misturas apresentaram um ganho de resistência linear. Na idade de 28 dias todas as misturas se mostraram acima da resistência de dosagem que é 25 MPa sendo que as misturas que continham areia de pedra foram as que menos obtiveram resistência em relação ao traço 1.

4.3.1. Resistência a tração por compressão diametral

As análises de resistência a tração por compressão diametral foram feitas para comparação com o traço 1 que contém 100% de areia natural. Na figura 36 tem-se o gráfico onde podem-se observar os valores médios obtidos através da ruptura de 3 corpos de prova de cada traço, exceto o traço 1 que foi utilizado 2 corpos de prova como mostra o quadro no apêndice C.

Figura 36 – resistência a tração por compressão diametral



Fonte: Autor, (2016)

Observando a figura 36 podem-se ver que os traços que tiveram menor resistência a tração por compressão diametral foram os traços que teriam a maior porcentagem de areia de pedra, pois os corpos de prova ficaram com bastante vazios fazendo com isso que diminua a sua resistência, isso devido a areia de pedra ser um material que necessita de mais água para obter melhores resultados pois é um material com alto teor de finos.

Na figura 37 podem-se observar como é grande o número de vazios nos traços que contém mais areia de pedra, o corpo de prova é do sexto traço onde contém 100% da areia de pedra. Sabendo-se que o adensamento manual também não favoreceu devido a falta de água.

Figura 37 - corpo de prova com bastante vazios



Fonte: Autor, (2016)

Figura 38 - Corpo de prova após ser rompido por tração



Fonte: Autor, (2016)

Como pode-se observar a figura 38 mostra em que sentido aconteceu a ruptura dos corpos de prova, sendo que todos que foram rompidos pelo ensaio de tração por compressão diametral obtendo praticamente a mesma linha de ruptura.

CAPÍTULO 5

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que para o concreto convencional simples que seria o traço 1, o ensaio de compressão realizado conseguiu atingir entorno de 43% a mais do esperado da dosagem que seria 25MPa.

Após analisarmos todos os dados obtidos através do ensaio de abatimento de tronco de cone (slump test), ensaio de compressão e ensaio de tração por compressão diametral pode-se chegar ao teor ideal para a substituição da areia natural para a areia de pedra que seria entorno de 20 %, sabendo que escolhendo o teor de substituição depende da trabalhabilidade em obra devendo então fazer o controle tecnológico adequado antes mesmo da utilização do concreto. A utilização de materiais provenientes da rocha já é utilizada com frequência em países mais desenvolvidos, e no Brasil já existem muitas cidades que necessitem percorrer distâncias muito longas para buscar areia natural devido à escassez em portos mais próximos.

O principal objetivo da utilização da areia de pedra está relacionado ao meio ambiente e também a economia, sendo que a utilização da areia de pedra no concreto significa uma alta redução da extração da areia natural evitando danos causados nos leitos dos rios e no meio ambiente. Surgindo então também a necessidade da utilização de aditivos pois a areia de pedra tem uma elevada quantidade de finos, fazendo com que o concreto necessite de uma maior quantidade de água para obter uma boa trabalhabilidade, e utilizando aditivos conseguiremos obter uma boa trabalhabilidade sem perder a resistência do concreto.

Em relação a resistência a compressão simples e a resistência de tração por compressão diametral, o concreto convencional simples sem aditivo e com areia de pedra, não apresentou ganhos em relação ao traço de referencia, do qual não possui areia de pedra, devido a falta de água no traço realizado.

Podemos então utilizar a areia de pedra em nosso cotidiano levando em consideração a relação água cimento e considerando as propriedades estudadas.

CAPÍTULO 6

6.1. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para obtermos a confirmação na utilização da areia de pedra no mercado, faz-se a sugestão do estudo aprofundado do material, analisando também outras propriedades que ainda não foram citadas nesse trabalho, tais como: a permeabilidade do material, sua composição química, estudos para verificação de durabilidade do material, e também, de aditivos que contemplem as análises já citadas, mantendo a resistência à compressão sim e tração por compressão diametral.

REFERÊNCIAS

- AREIA INDUSTRIAL: Disponível em: <http://klanovicz.com.br/produtos30.html>
Acesso em 17 de março de 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto: especificações.** Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estrutura de concreto.** Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26: Agregados: Amostragem .** Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27: Redução da amostragem de campo para ensaios de laboratório.** Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8: Determinação da resistência à tração por compressão diametral.** Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM – ISSO 2395: Peneiras de ensaio e ensaio de peneiramento - Vocabulário.** Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura do corpo-de-prova.** Rio de Janeiro, 2003.
- BARBOSA, M. T. G.; COURA, C. V. G.; MENDES, L. O. **Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto.** Tese apresentada para o curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.
- BAUER, L.A. F. **Materiais de construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000, vol. 1.

BUEST NETO, G. T. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concreto e cimento.** Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em construção civil, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

CONCRETO: Disponível em:

<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/equipamentosusados.html>

Acesso em 08 de junho de 2016.

COSTA, M. J. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento portland: aplicabilidade de um método de dosagem.** Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, do departamento de tecnologia da UNIJUÍ - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, DNPM. Anuário Mineral Brasileiro, 2001.

DOSAGEM DO CONCRETO: Disponível em:

http://transportes.ime.eb.br/~moniz/matconst2/dosagem_abcp.pdf Acesso em 03 de agosto de 2016.

ESTUDO DA DIFERENÇA DO CIMENTO: Disponível em:

<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/16/materiais-cimento-nao-e-tudo-igual-nao-76288-1.aspx>

Acesso em 07 de junho de 2016.

FUNCIONAMENTO DO BRITADOR DE EIXO VERTICAL: Disponível em:

<http://www.metso.com.br/produtos/britador-de-impacto/britador-eixo-vertical-vsi-barmac-serie-b/>

Acesso em 08 de junho de 2016.

HAAS, L.F.F. **Influência da substituição da areia natural por pó de pedra no comportamento do concreto convencional.** TCC, Faculdade Assis Gurgacz. Cascavel : Paraná, 2014.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Tese, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 1.ed. São Paulo: São Paulo, 1994.

MELO, K. A. **Contribuição á dosagem de concreto Auto-adensável com adição de filler calcário.** Dissertação submetida a Universidade Federal de Santa Catarina 2005.

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

PEREIRA, M. G. F. **Potencial de utilização de agregados leves na produção de concretos estruturais.** Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, do Departamento de Engenharia Civil de São Carlos. São Carlos, 2012.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1968.

REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL: Disponível em:
<http://www.pedreirabritec.com.br/areia-artifical/>
Acesso em 07 de junho de 2016.

RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO A COMPRESSÃO: Disponível em:
<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/fck.html> Acesso em 04 de agosto de 2016.

SIQUEIRA, L. V. M. **Materiais de construção civil II**, apostila para laboratório de matérias de construção, 1 agregados. Joinville 2008.

TEODORO, S. B. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2013.

VIACELLI, L. **Estudo da viabilidade da utilização do agregado miúdo britado em concreto convencional**. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Paraná. Pato Branco, 2012.

APÊNDICE A – RESULTADOS DE ENSAIOS DE *SLUMP TEST*.

Quadro 7 - Quadro dos traços e suas composições com os resultados de Slump test.

Traço	Teores de substituição	C	AR. NAT	AR. PEDRA	BR	AG	<i>Slump</i> (cm)
T-1	100% Areia Natural	1	1,84	0	1,99	0,5	22
T-2	90% Areia Nat. e 10% Areia de pedra	1	1,656	0,184	1,99	0,4	15
T-3	80% Areia Nat. e 20% Areia de pedra	1	1,51	0,38	1,99	0,4	19
T-4	20% Areia Nat. e 80% Areia de pedra	1	0,38	1,51	1,99	0,5	2,5
T-5	10% Areia Nat. e 90% Areia de pedra	1	0,184	1,656	1,99	0,5	2,8
T-6	100% Areia de pedra	1	0	1,84	1,99	0,5	1,5

Fonte: (Autor, 2016).

APÊNDICE B – RESULTADOS DE ENSAIOS DE COMPRESSÃO.

Quadro 8 – Valores obtidos através do ensaio de compressão

		TENSÃO MÁXIMA (Mpa)					
	CP	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
7 DIAS	1	29,2	31	33,2	26,5	25,8	22,6
	2	30	32,3	32,2	25,4	27,3	22,7
MÉDIA		29,6	31,65	32,7	25,95	26,55	22,65
28 DIAS	1	35	37,3	37,1	28	32,5	28
	2	34,8	37,8	39,9	32	25,6	26,8
	3	37	39,1	42,2	34	36,1	25,3
	4	36,2	40,8	38,8	30,5	35,2	26
	5	-	40,1	41	32,7	29,8	30,9
	6	-	39	41,5	31,8	34,9	28
MÉDIA		35,75	39,02	40,08	31,50	32,35	27,50

Fonte: (Autor, 2016).

APÊNDICE C – RESULTADOS DE ENSAIOS DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.

Quadro 9 – Valores obtidos através do ensaio de tração por compressão diametral.

		TENSÃO MÁXIMA (Mpa)					
	CP	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
28 DIAS	1	2,8	3,5	3,42	2,73	2,52	2,89
	2	3,4	2,7	2,51	2,4	3,16	2,8
	3	-	3,2	3,52	3,31	2,82	2,8
MÉDIA		3,10	3,13	3,15	2,81	2,83	2,83

Fonte: (Autor, 2016).

APÊNDICE D – RESULTADOS DE ENSAIOS DE GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO.

Quadro 10 - Granulometria agregado graúdo

Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
25,4	0	0,00	0,00	100,00
19	0	0,00	0,00	100,00
12,7	93,75	9,45	9,45	90,55
9,5	581,1	58,60	68,05	31,95
4,75	314,1	31,67	99,73	0,27
2,36	0	0,00	99,73	0,27
		0,00	99,73	0,27
		0,00	99,73	0,27
Fundo	2,7	0,27	100,00	0,00
Σ	991,65	100,00		

Fonte: Autor, 2016

APÊNDICE E – RESULTADOS DE ENSAIOS DE GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO.

Quadro 11 - Granulometria agregado miúdo (areia natural).

Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
4,75	2	0,21	0,21	99,79
2,36	6,9	0,71	0,92	99,08
1,18	25,3	2,62	3,54	96,46
0,6	99,9	10,35	13,89	86,11
0,3	473,1	49,01	62,90	37,10
0,15	336,3	34,84	97,73	2,27
		0,00	97,73	2,27
		0,00	97,73	2,27
Fundo	21,9	2,27	100,00	0,00
Σ	965,4	100,00		

Fonte: Autor, 2016

APÊNDICE F – RESULTADOS DE ENSAIOS DE GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO.

Quadro 12 – Granulometria agregado miúdo (areia de pedra)

Φ peneira (mm)	massa retirada (g)	% retida em cada peneira	% retida acumulada	% que passa em cada peneira
2,36	72	6,58	6,58	93,42
1,18	132	12,07	18,65	81,35
0,6	222	20,29	38,94	61,06
0,3	310	28,34	67,28	32,72
0,15	212	19,38	86,65	13,35
		0,00	86,65	13,35
		0,00	86,65	13,35
		0,00	86,65	13,35
Fundo	146	13,35	100,00	0,00
	1094	100,00		

Fonte: Autor, 2016