

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUANA VIACELLI

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO AGREGADO
MIÚDO BRITADO EM CONCRETO CONVENCIONAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2012

LUANA VIACELLI

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO
BRITADO EM CONCRETO CONVENCIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Prof.^a Dra. Elizângela Marcelo Siliprandi

Coorientador: Prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray

PATO BRANCO

2012



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO BRITADO EM CONCRETO CONVENCIONAL

por

LUANA VIACELLI

Aos 22 dias do mês de junho do ano de 2012, às 14:45 horas, no Mini-auditório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco – UTFPR-PB, conforme Ata de Defesa Pública nº 012-TCC/2012.

Orientador: Prof^a. Dr^a ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI (COECI / UTFPR-PB)

Coorientador: Prof. Dr. MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY (COECI / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. NEY LYZANDRO TABALIPA (COECI / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. NORMELIO VITOR FRACARO (COECI / UTFPR-PB)

DEDICATÓRIA

A todas as pessoas que caminham do meu lado, me incentivando a lutar sempre, tornando o mundo mais agradável e a minha vida mais feliz.

Aos meus pais e aos meus irmãos, que eu amo muito. Meus pais, responsáveis por cada sucesso obtido e por cada degrau avançado. Meus irmãos fiéis companheiros e ajudantes nessa jornada que é a vida. Sem vocês a vida não teria a menor graça. O meu eterno amor e admiração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que é a inteligência suprema e criou tudo o que há, o principal agradecimento, por me conceder a oportunidade da vida e do progresso, pela sabedoria e vitória nessa etapa, e por suas diversas manifestações de bondade em minha vida.

Aos meus pais Luiz e Marlene, o eterno agradecimento, por me ensinaram a viver a vida com dignidade e perseverar diante das dificuldades. Meus irmãos e cunhados que sempre estiveram do meu lado, tornando a minha vida mais alegre, e que alegraram ainda mais com dois presentes bem preciosos, minhas sobrinhas, Alice e Cecília.

O meu grande agradecimento a minha orientadora Prof^a Dr.a Elizângela Marcelo Siliprandi, que não mediu esforços para me ajudar, obrigada pelo carinho, dedicação, amizade e paciência. Agradeço também ao meu coorientador Prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray, pela dedicação e grande colaboração, sem a qual não seria possível a realização do trabalho.

Aos meus colegas de intercâmbio Andre, Celestino e Marla, que colaboraram muito na realização do trabalho, obrigada pela dedicação e paciência. Agradeço o pessoal do Laboratório de Materiais que nos auxiliaram sempre que precisamos.

Agradeço imensamente a todos os professores que passaram pela minha formação e que foram os grandes construtores do meu conhecimento.

Muito obrigada a todos os amigos e colegas que participaram e somaram em algum momento da minha vida acadêmica.

Obrigada aos amigos e a família que entenderam os momentos de ausência.

Por fim, meu agradecimento a todos que com boa intenção colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

"Deus é, pois, a suprema e soberana inteligência; é único, eterno, imutável, imaterial, onipotente, soberanamente justo e bom, infinito em todas as suas perfeições, e não pode deixar de ser assim. Tal é o eixo sobre o qual repousa todo o edifício universal; é o farol do qual os raios se estendem sobre o universo inteiro, o único que pode guiar o homem em sua pesquisa da verdade".

(Allan Kardec)

RESUMO

Com a perspectiva de reduzir os impactos ambientais, gerados pela extração de recursos necessários à construção civil, novas alternativas estão sendo utilizadas. A areia natural é um exemplo destes recursos não renováveis, sua extração agride a natureza, provocando a alteração da calha natural dos rios. Para isso é necessário buscar novas alternativas que substituam a areia natural, o agregado miúdo natural usado em argamassas e concretos. A finalidade desse trabalho é apresentar algumas características físicas, vantagens e viabilidade do uso do agregado miúdo britado, proveniente do processo de britagem do agregado graúdo. A produção e utilização desse tipo de areia diminui o impacto ambiental e se mostra viável economicamente, pois é gerado nas usinas de britagem, reduzindo o frete aos seus pontos de consumo. O presente trabalho mostra o estudo da utilização do agregado miúdo britado em substituição total do agregado miúdo natural na produção de concretos de cimento Portland convencionais, utilizando amostras de três regiões diferentes do sudoeste do Paraná. Para comprovar a viabilidade técnica e econômica do uso do agregado miúdo britado foram analisadas características do agregado como sua composição granulométrica, o índice de material pulverulento, e seu comportamento nos ensaios de abatimento tronco de cone (*Slump Test*), a partir de uma consistência pré-estabelecida. Uma relação água-cimento também foi convencionada à um concreto usual com resistência esperada de 30Mpa. Com estes dados foi definido um traço para o concreto utilizando 100% de agregado miúdo britado. A pesquisa apresenta os resultados de resistência a compressão simples dos corpos de prova cilíndricos de concreto aos 7 e 14 dias. Verificou-se que as amostras não apresentaram diferenças significativas de resistência entre si, tão pouco com relação às resistências de um concreto convencional produzido com agregado miúdo natural. Entretanto, uma das amostras apresentou melhor desempenho nos aspectos analisados tendo a melhor relação custo/benefício.

Palavras-Chave: Agregado miúdo britado. Britagem. Concreto.

ABSTRACT

With the perspective of reducing environmental impacts, which are generated by extraction of resources need by civil construction, new alternatives are being using. The natural sand is an example of these non-renewable resources, but its extraction attack the environment causing the modification of original rivers channel. Therefore it's necessary to search new alternatives that replace the natural sand as the natural fine aggregate which is used in mortar and concrete. The purpose of this study is to present some physical characteristics, advantages and viability for the use of fine aggregate which one derives from the crushing process of coarse aggregate. The production and usage of this kind of sand reduces the environmental impact and shows an economic viability because it's generated in crushing stations and also reduces the freight costs at end use. The current work shows the study for utilization of crushed fine aggregate, using three different samples of aggregate from southwest of Parana state, in full replace of natural fine aggregate in the production of concrete and conventional Portland cement. To prove the technical and economy viability of usage of fine crushed fine aggregate it was analyzed the characteristics of aggregate as particle size composition, index of particle size material and its behavior in the Slump Test using a predefined consistency. A water-cement relation was stipulatedas usual concrete with expected resistance of 30 Mpa. With these data it's was defined a concrete recipe using 100% of crushed fine aggregate. The research shows the results of resistance to simple compression of two cylindrical samples of concrete in the 7th and 14th days. It was verified that the samples didn't show neither significant difference in the resistance among them nor difference in the resistance compared with usual concrete produced with natural fine aggregate. However one sample shows a better performance in the analyzed aspects having a better relation cost/benefit.

Key Words: Crushed fine aggregate. Crushing. Concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Minas de material da rocha basáltica.....	26
Figura 2 - Vista frontal do britador primário de mandíbulas	27
Figura 3 - Abastecimento do britador primário.....	27
Figura 4 - Transporte pelas correias.....	28
Figura 5 - Tanque de lavagem da areia industrializada e roda d'água	29
Figura 6 - Pilha de material remanescente	30
Figura 7 - Estocagem de material a céu aberto	30
Figura 8 - Fluxograma das etapas metodológicas	32
Figura 9 - Curva granulométrica Amostra 1.1 - NBR NM248.....	41
Figura 10 - Curva granulométrica Amostra 1.2 - NBR NM248.....	41
Figura 11 - Curva granulométrica Amostra 2 - NBR NM248.....	42
Figura 12 - Curva granulométrica Amostra 3 - NBR NM248.....	42
Figura 13 - Abatimento Tronco de Cone – Slump Test	48
Figura 14 - Ensaio de compressão axial.....	50
Figura 15 - Moldagem e cura dos corpos de prova	51
Figura 16 - Capeamento dos corpos de prova	51
Figura 17 - Resistência à compressão simples do concreto	52
Figura 18 - Custo do concreto por m ³	53
Figura 19 - Custo do concreto por MPa	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Normas para avaliação das propriedades tecnológicas dos agregados em seus diferentes usos.....	21
Tabela 2 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	22
Tabela 3 - Massa mínima por amostra de ensaio	37
Tabela 4 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal)	38
Tabela 5 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 1.1.1	39
Tabela 6 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 1.1.2	39
Tabela 7 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 1.2.1	39
Tabela 8 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 1.2.2	39
Tabela 9 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 2.1	40
Tabela 10 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 2.2	40
Tabela 11 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 3.1	40
Tabela 12 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 3.2	40
Tabela 13 - Resultados DMC, MF e enquadramento	43
Tabela 14 - Resultados dos ensaios de material pulverulento.....	44
Tabela 15 - Valores dos traços utilizados e consumo de cimento.....	47
Tabela 16 - Resultados do ensaio Abatimento do Tronco de cone	49
Tabela 17 - Resultados do Ensaio de resistência à compressão simples do concreto	52
Tabela 18 - Quantidade de material por 1m ³ de concreto	53
Tabela 19 - Custo dos materiais componentes do concreto	53
Tabela 20 - Custos do concreto por m ³ e por MPa.....	53
Tabela 21 - Diferença de custo do AMB e do AMN.....	55

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

Lista de abreviaturas

A/C – Fator Água Cimento
AMB – Agregado miúdo britado
AMN – Agregado miúdo natural
CP's – Corpos-de-prova
CPV-ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
DMC – Dimensão máxima característica
Fck – Resistência característica do concreto à compressão
MF – Módulo de Finura
MPa – Mega Pascal

Lista de siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO – International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
NM – NormaMercosul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 MATERIAIS CONSTITUINTES E PROPRIEDADES	16
2.1.1 Concreto de Cimento Portland	16
2.1.2 Cimento Portland.....	17
2.1.3 Água	18
2.1.4 Agregados.....	18
2.1.5 Características e Propriedades dos Agregados Miúdos.....	20
2.1.5.1 Composição Granulométrica	22
2.1.5.2 Consistência.....	23
2.1.5.3 Resistência à Compressão	23
2.1.5.4 Material Pulverulento	24
2.2 PROCESSO DE EXTRAÇÃO DA AREIA NATURAL.....	25
2.3 PROCESSO DE OBTENÇÃO DA AREIA BRITADA	25
3 MÉTODO DE TRABALHO	31
3.1 EQUIPAMENTOS	34
3.2 MATERIAIS	35
3.2.1 Componentes do Concreto	35
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	37
4.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS	37
4.1.1 Curva Granulométrica	41
4.1.2 Módulo de Finura	43
4.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS	43
4.3 DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DO CONCRETO E CONSUMO DE CIMENTO ..45	
4.3.1 Traço Inicial do Concreto (1:2,6:2,4:0,55).....	46
4.3.2 Imprimação.....	46
4.3.3 Traço Corrigido em Função da Consistência	46
4.3.4 Determinação da Relação Água/Materiais Secos (A%)	47
4.4 CONSISTÊNCIA DO CONCRETO	48
4.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA – MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO.....	49
4.6 CUSTOS DO CONCRETO POR M ³ E POR MPA.....	52
5 CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1 INTRODUÇÃO

As inovações tecnológicas têm sido constantemente aprimoradas e modificadas em curtos períodos de tempo. Nas últimas décadas tem se falado em sustentabilidade, porém as inovações e o desenvolvimento constante das tecnologias devem ser criados de forma que promovam satisfação, viabilidade e aplicabilidade dos produtos e processos, além de prezar pelo manejo consciente dos recursos naturais.

O crescimento da construção civil nas últimas décadas no país gerou um elevado consumo de matérias-primas, entre elas a areia natural, principal fonte de agregados miúdos, utilizada para confeccionar argamassas e concretos.

Em determinadas regiões podem existir dificuldades em se obter areia natural de boa qualidade, além de que são grandes as restrições ambientais e o alto custo do produto, intensificando assim a busca por novas soluções tecnológicas alternativas.

Essa dificuldade de obtenção de areia natural de qualidade e a proibição de sua retirada em algumas áreas geram a necessidade de extração da areia em locais distantes dos principais centros de consumo, elevando gastos com transporte, que podem corresponder, segundo dados obtidos em algumas empresas na região do sudoeste do Paraná, em torno de 60% do custo final da areia.

Com o surgimento desses problemas algumas soluções passaram a ser vistas como alternativas para a resolução dessas questões, como a utilização do agregado miúdo oriundo do processo de britagem do agregado graúdo, chamado de agregado miúdo britado (AMB).

De acordo com os dados obtidos em empresas que comercializam tais produtos na região de estudo, o metro cúbico de areia britada é vendido por cerca de R\$ 35,00, em contrapartida o metro cúbico do agregado miúdo natural (AMN) chega a custar em torno de R\$ 80,00. Deste modo, tem-se um custo do agregado miúdo natural (AMN) de 128,57% mais elevado que o agregado miúdo britado (AMB).

Pensando-se em aliar tecnologia com sustentabilidade, a proposta deste estudo tem por objetivo analisar a viabilidade do uso do AMB em substituição total do AMN na confecção de concreto de cimento Portland na construção civil, com o objetivo de reduzir o custo do concreto por metro cúbico, assim como possibilitar a redução de impactos ambientais pela substituição. Além disso, analisar as características do agregado miúdo, tais como: granulometria, módulo de finura e teor de material pulverulento.

Durante muito tempo o resíduo de britagem foi designado como pó-de-pedra e como nesse material havia elevada quantidade de material pulverulento, esse resíduo tornava-se

inviável para a aplicação em concreto e argamassas. Em decorrência disso, atualmente é possível encontrar em algumas mineradoras, grandes estoques de ‘pó-de-pedra’, que pode a partir do processo de lavagem ser classificado como areia de britagem. De tal forma que com algum investimento o material que hoje é praticamente considerado um ‘resíduo’ estaria se transformando em um material que atenderia os requisitos de qualidades necessários a utilização em argamassas e concreto.

Bastos (2002) pondera que a areia de britagem de origem basáltica é constituída por grãos angulosos, com textura superficial mais áspera e com maior teor de finos, o que favorece a obtenção de concretos menos trabalháveis, que exigem uma maior demanda de água. O que certamente indica a utilização de um traço diferenciado, uma vez que o fator água cimento, decisivo na resistência do material gerado com a utilização da areia de britagem, é alterado. Sendo assim os custos do produto final, tais como o cimento, também poderão ser alterados.

Durante o processo de britagem a quantidade de areia de britagem pode ser definida pelas operações a serem adotadas, existindo a possibilidade de produzir, caso seja este o interesse, 100% de areia de britagem. Com essa possibilidade em mãos é possível eliminar a hipótese da falta da disponibilidade do material. Contudo, atualmente, a quantidade de areia comumente obtida no processo de britagem de agregados graúdos oscila em torno dos 25%.

Este trabalho tem um caráter econômico, apresentando a vantagem da produção da areia industrializada no canteiro das usinas de britagem, sendo que em alguns locais é considerada resíduo, sem importância econômica, o qual passando a ser utilizado em argamassas ou concreto reduz o custo da matéria-prima, favorecendo a indústria da construção civil. Outro caráter ambiental, visa à diminuição dos impactos devido à extração de areia e decorrentes da sua exploração.

Para a realização de tais objetivos serão seguidas as seguintes etapas: (i) coleta do material para o estudo, proveniente de três jazidas diferentes na região sudoeste do Paraná; (ii) ensaios laboratoriais para análise das propriedades do material, (iii) utilização do material para confecção de concreto de cimento Portland e (iv) resultados e análises dos mesmos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Verificação da viabilidade da utilização do agregado miúdo britado proveniente da britagem da rocha basáltica, oriunda da região sudoeste do Paraná, na produção de concretos convencionais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir os locais de coletas;
- Determinar a granulometria das amostras;
- Determinar o teor de material pulverulento;
- Estudar a dosagem de concretos com consistência de 10 ± 2 cm, com resistência a compressão de 30 MPa, com substituição total do AMN pelo AMB;
- Comparar o custo e o consumo de cimento por m^3 de cada amostra em estudo;
- Analisar os resultados obtidos para determinação da viabilidade da utilização do material em concretos convencionais.

1.2 JUSTIFICATIVA

Alguns fatores como a dificuldade crescente da disponibilidade de agregado miúdo de origem natural, seu crescente custo e a dificuldade da obtenção do material homogêneo, pois o material é proveniente de diferentes fontes, tem feito com que se busquem novas alternativas de matéria prima na construção civil.

De acordo Sbrighi Neto (2005), o esgotamento das jazidas de agregados miúdos, como areia, principalmente próximas de grandes centros consumidores, atrelado a fatores como aumento da competitividade entre as concreteiras e certa conscientização da sociedade em geral no que tange a proteção ambiental, aceleraram as pesquisas para a substituição do agregado miúdo, tanto no concreto quanto nas argamassas.

Com a finalidade de proporcionar o uso de um material novo e pouco estudado foram analisadas as características de um agregado miúdo britado. Uma vez que uma elevada taxa de

retorno do investimento pode ser obtida pelos industriários com a melhoria do processo de beneficiamento do produto.

Com a possibilidade de se empregar um produto disponível junto às usinas de britagem diminui consideravelmente o custo de frete do produto, uma vez que as minas de extração do agregado miúdo natural nem sempre estão próximas dos centros consumidores, e tem seu valor acrescido pelo alto custo do frete.

Fazer uso de um material obtido industrialmente, produzido com o objetivo de ser um agregado miúdo, faz crer que será utilizado um material homogêneo que garantirá as características e resistências esperadas e determinadas em projetos e especificações. Esta homogeneização não é garantia nos agregados miúdos naturais, visto que há a possibilidade de serem encontrados diferentes tipos de impurezas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O ritmo acelerado da construção civil nas últimas décadas tem feito com que aumente consideravelmente o consumo de matéria-prima para atender as necessidades construtivas.

A preocupação com as questões ambientais e as previsões de esgotamento de recursos naturais faz com que haja uma reflexão coletiva, da necessidade de se obter produtos e processos menos agressivos ao meio-ambiente, permitindo assim a sobrevivência das futuras gerações.

Muitos estudos têm sido realizados para analisar a utilização e/ou substituição de alguns componentes e materiais. Os resíduos e entulhos que muitas vezes não tem destinação correta e deposição adequada no meio-ambiente são estudados e utilizados, obtendo resultados satisfatórios em seu uso, proporcionando assim alternativas inovadoras e sustentáveis para o mercado consumidor.

Todas as inovações devem ser viáveis, portanto observando se a substituição da areia britada é mais econômica do que a utilização da areia natural nesse processo, além de fazer um comparativo entre os impactos que causam ao meio-ambiente.

Para a resolução dos objetivos desta pesquisa, cujo foco principal é a substituição da areia 'natural' pela areia 'britada', realizou-se uma revisão sucinta a cerca dos conceitos relacionados ao tema.

2.1 MATERIAIS CONSTITUINTES E PROPRIEDADES

2.1.1 Concreto de cimento Portland

O concreto de cimento Portland é um produto que resulta do endurecimento da mistura de cimento Portland, agregado graúdo e miúdo e água, em proporções adequadas.

De acordo com Lodi (2006, p.15) a heterogeneidade dos materiais que compõem os concretos e a complexidade do seu comportamento, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, representa sempre um desafio aos técnicos responsáveis pela elaboração e emprego dos concretos.

O concreto de cimento Portland é constituído de duas fases: a pasta de cimento, composta de cimento portland e água, e os agregados. O cimento, ao entrar em contato com a água reage e adquire algumas propriedades ligantes, resultante de sua hidratação. A mistura endurece tornando-se um material sólido e resistente.

As propriedades do concreto irão depender das características dos materiais empregados na sua fabricação.

2.1.2 Cimento Portland

O cimento portland é um material pulverulento constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Estes silicatos e aluminatos complexos, ao serem misturados com água, hidratam-se produzindo o endurecimento da massa, com elevada resistência mecânica. (LODI, 2006, p.16)

As matérias primas utilizadas na fabricação do cimento Portland consistem principalmente de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro, que reagem no interior do forno de produção de cimento dando origem ao clínquer, que os compostos principais são os seguintes:

- Silicato tricálcio: $3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$, (C3S)
- Silicato dicálcico : $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$, (C2S)
- Aluminato tricálcico: $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, (C3A)
- Ferro aluminato tetracálcico: $4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, (C4AF)

Estes compostos se formam no interior do forno quando a temperatura se eleva a ponto de transformar a “mistura crua” num líquido pastoso que, ao resfriar-se, dá origem a substâncias cristalinas, como ocorre com os três produtos acima citados, e a um material intersticial amorfo, o C4AF, e a outros óxidos, compostos alcalinos e sulfatos.

Todos esses compostos têm a propriedade de reagir em presença de água, por hidrólise, dando origem então a compostos hidratados (AÏTCIN, 2000, apud LODI, 2006, p. 17).

2.1.3 Água

Segundo Neville (1997), impurezas contidas na água podem influenciar negativamente, a resistência do concreto, causar manchas em sua superfície, ou ainda, resultar em corrosão da armadura. Por estas razões, deve-se dar atenção à qualidade da água para amassamento e pra cura do concreto. Por via de regra a água deverá ter pH de 6,0 a 9,0.

2.1.4 Agregados

É conhecido como agregado o material granular, com forma e volume variáveis, geralmente inerte e com dimensões e propriedades compatíveis para utilização na construção civil. Segundo a norma NBR 7211 (2009), os agregados naturais são encontrados na natureza (areia, seixos) e artificiais os que são obtidos pela ação do homem através de processos industriais ou do rejeito destes.

Até pouco tempo atrás, o agregado era tido como um material granular inerte, disperso na pasta de cimento, utilizado principalmente por razões econômicas. Porém este conceito vem sendo reformulado e hoje se pode considerar o agregado como um material de construção ligado em um todo coesivo por meio de uma pasta de cimento. Na verdade, não se pode considerar o agregado um material inerte, pois suas propriedades físicas, térmicas e, às vezes também químicas têm influência no desempenho do concreto (NEVILLE, 1997). O mesmo autor salienta que três quartos do volume do concreto são ocupados pelos agregados, sendo assim de considerável importância. Propriedades indesejáveis existentes nos agregados podem não apenas produzir um concreto pouco resistente, como também comprometer a durabilidade.

O concreto pode ser definido como pedra e pasta de cimento, sendo a pasta o elemento aglutinador das pedras. Existem muitos vazios entre as pedras para serem preenchidos apenas com a pasta de cimento. Por esta razão, utiliza-se o agregado miúdo (areia), para diminuir o consumo de cimento e água, o que em excesso é prejudicial ao concreto, pois provoca retração, além de comprometer a trabalhabilidade do concreto.

Para que o resultado obtido seja satisfatório, é necessário que as dimensões dos agregados sejam distribuídas gradualmente, promovendo o melhor aproveitamento do cimento, isto é, mantendo constante a resistência com o menor consumo de cimento possível, que é o insumo mais caro do concreto.

A terminologia dos agregados é definida de acordo com a norma da ABNT NBR 9935/11, que classificam os agregados quanto à natureza. Esta norma define os termos relativos a agregados mais comumente empregados em concreto e argamassa de cimento:

- Agregado: material granular, geralmente inerte com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa e concreto.
- Agregado natural: material pétreo que pode ser utilizado tal como é encontrado na natureza, podendo ser submetido à lavagem, classificação ou britagem.
- Agregado artificial: material resultante de processo industrial, para uso como agregado em concreto e argamassa.
- Agregado reciclado: material obtido de rejeitos, subprodutos da produção industrial, mineração, o processo de construção ou demolição da construção civil, incluindo agregados recuperados de concreto fresco por lavagem.
- Agregado especial: agregado cujas propriedades podem conferir ao concreto ou argamassa um desempenho que permita ou auxilia no atendimento de solicitações específicas em estruturas não usuais.
- Areia: agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas ou proveniente de outros processos industriais. É chamado de areia natural se resultante de ação de agentes da natureza, de areia artificial quando proveniente de processos industriais, de areia reciclada, quando proveniente de processos de reciclagem, e de areia de britagem quando proveniente do processo de cominuição mecânica de rocha, conforme normas específicas.

Outra classificação que cabe ressaltar nesta pesquisa, dada pela NBR NM 248:2003, apresenta a terminologia relativa às dimensões dos agregados, sendo elas:

- pedrisco: material resultante da britagem de rocha cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 12,5 mm e ficam retidos na peneira de malha 4,75 mm.
- pedrisco misto; pedregulho misto: material resultante da britagem de rocha ou não que passa pela peneira com abertura de malha 12,5 mm.
- agregado miúdo: agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 150 μ m.
- pó de pedra: material resultante da britagem de rocha que passa na peneira de malha 6,3 mm.
- fíler: material granular que passa na peneira com abertura de malha 150 μ m.

- agregado misto: agregado natural ou resultante da britagem de rochas, cuja obtenção ou beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos.

Nesta pesquisa o agregado estudado foi o agregado miúdo, citado da seguinte forma: Agregado Miúdo Natural (AMN) e Agregado Miúdo Britado (AMB). Ressalta-se que o AMB, também é considerado natural, visto que é oriundo de rochas, convencionou-se Britado, e não agregado miúdo artificial.

A realidade encontrada nas pedreiras mostra duas possibilidades de produção, com o processamento realizado a seco ou a úmido. Em geral, quando o processamento ocorre a seco, acontece a estocagem de produto classificado como pó-de-pedra, acima mencionado. Já se o processamento acontece a úmido, tem-se dois materiais resultantes: o AMB e uma lama resultante do material pulverulento extraído, enviada para bacias ou lagoas de decantação. Estas bacias de decantação surgem como mais um problema ambiental a ser resolvido, faz-se a utilização de um material considerado ‘resíduo’ da britagem do agregado graúdo, que é a AMB, mas tem-se como resultado outro passivo ambiental que é a lama gerada pelo processo de lavagem, que é o que acaba por inviabilizar o uso da AMB.

Contudo, sabe-se que já há disponível no mercado britadores com capacidade de produzir o AMB, com viabilidade econômica, sem precisar passar pelo processo úmido, não gerando as lagoas de decantação. Todavia, neste trabalho não foi possível fazer estudos com amostras de britadores como este, por não existir nenhum já montado na região de estudo.

As porcentagens de material fino gerado durante a britagem do agregado graúdo variam em função de diversos fatores, como equipamento do britador, condição de uso deste equipamento, natureza da jazida de onde são extraídas as rochas para britagem, entre outros.

2.1.5 Características e propriedades dos agregados miúdos

Segundo Sbrighi Neto (2005), existe uma série de características importantes a serem estudadas na qualificação de agregados na produção do concreto: granulometria, forma e textura superficial, resistência mecânica, absorção e umidade superficial e, isenção de substâncias nocivas. Neste trabalho, por motivos já mencionados convencionou-se o estudo da granulometria e resistência mecânica. Frazão (2002) considera que as propriedades dos agregados utilizados na construção civil podem ser classificadas em geológicas, físicas e mecânicas. As propriedades geológicas são as propriedades químicas, mineralógicas e

petrográficas, relacionadas à natureza da rocha, refletida na composição mineralógica, resistência mecânica, textura, estrutura, grau e tipo de alteração mineralógica. Desta condição pode-se ainda definir outras propriedades como: solubilidade, cristalinidade, alterabilidade, reatividade e forma das partículas na fragmentação. As propriedades físicas e mecânicas são influenciadas pelas propriedades geológicas. Como propriedades físicas pode-se citar: densidade, massa específica, porosidade, permeabilidade, capacidade de absorção d'água, dureza, calor específico, condutibilidade térmica, dilatação térmica, expansibilidade, e outras.

Para o uso adequado do agregado na construção civil, Frazão (2002) indica uma caracterização tecnológica, realizada a partir de procedimentos padronizados, uma normatização. Trata-se de uma forma de caracterizar as rochas e agregados usados na construção civil. Frazão e Paraguassu (1998) relacionaram as normas utilizadas para avaliação das propriedades tecnológicas dos agregados, em seus diferentes usos, em concreto, pavimentos e lastro, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Normas para avaliação das propriedades tecnológicas dos agregados em seus diferentes usos

Propriedades	Usos		
	Concreto	Pavimentos	Lastro
Amostragem	NBR 7216/9941	nn	NBR 11541
Terminologia	NBR 7225/9935/9942	NBR 6502	nn
Petrografia	NBR 7389	IE 06	nn
Granulometria	NBR 7217	NBR 7217	nn
Materiais pulverulentos	NBR 7219	np	NBR 7219
Impurezas orgânicas	NBR 7220	np	np
Argilas em torrões e materiais friáveis	NBR 7218	np	NBR 7218
Massa específica, porosidade e absorção	NBR 6458	NBR 6458	NBR 6458
Forma	NBR 7809	ME 86	NBR 6954
Dilatação térmica	nn	nn	np
Massa unitária	NBR 7251/7810	np	nn
Adesividade	np	NBR 12583/12584	np
Reatividade	NBR 9773/9771/10340	np	np
Sais solúveis	NBR 9917	np	np
Alterabilidade	NBR 12696/12697	ME 89	NBR 7702
Desgaste	nn	nn	np
Abrasão	NBR 6465	NBR 6465	NBR 6465
Impacto	nn	nn	NBR 9838
Esmagamento	NBR 9938	ME 42	nn
Compressão	nn	nn	NBR 6953
Flexão	np	np	np
Especificações	NBR 7211	NBR	NBR 7914
		7174/11803/11804/11806/12559/12564/12948	

Notas: NBR = Norma ABNT homologada pelo INMETRO; ME e IE = Norma DNER, nn = não normalizada, np = não pertinente.

Fonte: FRAZÃO e PARAGUASSU (1998).

Das características tecnológicas relacionadas por Frazão e Paraguassu (1998), neste trabalho as amostras foram caracterizadas quanto ao material pulverulento. Ainda, com

relação à uniformidade e trabalhabilidade, realizaram-se ensaios com as amostras de Abatimento do Tronco de Cone (*Slump Test*), que traduzem propriedades intrínsecas da mistura fresca do concreto utilizando o AMB, com resultados relacionadas a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes, visando obter uniformidade e compacidade do concreto.

2.1.5.1 Composição granulométrica

Granulometria, graduação ou composição granulométrica de um agregado é a distribuição percentual dos seus diversos tamanhos de grãos, considerando a quantidade de material, em massa, retido nas peneiras da série normal (76; 38; 19; 9,5; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 mm), determinados de acordo com a NM 248:2003.

A granulometria é um parâmetro físico dos agregados, utilizada tanto para a caracterização quanto para a sua classificação, também tem grande influência sobre as propriedades do concreto.

Para avaliar a granulometria pode-se analisar a dimensão máxima característica (agregado graúdo) e módulo de finura (agregado miúdo). Segundo a NBR 7211 (2009) módulo de finura corresponde a soma das porcentagens retidas acumuladas, em massa, de um agregado, nas peneiras da serie normal, dividida por 100. Na Tabela 2 são apresentados os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Tabela 2 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha	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
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: ABNT NBR 7211/2009

NOTAS:

- (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.

O objetivo de determinar a granulometria do agregado miúdo está relacionado a qualidade do concreto obtido a partir de seu uso. Concretos muito grossos tendem a ser pouco trabalháveis e ásperos, enquanto que concretos com areias muito finas necessitarão de uma

quantidade maior de água, aumentando o fator água/cimento, o que pode tornar o concreto inviável economicamente. De acordo com Sbrighi Neto (2005) “uma granulometria equilibrada resulta em concretos trabalháveis e econômicos, com menor índice de vazios, que minimizam os riscos de penetração de agentes agressivos.”

2.1.5.2 Consistência

No Brasil, a consistência do concreto fresco é usualmente avaliada pelo abatimento do tronco de cone (*Slump Test*) criado por Abrams e descrito pela NBR NM 67 (1998) da ABNT.

A consistência é definida em função da quantidade de água adicionada ao concreto ou à utilização de algum aditivo e possibilita a determinação da uniformidade do concreto, com uma metodologia simples, controla a uniformidade da produção do concreto, dentro de padrões estabelecidos de trabalhabilidade. Mehta e Monteiro (1994) entendem que a trabalhabilidade do concreto está relacionada ao esforço para manipular uma quantidade de concreto com uma perda mínima de homogeneidade.

A maioria dos métodos conhecidos para medir a trabalhabilidade são feitos de modo a medir a consistência, e se baseiam na medida da deformação causada a uma massa de concreto fresco, a partir da aplicação de força ou energia determinada.

2.1.5.3 Resistência à compressão

Mehta (1994) explica que na dosagem do concreto e no controle de qualidade, a resistência à compressão axial é, em geral, a única propriedade especificada, pois sua determinação é relativamente simples e também porque propriedades do concreto, como módulo de elasticidade, impermeabilidade e durabilidade, estão diretamente relacionadas com a resistência e, podem ser deduzidas a partir da mesma.

A resistência à compressão axial por ser maior que os outros tipos de resistência é aceita universalmente como um índice geral de resistência do concreto. A resistência à compressão é um parâmetro que aponta para a aceitação ou rejeição de uma estrutura de concreto armado. Este parâmetro é avaliado por meio de corpos de prova obtidos de amostras de concreto fresco, estando sujeito às variações decorrentes das etapas do processo de coleta, moldagem, dentre outros. É a resistência potencial do concreto (LODI, 2006).

Para se determinar a resistência de um concreto a NBR 5739 (1994) prescreve o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão dos corpos-de-prova, cilíndricos de concreto moldados, conforme o procedimento da NBR 5738 (1994).

2.1.5.4 Material pulverulento

Materiais pulverulentos são, conforme a NM 46:2003, partículas minerais com dimensão inferior a 0,075mm, inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados. Em geral, a presença desses materiais é indesejável na constituição do concreto. Um agregado com alto teor de materiais pulverulentos tem reduzido a sua aderência a pasta ou argamassa, prejudicando de forma direta a resistência.

A areia contém geralmente pequena porcentagem de material fino, constituído de silte e argila, que passa pela peneira nº200 da ABNT. Este teor é limitado entre 3,0% para concretos submetidos a desgaste superficial e 5,0% para demais concretos. Os finos quando presentes em grande quantidade no concreto aumentam a exigência de água para a obtenção da mesma consistência. Os finos de certas argilas também propiciam maiores alterações de volume, intensificando a retração e reduzindo a resistência.

O processo de britagem influencia fortemente as características do concreto no estado fresco, devido a porcentagens diferentes de material pulverulento, originando certa variação nos consumos de cimento das misturas para uma mesma resistência à compressão.

Por este motivo, as pedreiras tem alterado seu processo de britagem, mudado de à seco para à úmido, reduzindo a quantidade de material pulverulento, desenvolvendo um sistemas de lavagem e classificação que permitem a produção do AMB com índices de material pulverulento aceitáveis, que tornam o concreto que faz uso deste material viável técnica e economicamente.

O AMB apresenta conteúdo de material pulverulento menor que o encontrado no pó de pedra e granulometria média estável. Deste modo, se misturado às areias naturais, pode mostrar desempenho adequado com relação ao consumo de cimento.

2.2 PROCESSO DE EXTRAÇÃO DA AREIA NATURAL

De acordo com Lodi (2006, p.9), o esgotamento das jazidas de areia natural próximas dos grandes centros de consumo, a contaminação das fontes de material pela poluição e as políticas de proteção ambiental fazem com que a obtenção de agregados miúdos para emprego na construção civil, particularmente na produção de concretos convencionais, seja impulsionada na direção de novas opções.

A carência de jazidas de areia natural é cada vez maior em muitas regiões do Brasil e do mundo. No Sudoeste do Paraná, por exemplo, se busca areia natural a distâncias maiores de 200Km.

“As atividades de extração de areia são de grande importância para o desenvolvimento social, mas igualmente responsáveis por impactos ambientais negativos, alguns inclusive irreversíveis.” Lelles et. al (2005, p.439).

De acordo com Lodi (2006), o concreto é o material de construção mais utilizado no mundo e a areia representa cerca de 30% de seu volume. A extração de areia natural agride a natureza, principalmente no que se refere aos rios, modificando muitas vezes sua calha natural, provocando um aumento da vazão da água ou acelerando a erosão das margens.

Com o passar do tempo, a extração natural da areia tende a se tornar insustentável, portanto novas formas para a obtenção deste agregado estão sendo estudadas. A reciclagem dos próprios materiais utilizados na construção civil pode ser uma saída.

2.3 PROCESSO DE OBTENÇÃO DA AREIA BRITADA

Os agregados naturais de britagem são obtidos através da redução de tamanho de pedras maiores por trituração em equipamentos mecânicos e compreendem os seguintes processos.

a) Decapagem do terreno: Nesse processo é realizada uma limpeza nas bancadas, executada pelos caminhões e pelas máquinas, com o intuito de remover a argila e outros materiais impróprios para a britagem.

b) Desmonte da rocha: Com a utilização de carregadeiras mecânicas e em alguns casos explosivos faz-se a retirada de blocos de grandes dimensões da mina de extração, que em alguns casos ficam a uma distância considerável do local de britagem. A Figura 1 abaixo mostra encostas e minas onde se realizam a extração do material a ser britado.



Figura 1 - Minas de material da rocha basáltica

c) Britador primário: reduz o tamanho dos blocos. Antes de ser lançada no britador, a pedra passa por uma grade fixa na base do alimentador que retira do processo o excesso de materiais finos, conduzindo-os através de transportador de correia ao estoque. O restante do material é lançado para dentro do britador, normalmente os britadores são de mandíbula, esmagando a pedra de encontro à superfície trituradora fixa, por meio de superfície trituradora de movimento alternado (mandíbula móvel). Na fragmentação dos blocos pode ou não ocorrer lavagem da pedra, para diminuição de material pulverulento durante o processo e classificação da rocha. Após a fragmentação no britador primário, há a formação de uma pilha-pulmão, que alimenta os britadores secundários. A Figura 2 mostra a vista frontal de um britador primário de mandíbulas, e na Figura 3 o seu abastecimento pelas pedras oriundas da fragmentação.



Figura 2 - Vista frontal do britador primário de mandíbulas



Figura 3 - Abastecimento do britador primário

O material originado pelo britador primário é transportado pelas correias para uma pilha de pedra pulmão, agregado passante em peneira 4" (101,60 mm) e retido em peneira 2" (50,802 mm), conforme Figura 4. Este material também é denominado rachão e será encaminhado para a britagem secundária.



Figura 4 - Transporte pelas correias

d) Britador secundário: Por meio de um transportador de correias posicionado dentro do túnel localizado abaixo do monte de rachão, o material é transportado e lançado sobre uma peneira, com malha de abertura igual a 40mm.

O material passante é levado diretamente ao peneiramento e o material retido é lançado para dentro do Britador Hydrocone e triturado de acordo com a abertura do britador. Em seguida, é conduzido sobre o transportador de correia até o peneiramento.

O material retido na peneira 35mm retorna ao Britador Cônico para rebitagem, o pó de pedra 3/16” ao fundo é transportado ao estoque e a bica corrida passante na peneira 35mm e retida na 3/16”, segue no processo abastecendo a britagem terciária.

e) Britador Terciário: Neste processo o material é arremessado dentro de um compartimento circular fechado onde ocorrem diversas colisões entre as partículas de pedra e também com as paredes revestidas do VSI – Britador de impacto vertical, propiciando com isso uma correção no formato dos grãos do agregado tornando-os arredondados.

Isso melhora significativamente o emprego desse produto na produção de concretos. Devido a maior aderência entre os grãos e a pasta consegue-se um concreto mais resistente e com melhor trabalhabilidade. Todo o material resultante deste processo é lançado no transportador de correia e levado ao peneiramento.

f) Peneiramento: separa os grãos em tamanhos diferentes, classificando os materiais conforme exigências de norma ou comerciais. A peneira é formada de várias seções, com diâmetro de furo crescente, da boca para a saída.

g) Lavagem: realizada para remoção da quantidade excessiva de finos (material pulverulento). A produção de areia industrial tem como matéria prima o material passante na peneira 4,8 mm denominado comercialmente como pó de brita. Este material que é resíduo do processo de produção de brita é coletado e conduzido, através de uma calha, para um sistema de eliminação do excesso de material pulverulento. O sistema é formado por um tanque dotado de uma roda d'água (Figura 5).

Este tanque é alimentado continuamente com água, possui um extravasor que mantém o nível de água constante. A roda d'água possui câmaras cujo fundo é formado por telas de pequena abertura. O giro da água faz com que câmaras capturem porções do material imerso que, ao elevarem-se acima do nível da água do tanque, permitem a drenagem através de peneiras sendo que no líquido drenado é eliminada parte do pó.

Após o descarregamento do material desaguado, a caçamba continua seu movimento de entrada no tanque para iniciar novo ciclo, mediante o tampamento de algumas canaletas de drenagem. O operador pode controlar a velocidade ascendente de água no tanque e com isto ajustar a granulometria de corte desejado para uma aplicação específica. Reter os finos a 0,074mm permitindo que estes se depositem e sejam recolhidos pela caçamba ou aumentar a velocidade de ascensão da água e eliminar os sólidos mais finos que 0,55mm ou qualquer outra dimensão intermediária.

O material remanescente (Figura 6) das câmaras é basculado sobre uma calha que conduz a uma pilha. A água contaminada com o material pulverulento que sai continuamente do extravasor é conduzida a uma lagoa de sedimentação.



Figura 5 - Tanque de lavagem da areia industrializada e roda d'água

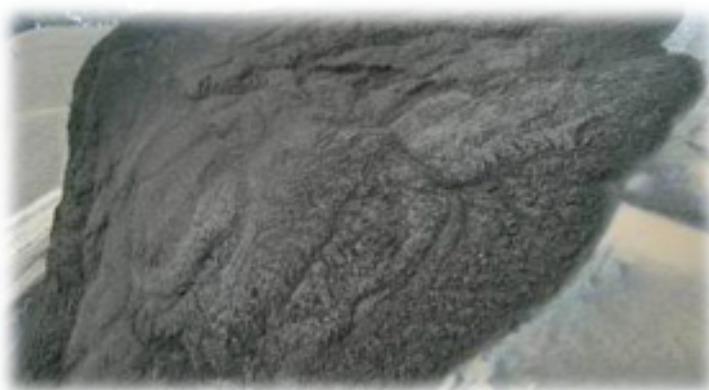


Figura 6 - Pilha de material remanescente

h) Estocagem: os agregados vão para depósitos a céu aberto como mostra a Figura 7, ou para silos para futura comercialização. A expedição é mecanizada ou automatizada, sendo o transporte feito exclusivamente via frete.



Figura 7 - Estocagem de material a céu aberto

3 MÉTODO DE TRABALHO

Segundo Strauss e Corbin (1998), o método de pesquisa é um conjunto de procedimentos e técnicas utilizados para se coletar e analisar os dados. O método fornece os meios para se alcançar o objetivo proposto, ou seja, são as ‘ferramentas’ das quais fazemos uso na pesquisa, a fim de responder nossa questão.

A opção metodológica do trabalho consiste no método indutivo, trata-se de uma pesquisa exploratória, quantitativa e qualitativa, onde realizou-se uma combinação entre a pesquisa bibliográfica e um estudo de caso. De acordo com Richardson (1989), a abordagem qualitativa contribui para descrever a complexidade do problema, analisando a interação de determinadas variáveis, compreendendo e classificando processos vividos por grupos de indivíduos e seu comportamento particular. Sendo assim, neste trabalho, a pesquisadora fez uso de métodos e técnicas de análise, que configuram o caráter quantitativo, já que a pesquisa servirá para analisar conceitos e resultados descritos na literatura juntamente com dados resultantes de experimentos e observações dos resultados.

Para a definição de estudos exploratórios, Sampieriet al (1994) dizem que estes acontecem quando existe o objetivo de oferecer um quadro de referência para futuras aplicações. Uma vez que o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica e econômica da areia britada na confecção de concreto obtendo um traço coerente, tornando o produto viável para utilização e beneficiando a inovação na construção civil, portanto, pode-se afirmar que se trata de uma pesquisa exploratória.

Objetivou-se com a fase experimental deste trabalho levantar e apresentar as vantagens e desvantagens do uso da areia britada na confecção do concreto, fazendo sua substituição total em relação a areia natural, com areia britada oriunda de três jazidas da região Sudoeste do Paraná.

A Figura 8 representa um fluxograma das etapas metodológicas que foram realizadas neste trabalho, vale salientar que a definição dos experimentos a serem realizados deu-se pela importância, mas também se levou em conta, a disponibilidade de equipamentos e recursos materiais, e ainda o quesito tempo.

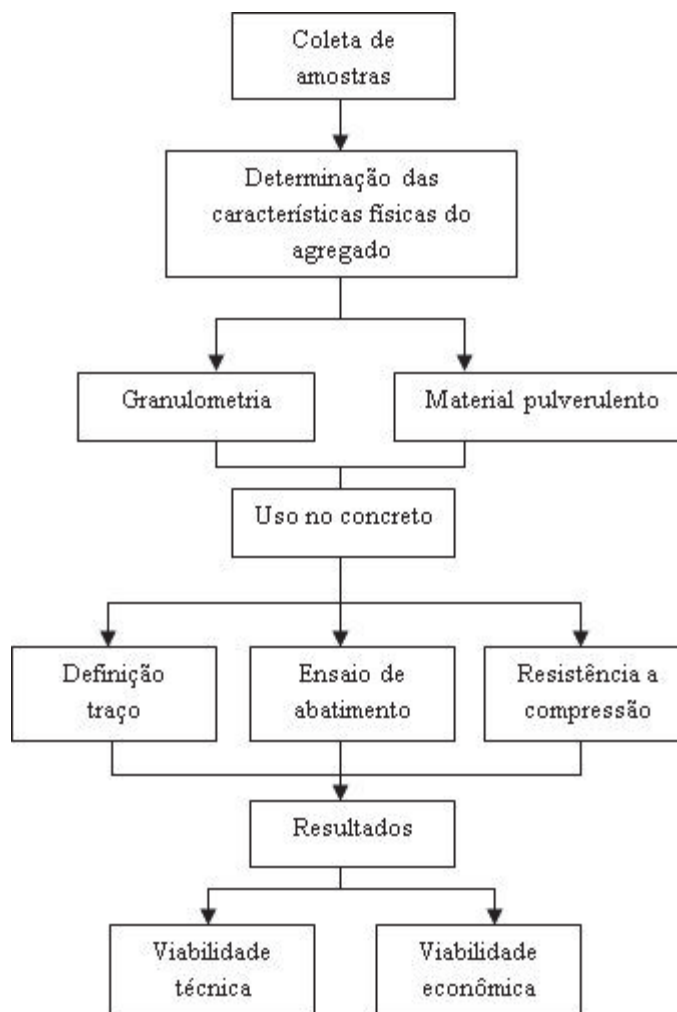


Figura 8 - Fluxograma das etapas metodológicas

Inicialmente foi realizado um levantamento da origem da areia natural utilizada na região e também das jazidas existentes utilizadas para a extração de agregado graúdo. Determinou-se as jazidas estudadas. Três usinas no Sudoeste do Paraná, uma na cidade de Pato Branco, uma na cidade de Coronel Vivida e a última na cidade de Vitorino. Sendo estas usinas que produzem material para a região em estudo. Uma das jazidas tem seu estudo justificado por ter em seu processo de produção maior especificidade e controle. Sendo esta usina a única que produz ‘areia artificial’, tendo em seu processo de produção uma etapa de lavagem que minimiza o índice de material pulverulento, diferenciando seu material das outras duas usinas de britagem, enriquecendo os resultados deste trabalho.

As jazidas escolhidas para o estudo foram as seguintes:

- Pedreira Hobi na cidade de Vitorino – PR.
- Britador Britasul na cidade de Coronel Vivida – PR.

- Britador Dal’Ross na cidade de Pato Branco – PR.

A usina de britagem de Vitorino tem como produto final a ‘areia artificial’, sendo seu processo de fabricação formal na usina, e comercializando-a como tal, tanto para usinas de concreto como em usinas asfálticas.

Foi comparado também o material dessa usina de britagem com o material das usinas de britagem de Pato Branco e de Coronel Vivida, onde o material coletado como ‘areia artificial’ é resultante do resíduo de britagem de agregados graúdos, e não recebe nenhum tratamento para ser utilizado como agregado miúdo.

Ao contrário do que ocorre na usina de britagem de Vitorino, onde a ‘areia artificial’ passa pelo processo de lavagem, que reduz o índice de material pulverulento. Será verificado também, desta forma, se o processo de lavagem realmente modifica o comportamento do material e até que ponto ele é imprescindível.

Cabe ressaltar que, em todas as usinas, devido à composição geológica regional, obtêm-se rochas de origem basáltica. As amostras no desenvolvimento do trabalho foram chamadas aleatoriamente de Amostra 1, Amostra 2 e Amostra 3, a fim de preservar as empresas que se prontificaram a fornecer material para o estudo.

Na sequência, foram realizados ensaios granulométricos das amostras e ensaios para a determinação do índice de material pulverulento de acordo com a NBR7211 (2009).

Determinou-se, a partir de levantamento bibliográfico e da análise dos resultados das características do agregado em estudo, três traços para realização de ensaios. A partir de uma relação água-cimento e um resultado para o ensaio de abatimento de Tronco de Cone, ou seja uma consistência.

Pré-estabeleceu-se uma relação água/cimento de 0,55, que pode resultar em aproximadamente 30MPa de resistência. E também estabeleceu-se previamente uma consistência de 10 ± 2 cm, que caracteriza um concreto com trabalhabilidade adequada para lançamento em vigas, pilares ou lajes.

A partir destes parâmetros determinou-se o consumo por m^3 para cada um dos agregados miúdos, nas diferentes amostras. Buscando com esta análise definir o concreto mais apropriado, cujo traço demanda menor consumo de cimento, ou seja, menores custos econômicos e ambientais.

Após a determinação dos traços do concreto o mesmo foi confeccionado e dosado de maneira adequada. Realizou-se a moldagem dos corpos de prova de acordo com a NBR 5738 (2011).

O rompimento destes corpos de prova deu suporte para a verificação da resistência do concreto (7 e 14 dias), que utiliza o AMB, se os mesmos encontram-se dentro dos padrões normalmente encontrados nos ensaios realizados com concretos convencionais, onde é utilizada a areia natural, configurando o objetivo geral deste projeto.

O programa experimental foi executado no Laboratório de Materiais da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, utilizando os equipamentos disponíveis no mesmo. Os ensaios de caracterização dos materiais foram realizados seguindo as recomendações das Normas Brasileiras (NBRs).

A seguir serão relacionados os equipamentos e materiais necessários para a realização dos experimentos.

3.1 EQUIPAMENTOS

- Agitador mecânico de peneiras (facultativo)
- Balanças - Com resolução de 100g e capacidade mínima de 50kg e com resolução de 0,01g e capacidade mínima de 200g. Bandejas metálicas (opcional) - Com dimensões mínimas de 500mm x 700mm.
- Bandeira metálica – Para secar a amostra
- Betoneira – Capacidade de 120l.
- Bisnaga para água.
- Circulador de ar regulável
- Concha
- Dessecador
- Dois recipientes de vidro transparente com dimensões iguais.
- Encerado de lona - Com dimensões mínimas de 2,0 m x 2,5 m.
- Escova ou pincel – de cerdas macias
- Escumadeira feita com tela de peneira 0,300 m.
- Espátula de aço
- Estufa - Capaz de manter a temperatura no intervalo de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
- Fundo avulso de peneira
- Haste de compactação - Deve ser metálica, com (340 ± 15) g de massa e tendo superfície de compactação circular de (25 ± 3) mm de diâmetro.
- Haste para agitação.

- Máquina de ensaio de compressão
- Molde de forma cilíndrica (100x200 mm)
- Molde tronco-cônico, metálico - Com (40 ± 3) mm de diâmetro superior, (90 ± 3) mm de diâmetro inferior e (75 ± 3) mm de altura e com espessura mínima de 1mm.
- Pá ou concha - De tamanho adequado para encher o recipiente com os agregados em ensaio.
- Paquímetro com escala em milímetros, capaz de medir espessuras de até 200 mm, com resolução de no mínimo 0,1 mm.
- Peneiras – Da série normal e intermediária, com tampa e fundo.
- Proveta - Graduada a cada 10 ml, calibrada, de vidro ou material plástico, com capacidade mínima de 1.000 ml;
- Recipientes com dimensões suficientes para reter a amostra do agregado e a água de recobrimento. Deve ser resistente para permitir a agitação vigorosa sem perda de água ou da amostra.
- Régua metálica, não flexível, com borda longitudinal biselada, de aproximadamente 200 mm de comprimento e de 1 mm a 2 mm de espessura.
- Régua rígida - Com comprimento suficiente para rasar o recipiente de ensaio.
- Soquete
- Termômetro graduado em décimos de graus Celcius.

3.2 MATERIAIS

Como o objetivo dessa pesquisa é dosar um concreto em função de sua resistência à compressão e a sua consistência, não foram realizados ensaios de durabilidade e outros testes complementares, além de que foram escolhidos apenas um tipo de cimento e um tipo de agregado graúdo.

3.2.1 Componentes do concreto

- Água

A água usada na mistura do concreto deve ser potável e estar na temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$.

- AMB – Agregado Miúdo Britado

Para este trabalho foram coletadas como amostras areias britadas provenientes da britagem das pedras de rocha basáltica na região Sudoeste do Paraná, nas cidades de Pato Branco, Coronel Vivida e Vitorino, conforme apresentadas anteriormente.

- Brita 1

Com dimensão máxima característica de 19mm, de origem basáltica.

- Cimento CPV – ARI

Cimento de Portland de alta resistência inicial - resistente a sulfatos CPV-ARI RS que é fabricado de acordo com as normas técnicas brasileiras NBR 5733/1991 e NBR 5737/1992. Composto por silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfatos de cálcio filler carbonáticos e pozolana.

Outros materiais:

- Óleo

O óleo utilizado como desmoldante deve ser mineral e de baixa viscosidade.

- Material para capeamento

O material para capeamento deve ser preparado fundindo-se enxofre com caulim, pozolanas, quartzo em pó ou outras substâncias, em proporções tais que não interfiram no resultado do ensaio.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS

O primeiro ensaio foi realizado com o intuito de analisar a granulometria do material, conforme precede a NM 248:2003.

A NM 248:2003 prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto.

As amostras do agregado miúdo foram coletadas conforme a norma NM 26:2009 que estabelece os procedimentos para a amostragem de agregados, desde a sua extração e redução até o armazenamento e transporte das amostras representativas de agregados para concreto, destinadas a ensaios de laboratório.

As amostras foram colocadas em estufa à temperatura de 105°C para secagem durante 24h. Após esse procedimento as amostras foram retiradas da estufa e esfriadas a temperatura ambiente, a qual foi dividida obtendo duas sub amostras para o ensaio.

Primeiramente, para saber qual a quantidade de amostra necessária para o ensaio, foi preciso determinar a Dimensão Máxima Característica (DMC) de cada amostra. Segundo a NM 248:2003 a Dimensão Máxima Característica correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira em que o agregado apresentou uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5% em massa.

Foram utilizados 3 kg de material para as amostras 1, 2 e 3, conforme estabelece a NM 248:2003 (Tabela 3).

Tabela 3 - Massa mínima por amostra de ensaio

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
< 4,8	0,5
6,3	3
> 9,5 e < 25	5
32 e 38	10
50	20
64 e 76	30

Fonte: NM 248:2003

Cada uma das amostras foi dividida em M_A e M_B , com massa de 1,5kg cada, as quais foram submetidas ao quarteamento, para homogeneização do material. Após o quarteamento

utilizou-se apenas 1000g de M_A e 1000g de M_B de cada amostra para o ensaio. As peneiras são caracterizadas de forma sucessiva pela abertura das malhas que atendem à ABNT NBR NM ISO 3310-1, com as aberturas estabelecidas na Tabela 4.

Tabela 4 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal)

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 μ m	-
300 μ m	-
150 μ m	-

Fonte: ABNT NBR 7211/2009

As peneiras utilizadas foram: 6,3 mm, 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 μ m; 300 μ m; 150 μ m; 75 μ m e o fundo, dispostas em ordem crescente começando pelo fundo, da base para o topo, até a peneira de maior dimensão, formando um único conjunto de peneiras. Posteriormente as amostras foram depositadas na peneira superior e executou-se o peneiramento que em parte foi manual e em parte foi mecânico. Por fim, pesou-se o material que ficou retido em cada peneira. Os resultados obtidos em cada parcela da amostra em porcentagem acumulada não pode ultrapassar uma diferença de 4%.

Com os resultados obtidos fez-se uma análise comparativa com os limites da distribuição granulométrica, superiores e inferiores, das zonas ótimas e utilizáveis, conforme a Tabela 2 apresentada anteriormente.

Convencionou-se coletar duas amostras diferentes em uma das usinas de britagem, pois havia dois depósitos com materiais com umidades relativamente distintas. Deste modo, tem-se Amostra 1.1 (menor umidade), Amostra 1.2 (maior umidade), Amostra 2 e Amostra 3. Na seqüência, realizaram-se dois ensaios granulométricos para cada uma das quatro amostras, resultando em 8sub-amostras.

Nas Tabelas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 são apresentados os resultados dos ensaios granulométricos de todas as amostras.

Tabela 5 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 1.1.1

Amostra 1.1.1			
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	0,33	0,033	0,033
4,8	2,26	0,226	0,259
2,4	338,43	33,875	34,134
1,18	324,20	32,450	66,584
0,6	172,12	17,228	83,812
0,3	84,70	8,478	92,290
0,15	37,76	3,780	96,069
Fundo	39,27	3,931	100,00
Total da massa retida: 999,07 g			

Tabela 6 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 1.1.2

Amostra 1.1.2			
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	2,13	0,213	0,213
4,8	2,30	0,230	0,444
2,4	331,45	33,183	33,627
1,18	321,05	32,142	65,769
0,6	172,12	16,749	82,519
0,3	167,3	8,652	91,171
0,15	86,42	4,236	95,407
Fundo	42,31	4,593	100,00
Total da massa retida: 998,84 g			

Tabela 7 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 1.2.1

Amostra 1.2.1			
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	0,92	0,092	0,092
4,8	0,24	0,024	0,116
2,4	208,75	20,898	21,014
1,18	290,22	29,054	50,069
0,6	214,50	21,474	71,542
0,3	138,94	13,909	85,452
0,15	70,70	7,078	92,530
Fundo	74,62	7,470	100,00
Total da massa retida: 998,89 g			

Tabela 8 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 1.2.2

Amostra 1.2.2			
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	0,51	0,051	0,051
4,8	0,58	0,058	0,109
2,4	219,29	21,929	22,018
1,18	298,33	29,805	51,823
0,6	198,09	19,791	71,613
0,3	137,32	13,719	85,333
0,15	75,72	7,565	92,898
Fundo	71,09	7,102	100,00
Total da massa retida: 998,89 g			

Tabela 9 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 2.1

Amostra 2.1			
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	0,00	0,00	0,000
4,8	0,41	0,041	0,041
2,4	189,41	19,042	19,083
1,18	224,37	22,557	41,640
0,6	149,58	15,038	56,678
0,3	113,88	11,449	68,127
0,15	87,48	8,795	76,921
Fundo	229,56	23,079	100,00
Total da massa retida: 994,69 g			

Tabela 10 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 2.2

Amostra 2.2			
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	0	0,000	0,000
4,8	1,82	0,182	0,182
2,4	177,68	17,775	17,957
1,18	253,56	25,366	43,323
0,6	164,05	16,412	59,735
0,3	115,32	11,537	71,272
0,15	83,86	8,389	79,661
Fundo	203,31	20,339	100,00
Total da massa retida: 999,6 g			

Tabela 11 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 3.1

Amostra 3.1			
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	0	0,000	0,000
4,8	2,48	0,248	0,248
2,4	213,80	21,383	21,631
1,18	311,82	31,186	52,817
0,6	199,60	16,962	69,780
0,3	118,89	11,891	81,670
0,15	68,97	6,898	88,568
Fundo	114,30	11,432	100,00
Total da massa retida: 999,86 g			

Tabela 12 - Resultados Ensaio Granulométrico Amostra 3.2

Amostra 3.2			
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
6,3	0	0,000	0,000
4,8	1,82	0,182	0,182
2,4	215,99	21,560	21,741
1,18	303,78	30,323	52,064
0,6	169,14	16,883	68,948
0,3	105,12	10,493	79,440
0,15	64,30	6,418	85,859
Fundo	141,67	14,141	100,00
Total da massa retida: 1001,82 g			

4.1.1 Curva granulométrica

A areia de britagem apresentou composição granulométrica conforme as Figuras 9, 10, 11 e 12, visando adequar o material para a fabricação do concreto, utilizando todas as frações passantes das peneiras.

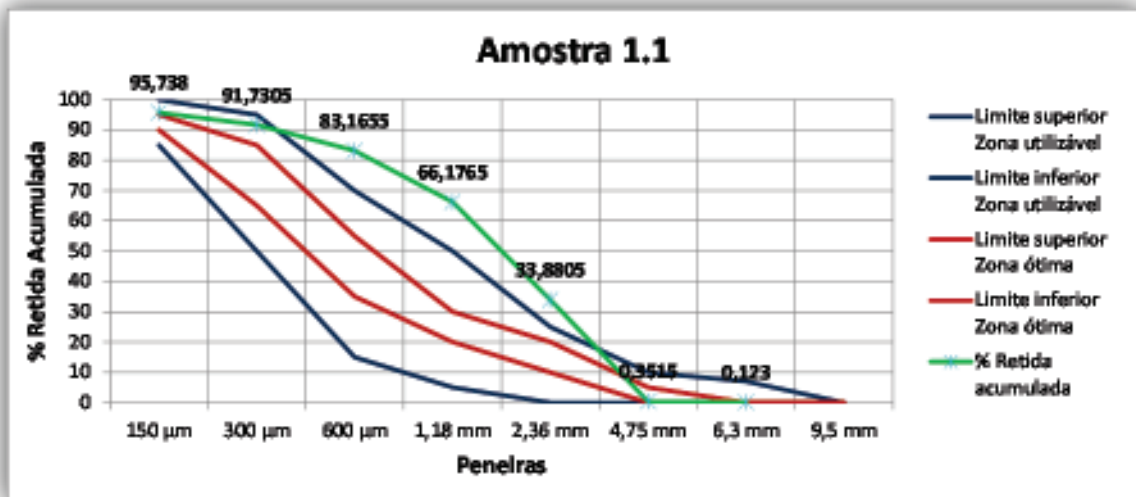


Figura 9 - Curva granulométrica Amostra 1.1 - NBR NM248

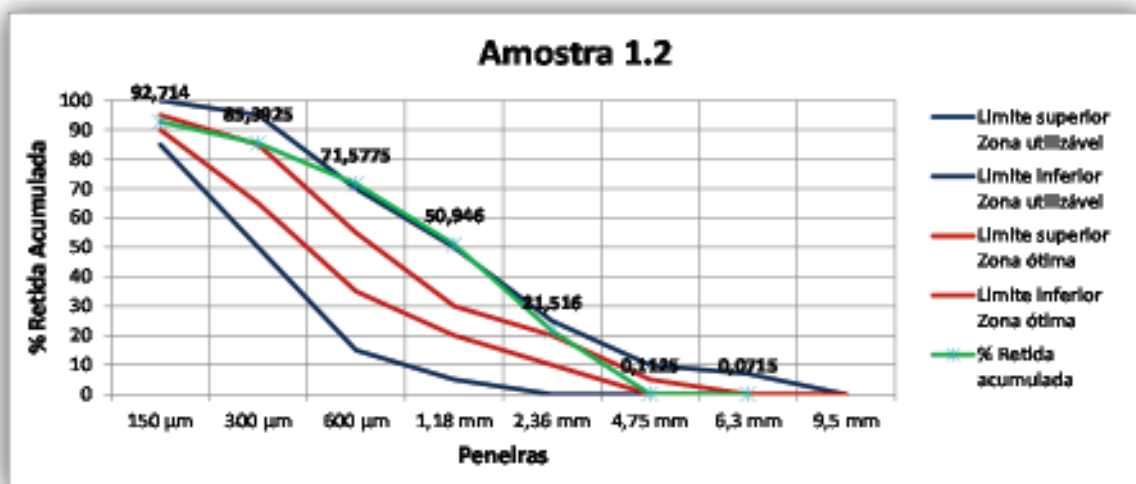


Figura 10 - Curva granulométrica Amostra 1.2 - NBR NM248

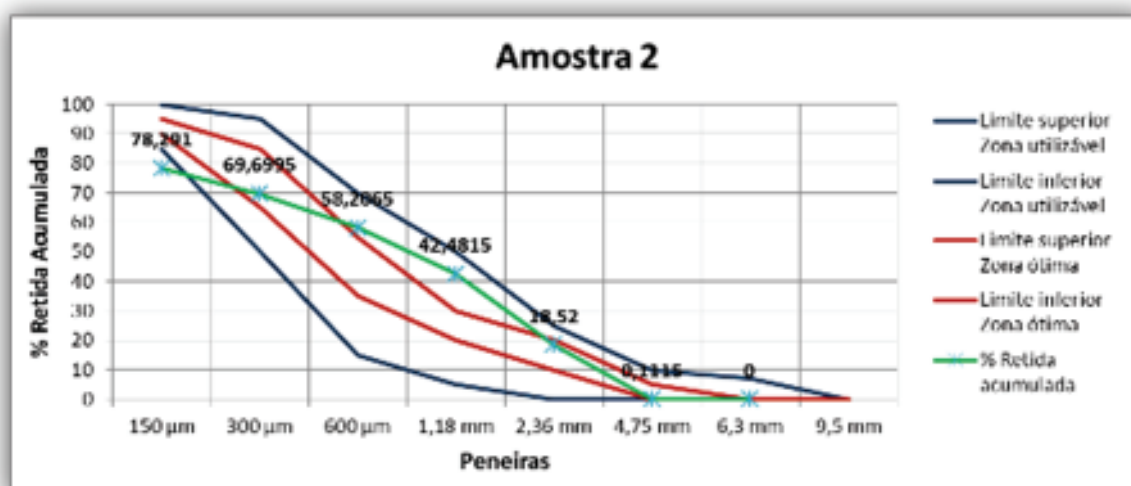


Figura 11 - Curva granulométrica Amostra 2 - NBR NM248

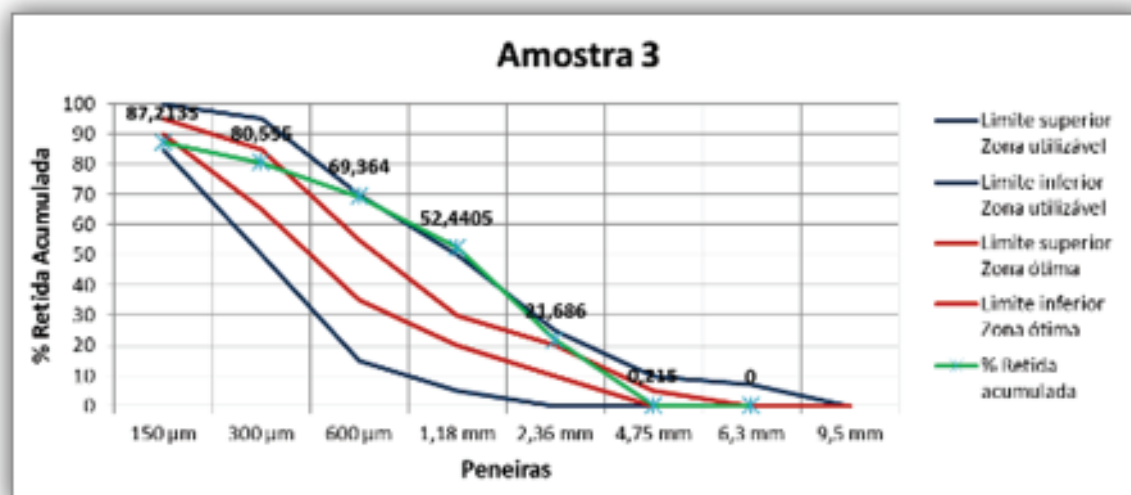


Figura 12 - Curva granulométrica Amostra 3 - NBR NM248

Analisando os ensaios de granulometria realizados com os agregados miúdos, pode-se verificar que a areia da Amostra 1.1 não se enquadra em nenhuma classificação de granulometria, a qual apresentou uma fração de areia muito grossa passando na série intermediária entre 0,3mm e 2,36mm. A Amostra 1.2 e a Amostra 3 podem se enquadrar na zona superior utilizável na NBR7211 (2009). A Amostra 1.2 apresentou uma fração de areia grossa passante nas peneiras de 0,6mm e 1,18mm e a Amostra 3 apresentou uma fração de areia grossa passante na peneira de 1,18mm. A Amostra 2 pode ser denominada de granulometria ótima da NBR7211 (2009), foi a que apresentou melhor distribuição granulométrica, entretanto possui uma fração muito fina passante na peneira 0,15 mm.

4.1.2 Módulo de finura

De acordo com a NM 248:2003, o módulo de finura é dado pela soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras série normal, dividida por 100.

A partir dos dados resultantes do Ensaio Granulométrico foi possível caracterizar as amostras da seguinte maneira:

Tabela 13 - Resultados DMC, MF e enquadramento

	Amostra 1			
	Amostra 1.1	Amostra 1.2	Amostra 2	Amostra 3
DMC	6,3	6,3	4,8	4,8
MF	3,71	3,22	2,67	3,11
Enquadramento	Não se enquadra	Zona utilizável superior	Zona ótima	Zona utilizável superior

Quanto ao módulo de finura, a Amostra 1 apresentou dimensão máxima característica de 6,3mm, enquanto que as Amostras 2 e 3 apresentaram dimensão máxima característica de 4,8mm.

Obteve-se o módulo de finura da Amostra 1.1 de 3,71. A Amostra 1.2 apresentou módulo de finura de 3,22. As Amostras 2 e 3 obtiveram módulos de finura de 2,67 e 3,11 respectivamente.

4.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS

Segundo a NM 46:2003, os materiais pulverulentos presente nas amostras são aqueles que apresentam dimensão inferior a 0,075 mm, inclusive os solúveis em água.

Para cada amostra de ensaio foram separados pouco mais de 1 kg de material, o qual foi colocado em estufa para secagem durante 24h. Após retirar da estufa cada amostra foi dividida em M_{i1} (massa inicial 1) e M_{i2} (massa inicial 2), ambas com massa de 500g.

As peneiras utilizadas foram: de 1,2 mm e 0,075 mm, conforme a NM-ISSO 3310 – 1: 2010. A peneira de abertura maior foi posicionada acima da de abertura menor, formando um conjunto único de peneiras.

A amostra M_{i1} foi depositada na peneira e então o recipiente foi coberto de água, fazendo a agitação do material, sucessivas vezes, até que a água obtida de lavagem estivesse límpida. Ao término da lavagem o material foi colocado em um recipiente o qual foi recoberto de água, até que o material decantasse. Em seguida foi retirada a água em excesso e o recipiente com o material foi levado até estufa para secagem. Pesou-se o material, após ser retirado da estufa e obter constância de massa, onde obteve-se a massa final (M_{f1}) de cada amostra.

O procedimento repetiu-se para a amostra M_{i2} , e assim sucessivamente para as outras amostras de materiais oriundas de usinas de britagens diferentes. Para este ensaio se convencionou fazer apenas uma amostra para o caso da Amostra 1, sem a distinção de diferentes unidades, tendo assim apenas 03 (três) amostras divididas em 06 (seis) sub-amostras.

O teor de material pulverulento é obtido através da diferença entre as massas antes e depois da lavagem e é expresso em porcentagem da massa ensaiada. O resultado final é a média aritmética das partes da amostra. O resultado de cada porção da amostra não pode diferir em mais de 1%.

O material pulverulento da amostra (M_p) foi determinado pela seguinte expressão:

$$M_p = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot (100) \quad (1)$$

Tabela 14 - Resultados dos ensaios de material pulverulento

	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3	
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
M_i	500g	500g	500g	500g	500g	500g
M_f	416,49g	416,41g	413,46g	410,46g	436,28g	437,98g
Material Pulverulento	16,711%		17,608%		12,570%	
$\Delta\%$	0,018%		0,600%		0,340%	

Ao fazer a análise do teor de material pulverulento contido em cada amostra, pode-se concluir que a amostra que apresenta o menor teor de material pulverulento é a Amostra 3, com 12,570%. A Amostra 1 apresentou teor de 16,711%, enquanto que a Amostra 2 foi a que apresentou o maior teor de material pulverulento com 17,608%. Os materiais pulverulentos em alto teor diminuem a aderência do agregado a pasta ou argamassa, prejudicando de forma direta a resistência mecânica e a trabalhabilidade do concreto.

A norma estabelece para o agregado miúdo um teor máximo de 3,0% para concreto sujeito ao desgaste superficial, e 5,0% para outros concretos. Assim sendo podemos dizer que nenhuma das amostras encaixa-se na faixa estabelecida de teor de material pulverulento.

4.3 DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DO CONCRETO E CONSUMO DE CIMENTO

O traço do concreto foi obtido através de algumas características pré-definidas. O concreto deveria ser produzido com relação a/c=0,55 e o teor de argamassa de 60%. Além de que, devia ser encontrada uma consistência através do ensaio de abatimento, denominado *Slump-test*, no valor de 10 ± 2 cm. Dessa maneira, produziu-se concreto suficiente para preencher o tronco de cone para realização do teste de abatimento, descobrindo a quantidade necessária de cada componente para a produção do concreto. Inicialmente foram determinados os valores utilizados de cimento, areia, brita e água, mantendo a relação a/c e o teor de argamassa, através da massa específica de cada componente.

O traço do concreto é apresentado na seguinte disposição: (Cimento: Brita: Areia: Água).

$$\gamma_{\text{cimento}} = 2,96 \text{ kg/dm}^3$$

$$\gamma_{\text{areia}} = 2,61 \text{ kg/dm}^3$$

$$\gamma_{\text{brita}} = 2,94 \text{ kg/dm}^3$$

$$\gamma_{\text{água}} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$$

O consumo de cimento é dada pela Equação (2):

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + x} \quad (2)$$

Em que:

C = consumo de cimento por m^3 de concreto pronto;

γ_c , γ_a e γ_p = massa específica do cimento, areia e pedra, respectivamente, em (kg/dm^3) ;

a = kg de areia por kg de cimento;

p = kg de pedra por kg de cimento;

x = kg de água por kg de cimento.

Para preencher o tronco de cone foram necessários a produção de 10 litros de concreto, portanto utilizou-se a fórmula para o consumo de cimento, onde o mesmo foi determinado. Em seguida através da relação a/c determina-se a quantidade dos outros materiais.

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{2,96} + \frac{2,6}{2,61} + \frac{2,4}{2,94} + 0,55} = 370 \text{ kg}$$

4.3.1 Traço inicial do concreto (1:2,6:2,4:0,55)

- Cimento = 3,70kg
- Areia = 9,62kg
- Brita = 8,88kg
- Água = 2,04kg

4.3.2 Imprimação

- Cimento = 2kg
- Areia = 5,2kg
- Água = 1,1kg

4.3.3 Traço corrigido em função da consistência

Após realizar o teste de abatimento usando essa proporção de materiais, os traços foram corrigidos, mantendo a relação a/c até adquirir a consistência esperada.

Objetivando fazer a análise de consumo de cimento por metro cúbico, fixou-se a consistência dos concretos em 10 ± 2 cm, e relação água/cimento em 0,55. Em decorrência disto as amostras demandaram diferentes relações de água/materiais secos (A%).

4.3.4 Determinação da relação água/materiais secos (A%)

A Tabela 15 fornece valores de A%, dadas pela expressão abaixo, que conduzem a consistências adequadas, em função da natureza da granulometria dos agregados.

$$A\% = \frac{P_{ag}}{P_c + P_m} \quad (3)$$

Sendo:

A% = relação água/materiais secos;

P_{ag} = peso de água;

P_c = peso de cimento;

P_m = peso de agregados (areia + pedra).

Em função de sua consistência, o concreto é classificado em:

- seco ou úmido - quando a relação água/materiais secos é baixa, entre 6 e 8%;
- plástico - quando a relação água/materiais secos é maior que 8 e menor que 11%;
- fluido - quando a relação água/materiais secos é alta, entre 11 e 14%.

Tabela 15 - Valores dos traços utilizados e consumo de cimento

Amostras	A %	Traços	Consumo de cimento / m ³
1	11,78	1:1,91:1,76:0,55	451,0 Kg
2	11,58	1:1,95:1,80:0,55	445,0 Kg
3	9,55	1:2,47:2,29:0,55	382,7 Kg

O consumo de cimento foi obtido através da Equação (2), onde é possível estabelecer a quantidade de cimento necessária para produzir um metro cúbico de concreto, tendo os valores do traço de cada amostra e a massa específica de cada material.

Um concreto de consistência plástica pode oferecer, segundo o grau de sua mobilidade, maior ou menor facilidade para ser moldado e deslizar entre os ferros da armadura, sem que ocorra separação de seus componentes. São os mais usados nas obras em geral. O processo de determinação de consistência mais utilizado no Brasil, devido à simplicidade e facilidade com que é executado na obra, é o ensaio de abatimento conhecido como *Slump Test*. (ARAUJO, RODRIGUES e FREITAS, 2000, p.52).

4.4 CONSISTÊNCIA DO CONCRETO

A consistência do concreto normalmente é determinada pelo abatimento do tronco de cone (*Slump Test*) criado por Abrams e descrito pela NBR NM 67 (1998) da ABNT.

O ensaio de *Slump Test* (Figura 13) deve ter duração máxima de 3 minutos. Efetuou-se o seguinte procedimento:

1 - O concreto foi alocado, em três camadas individuais compactadas com 25 golpes de uma haste de ponta arredondada, em um tronco de cone com 30cm de altura, tomando cuidado na 2ª e 3ª camada, para não atingir a camada já existente no cone, conforme exige o procedimento.

2 - Após o preenchimento das três camadas, o excesso de concreto foi nivelado com a base do tronco do cone (cone de Adams);

3 - Retirou-se lentamente o tronco do cone sem esforços laterais;

4 - O tronco de cone foi colocado em posição invertida ao lado do concreto e mediu-se com uma régua a diferença de altura entre o cone e o abatimento do concreto.



Figura 13 - Abatimento Tronco de Cone – Slump Test

Na Tabela 16 são apresentados os resultados do ensaio de abatimento Tronco de cone, onde se verifica que a Amostra 2 apresentou maior abatimento, o que pode ser relacionado ao maior índice de material pulverulento desta amostra, que interfere na consistência do concreto.

Tabela 16 - Resultados do ensaio Abatimento do Tronco de cone

Amostra	Abatimento (cm)
1	9
2	10
3	8

4.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA – MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO

Os materiais componentes do concreto foram misturados em uma betoneira com capacidade de produção de 120 litros. A betoneira precisa estar limpa (livre de pó, água suja e restos da última utilização) antes de ser usada.

Antes de fazer a mistura com os componentes do concreto, executou-se a imprimação (sujar a betoneira) com o mesmo traço do concreto a ser produzido. Após a imprimação o material utilizado foi retirado da betoneira e então os materiais utilizados para fabricação do concreto foram depositados na betoneira, obedecendo a seguinte ordem:

1. Parte da água;
2. Agregado graúdo;
3. Agregado miúdo;
4. Cimento;
5. Restante da água.

No ensaio de compressão axial (Figura 14), as faces devem ser ortogonais ao eixo do corpo-de-prova. Pequenas irregularidades na superfície já são suficientes para provocar excentricidade, pelo carregamento não uniforme e, conseqüentemente, uma diminuição da resistência final (BUCHER e RODRIGUES FILHO, 1983, apud BEZERRA, 2007, p.36). Para minimizar o efeito desta excentricidade, efetua-se um tratamento para a superfície, tal que os desvios de planicidade não ultrapassem 0,05 mm e que o desvio entre as faces paralelas e o eixo longitudinal seja inferior a 0,5°. Para o tratamento das superfícies, a norma NBR 5738/2008(ABNT, 2008) recomenda a utilização de processo por retífica ou capeamento.



Figura 14 - Ensaio de compressão axial

Para executar o processo de moldagem primeiramente aplicou-se uma fina camada de óleo mineral nas faces internas dos moldes e verificou-se o seu fechamento e vedação. O concreto foi depositado dentro dos moldes em duas camadas de igual altura. Com a haste de socamento foram efetuados 12 golpes uniformemente em toda seção do molde. Após o adensamento de cada camada bateu-se levemente na face externa do molde para melhor adensamento e fechar possíveis vazios. Os corpos de prova permaneceram no molde durante 24 horas. Após esse procedimento foram desmoldados, identificados, e então foram levados ao tanque com água (saturada de cal) para sua cura de acordo com a NBR 9479:2006 (Figura 15).

A cura do concreto nos primeiros dias apresenta-se frágil e sujeito ao fenômeno de retração, devido à evaporação da água de amassamento, portanto esses são os cuidados que foram tomados com o concreto nos primeiros 7 dias de vida, de modo a evitar a retração e permitir as reações de hidratação do cimento, o que pode ser útil na obtenção de bons valores de resistência ao concreto.



Figura 15 - Moldagem e cura dos corpos de prova

A NBR 5738/2008 recomenda a utilização de um dispositivo auxiliar, denominado capeador, que garanta a perpendicularidade da superfície, obtida com a geratriz do corpo-de-prova, e que esta superfície deve ser lisa, isenta de riscos ou vazios e não ter falhas de planicidade superiores a 0,05mm em qualquer ponto.

Os ensaios para a determinação da resistência a compressão foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5739/2007, fez-se o capeamento dos corpos-de-prova com o enxofre, conforme Figura 16.



Figura 16 - Capeamento dos corpos de prova

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão não se pode afirmar que as amostras apresentam diferenças significativas de desempenho técnico.

Tabela 17 - Resultados do Ensaio de resistência à compressão simples do concreto

CP's	Resistência a compressão em Mpa					
	7 dias			14 dias		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
1	30,98	30,98	29,23	37,71	33,46	34,96
2	31,23	30,98	30,48	38,71	36,21	37,71
3	29,98	28,48	30,48	35,21	35,71	34,21
4	29,98	29,73	31,23	35,96	37,21	34,21
Média	30,54	30,04	30,36	36,90	35,65	35,27
Desvio padrão	0,66	1,20	0,83	1,60	1,59	1,66
Coef. de variação	2,15%	3,98%	2,73%	4,34%	4,46%	4,71%

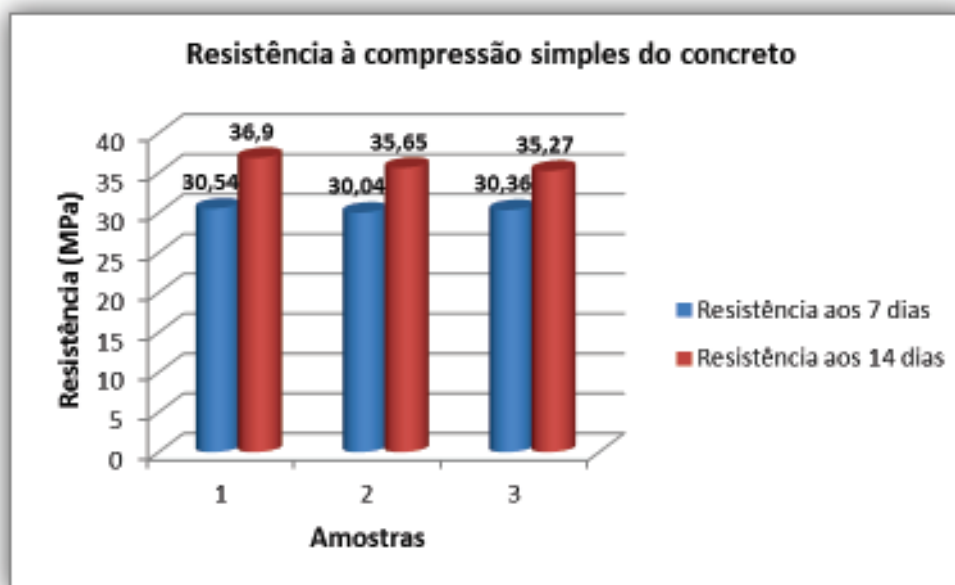


Figura 17 - Resistência à compressão simples do concreto

As Amostras 1, 2 e 3 apresentaram resultados satisfatórios quanto à resistência à compressão axial simples, visto que todas obtiveram resistências superiores a 30MPa, definida como um valor de resistência usual para construção de lajes, pilares e vigas em obras residenciais convencionais.

4.6 CUSTOS DO CONCRETO POR M³ E POR MPa

Considerando o consumo de cimento/m³ e o traço de cada amostra, apresentado na Tabela 15, pode-se determinar a quantidade necessária de cada material para produzir 1m³ de concreto, conforme apresentado na Tabela 18. Com o valor unitário de cada componente, indicado na Tabela 19, foi possível definir o custo total por m³ de cada amostra estudada, conforme a Tabela 20. Os custos apresentados referem-se unicamente aos materiais.

Tabela 18 - Quantidade de material por 1m³ de concreto

	Traços	Consumo de cimento/m ³	Consumo de brita/m ³	Consumo de areia industrializada/m ³	Consumo de água/m ³
Amostra 1	1:1,91:1,76:0,55	451,0 Kg	861,41 Kg	793,76 Kg	248,05 Kg
Amostra 2	1:1,95:1,80:0,55	445,0 Kg	867,75 Kg	801,00 Kg	244,75 Kg
Amostra 3	1:2,47:2,29:0,55	382,7 Kg	945,27 Kg	876,38 Kg	210,49 Kg

Tabela 19 - Custo dos materiais componentes do concreto

Material	Custo (R\$)	(1)Custo por unidade correspondente (R\$)
Cimento	22,00 (50Kg)	0,440/Kg
Brita 1	34,00 / m ³	0,024/Kg
Areia industrializada	35,00 / m ³	0,023/Kg
Água	2,84 / m ³	0,003/Kg

NOTAS:

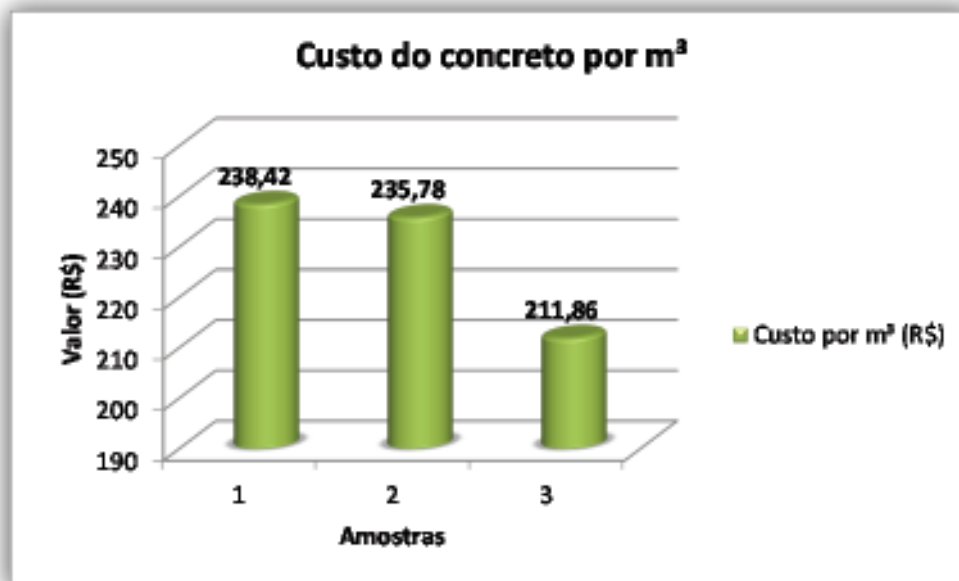
(1) Considerando a massa específica de cada material. Areia = 1.550Kg/m³. Brita = 1.400Kg/m³. Água = 1.000Kg/m³.

Tabela 20 - Custos do concreto por m³ e por MPa

	(1)Custo por m ³ (R\$)	(1)Custo por MPa aos 7 dias (R\$)	(1)Custo por MPa aos 14 dias (R\$)
Amostra 1	236,42	7,74	6,41
Amostra 2	234,14	7,79	6,57
Amostra 3	210,22	6,92	5,96

NOTAS:

(1) Apenas foram considerados os custos relativos a materiais.

Figura 18 - Custo do concreto por m³

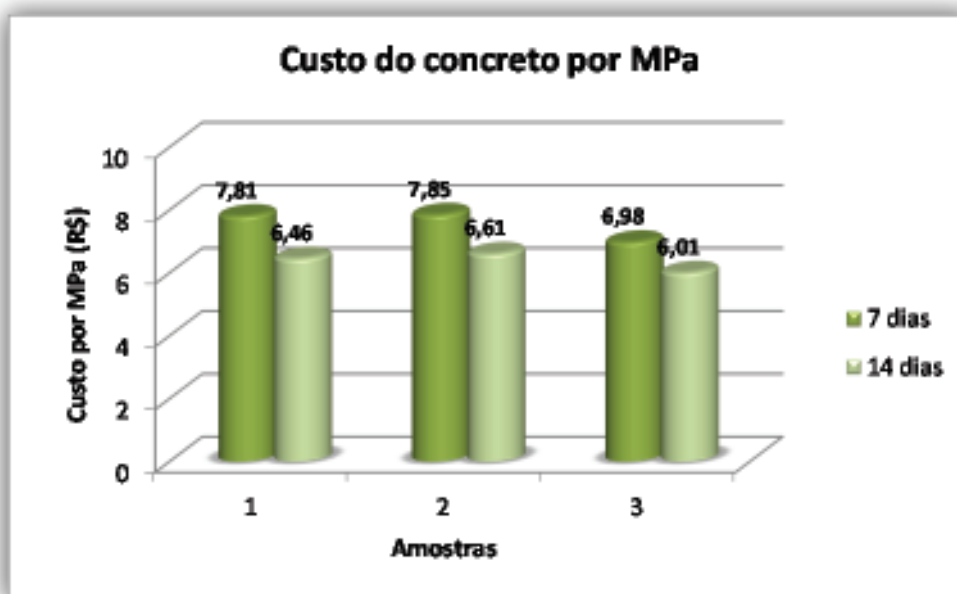


Figura 19 - Custo do concreto por MPa

O custo do MPa baixou dos 7 para os 14 dias, pois o custo é o mesmo e a resistência à compressão tende a aumentar com o passar dos dias.

A partir desta análise comparativa de resultados, percebe-se a importância em se realizar um estudo econômico, posto que este auxilia na tomada de decisão quanto ao uso de um ou outro agregado miúdo.

Como para cada amostra foi determinado um traço diferente, baseando-se nas pré-determinações de relação água/cimento e dos resultados de ensaio de abatimento tronco de cone (*Slump Test*), constatou-se um maior consumo de cimento nas Amostras 1 e 2.

Baseando-se nos resultados dos ensaios realizados, com relação à granulometria, a Amostra 2 foi a que apresentou melhor índice granulométrico, ficando classificada na zona ótima. Contudo, apresentou um percentual de material passante pela peneira 0,15mm de 8,592% (média entre as sub-amostras), enquanto que a Amostra 3 teve sua classificação na zona superior utilizável, com um percentual de material passante na peneira 0,15mm de 6,658% (média entre as sub-amostras).

Relacionando estes percentuais aos teores de material pulverulento, as Amostras 1 e 2 tiveram resultados de 16,71% e 17,61% respectivamente, enquanto que a Amostra 3 obteve o menor teor de material pulverulento, com 12,57%. Este índice tem relação direta com o custo final do concreto, pois é decisivo na determinação do traço.

Para exemplificar o impacto desta decisão relacionada à escolha do AMB, supõem-se uma usina de concreto cuja sua produção seja de 2.000m³/mês. Caso optasse por utilizar o AMB da Amostra 3 ao invés de utilizar o AMN, haveria uma redução de custo de R\$ 50.840,00 (cinquenta mil, oitocentos e quarenta reais) mensais. Em cinco (O5) anos a indústria de concreto poderia economizar R\$ 3.050.400,00 (três milhões, cinquenta mil e quatrocentos reais). Além disso, não teriam sido retirados dos leitos dos rios, nem tampouco transportados 67.848,77m³ de AMN. A Tabela 20 apresenta a diferença de custo por Kg do agregado miúdo britado com o agregado miúdo natural.

Tabela 21 - Diferença de custo do AMB e do AMN

	Custo (R\$)	(1)Custo por unidade correspondente (R\$)	Consumo de areia/m ³	(2)Custo do m ³ utilizando areia industrializada (R\$)	(2)Custo do m ³ utilizando areia natural (R\$)
AMB	35,00 / m ³	0,023/Kg			
AMN	80,00 / m ³	0,052/Kg			
Amostra 3			876,38 Kg	211,86	237,28
Custo para produzir 2.000m³/mês				423.720,00	474.560,00
Custo anual				5.084.640,00	5.694.720,00
Diferença de custo anual					610.080,00

NOTAS:(1) Considerando a massa específica de cada material. Areia = 1.550Kg/m³.

(2) Considerando os outros materiais constituintes do concreto.

Este exemplo é meramente ilustrativo, visto que para os cálculos foi utilizada a massa específica média padrão do AMN, não tendo sido realizados ensaios de massa específica para as amostras de AMB, convencionou-se o uso do mesmo valor de massa específica para ambos.

5 CONCLUSÃO

O trabalho apresentado teve como principal objetivo a análise do concreto confeccionado com três amostras de agregado miúdo britado, oriundo de diferentes usinas de britagem, na região sudoeste do Paraná, verificando a viabilidade da utilização na produção dos mesmos. As características físicas do agregado miúdo utilizado, também foram analisadas, assim como o efeito de tais características no concreto; essas são importantes na sua confecção, tanto em seu estado fresco, influenciando na trabalhabilidade, quanto no seu estado endurecido, influenciando na sua resistência final. O estudo visou abranger características físicas do agregado, assim como a resistência adquirida com a sua utilização, além de analisar outros fatores de cunho econômico e ambiental.

A substituição do agregado miúdo natural (AMN) pelo agregado miúdo britado (AMB) na produção de concretos mostrou-se viável tecnicamente e economicamente, visto que as resistências de compressão atingidas foram superiores aos valores convencionados e os custos demonstraram valores adequados.

Por possuírem a mesma relação água/cimento as amostras em estudo não apresentaram variação considerável nos valores de resistência à compressão axial, tanto pelo uso do mesmo material como agregado miúdo (substituição total da areia natural pela britada), agregado graúdo e mesmo tipo de cimento para todas as amostras.

Apesar da areia da Amostra 2 apresentar melhor distribuição granulométrica, o material teve o valor mais alto de abatimento no ensaio do tronco de cone e maior teor de material pulverulento, o que conseqüentemente apresentou valores de resistência média pouco menores aos 7 dias de vida.

A Amostra 1 apresentou uma composição granulométrica fora dos limites de utilização, o que originou um maior consumo de cimento, beneficiando o valor da resistência média, entretanto elevou o custo do concreto.

O agregado miúdo britado apresenta a vantagem de se encontrar praticamente isento de impurezas de natureza orgânica e argilosa, bem como dos possíveis problemas originados pelas mesmas, uma vez que se trata de um produto obtido de forma industrial, considerado homogêneo.

Para a produção de concretos de cimento Portland a utilização do agregado miúdo britado é uma boa alternativa econômica, devido ao elevado custo do agregado miúdo natural.

Além disso, com a utilização do agregado miúdo britado de britagem pode-se reduzir os danos ambientais advindos da extração por meio de dragas.

Um fator que dificulta a substituição de um material pelo outro é a falta de conhecimento específico sobre as características da areia de britagem de cada região, e a forma como ela pode trazer benefícios para quem passa a utilizá-la e para o meio ambiente que deixa de ser agredido no momento da exploração da areia natural.

Conclui-se desta forma que o material encontrado na região sudoeste do Paraná, pode ser utilizado na substituição do AMN sem perdas técnicas. Entretanto, deve-se verificar que com relação à viabilidade econômica, uma das amostras identificada como Amostra 3, apresentou a melhor relação custo/benefício. O que se esperava, visto que esta usina de britagem tem como especificidade a produção de areia britada, tanto para venda quanto para consumo em sua usina de concretagem. Em seu processo de produção conta com a etapa de lavagem, onde o teor de material pulverulento tem considerável diminuição, comprovada nos ensaios realizados neste trabalho, o que reduz a relação água materiais secos, e consequentemente o consumo de cimento por m³.

Os estudos que envolvem a utilização de novas alternativas que beneficiem o meio ambiente e a economia, são sempre de grande valia, além de que são maneiras favoráveis de demonstrar as possíveis alternativas de substituição dos recursos não renováveis na construção civil, em função dos impactos ambientais que estes podem causar na sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211**: Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2005. Emenda 1:2009.

_____. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003. Emenda 1:2008.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 9479**: Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 9935**: Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR NM26**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM46**: Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1997.

ARAÚJO, Regina C. L.; RODRIGUES, Edmundo H. V.; FREITAS, Edna G. A. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro, Editora Universidade Rural, 2000, p. 49-83. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/dau/profs/edmundo/Concreto%20simples.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

BASTOS, Sandra Regina Bertocini. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para produção de concretos convencionais**. 2002. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação, Florianópolis, 2002.

BEZERRA, Augusto Cesar da Silva. **Influência das Variáveis de Ensaio nos Resultados de Resistência à Compressão de Concretos: uma análise experimental e computacional**. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2007. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/ISMS-74UPHH/1/disserta__o__augusto_cesar_da_silva_bezerra.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2012.

CASTILHO, Tais. Reciclar mais para gerar menos. **Visão Ambiental**. Ano 1, nº3. p.40-44. Novembro/Dezembro - 2009.

FRAZÃO, Ely Borges. **Tecnologia de Rochas na Construção Civil**. São Paulo, ABGE. 2002.

FRAZÃO, Ely B.; PARAGUASSU, Antenor B. **Geologia do Brasil**. In: Oliveira, A. M.S; Brito, S.N.A. (Eds). *Geologia de Engenharia*, São Paulo, ABGE. Cap.20, p.331-360. 1998.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle de concreto**. São Paulo: Pini, p. 349, 1992.

LELLES, Leandro Camillo de. et al. **Perfil Ambiental Qualitativo da Extração de Areia em Cursos D'Água**. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.29,n.3, p.439-444, 2005.

LODI, Victor Hugo. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento portland na região de Chapecó – SC**. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina convênio Unochapecó, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2006. Disponível em: <http://www.basalto.eng.br/dissertacao_vhl_vs_final.pdf>. Acesso em 20 ago. 2011.

MARTINS, V. C. **Otimização dos processos de dosagem e proporcionamento do concreto dosado em central com utilização de aditivos: estudo de caso**. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2005.

MEHTA, Povindar K. **Concreto: estrutura, Propriedades e materiais**. 1.ed., São Paulo: Pini. 1994.

MEHTA, Povindar K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**, Editora Pini, São Paulo, 1994.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto**. São Paulo :Pini, 1997.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas,1989.

SAMPIERI, Roberto H.; COLLADO Carlos F.; LUCIO, Pilar B. *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill, 1994.

SBRIGHI NETO, Cláudio. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. Ed. G.C.Isaía. São Paulo: IBRACON, 2005. 2 v. 1600p.

STRAUSS Anselm; CORBIN Juliet. **Basics of qualitative research**. London, 1998, 2ª edição.