

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO DO USO DA AREIA DE BRITAGEM NA COMPOSIÇÃO DO
CONCRETO ESTRUTURAL

SABRINA BASTOS TEODORO

JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA DA UFJF

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO DO USO DA AREIA DE BRITAGEM NA COMPOSIÇÃO DO
CONCRETO ESTRUTURAL

SABRINA BASTOS TEODORO

JUIZ DE FORA
2013

SABRINA BASTOS TEODORO

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito para a obtenção de graduação em Engenharia Civil.

Orientadora:

Thaís Mayra de Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

Juiz de Fora
Faculdade de Engenharia da UFJF

2013

AValiação DO USO DA AREIA DE BRITAGEM NA COMPOSIÇÃO DO
CONCRETO ESTRUTURAL

SABRINA BASTOS TEODORO

Trabalho Final de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com o Artigo 9º do Capítulo IV das Normas de Trabalho Final de Curso estabelecido pelo Colegiado do Curso de Engenharia Civil, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia Civil.

Aprovada em: 25/Março/2013

Por:

Prof.^a Thaís Mayra de Oliveira, D.Sc. – Orientadora

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Pedro Kopschitz Xavier Bastos , D.Sc. – Co-Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Antônio Eduardo Polisseni , D. Sc.

Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

É difícil agradecer todas as pessoas que de algum modo, nos momentos serenos e ou apreensivos, fizeram ou fazem parte da minha vida.

Primeiramente agradeço a Deus por me proporcionar a chance de viver momentos tão intensos, me fortificando para que eu pudesse ir além dos meus limites.

Aos meus pais pela determinação e luta em minha formação, por me ensinarem a viver a vida com dignidade e perseverar diante das dificuldades. Agradeço a meu pai pelo apoio e a minha mãe pelo incentivo incansável nos momentos de desânimo e cansaço.

Agradeço às minhas irmãs, que por mais difíceis que fossem as circunstâncias, sempre tiveram paciência e depositaram em mim confiança e estímulo para enfrentar as barreiras da vida; aos meus cunhados que mesmo em silêncio me apoiavam e acreditavam na minha conquista.

Agradeço às minhas sobrinhas que nos momentos de minha ausência dedicadas ao estudo, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da conquista do presente; o amor e o carinho a mim dedicados, me deram forças para alcançar esta vitória.

Agradeço a todos os meus familiares que mesmo de longe torceram por esta realização.

Por fim, agradeço imensamente a todos os professores que passaram pela minha formação e que foram os grandes construtores do meu conhecimento em especial, a professora Thaís Mayra de Oliveira pela ajuda prestimosa, paciência e carinho que sempre me acolheu.

RESUMO

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo e a areia representa cerca de 30% de seu volume. Com o passar do tempo, a extração natural ficará insustentável por conta das exigências ambientais e do esgotamento progressivo de suas jazidas, tornando-se necessário a busca por alternativas. A substituição da areia natural pela areia britada tem sido a solução encontrada pela indústria da construção civil para resolver este impasse. A produção e utilização desse tipo de areia diminui o impacto ambiental e se mostra viável economicamente, além de obter uma areia com características físicas e químicas constantes. Entretanto, a elevada presença de material fino e a forma angulosa e muitas vezes lamelar de suas partículas, que depende do tipo de rocha e britador utilizados, podem influenciar nas propriedades do concreto. Dessa constatação, destaca-se a preocupação em aplicar um método de dosagem na fabricação de concreto de cimento Portland com o emprego de areia de britagem sem, contudo, descuidar dos aspectos tecnológicos e de qualidade, imprescindíveis para melhoria contínua dos processos construtivos. Nessa perspectiva, este trabalho tem como objetivo inserir a areia de britagem em uma revisão bibliográfica, caracterizando-a quanto às suas propriedades e vantagens através da substituição do agregado miúdo natural na produção de concretos de cimento Portland.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	6
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	12
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Estrutura da pesquisa	15
2 AREIA DE BRITAGEM	16
2.1 Considerações iniciais	16
2.2 Agregados	17
2.3 Caracterização física	20
2.3.1 Granulometria	21
2.3.2 Material pulverulento	24
2.3.3 Massa unitária e massa específica	25

2.3.4 Inchamento	27
<hr/>	
2.4 Composição mineralógica	28
<hr/>	
2.5 Processo de britagem	29
<hr/>	
2.6 Viabilidade econômica	33
<hr/>	
3 PROPRIEDADES DO CONCRETO	34
<hr/>	
3.1 Considerações iniciais	34
<hr/>	
3.2 Propriedades do concreto fresco	35
<hr/>	
3.2.1 Consistência	36
<hr/>	
3.2.2 Trabalhabilidade	37
<hr/>	
3.2.3 Segregação e exsudação	40
<hr/>	
3.3 Propriedades do concreto endurecido	41
<hr/>	
3.3.1 Resistência à compressão	42
<hr/>	
3.3.1.1 Resistência à tração por compressão diametral	44
<hr/>	
3.3.2 Resistência à tração na flexão	45
<hr/>	
<hr/>	

3.3.3 Durabilidade	46
<hr/>	
3.3.3.1 Permeabilidade	47
<hr/>	
3.3.3.2 Reação álcali agregado	49
<hr/>	
3.3.4 Módulo de elasticidade	52
<hr/>	
3.3.5 Retração por secagem	54
<hr/>	
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
<hr/>	
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
<hr/>	

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Curva granulométrica da areia de britagem média da Pedra Sul.	23
Figura 2.2 – Produção da areia de britagem média da Pedra Sul.	23
Figura 2.3 – Correia transportadora da Pedra Sul	30
Figura 2.4 – Diagrama esquemático do circuito geral de britagem. (ALMEIDA e SILVA, 2005)	31
Figura 2.5 – Britador VSI. (BASTOS a, 2005)	32
Figura 3.1 – Ensaio de abatimento (http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Slump_test.png , 2013)	37
Figura 3.2 – Abatimento do tronco de cone. (CABRAL, 2007)	40
Figura 3.3 – Esquema do ensaio de resistência à tração na flexão (L = distância entre cutelos, P = carga aplicada)	45
Figura 3.4 – Reatividade potencial. (CABRAL, 2007)	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Características físicas das rochas. (ALVES, 1999)	29
<hr/>	
Tabela 3.1 – Resumo dos resultados obtidos da análise petrográfica. (CABRAL, 2007)	52
<hr/>	
Tabela 3.2 – Traços do estudo da ABCP. (BASTOS a, 2005)	54
<hr/>	
Tabela 3.3 – Estudo comparativo de concretos realizado na ABCP. (BASTOS a, 2005)	54
<hr/>	

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AB = Areia de Britagem

ABCP = Associação Brasileira de Cimento Portland

AMB = Agregado Miúdo Britado

AMN = Agregado Miúdo Natural

AN = Areia Natural

CAA = Concreto com Areia Artificial

CP = Corpo de Prova

CR = Concreto de Referência

DMC = Dimensão Máxima Característica

f_{cj} = resistência de dosagem

f_{ck} = resistência característica do concreto

MF = Módulo de Finura

NBR = Norma Brasileira Regulamentadora

VSI = Vertical Impact Shaft

1 INTRODUÇÃO

O sucesso do concreto de cimento Portland é relatado por diversos pesquisadores e entidades como sendo o material de construção mais consumido do mundo (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo BASTOS (2002) isso é resultado de suas propriedades técnicas, como boa resistência à compressão, excelente resistência à água, possibilidade de produzir peças de diferentes geometrias e capacidade de incorporar reforços para resistir à tração e ao cisalhamento, juntamente às vantagens de seu baixo custo, em relação aos demais materiais empregados para produzir estruturas.

O grande consumo de concreto, gerado pelo crescimento intenso na construção civil, vem acarretando uma elevada demanda por insumos, entre eles a areia natural, principal fonte de agregados miúdos utilizados para confeccionar concretos e argamassas.

Entretanto, com tamanha procura, nota-se o esgotamento das jazidas mais próximas dos grandes centros de consumo além de intensas fiscalizações dos órgãos do meio ambiente devido aos impactos causados por sua extração.

A atividade de exploração é, por natureza, causadora de impactos ambientais. Tais impactos são decorrentes da exploração, muitas vezes desordenada das jazidas e causam graves problemas ambientais, pois agredem as calhas naturais dos rios, levando a um aumento da vazão de água e acelerando o processo de erosão das margens. A erosão acaba retirando a cobertura vegetal dessas áreas e tornando o solo estéril, sem crescimento de vegetação e sem possibilidade de recomposição do ambiente explorado.

Neste sentido, a atual legislação vem obrigando os produtores a lançar mão de técnicas de gerenciamento de extração e até de interdição de jazidas que não atendem às suas exigências, fato que torna necessária a busca por alternativas para a substituição da areia natural.

A alternativa que vem sendo cada vez mais estudada e que vem ganhando força, é a utilização de um material obtido a partir do processo de britagem de rochas, chamada de areia de britagem. Porém, é importante desenvolver uma série de experimentos teórico-científicos para que se tenha uma dimensão exata da semelhança entre esses materiais, podendo, assim, definir os usos potenciais para o insumo alternativo.

A tecnologia do concreto, como é chamado tais experimentos, consiste em estudar e determinar as características da areia de britagem a partir de materiais disponíveis na região de produção. Como este agregado é proveniente de rochas de vários tipos, com composições mineralógicas distintas surge a necessidade de estudos específicos, devido a alterações em suas propriedades físicas e mecânicas. Assim, com uma correta identificação do agregado miúdo gerado e através do estudo de suas características peculiares, o material resultante será de boa qualidade.

A padronização e o controle de qualidade dos materiais de construção são fundamentais para a melhoria do produto final. Sendo assim, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas para a substituição areia natural pela areia britada, conhecida também como areia artificial.

Nas pedreiras, a britagem das rochas de basalto, calcário, granito, gnaisse, entre outras, cria basicamente cinco tipos de produtos: pó de pedra, brita 0, brita 1, brita 2 e brita 3. Destes produtos, os únicos que encontram aplicações nobres na construção civil são as britas 1, 2 e 3. A brita 0 e material pulverulento de pedra são utilizados apenas em aplicações marginais, sem muito valor comercial, como em blocos de concreto, por exemplo. Com a evolução de equipamentos específicos de britagem estes finos, devidamente processados, podem vir a substituir a areia natural. (ALMEIDA e SILVA, 2005).

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.

Portanto, este trabalho tem como objetivo contribuir com informações sobre os efeitos do uso desse agregado miúdo artificial no concreto convencional, nos estados fresco e endurecido e, assim, analisar a viabilidade do seu uso.

1.1 Estrutura da pesquisa

Este trabalho foi estruturado em quatro capítulos, os quais apresentam os seguintes conteúdos:

O capítulo 1 apresenta uma introdução do assunto deste trabalho, com ênfase na relevância do estudo em questão e da utilização da areia de britagem em substituição da areia natural.

O capítulo 2 define os parâmetros do agregado miúdo através da caracterização física, composição mineralógica, além dos processos de britagem e viabilidade econômica.

No capítulo 3 são apresentadas as propriedades do concreto fresco e endurecido além de comparativos da influência da substituição proposta.

O capítulo 4 apresenta as considerações finais.

2 AREIA DE BRITAGEM

2.1 Considerações iniciais

Com o desenvolvimento da tecnologia do concreto, o estudo dos agregados que o compõe tem-se tornado cada vez mais indispensável. Além das propriedades importantes do concreto endurecido, os agregados têm um papel relevante na determinação do custo e trabalhabilidade do mesmo. Nesse sentido, os estudos da areia de britagem por parte de concreteiras e pedreiras apresentam-se cada vez mais correntes.

De acordo com OHASHI (2006) a areia de britagem pode parecer um material recente, uma vez que o grande desenvolvimento se deu nos últimos dez anos, porém sua história possui 40 anos no Brasil.

Ao contrário das areias de rio, a areia de britagem possui como principal vantagem o fato de manter sempre a mesma granulometria acarretando assim, traços de concreto análogos. Já a areia natural possui agregados de superfície lisa produzindo concretos de menor resistência à tração (COSTA (2005)).

Ainda de acordo com COSTA (2005) dependendo da sua granulometria a areia de britagem possui diversos usos, quais sejam:

- Areia média fina (0,075 – 1,20) mm: Argamassa para levantamento de alvenarias em geral e reboco;
- Areia média grossa (0,075 – 4,80) mm: Concretos estruturais confeccionados em obras e pré-fabricados;
- Granilha de 4,80mm com pequena porcentagem de finos (< 0,075 mm): Salpique para reboco de alvenarias, asfaltos em geral, blocos pré-fabricados em geral e concretos compactados a rolo

2.2 Agregados

Conceituado por PETRUCCI (1998) agregado é o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia.

A fase agregado é a principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. A massa específica do agregado graúdo influi diretamente na massa específica do concreto, sendo também diretamente proporcional à resistência do concreto, isto é, quanto maior a porosidade (índice de vazios) do agregado, menor será sua resistência tornando-se o elo fraco da mistura. Este material desempenha importante papel nas argamassas e concretos, quer sob o ponto de vista econômico, quer sob o ponto de vista técnico, exercendo influência benéfica sobre algumas propriedades importantes como: retração e resistência ao desgaste por abrasão, sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos. (COSTA (2005)).

Segundo BUTTLER (2003) as características do agregado, como granulometria e textura, também influem embora de maneira menos significativa, nas propriedades do concreto. Para agregados com grande diâmetro característico ou de forma lamelar, ocorre a formação de um filme de água junto às paredes do agregado (exsudação interna), enfraquecendo sua ligação com a pasta, por outro lado, agregados de diâmetros menores aumentam a superfície de contato entre o agregado e a pasta de cimento elevando a resistência do concreto.

Em relação aos termos dos agregados mais comumente empregados em concreto e argamassa, as normas NBR 7211 (2009) e NBR 9935 (2005) definem:

– Termos relativos à natureza

a) Agregado: material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa e concreto;

b) Agregado natural: material pétreo que pode ser utilizado tal e qual encontrado na natureza, bem como pode ser submetido à lavagem, classificação ou britagem;

c) Agregado artificial: material resultante de processo industrial, para uso como agregado em concreto e argamassa;

Para FERREIRA e DAITX (2003) agregado artificial é material de granulometria variada, composto essencialmente de sílica e que passou por um processo de beneficiamento. Entre as diversas etapas de produção de areias industriais, a do beneficiamento é, provavelmente, a mais importante. Numa visão geral, qualquer corpo arenoso pode ser transformado em areia industrial, cujas características estarão implicitamente ligadas às do próprio depósito original, mas o que determinará o seu aproveitamento será, fundamentalmente, a economicidade dos produtos a serem obtidos após o seu beneficiamento

d) Agregado reciclado: material obtido de rejeitos ou subprodutos da produção industrial, mineração ou processo de construção ou demolição da construção civil, incluindo agregados recuperados de concretos frescos por lavagem;

e) Agregado especial: agregado cujas propriedades podem conferir ao concreto ou à argamassa um desempenho que permite ou auxilia no atendimento de solicitações específicas não usuais;

f) Areia: agregado miúdo originado por intermédio de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas ou provenientes de outros processos industriais.

– Termos relativos às dimensões dos agregados:

a) Pedrisco: material resultante da britagem da rocha cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 12,5mm e ficam retidos na peneira de malha de 4,75mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (2003);

b) Pedrisco e pedregulho misto: material resultante da britagem de rocha ou não que passa pela peneira com abertura de malha de 12,5mm;

c) Agregado miúdo: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (2003);

d) Agregado graúdo: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (2003);

e) Agregado total: agregado resultante do britamento de rochas, cujo beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos ou por mistura intencional de agregados britados e areia natural ou britada, possibilitando o ajuste da curva granulométrica em função das características do agregado e do concreto;

f) Agregado misto: agregado natural ou resultante do britamento de rocha, cuja obtenção ou beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos;

g) Pó de pedra: material resultante da britagem de rocha que passa na peneira de malha 6,3mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (2003);

h) Fíller ou microfino: material granular que passa na peneira com abertura de malha de 150 μ m;

i) Dimensão máxima característica: grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa;

j) Módulo de finura: soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

– Termos relativos às substâncias nocivas aos agregados, segundo BASTOS (2002):

a) Torrões de argila: são assim denominadas todas as partículas contidas no agregado desagregáveis sob pressão dos dedos (torrões friáveis). Sua presença é bastante nociva para a resistência de concretos, sendo, em certos casos, expansivos.

b) Materiais carbonosos: são partículas de carvão, linhito, madeira, material vegetal sólido, presentes nos agregados. Além de afetarem a resistência, prejudicam o concreto quando submetido à abrasão.

c) Material pulverulento: em geral, as areias contêm impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento. Podem formar películas que impedem ou diminuem a aderência entre o agregado e a pasta de cimento hidratada. As películas de argila, quando presentes na superfície do agregado, interferem na aderência entre o agregado e a pasta de cimento, prejudicando a resistência e a durabilidade do concreto. As partículas finas, não devem estar presentes em grandes quantidades, pois aumentam a área superficial e, conseqüentemente, a demanda de água e o consumo de cimento.

2.3 Caracterização física

No processo de britagem para obtenção de agregado graúdo é gerado uma quantidade significativa de um material inicialmente visto como rejeito. Observadas suas características de granulometria e um grande potencial de reaproveitamento, tal material foi então destinado à utilização em forma de agregado miúdo e designado de areia de britagem, também conhecida como areia artificial.

A areia de britagem possui uma distribuição granulométrica bem homogênea. Isso se dá pelo processo de britagem que garante uma uniformidade aos grãos e, assim como a brita, possui um formato anguloso e superfície áspera. Apresentados em forma de placas, como as provenientes de basalto, os grãos conferem maior aderência às superfícies de aplicação, no entanto conferem menor trabalhabilidade ao concreto. Já quando em forma de cubos, como as provenientes de granitos e pedras com grande proporção de sílica, possibilitam uma maior interação com a mistura, causando uma diminuição na quantidade de vazios do concreto. A

areia de britagem se encontra praticamente isenta de impurezas de natureza orgânica e argilosa bem como dos possíveis problemas originados pelas mesmas (COSTA, 2005).

2.3.1 Granulometria

SILVA (1991) definiu como granulometria a composição granulométrica de um agregado, ou seja, a proporção relativa dos diferentes tamanhos dos grãos que o constituem, expressa em porcentagem. A granulometria é o parâmetro físico mais analisado dos agregados, pois influencia a compactidade e a resistência aos esforços mecânicos (NBR NM 248 (2003)).

Segundo CARNEIRO *et al.* (1997) a areia de granulometria muito uniforme, independentemente do formato dos grãos, compromete a trabalhabilidade da argamassa. Nestes casos há um enrijecimento, impedindo o deslizamento dos grãos de areia entre si e, conseqüentemente, há uma maior demanda por consumo de pasta. Ele considera positiva a heterogeneidade granulométrica, pois permite o preenchimento completo dos vazios refletindo assim na compactidade e na resistência final do concreto.

Entretanto para BASÍLIO (1995) é especialmente na fração fina do agregado que se canalizam os maiores esforços, objetivando, com isso, um concreto mais econômico e de melhor qualidade.

Já RODRIGUES (1984) afirma que, devido a sua elevada área específica, qualquer alteração do teor de areia no concreto provocará alterações significativas no consumo de água e, conseqüentemente, no consumo de cimento e na trabalhabilidade.

É notável que todos os autores estão em consenso que as características granulométricas do agregado, são relevantes para a dosagem dos concretos em geral. Dentre os diversos problemas que uma dosagem inadequada pode causar, conforme ALVES (1999), o fator básico que deverá ser observado consiste no estabelecimento da composição granulométrica da mistura sólida. Esta composição tem como finalidade o ajuste da graduação, evitando qualquer excesso de grãos de um mesmo tamanho que possa interferir no conjunto, pois geralmente, quando há o excesso ou a falta de um determinado agregado da

gradação desejada, a consequência é uma falta de trabalhabilidade e um comportamento insatisfatório do concreto.

De acordo com CABRAL (2007) a finalidade primordial dos estudos granulométricos é encontrar a composição ideal que dê a maior compacidade possível, e, para isso, é requisito básico uma boa pasta de aglomerante.

GASTALDINI (1986) verificou que a melhor distribuição granulométrica para dosagem de concreto na mistura de agregado miúdo e areia britada foi conseguida com proporções de 50% de cada material.

Conforme COUTINHO (1999) a granulometria tem uma enorme influência sobre as propriedades do concreto principalmente no que se refere à trabalhabilidade (maior ou menor facilidade com que o concreto é amassado, transportado e compactado, assim como a maior ou menor facilidade de segregação durante essas operações). Se a granulometria é contínua (partículas distribuídas uniformemente por todas as dimensões da menor à maior) e se as partículas tem uma forma adequada, é possível obter-se concreto muito mais compactado e resistente para uma dosagem mínima de cimento reduzindo paralelamente, o risco de segregação.

Além da distribuição do tamanho dos grãos, a análise granulométrica permite obter dois parâmetros de interesse, segundo FRAZÃO *et al.* (2007): a dimensão máxima característica (DMC) dos fragmentos e o módulo de finura (MF). De fato, variações na dimensão máxima do agregado (D), razão entre agregado grosso e fino e conteúdo de finos influenciam a quantidade de água necessária e consequentemente a trabalhabilidade e resistência.

Para partículas finas, isto é, inferiores a 150 microns em que a superfície específica é larga, não é necessário uma quantidade de água proporcionalmente grande, na medida em que estas partículas parecem exibir efeitos de lubrificação sem estarem completamente molhadas (COUTINHO, 1999).

CABRAL (2007) afirma ainda que, a influência da granulometria e conteúdo de finos na trabalhabilidade variam com a dosagem de cimento. Em geral a influência da granulometria diminui como aumento da dosagem de cimento, enquanto que o aumento de finos pode afetar a coesão da mistura, isto é, pode haver perigo de segregação.

A Figura 2.1 apresenta a curva granulométrica da areia de britagem média da Pedreira Pedra Sul, localizada na cidade de Matias Barbosa, MG. Nota-se, uma distribuição uniforme das partículas e um teor de finos de 14,69% . Salienta-se que em uma areia de britagem média o módulo de finura deve estar entre 11 a 16% (PEDRA SUL MINERAÇÃO (2012)). A Figura 2.2 apresenta a produção da mesma areia.

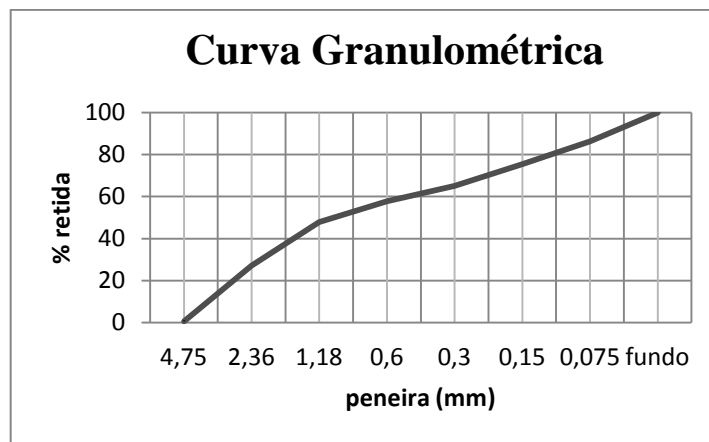


Figura 2.1 - Curva granulométrica da areia de britagem média da Pedra Sul.



Figura 2.2 – Produção da areia de britagem média da Pedra Sul.

2.3.2 Material pulverulento

O material pulverulento encontrado nas areias naturais tem origem argilosa que prejudica a resistência mecânica, já na areia de britagem esse material tem a mesma composição da rocha de onde originou. Assim, segundo a NBR 7211 (2009) a quantidade de material pulverulento permitido para areia de britagem é maior do que para areia natural, seja em concreto submetido a desgaste superficial ou não.

A areia de britagem é dotada de uma grande quantidade de material pulverulento que dentro de certos limites, confere uma maior trabalhabilidade ao preencher os vazios da pasta de cimento e água. Por outro lado, quando em grandes quantidades, se torna prejudicial à qualidade do concreto. Isto ocorre, quando o material pulverulento forma uma película envolvendo cada grão, impedindo a aderência da pasta de cimento aos agregados e aumentando assim, a necessidade de água para se manter uma mesma trabalhabilidade. Como forma de minimizar ou até mesmo eliminar essa desvantagem a areia pode ser submetida a um processo de lavagem, o que a torna adequada para utilização (CABRAL, 2007).

FRAZÃO *et al.* (2007) insistem que, quando o material pulverulento reveste as partículas, impede que sobre estas ocorra uma cristalização regular e homogênea dos compostos do cimento, o que pode reduzir a resistência à compressão uniaxial do concreto em cerca de 20 a 30% e mais ainda na tração.

Segundo NEVILLE (1997) não existe objeção ao uso de agregados com materiais pulverulentos presentes, desde que não haja atividade química. Entretanto, a sua quantidade presente na massa total do agregado deve ser controlada, pois, devido a sua finura, requer uma quantidade maior de água para a mesma característica de argamassa ou concreto.

Porém para MIRANDA *et al.* (1999) os materiais com dimensão das partículas inferiores a 75 μ m contribuem para a plasticidade das argamassas, independentes de serem do aglomerante, de adição plastificante ou do agregado miúdo.

No entanto, alguns autores mencionam que quando o material pulverulento é de calcário, pode haver benefício por aumentar a tensão de ruptura na compressão do concreto

em até 10%, isso nos casos em que o fíller participe com cerca de 7% em relação ao peso do cimento (CABRAL, 2007).

Segundo BASTOS (2002) um cuidado deve ser tomado referente à areia de britagem, que é o de manter a proporção de material pulverulento constante, pois, se houver uma variação, afetará a granulometria da dosagem, acarretando perda de abatimento e variação na relação água/cimento.

Em relação aos materiais pulverulentos, a NBR 7211 (2009) demonstra que quando o material fino que passa através da peneira 75 μ m por lavagem, constituído totalmente de grãos surgidos durante a britagem de rocha, teve seus limites alterados de 3% para 10%, para concreto submetido a desgaste superficial e de 5% para 12%, para concreto protegido de desgaste superficial, desde que seja possível comprovar, por análise mineralógica, os grãos constituintes não interferem nas propriedades do concreto.

VIEIRO (2010) ressalta que importantes propriedades do concreto apresentam melhorias com a presença de materiais pulverulentos, podendo citar a resistência à compressão, trabalhabilidade, contração, permeabilidade e resistência à abrasão. Ele observa ainda que em alguns casos, apresentou até uma diminuição do consumo de cimento.

2.3.3 Massa unitária e massa específica

Para efeitos de dosagem, é necessário que se conheça o espaço ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros existentes dentro das partículas. Portanto é necessário determinar a massa específica e a massa unitária para conhecer o desempenho de argamassas e concretos (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A massa específica é definida como sendo a massa do material, incluindo os poros internos, por unidade de volume e a massa unitária é definida como sendo a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume.

NEVILLE (1997) acrescenta que a massa específica do agregado é usada nos cálculos de quantidades, mas o valor da massa específica não é uma medida da qualidade dos agregados.

CARNEIRO *et al.* (1997) utilizaram em seu trabalho a massa unitária da areia definida como sendo a quantidade de massa capaz de ser acomodada em um recipiente de volume unitário.

CABRAL (2007) descreve a massa unitária como sendo a massa por unidade de volume do agregado compactado segundo um determinado processo, considerando-se os vazios entre os grãos. Segundo ele a massa unitária é usada para a escolha da mistura de agregados que torne o concreto mais compacto.

Segundo FRAZÃO *et al.* (2007) a depender da maneira como se arranjam os agregados, estes alcançarão uma maior ou menor compacidade pelo fato de a massa unitária ser também influenciada pela forma das partículas e pela sua distribuição granulométrica.

Quanto à massa unitária, a norma NBR 9935 (2005) classifica os agregados em densos ou pesados e leves.

Agregado denso é aquele que possui massa unitária elevada, entre 1500 e 1700 kg/m³. São agregados que produzem concretos normais com aproximadamente 2400 kg/m³. Como exemplo, pode-se citar a barita (minério de bário), a hematita (minério de ferro) e a limonita (crostas hidratadas de minerais ferruginosos). Agregado leve é aquele que possui baixa massa unitária, abaixo de 1120 kg/m³. São usados para produzir concretos leves. São gerados a partir da expansão térmica de argila, escória siderúrgica, vermiculita e ardósia (PETRUCCI, 1998).

Habitualmente a massa específica para as rochas utilizadas variam entre 2600 e 2700 kg/m³, valores típicos para granito, arenito e calcário denso são 2690, 2650 e 2600 kg/m³, respectivamente. A massa unitária usual dos agregados empregados no concreto de peso normal varia entre 1300 a 1750 kg/m³ (METHA e MONTEIRO, 2008).

2.3.4 Inchamento

De acordo com a NBR 6467 (2006) o inchamento é um fenômeno da variação do volume aparente, provocado pela absorção de água livre pelos grãos e que incide sobre a sua massa unitária.

Segundo NEVILLE (1997) o inchamento é o aumento de volume de uma massa de areia, devido às películas de água, deslocando as partículas e tentando separá-las. Embora não altere a quantificação dos materiais em massa, na quantificação em volume, o inchamento resulta numa menor massa de areia ocupando o mesmo volume em uma caixa de medida (padiola).

Para PETRUCCI (1998) o inchamento depende da composição granulométrica e do grau de umidade da areia. Quanto maior a superfície específica maior será o inchamento. Em condições normais o inchamento máximo ocorre para teores de umidade entre 4 e 6%, após esses valores, o inchamento decresce até praticamente se anular com o saturamento da areia.

Já BASTOS (2002) diz que o valor do inchamento além de depender da porcentagem de umidade presente na areia, está relacionado também com sua finura. Se adicionado mais água, as películas se fundem e a água se desloca para os vazios entre as partículas, de modo que o volume total da areia úmida passa a ser aproximadamente igual ao da seca, para o mesmo processo de preenchimento do recipiente. Foi observado que nas areias finas o inchamento é maior do que nas areias mais grossas. Para um mesmo teor de umidade, observamos que o agregado miúdo britado incha mais do que o natural. Ela afirma ainda que a presença de poros internos nas partículas está relacionada com a massa específica do agregado. E que a porosidade, a permeabilidade e a absorção influenciam nas propriedades, como a aderência entre o agregado e a pasta de cimento hidratada.

Segundo BAUER (1980) tendo em vista que um agregado totalmente seco, ao ser colocado em contato com a água, ocorrerá um preenchimento dos seus poros vazios, uma correção na quantidade da água de amassamento do concreto deverá ser feita, de forma a proporcionar ao concreto as características desejáveis.

2.4 Composição mineralógica

De acordo com CABRAL (2007) as rochas são materiais resistentes que cobrem grande parte da superfície da Terra, sendo classificadas de acordo com sua origem em rochas ígneas, sedimentares ou metamórficas. É evidente que cada processo ou interação de processos, resultará em uma areia com composição característica diferente, onde os minerais constituintes da rocha poderão dar indicações sobre o agregado.

As rochas mais utilizadas para a produção de brita são fundamentalmente, granitos e gnaisses, seguidos por calcários, dolomitos e basaltos.

As propriedades das rochas são muito influenciadas pela absorção da água. Rochas com alta absorção apresentam aumento na massa específica aparente saturada, enquanto a resistência mecânica diminui (FRAZÃO *et al.*, 2007).

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

Já a areia de britagem oriunda da rocha metamórfica gnaiss, apresenta grãos com grau de esfericidade baixo, com grau de arredondamento do tipo subanguloso, com a forma das partículas do tipo lamelar e textura superficial do tipo áspera. É composta essencialmente de quartzo e feldspato, possuindo uma estrutura maciça ou granitoide, com foliação dada pelo achatamento dos grãos (<http://www.grupombl.com.br/areia.asp>, 2012).

A Tabela 2.1 apresenta a resistência média à compressão, massa específica, forma do grão e porosidade das rochas mais usuais para a utilização como areia de britagem.

Tabela 2.1 – Características físicas das rochas. (ALVES, 1999).

Rocha	Resistência média à compressão (MPa)	Massa específica (kg/m ³)	Forma do grão	Porosidade
Granito	188	2520-2990	Cúbica	Muito baixa
Calcário	165	1740-2760	Cúbica	Baixa à alta
Arenito	136	1600-2680	Lamelar	Baixa à alta
Mármore	120	2490-2860	Cúbica	Baixa
Quartzito	260	2480-2670	Cúbica	Baixa
Gnaise	155	2500-2870	Cúbica	Baixa
Basalto	180	2210-3110	Cúbica	Muito baixa

2.5 Processo de britagem

A areia de britagem é um produto derivado da rocha que passa por um processamento de britagem até atingir a granulometria desejada. Após a perfuração da rocha, de acordo com o plano de fogo, as pedras são transportadas até o conjunto de britagem para que atinjam a granulometria menor que 4,8 mm. Na maioria dos processos industriais, este produto é conduzido até os equipamentos de lavagem que retiram do produto final os finos excedentes (CABRAL, 2007).

De acordo com HONÓRIO (2010) o planejamento cuidadoso do processo de britagem ajuda a definir a qualidade do produto final de modo econômico e confiável. Britadores móveis permitem maior flexibilidade e diminuem o tráfego dentro da mina. Dentre os vários tipos de britadores, destacam-se os de mandíbula, giratório, cônico, impacto, martelo simples, rolo, rotativo e rolo duplo. Ainda segundo ele, as diferenças principais entre os vários equipamentos, estão associadas aos métodos de aplicação de cargas e aos aspectos mecânicos da aplicação desses esforços a diferentes tamanhos de partículas. Quando a partícula possui maiores dimensões, a energia necessária para fraturar cada partícula individual é alta, embora a energia por unidade de massa seja tipicamente baixa. Conforme o tamanho da partícula vai

diminuindo, a energia necessária para fraturá-la diminui, mas a energia por unidade de massa aumenta rapidamente

Portanto, os equipamentos que geralmente são usados na fragmentação grossa, precisam ser robustos e de grande porte, enquanto aqueles usados na fragmentação fina devem ser capazes de distribuir energia em um volume relativamente grande (NEVES e TAVARES, 2004).

As operações de beneficiamento são puramente mecânicas e consistem em britagem primária, secundária e rebitagem em uma ou duas etapas (britagem terciária e quaternária), que podem ser realizadas a seco ou a úmido. No caso de ocorrer lavagem, as partículas menores são estritamente produzidas nas fases seguintes e são isentas de quaisquer impurezas anteriores, como capeamento, matéria orgânica, dentre outras. Quando não há lavagem, é comum a separação de bica corrida após a primeira britagem, onde o material é enviado para ser comercializado. Para diminuir o pó em suspensão provocado pela atividade de britagem, algumas pedreiras utilizam sistemas de aspersores de água instalados nas bocas dos britadores e nas correias transportadoras (CABRAL, 2007).

A Figura 2.3 apresenta a correia transportadora da britagem secundária da Pedreira Pedra Sul.



Figura 2.3. Correia transportadora da Pedra Sul.

A Figura 2.4 representa um fluxograma de processos de uma unidade piloto, na qual o material resultante pode ser usado para concreto (areia britada) e argamassa (fíller).

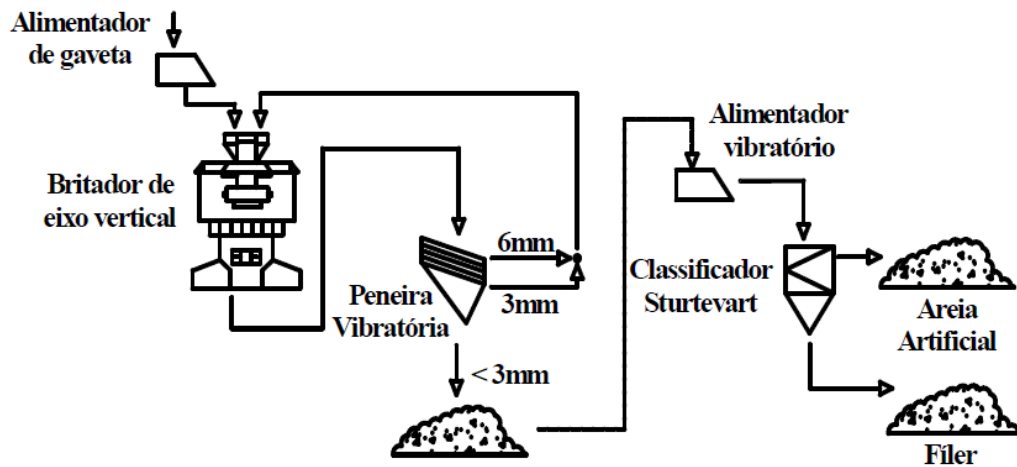


Figura 2.4 – Diagrama esquemático do circuito geral de britagem. (ALMEIDA e SILVA, 2005).

Nos últimos anos tem-se desenvolvido tecnologias para as pedreiras obter um material mais adequado ao uso na construção civil. Vários projetos foram criados, resultando em diversos modelos de equipamentos que atuam pelo mundo todo. Uma das preocupações principais é adequar os equipamentos com a função de deixar o produto dentro das normas técnicas, no que se refere ao teor de pulverulentos (CABRAL, 2007).

Os equipamentos desenvolvidos e atualmente inseridos no processo de beneficiamento da areia de britagem são (CHAVES, 2005):

– Britador VSI (*Vertical Impact Shaft*): faz com que haja o impacto de rocha contra rocha. É um impactador de eixo vertical que se diferencia dos convencionais pela utilização de acúmulos de rocha dentro da máquina para minimizar o desgaste metálico.

ALMEIDA e SILVA (2005) caracterizam este britador como o mais adequado para a obtenção de areia de britagem.

Segundo CABRAL (2007) os melhores resultados, surgiram com máquinas do tipo “VSI” (*Vertical Impact Shaft*), cujo modo de atuar deixa as partículas mais cúbicas e mais arredondadas.

– Classificador *Sturtevant*, cujo processo se dá da seguinte maneira: o material passante no deque é depositado em uma pilha para posterior classificação a seco, realizada por um classificador *Sturtevant*, com capacidade nominal de 200kg/h. Sua alimentação é realizada com o auxílio de um alimentador vibratório. Os produtos oriundos do classificador são a areia de britagem (produto grosso) para concreto e o fíller (produto fino) para argamassa.

Através da Figura 2.5 observa-se o britador VSI para a produção de areia de britagem da Pedreira Pedra Sul, que é alimentado com brita de diâmetro entre 25 mm e 38 mm.



Figura 2.5 – Britador VSI. (BASTOS - a, 2005).

Com a introdução dos novos britadores, algumas vantagens foram obtidas, como, por exemplo, melhor eficiência energética, melhor graduação da areia e maior controle sobre a geração de micro-finos (OHASHI, 2006).

2.6 Viabilidade econômica

A areia de britagem gerada no processo de beneficiamento de rocha em agregados graúdos, apresenta viabilidade econômica quando utilizada em substituição à areia natural nos concretos convencionais. A substituição parcial ou integral, como agregado miúdo na confecção de concretos e argamassas, reduz a demanda de areia natural e, em decorrência diminui a degradação das áreas de exploração.

De acordo com BASTOS - a (2005) a areia de britagem proporciona a fabricação de concretos e argamassas econômicas. O custo final dos serviços é mais baixo devido a menores consumos de materiais e de mão de obra. O produto chega em obra pronto para uso, sem necessidade de perda de tempo com peneiramento e separação de grãos de tamanhos indesejados. Com distribuição granulométrica e presença de finos menores do que 0,075 mm controladas, a areia industrial proporciona estruturas compactas, com menor consumo de cimento. Sendo o agregado inerte e isento de impurezas, garante-se a durabilidade das obras.

Para VIACELLI (2012) 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.

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.

3 PROPRIEDADES DO CONCRETO

3.1 Considerações iniciais

Concreto é um material compósito que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual são aglutinados partículas ou fragmentos de agregado. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado de uma mistura de cimento e água (MEHTA E MONTEIRO, 2008). Tal mistura adquire coesão e resistência, fato que lhe permite servir como material de construção.

Para a produção de um bom concreto deve-se atentar para os seguintes critérios: no estado fresco, a consistência da mistura deve ser tal que se possa adensar a uma energia desejada e ser suficientemente coesivo para que as atividades de transporte e lançamento não promovam segregação; no estado endurecido, foi pontuado que o concreto deve ter resistência e durabilidade adequadas, como afirma NEVILLE (1997).

Dentro desse contexto, destaca-se a importância do estudo da substituição da areia natural (AN) pela areia de britagem (AB), caracterizando-a e controlando-a, a fim de correlacionar suas características com as do concreto.

De acordo com ANDRIOLO (1984) em um volume de concreto convencional os agregados, tanto gráudo como o miúdo, ocupam cerca de 75% de seu volume. Dessa forma, é inevitável que o material com uma porcentagem elevada na massa do concreto, deva contribuir nas propriedades do concreto fresco e endurecido.

Os agregados, segundo FRAZÃO *et al.* (2007) são usados no concreto tanto por razões técnicas quanto econômicas e suas funções no concreto são:

- contribuir com grãos capazes de resistir aos esforços solicitantes e a ações de intempéries;
- reduzir as variações de volume;
- reduzir custos do concreto.

No entanto, os agregados, para exercerem suas funções adequadamente no concreto, devem apresentar no geral, as seguintes características:

- ter uma boa distribuição granulométrica para permitir uma boa compacidade do concreto;
- forma de partículas mais equidimensional possível;
- adequada resistência mecânica;
- adequada composição mineralógica;
- ausência de impurezas que possam diminuir a durabilidade do concreto;
- propriedades térmicas dentro dos limites, de forma que não causem, durante o endurecimento da mistura, anisotropias físicas nefastas.

A utilização da areia de britagem como agregado miúdo no concreto, quer por motivos econômicos, quer por aspectos relacionados à durabilidade, vem sendo analisado e tem despertado grande interesse, não só pelos aspectos ambientais, mas também pelos aspectos técnicos e econômicos. Assim, o interesse por parte das pedreiras vem aumentando, pois poderão comercializar um produto oriundo do rejeito da produção de brita que tinha pouco valor, que causavam transtornos no que diz respeito à estocagem e ao meio ambiente, e que passou a ser um produto com um custo interessante para o mercado da construção em geral.

3.2 Propriedades do concreto fresco

Na fase de projeto, diversos parâmetros são estabelecidos para atender as necessidades de estabilidade e durabilidade dos concretos no estado endurecido. Contudo, para atingir esses parâmetros a execução dos elementos estruturais deve atender certas propriedades. O concreto no estado fresco deve possuir uma trabalhabilidade que permita o transporte, o lançamento, o adensamento e o acabamento sem perder a homogeneidade. Para tanto, a mistura no estado fresco deve se manter, durante essas etapas, com fluidez e coesão mínimas, de acordo com as condições de lançamento do concreto (VIEIRO, 2010).

Em relação aos agregados britados NEVILLE (1997) afirma que as propriedades do concreto fresco sofrem mais influências desfavoráveis do que no estado endurecido devido à forma das partículas, sendo que formas menos esféricas e arredondadas exigem mais água para uma mesma consistência. Ele ressalta que o uso do concreto fresco tem interesse apenas transitório e deve ser enfatizado que a resistência de um concreto com determinadas proporções é seriamente influenciada pelo grau de adensamento. Portanto, é essencial que a consistência da mistura do concreto seja tal que o concreto possa ser transportado, lançado, adensado e acabado com suficiente facilidade e sem segregação.

Abaixo são explicitadas algumas propriedades importantes do concreto fresco.

3.2.1 Consistência

VIEIRO (2010) define a consistência como sendo a propriedade que determina o grau de fluidez da mistura do concreto no estado fresco, relacionando-se com a mobilidade da massa. A consistência adequada está condicionada à natureza da obra, dimensões das formas, distribuição das armaduras e aos processos de lançamento e adensamento do concreto. Ele ressalta que a relação entre água e materiais secos é o principal fator de influência na consistência. Esta relação de teor de água/materiais secos é estabelecida pelo peso da água e o peso de materiais secos multiplicados por 100, sendo representado pela letra H.

O processo de verificação da consistência mais utilizado no Brasil, pela simplicidade e facilidade de execução é o ensaio de abatimento do tronco de cone, conhecido como Slump Test. Abaixo a Figura 3.1 mostra o esquema de execução do Slump.

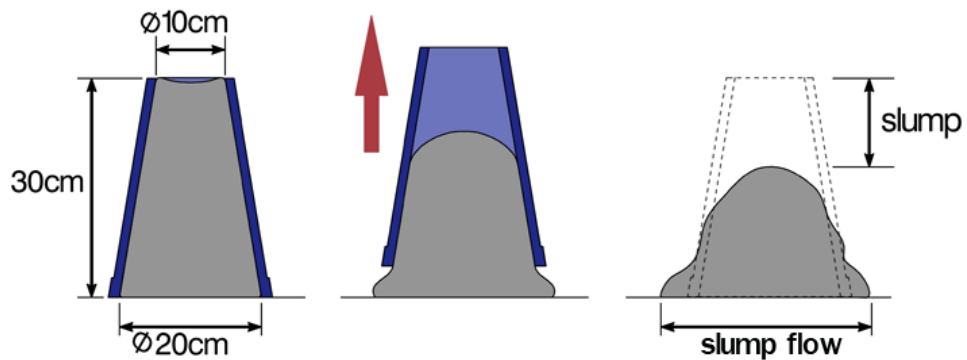


Figura 3.1– Ensaio de Abatimento

(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Slump_test.png, 2013).

De acordo com VIEIRO (2010) em função da consistência o concreto pode ser classificado em:

- I – Seco ou úmido – Quando H está entre 6% e 8%;
- II – Plástico – Quando H está entre 8% e 11%;
- III – Fluido – Quando H está entre 11% e 14 %.

3.2.2 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade do concreto é definida pela ASTM C-125(2007) como a propriedade que determina o esforço exigido para manipular uma quantidade de concreto fresco, com perda mínima de homogeneidade.

Segundo PETRUCCI (1998) existem dois fatores que afetam a trabalhabilidade: fatores internos e fatores externos.

I – Fatores internos:

- consistência, identificada pela relação água/cimento ou teor de água/materiais secos;
- proporção entre cimento e agregado, conhecido com traço;

- proporção entre agregado miúdo e graúdo, que corresponde a granulometria do concreto ;
- formas dos grãos dos agregados, dependente da do modo de obtenção dos agregados, obtidos de forma natural ou pelo processo de britagem;
- aditivos plastificantes.

II – Fatores externos:

- tipo de mistura: manual ou mecânica;
- tipo de transporte;
- tipo de lançamento;
- tipo de adensamento;
- dimensões e armadura dos elementos.

Tal autor afirma ainda que a atuação dos fatores descritos não se manifesta sempre em um mesmo sentido, considerando que todos podem atuar em conjunto.

De acordo com a NBR 6118 (2003) a trabalhabilidade de um concreto deverá ser compatível com as dimensões da peça a concretar, com a distribuição das armaduras e com os processos de lançamento e adensamento a serem usados.

NEVILLE (1997) comenta que não existe um ensaio aceitável que determina diretamente a trabalhabilidade. Têm sido realizadas diversas tentativas para correlacionar essa consistência com alguma grandeza física, fácil de ser determinada. Entretanto, todas as tentativas têm limitações por não conseguir introduzir todas as variáveis no fenômeno, embora possam proporcionar informações úteis.

Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008) trabalhabilidade envolve certas características do concreto fresco, tais como consistência e coesão, e genericamente definem

consistência como sendo a medida da umidade do concreto avaliada em termos de abatimento de cone, ou seja, quanto mais úmida a mistura maior o abatimento.

Para concretos produzidos com areias britadas devido à forma lamelar de seus grãos, pode-se dizer que a trabalhabilidade melhora quando o módulo de finura diminui, mantendo-se a continuidade granulométrica e piora quando se tem agregado de grãos angulosos (CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995).

De acordo com NETO (2006) o formato dos grãos tem influência direta na trabalhabilidade e, conseqüentemente, na resistência à compressão do concreto. Um concreto com um agregado muito lamelar apresenta menor trabalhabilidade, o que não acontece com um agregado mais cúbico ou arredondado, este faz com que o concreto fique mais trabalhável, pois seus grãos irão ter melhor interação, e conseqüentemente, apresentarão menor porcentagem de vazios no concreto. Ele afirma ainda que materiais com maior área específica necessitam de maior quantidade de água para envolver a superfície alterando assim, a trabalhabilidade.

Avaliando os estudos de CABRAL (2007) verificou-se uma perda constante de abatimento à medida que se aumenta a porcentagem de substituição de agregado natural pelo agregado britado. Com o aumento da quantidade de AB, conseqüentemente, aumentavam-se as concentrações de finos nas misturas e aumentava-se, sobretudo, a concentração de grãos com forma angulosa, fazendo com que a trabalhabilidade diminuísse, conforme mostra a Figura 3.2 onde:

CR = Concreto de referência com areia natural

CAA 25 = Concreto com substituição de 25% de areia de britagem

CAA 50 = Concreto com substituição de 50% de areia de britagem

CAA 75 = Concreto com substituição de 75% de areia de britagem

CAA 100 = Concreto com substituição de 100% de areia de britagem

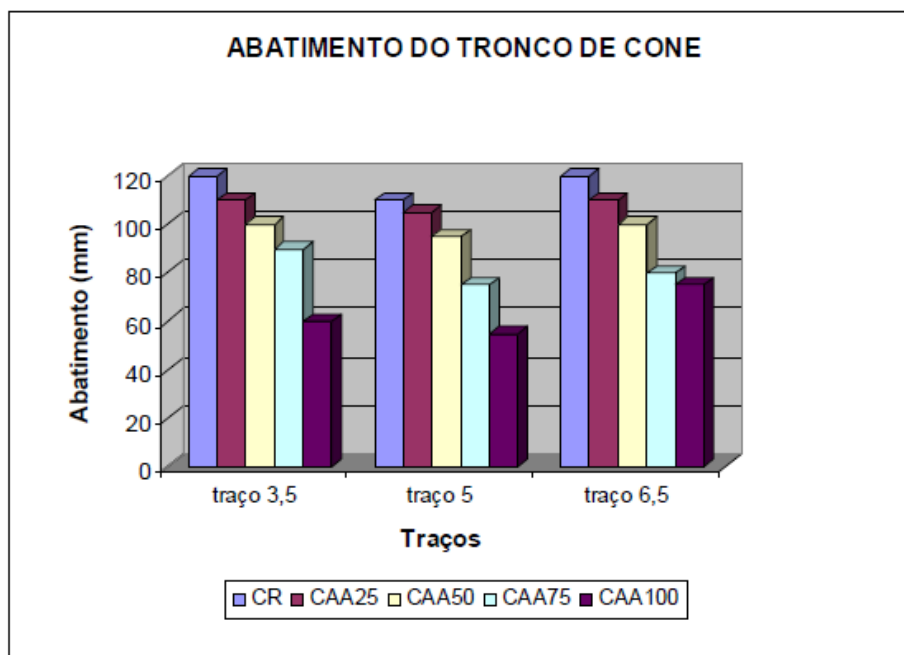


Figura 3.2 - Abatimento do tronco de cone. (CABRAL, 2007).

3.2.3 Segregação e exsudação

Segregação é a separação dos elementos que constituem o concreto, de modo que sua distribuição deixe de ser uniforme. A principal causa da segregação é o excesso de água, entretanto os diferentes tamanhos das partículas e das massas específicas dos constituintes e os métodos impróprios de adensamento também podem provocar segregação do concreto (RAMACHANDRAN e FELDMAN, 1984).

Segundo NEVILLE (1997) segregação ou exsudação é conhecida como separação da água, é uma forma de separação em que parte da água de mistura tende a subir para a superfície de um concreto recém aplicado. É resultado do processo em que os constituintes sólidos da mistura são incapazes de reter a água quando tendem a descer, pois, de todos os constituintes, a água é a que tem menor massa específica. O processo de exsudação pode causar:

- enfraquecimento da aderência pasta agregado e parte da armadura;

- aumento da permeabilidade;
- formação de nata de cimento sobre a superfície de concreto.

O autor afirma ainda que a perda de abatimento está relacionada com a capacidade do concreto fresco em reter a água de amassamento.

NETO (2006) observa que um dos fatores que podem retardar a evaporação de água de uma mistura é a quantidade de finos, por possuir uma maior superfície específica, retendo maior quantidade de água.

3.3 Propriedades do concreto endurecido

As principais propriedades do concreto endurecido são expressas pelo projetista e depende das particularidades do concreto fresco. Entre as características fundamentais que um concreto endurecido deve possuir podemos citar a resistência, durabilidade e impermeabilidade.

A resistência de um concreto depende de três fatores básicos:

- resistência do agregado;
- resistência da pasta;
- resistência da ligação pasta/agregado.

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (2008) a resistência está relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, sendo definida como a tensão máxima que a amostra de concreto pode suportar. Ainda segundo eles acredita-se que muitas das propriedades do concreto, como módulo de elasticidade, estanqueidade ou impermeabilidade, estão ligados à resistência.

3.3.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão pode ser considerada como a propriedade mais importante do concreto, por estar diretamente relacionada com sua estrutura interna, indicando uma estimativa do desempenho em termos mecânicos e indiretamente, da durabilidade.

Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008) nos sólidos existe uma relação fundamental inversa entre porosidade (fração de volume de vazios) e resistência. Portanto, no concreto, por tratar-se de um material de várias fases, a porosidade de cada componente pode tornar-se fator limitante da resistência. Nos concretos com agregados naturais, geralmente densos e resistentes, a porosidade da matriz, que é a pasta de cimento endurecida, assim como a zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo é que influenciam essa propriedade.

Estes autores ratificam, ainda, que baseados nos estudos de Abrams, em concretos de baixas e médias resistências, preparados com agregados comuns, as porosidades da zona de transição e da matriz determinam a resistência e é válida a relação direta entre a relação água/cimento e a resistência do concreto.

Para CABRAL (2007) embora a zona da interface de maior interesse seja aquela que se forma na superfície do agregado graúdo, forma-se também esse tipo de zona em volta de partículas de agregado miúdo. Neste caso, é menor a espessura da zona, mas os efeitos de superfície que se originam nas partículas menores interferem com aquelas do agregado graúdo, influenciando assim a extensão final do efeito da zona de transição.

AÏTCIN (2000) acrescenta que a elevada relação água/cimento dos concretos convencionais é traduzida, em termos microestruturais, por uma microestrutura porosa em volta do agregado, em que se observa uma zona de transição de espessura variável e com maior porosidade. A maioria das propriedades mecânicas do concreto convencional está relacionada à resistência da pasta de cimento hidratado, ou a sua relação água/cimento.

NEVILLE (1997) completa que o fator mais importante para definir a resistência do concreto é a aderência entre o agregado e a pasta de cimento. Segundo ele, a aderência é dividida, em parte, ao intertravamento do agregado e da pasta de cimento hidratada,

propiciada pela aspereza da superfície das partículas do agregado. Uma superfície mais áspera resulta numa melhor aderência, devido ao intertravamento mecânico. Quando a aderência é boa, o corpo de prova rompido deve apresentar algumas partículas de agregado rompidas, porém, se a quantidade de partículas rompidas for muito grande, pode significar baixa resistência do agregado.

Estudos realizados por BASTOS - b (2005) com dois traços de concreto com o emprego de areia de britagem de rocha basáltica em substituição parcial da areia natural nas proporções de 15%, 30%, 50% e 70% em massa, mostraram que a resistência à compressão aumentou com o aumento do índice de substituição, o que é de se esperar, uma vez que a relação água/cimento foi menor. Ficou evidente que nos dois traços o uso de areia de britagem apresentou um melhor desempenho em todos os aspectos, sendo a mistura com 70% de substituição foi a que apresentou melhor desempenho.

CABRAL (2007) em seu estudo, comparou a resistência à compressão com substituição da areia natural pela areia de britagem de rocha granito-gnaiss nas idades de 7, 28 e 56 dias. A pesquisa baseou na diferença percentual de resistência entre o concreto de referência (100% AN) pelo concreto com a substituição de 25, 50, 75 e 100% de areia de britagem. Os resultados mostraram que houve um aumento de resistência dos concretos com agregado britado, à medida que se aumenta o teor de substituição para os traços de 1:3,5. Os percentuais alcançados em relação aos concretos de referência variaram de 1,01%, com 25% de substituição, a 8,42%, com 100% de agregado artificial. O traço mais pobre, 1:6,5, apresenta uma constância de valores, ou seja, verifica-se que existe uma tendência em manter constantes os valores de resistência nesta família de traços pobres. O chamado concreto pobre, confirma-se, aparentemente, que a quantidade de finos não altera os patamares de resistências à compressão, ficando praticamente constantes os resultados aferidos, salvo pequenas oscilações. Tal ocorrência é explicada pela justificativa que para concretos com maior relação água/cimento, existe a ocorrência de maiores poros que, conseqüentemente, tornam irrelevante o efeito filler que se daria em função da maior proporção de finos na areia de britagem, que, por sua vez, poderiam propiciar um maior fechamento da pasta. Os resultados apontam, também, que às reduções nos valores de resistência vão se tornando relativamente

menores à medida que se empobrecem os traços. Obviamente que, nos traços mais pobres, existe uma maior quantidade de agregados e menor quantidade de aglomerante.

COSTA (2005) apresenta a análise dos resultados da areia de britagem da Britadeira Farroupilha Ltda, empresa de britagem de Passo Fundo/RS e compara o traço de referência (100% AN) com 01 traço de substituição de 25% de areia de britagem para concretos de fcj de 32 e 45 MPa e 01 traço de substituição de 50% de areia de britagem para concretos de fcj de 32 e 45 MPa. Observa-se que, para os concretos com 25% de areia de britagem, obtêm-se resultados superiores ao concreto de referência, praticamente em todas as idades investigadas. Já os concretos com substituição de 50% de areia britada apresentaram resultados inferiores à referência para fcj 32 MPa e se mantém próximos a referência para fcj 45 MPa. A substituição de 25% de areia de britagem para fcj 45 MPa obteve uma resistência, aos 28 dias, de 11,88% maior que o concreto de referência.

3.3.1.1 Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral é conhecido internacionalmente como Brazilian Test, por ser desenvolvido pelo pesquisador brasileiro Lobo Carneiro (NBR 7222: 2011). Este ensaio consiste em submeter corpos-de-prova cilíndricos de concreto a cargas de compressão ao longo de duas linhas axiais, diametralmente opostas. A tensão de compressão produz uma tensão de tração quase uniforme normal ao plano de carregamento.

Segundo NETO (2006) a resistência à tração por compressão diametral atinge o seu valor máximo por volta dos 14 dias, ao contrário da resistência à compressão, que pode aumentar 10 a 20% de seu valor após os 14 dias. Estes percentuais podem sofrer alterações conforme o tipo de concreto analisado.

3.3.2 Resistência à tração na flexão

A determinação da resistência à tração na flexão segundo a NBR 12142:2010 é realizada em corpos-de-prova prismáticos com dimensões 15,0 x 15,0 x 50,0 cm (largura x altura x comprimento), sendo que no ensaio, o vão livre possui 45,0 cm. A aplicação da carga concentrada ocorre a 1/3 de cada um dos elementos de apoio do CP conforme Figura 3.3.

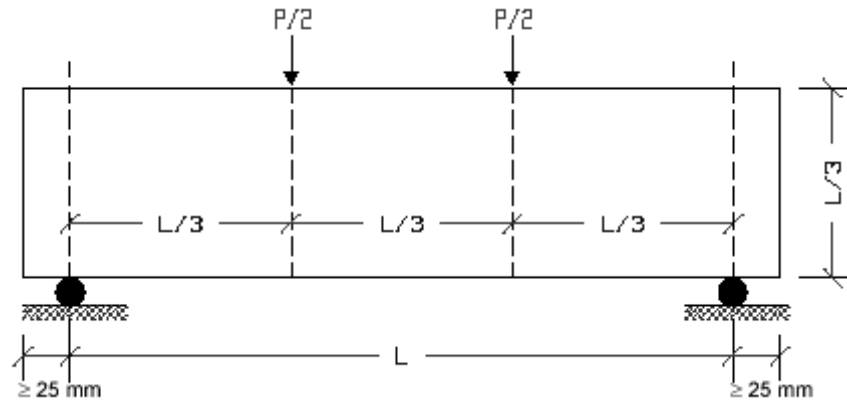


Figura 3.3 – Esquema do ensaio de resistência à tração na flexão (L = distância entre cutelos, P = carga aplicada).

Os corpos de prova são moldados em duas camadas adensados por haste de socamento com 60 golpes por camada ou em uma única camada quando adensado através de vibrador elétrico. Em vista das dificuldades encontradas na realização do ensaio de tração axial, durante muitos anos a resistência à tração foi determinada através de ensaio de flexão.

Para calcular a resistência a tração na flexão deve-se observar as seguintes situações:

1º - Caso a ruptura ocorra no terço médio da distância entre os elementos de apoio, calcular a resistência à tração na flexão pela expressão:

$$f_{ctM} = \frac{pl}{bd^2} \quad (3.1)$$

Onde:

f_{ctM} - resistência à tração na flexão, em MPa;

p - carga máxima aplicada, em N;

l - distância entre cutelos de suporte, em mm;

b - largura média do corpo-de-prova na seção de ruptura, em mm;

d - altura média do corpo-de-prova na seção de ruptura, em mm.

2° - Caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distância deste não superior a 5% de l , a resistência à flexão deve ser calculada pela expressão:

$$f_{ctM} = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (3.2)$$

Onde:

a - distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo mediante a tomada de, pelo menos, três medidas ($a \geq 0,283l$).

3° - Caso a ruptura ocorra além dos 5% citados anteriormente, ou seja, $a < 0,283l$, o ensaio deve ser descartado.

A resistência à tração na flexão, também chamada de módulo de ruptura, é a tensão de ruptura por tração no ensaio de flexão de viga de concreto simples. Observa-se experimentalmente, que a resistência à tração na flexão é aproximadamente o dobro da resistência à tração axial. Isto se explica pelo fato de que, na ruptura da viga de concreto simples, não é verdadeira a hipótese de distribuição linear de tensões (ALMEIDA (2002)).

3.3.3 Durabilidade

É comum que a especificação do concreto seja principalmente relacionada pelas suas características de resistência. Entretanto, é necessário que se tenha consciência da sua

durabilidade já que, um concreto deteriorado pode ter sua vida útil comprometida além de afetar a estrutura como um todo.

Para HELENE (2005) a durabilidade de um concreto ou de uma argamassa está diretamente ligada ao comportamento da rede de poros do seu interior, embora explicitamente entenda-se que outras variantes têm de estar esclarecidas. Sob o ponto de vista da porosidade, o que realmente interessa para que um concreto seja durável é a avaliação da intercomunicabilidade e a distribuição dos diâmetros e os tamanhos dos poros. Entre as vantagens do uso de adições minerais no concreto, a redução da porosidade é a maior responsável pela proteção das armaduras contra a ação da corrosão. O autor completa, focando que o uso de adições tem sido incrementado, não só por aspectos técnico-econômicos, mas também por aspectos ecológicos.

Segundo CABRAL (2007) a durabilidade do concreto é função de uma série de fatores, tendo início no projeto, passando pelos materiais empregados e chegando na qualidade de execução. Por outro lado, o processo de deterioração está diretamente relacionado às facilidades de penetração dos agentes agressivos no concreto de cobrimento das armaduras, ou seja, em função da sua porosidade e conseqüentemente permeabilidade.

De acordo com a NBR 6118 (2007) a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características, como espessura, qualidade do concreto e cobrimento da armadura.

3.3.3.1 Permeabilidade

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (2008) a permeabilidade é definida como a propriedade que governa a taxa de fluxo de um fluido para o interior de um sólido poroso.

Segundo BASTOS (2002) calcula-se a permeabilidade de uma amostra de material medindo a quantidade de água que filtrou durante certo tempo sob pressão constante. Ela varia de acordo com:

– geometria dos vazios: maior a dimensão dos poros e canais, maior será a permeabilidade;

- viscosidade do líquido: que muda com a temperatura;
- diferença de pressão: quanto maior, maior é a permeabilidade;
- espessura do material;
- tempo: (preenchimento dos poros pela hidratação do cimento);
- presença de ar.

VIEIRO (2010) expõe que a introdução de partículas de agregados com baixa permeabilidade em uma pasta de cimento deveria diminuir a permeabilidade do sistema, contudo não é o que acontece. Dados experimentais demonstram que a adição de agregados aumenta consideravelmente a permeabilidade. O aumento está diretamente relacionado com o tamanho do agregado. A explicação está no surgimento de micro-fissuras na zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento. O tamanho e a granulometria dos agregados afetam as características de exsudação da mistura que, por sua vez, influenciam a resistência da zona de transição, devido a esforços diferenciais entre a pasta de cimento e o agregado. As fissuras na zona de transição são muito pequenas, contudo, têm largura maior que a maioria das cavidades capilares, portanto, são responsáveis pelas interconexões que aumentam a permeabilidade do sistema.

Comparando a porosidade capilar de 30 a 40% de pastas típicas de cimento em concreto endurecido, o volume de poros na maioria dos agregados naturais está normalmente abaixo de 3% e raramente excede 10%. O coeficiente de permeabilidade da maioria das rochas vulcânicas, mármore, basaltos e granitos densos variam de 1×10^{-12} a 10×10^{-12} cm/s. Enquanto que a maioria dos poros capilares da pasta de cimento hidratada é na ordem de 10 a 100 nm. Os poros no agregado, em média, apresentam-se maior que 10 nm (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

3.3.3.2 Reação álcali agregado

Essa reação é citada por HASPARYK (1999) como sendo um termo geral utilizado para descrever a reação química que ocorre internamente em uma estrutura de concreto, envolvendo os hidróxidos alcalinos provenientes principalmente do cimento e alguns minerais reativos presentes no agregado utilizado. Como resultados da reação, são formados produtos que, na presença de umidade, são capazes de expandir, provocando fissurações, deslocamentos e podendo levar a um comprometimento das estruturas.

Dentre uma série de definições, verifica-se segundo KIHARA (1986) que a reação álcali-agregado é uma reação lenta e complexa que ocorre entre os álcalis ativos e algumas espécies de minerais presentes em alguns tipos de agregados, que, em condições especiais, provocam a deterioração do concreto por meio de fissuras.

CABRAL (2007) apresenta uma pesquisa em relação à reatividade do material, onde tal parâmetro foi avaliado e os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM C-1260 (2001). No presente estudo, foi proposta analisar a possibilidade desta ocorrência, uma vez que, em outras avaliações do agregado artificial em questão, foi classificado como um material deletério aos 28 dias de ensaio, conforme demonstra a Figura 3.4.

A Figura 3.4 mostra ainda que, com a adição de 8% e 12% de sílica ativa, aos 30 dias tem-se uma expansão abaixo de 0,1%, o que indica um concreto com compostos de reatividade inócua. Porém, na amostra onde os agregados estão sem adição, o concreto teve expansão do tipo deletéria aos 30 dias, confirmando com isso, a reatividade da areia de britagem ora estudada.

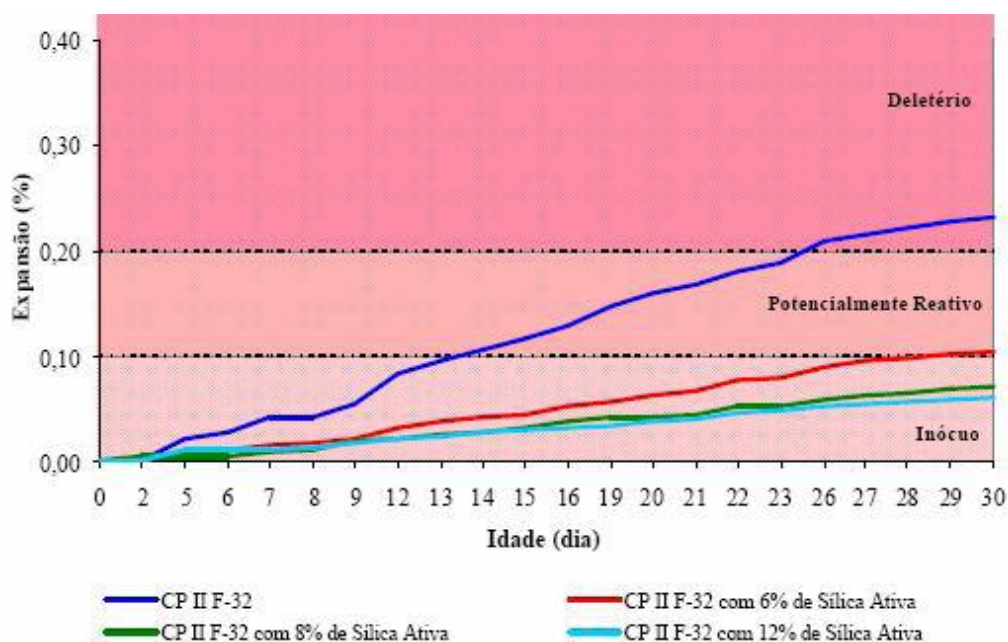


Figura 3.4 – Reatividade potencial. (CABRAL, 2007).

Dentre os diversos fatores que interferem na reação, destacam-se o cimento com alto teor de álcalis disponíveis para reagir, agregados potencialmente reativos e fatores ambientais tais como elevadas temperaturas e umidades. Os principais indícios que levam a suspeita da presença da reação álcali agregado em uma estrutura de concreto são: fissuras padrão tipo mapa – em concreto armado as fissuras tendem a ser orientadas; eflorescência e exsudação do gel; descoloração do concreto, agregados graúdos com bordas de reação, poros do concretos preenchidos total ou parcialmente por material esbranquiçado com composição do gel; microfissuração da argamassa com preenchimento de material branco e outros (CABRAL, 2007).

Com o objetivo de se determinar a reatividade de um agregado diversos métodos são utilizados, direcionando os pesquisadores a fazerem as escolhas adequadas de utilização de um agregado, evitando assim que danos ocorram a uma estrutura de concreto com o tempo.

Segundo SILVA (2007) a análise petrográfica fornece informações importantes sobre a composição mineralógica dos agregados usados em concretos, podendo detectar a presença de minerais potencialmente reativos com os álcalis do cimento. Este método de ensaio pode ser realizado baseando-se nas normas ASTM 295, ASTM 856 e NBR 7389 (2009).

Segundo a NBR 7389 (2009) a apreciação petrográfica é um estudo macroscópico, se necessário com utilização de lupa, dos materiais naturais, identificando seus elementos constituintes e propriedades, visando à sua utilização.

A Tabela 3.1 traz um resumo das análises petrográfica de determinadas rochas. Verifica-se que todos os agregados ensaiados apresentaram uma composição mineralógica potencialmente reativa em relação à reação álcali agregado, por apresentarem quartzo com extinção ondulante, quartzo micro cristalino e feldspatos alcalinos.

Tabela 3.1 - Resumo dos resultados obtidos da análise petrográfica. (CABRAL, 2007).

Classificação	Natureza	Observações
Granito	Ígnea	Granulação grossa a média. Maioria do quartzo com extinção ondulante de alto grau (>25°). Presença de K-feldspato.
Granito Gnaiss	Ígnea	Granulação média a fina. Quartzo com extinção ondulante moderada (<25°). Mostrou feições texturais evidenciando deformação tectônica. Presença de K-feldspato
Biotita Granito	Ígnea	Granulação muito grossa. Quartzo com intensa extinção ondulante (>25°). Presença de K-feldspato.
Biotita Granito	Ígnea	Granulação muito grossa. Quartzo com extinção moderada a forte. Presença de K-feldspato.
Milonito Gnaiss	Metamórfica	Granulação média e fina. Textura cataclástica, evidenciada pela fragmentação dos cristais de feldspatos, com frequente extinção ondulante. Presença de K-feldspato. Rocha originalmente granítica, submetida a deformação e recristalização (principalmente do quartzo). Quartzo estirado e de granulometria muito fina.
Biotita Granito	Ígnea	Granulação média a muito grossa. Extinção ondulante moderada a forte. Presença de K-feldspato.

3.3.4 Módulo de Elasticidade

No concreto, a relação direta entre resistência e módulo de elasticidade advém do fato de que ambos são afetados pela porosidade das fases constituintes, porém não no mesmo grau. Em materiais heterogêneos e multifásicos como o concreto, a fração volumétrica, a densidade e o módulo dos principais componentes, além das características da zona de transição na

interface, determinam o comportamento elástico do compósito. Uma vez que a densidade é inversamente proporcional à porosidade, naturalmente os fatores que afetam a porosidade do agregado, da pasta de cimento e da zona de transição na interface são importantes (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

O estudo de VIEIRO (2010) demonstra que o módulo de elasticidade dos concretos que utilizaram areia de britagem apresentaram valores 30% abaixo dos valores dos concretos com areia natural. Os resultados dos módulos de elasticidade apresentam valores decrescentes, na medida em que cresce o teor de argamassa das misturas. Segundo ele não existe uma razão aparente para que isso esteja ocorrendo, uma vez que mantido o teor de argamassa e corrigido o traço se atinge resistências de compressões iguais. Para ele a explicação pode estar no teor de material pulverulento, na forma e na textura superficial dos grãos, que afetam diretamente o teor de argamassa. O aumento do teor de argamassa implica em uma diminuição da quantidade de agregado graúdo, que pode levar a uma diminuição do módulo de elasticidade, conforme constatado.

A partir dos dados apresentados por CABRAL (2007) observou-se que os concretos com o agregado artificial apresentaram módulos de deformação inferiores em relação aos apresentados pelos concretos de referência, nos traços de 1:5,0 e 1:6,5. As variações, no traço 1:5,0, ficaram entre 8% e 18% menores, nas substituições de 5% e 100%, respectivamente. Já para o traço de 1:6,5 as variações foram de 7% a 19% menores para substituições de 25% e 100%, respectivamente.

Entretanto foi realizado na ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) um estudo para a Pedra Sul onde se comparou dois concretos, um realizado com areia britada da Pedra Sul e outro com areia natural de rio. Os dois concretos foram dosados para atender à mesma especificação de resistência à compressão aos 28 dias – f_{ck} igual a 20 MPa – e para ambos fixados o teor de argamassa 48% e o abatimento 80 ± 10 mm. Os resultados mostram que o módulo de deformação do concreto dosado com areia de britagem acompanhou a resistência mecânica, sendo interessante do ponto de vista de comportamento das estruturas, que ficariam menos deformáveis. Menores deformações nas estruturas significam também menores deformações em outras partes da construção, como revestimentos e caixilhos,

diminuindo o risco de fissuras. A Tabela 3.2 e 3.3 apresentam os dois traços estudados e os resultados dos ensaios respectivamente. (BASTOS a, 2005).

Tabela 3.2- Traços do estudo da ABCP. (BASTOS a, 2005).

Materiais	Concreto com areia de britagem	Concreto com areia natural
Cimento (kg/m ³)	293	302
Areia (kg/m ³)	731	722
Brita 1 (kg/m ³)	1110	1110
Água (l/m ³)	196	196
Relação a/c	0,67	0,70

Tabela 3.3 – Estudo comparativo de concretos realizado na ABCP. (BASTOS a, 2005).

Concreto	Relação a/c	Módulo de deformação (MPa)
Com areia de britagem	0,61	24,4
Com areia natural	0,65	18,8

Para BASTOS (2002) com a mesma relação água/cimento o pedrisco misto apresenta, média de 0,1 a 0,3 MPa acima dos concretos com areia de britagem e 0,5 MPa acima dos concretos com areia natural. Para o mesmo consumo de cimento as dosagens com pedrisco misto apresentam média de 0,8 MPa acima dos com areia de britagem. As misturas com consumo de cimento superior a 300 kg/m³ com pedrisco misto e areia de britagem, apresentaram resultados superiores das com a areia natural.

3.3.5 Retração por secagem

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (2008) a maioria das expressões teóricas para a previsão da retração por secagem admite que o módulo de elasticidade do concreto possa fornecer uma medida adequada do grau de restrição contra deformação e que, como primeira aproximação, o módulo de elasticidade do agregado determina o módulo de elasticidade do concreto. A secagem do concreto é o resultado da evaporação de uma parte da água contida

dentro da rede de poros capilares, que estão ligados à superfície, devido a um desequilíbrio entre a umidade relativa do ar e dos vazios capilares.

Entretanto, à medida que a água deixa o concreto, meniscos se desenvolvem em capilares cada vez mais finos provocando um aumento das forças capilares geradas dentro do concreto. As forças desenvolvidas dentro dos vazios capilares (tensões capilares) são inversamente proporcionais ao diâmetro desses capilares. Enquanto essas forças capilares forem menores que a resistência à tração do concreto, o concreto se contrai de maneira elástica. Portanto, a retração por secagem é um fenômeno relacionado com a remoção de água adsorvida da pasta de cimento hidratada, que possui como força motriz a umidade relativa diferencial entre o meio ambiente e a pasta. Este fenômeno se inicia na superfície do concreto e progride para dentro do concreto com mais ou menos velocidade, dependendo da compacidade da mistura e umidade do ambiente, podendo esta retração diferencial originar restrições internas que podem ser causa de microfissuração (AÏCTIN, 2000).

O aumento da retração por secagem pode ocasionar maior microfissuração interna no material cimentício e caminhos preferenciais para acesso de água e agentes agressivos. Diversos fatores podem influenciar a retração por secagem dos concretos, como os materiais constituintes e dosagem dos concretos, seu teor de água, a relação água/cimento, o tempo e a presença de adições minerais (METHA e MONTEIRO, 2008), (NEVILLE, 1997).

A proporção e os tipos de materiais empregados na mistura de concreto determinam a fração volumétrica de pasta hidratada, a fração volumétrica de vazios e, conseqüentemente, influenciam na deformação por retração por secagem. O aumento do teor de agregado na mistura pode aumentar a restrição e reduzir a retração por secagem nos concretos (NEVILLE, 1997), (METHA e MONTEIRO, 2008).

Portanto para AÏCTIN (2000) a retração por secagem é um fenômeno relacionado com a remoção de água adsorvida da pasta de cimento hidratada, que possui como força motriz a umidade relativa diferencial entre o meio ambiente e a pasta. Este fenômeno se inicia na superfície do concreto e progride para dentro do concreto com mais ou menos velocidade,

dependendo da compacidade da mistura e umidade do ambiente, podendo esta retração diferencial originar restrições internas que podem ser causa de microfissuração

NEVILLE (1997) salienta que a relação água/cimento influencia diretamente a retração por secagem, pois esta determina a quantidade de água evaporável na pasta de cimento e a velocidade à qual a água pode se deslocar para a superfície do concreto. A relação a/c determina também a estrutura de poros da pasta hidratada e, conseqüentemente, o grau de facilidade de remoção da água.

A remoção de água dos poros capilares para o meio ambiente é um processo que depende do tempo de exposição e das condições do meio ambiente em que a estrutura está inserida além de (NETO, 2009).

Para as mesmas condições ambientais (temperatura e umidade relativa) ocorre um aumento na retração por secagem com o aumento do tempo. Para o mesmo intervalo de tempo, o aumento da umidade relativa provoca uma redução no fluxo de umidade do interior do concreto para a superfície e, conseqüentemente, ocorre uma redução na retração por secagem (METHA e MONTEIRO, 2008).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os estudos analisados pode-se concluir que:

- A substituição da areia natural pela areia de britagem é tecnicamente viável. Constatase que as características do concreto de cimento Portland no estado fresco e endurecido em termos da aplicabilidade não apresentam diferenças significativas. Há que se considerar, no entanto, algumas particularidades na homogeneização dos materiais, uma vez que pela alta concentração de finos, tal areia necessita de maior quantidade de água para se obter uma boa trabalhabilidade, por isso em muitas vezes sugere-se o uso de aditivos para que não haja perda de resistência do concreto.
- Observa-se que as propriedades do concreto também são decorrentes do processo produtivo das areias britadas, sendo que para cada tipo de areia analisada, foi necessária uma composição diferente de materiais constituintes para se obter a mesma resistência. Este fato impede a formulação de um traço único para misturas com areia de britagem, indicando a necessidade de ajustes no processo produtivo. Sendo assim, há a necessidade por parte das empresas de britagem de ajustarem estes processos produtivos, de forma a padronizar as areias para se obter uma composição granulométrica equilibrada com teor de material pulverulento adequado, deste modo será possível produzir concretos com desempenho técnico, econômico e ambiental superiores aos concretos produzidos com areia natural.
- Em relação ao desempenho do concreto com areia de britagem, pode-se generalizar, através dos resultados dos ensaios mecânicos analisados neste trabalho, que os concretos contendo AMB possuem maior resistência à tração por compressão diametral e maior tração na flexão do que os concretos contendo AMN, comprovando que os concretos com consumos mais elevados de cimento e maior quantidade de material pulverulento influenciam nestes resultados, aliado ao melhor travamento dos AMB, devido à presença de agregados mais angulosos.

- Estudos experimentais mostram que os teores elevados de material pulverulento (material passante na peneira 0,0075 mm) nos AMB provocam grande influência nas propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no estado endurecido.
- O material pulverulento possui influência na consistência dos concretos e argamassas.
- Quanto maior o teor de material pulverulento, maior a área específica e conseqüentemente maior consumo de cimento e maior quantidade de água na mistura.
- Concretos com mesma resistência à compressão axial, com teor elevado de material pulverulento proporcionam menor exsudação.
- A presença de material pulverulento proporciona melhores resistências mecânicas aos concretos com AMB.
- A retração por secagem dos concretos com teor elevado de material pulverulento é elevada.
- Com relação ao módulo de elasticidade, os AMN obtiveram maior módulo que os concretos com AMB, apesar de apresentarem menores quantidades de finos totais compostos nestes concretos com menor quantidade de cimento e material pulverulento, além de possuírem forma de partículas arredondadas e de textura lisa o que facilita a formação de microfissuras na interface agregado/pasta e que pode provocar deformação. Neste caso ficou evidenciado que a maior área específica dos AMB equivale a um menor módulo de elasticidade em relação aos AMN.
- A granulometria é de fundamental importância no estudo dos AMB, para a substituição integral de AMN, pois influencia as propriedades e características dos concretos. Para os AMB as características geométricas dos grãos dependem da natureza mineral da rocha de origem e do tipo de britador utilizado.
- 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.
- Em todos os estudos analisados nota-se que os concretos produzidos com areia de britagem podem ser aplicados com segurança até teores de 50% de substituição. Na maioria dos casos, os resultados foram superiores aos traços similares fabricados com

agregados naturais, consistindo uma opção ambientalmente correta e economicamente viável.

- 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.
- 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.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:2003**. Agregados – Determinação da composição granulométrica.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:2009**. Agregados para concreto – Especificação.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2007**. Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222:2011**. Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7389:2009**. Agregados – Análise petrográfica de agregado para concreto.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . **NBR 9935:2011**. Agregados – Terminologia.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467:2006**. Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142:2010**. Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.

AİTCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. 1. ed. São Paulo: Pini, (2000).

ALMEIDA, L. C. **Estruturas IV– Concreto armado**. Notas de aula, (2002).

ALMEIDA, S. L. M.; SILVA, V. S. **Areia artificial: Uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados.** In: II SUFFIB - SENINÁRIO: o Uso da Fração Fina da Britagem. 2005. São Paulo. **Artigos em CDROM.** São Paulo, (2005).

ALVES, J. D. **Materiais de Construção.** Goiânia: UFG/CEFET, (1999).

ANDRIOLO, F.R. **Construções de Concreto: Manual de Práticas para Controle e Execução.** São Paulo, (1984).

ASTM C-295 - **Standard Guide for Petrographic examination of aggregates for Concrete.**

ASTM C-856 - **Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete.**

ASTM C-1260 - **Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of aggregates (Mortar-Bar Method).**

ASTM C-125 - **Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates.**

BASÍLIO, E. S. **Agregados para concreto. Estudo Técnico No. 41.** São Paulo (1995).

BASTOS, P. K. X. a. **Areia de britagem Pedra Sul para construção Civil – Aplicações e Resultados.** PARES – Pesquisa Argamassa e Concreto, (2005).

BASTOS, S. R. B. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para produção de concretos convencionais.** Dissertação de Mestrado UFSC, (2002).

BASTOS, S. R. B. b. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial a areia fina de britagem.** (2005).

BAUER, L. A. F. **Matérias de Construção.** Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, (1980).

BUTTLER, A. M. Concreto com agregado graúdos reciclados de concreto – Influência da Idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, (2003).

CABRAL, K. O. Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-gnaiss nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido. Dissertação defendida no Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, (2007).

CÁNOVAS, M. F. Hormigon. Madrid: Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, (1996).

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, VANDERLEY M. A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características de argamassa. São Paulo, (1997).

CHAVES, A. P. Estado da arte da produção de areia artificial. In: II SUFFIB - SENINÁRIO: o Uso da Fração Fina da Britagem. São Paulo, (2005).

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim Técnico n. 68, (1995).

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 de Engenharia Civil- UNIJUÍ, (2005).

COUTINHO, J. S Agregados para argamassas e betões. Materiais de Construção Civil 1, (1999).

FERREIRA, Gilda Carneiro & DAITX, E. C. **A mineração de areia industrial na região sul do Brasil**. REM - Revista Escola de Minas. Ouro Preto, (2003).

FRAZÃO, E. B.; CAMPOS, E.; CALAES, G. D.; HERMANN, H. **Agregados para construção civil no Brasil**. Belo Horizonte: ANEPAC, (2007).

GASTALDINI, A. L. G. **GEPECON - Grupo de Estudos e Pesquisas em Estruturas de Concreto**, (1986).

GRUPO MBL. **Areia de Gnaise**. Disponível em <http://www.grupombl.com.br/areia.asp>. Acesso em 15 de Novembro de 2012.

HASPARYK, N. P. **Investigação dos mecanismos da reação álcali-agregado – efeito da cinza de casca de arroz e da sílica ativa**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Goiânia, (1999).

HELENE, P. R. L. **Dosagem dos concretos de cimento Portland**, (2005).

HONÓRIO, O. **Estudo de aumento de capacidade da planta de britagem da Usina I de Germano**, (2010).

JACINTO, A. E.; GIONGO, J. **Resistência Mecânica do Concreto**. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, (2005).

KIHARA, Y. **Reação álcali-agregado: aspectos mineralógicos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS. São Paulo: Escola Politécnica da USP, (1986).

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**, (2008).

MIRANDA, L. F. R.; SELMO, S. M. S. **Avaliação de argamassas com entulhos reciclados, por procedimentos racionais de dosagem.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Vitória: PPGEC/ANTAC, (1999).

NETO, G. T. B. **Substituição de agregados miúdos naturais por britados em concretos.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Construção Civil, da Universidade Federal do Paraná, (2006).

NEVES, P. B.; TAVARES, L. M. M. **Racionalização do uso da energia na britagem, com auxílio de simulação computacional,** (2004).

NEVILLE, A. M. **Propriedade do concreto.** São Paulo, (1997).

OHASHI, T. **Areia de brita: Histórico e Evolução.** Areia e Brita- ANEPAC, São Paulo, EMC, (2006).

PETRUCCI E, G. R..**Concreto de cimento.** São Paulo: Globo, (1998).

SILVA, O. I. **Influência da cinza de casca de arroz amorfa e cristalina e da sílica ativa na reação álcali-agregado.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, (2007).

RAMACHANDRAN, V. S. FELDMAN, R. F. Cement Science. **Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science and Technology,** (1984).

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de dosagem do concreto.** São Paulo: ABCP, (1984).

VIACELLI, L. **Estudo da viabilidade da utilização do agregado miúdo britado em concreto convencional.** Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, do Curso Superior de Engenharia Civil – UTFPR, (2012).

VIEIRO, E. H. **Aplicação da areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento Portland.** Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em materiais da Universidade de Caxias do Sul, (2010).

WIKIMEDIA – **Slump Test.** Acesso em 10 de Janeiro de 2013.
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Slump_test.png