

ESTUDO DO AGREGADO MIÚDO: CARACTERIZAÇÃO E EFEITOS DA GRANULOMETRIA NA PRODUÇÃO DO CONCRETO

Nicolas Montanari¹, Erika Peterson Gonçalves, Dra.²

Universidade do Vale do Paraíba – UniVap / Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo -
FEAU, Av. Shishima Hifume, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP,

¹ nicolas.montanari@yahoo.com, ² erika@univap.br

Resumo – A norma define a areia como sendo de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm. Esta areia possui diferentes propriedades como composição granulométrica, módulo de finura, curva granulométrica e coeficiente de uniformidade, estas propriedades foram estudadas através de ensaios normatizados realizados em três amostras distintas, além de uma elaborada teoricamente que estabeleceu uma variação granulométrica ótima, além de um valor de coeficiente de uniformidade máximo para o agregado miúdo. Este estudo constatou que o material disponível na faculdade apresenta propriedades superiores comparado ao material comercializado regionalmente, e que o processo de moagem do é ineficaz, causando a diminuição do diâmetro das partículas, porém ocorre a redução do coeficiente de uniformidade.

Palavras-chave: método ABCP, concreto, granulometria, agregado miúdo, coeficiente uniformidade.

Área do Conhecimento: Engenharias

Introdução

Mesmo o concreto sendo um material de construção muito antigo, cada vez mais sua tecnologia de produção é estudada e aperfeiçoada, e o conhecimento dos materiais que o compõem e também a suas propriedades é um fator essencial de análise. Propriedades tais como a granulometria do agregado miúdo são importantes de serem determinadas visto que a partir dela pode-se verificar se existe grãos de todas as variações de diâmetros, sendo isto o ideal para uma produção de um concreto com menor número de vazios. Também por meio desta análise, é possível a determinação do módulo de finura, o qual representa numericamente o diâmetro dos grãos e permite classificar este agregado. Outra propriedade de suma importância dos materiais é a massa específica, e com esse dado, e outros a serem caracterizados, é possível realizar o método de dosagem da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para a fabricação do concreto. Os materiais a terem suas propriedades definidas são os que compõem o concreto, sendo eles, cimento, água de amassamento, agregado miúdo e graúdo.

Segundo a NBR 7211/1983 - Agregado para concreto, define-se como agregado miúdo "Areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm.

Uma das características fundamentais que devem ser analisadas é a granulometria, realizada conforme a NBR 7217/1987, o dado que se obtém por meio do ensaio granulométrico é o módulo de finura da areia, o qual consiste em um parâmetro adimensional que expressa o diâmetro dos grãos. Outro é a massa específica da areia, que quantifica a proporção em massa por unidade de medida cúbica de cada material, ensaio este demonstrado conforme a NBR 9776/1987. Por meio destas características estudadas, é possível dar prosseguimento ao método de dosagem de concreto da ABCP.

A areia deve ser composta por grãos de minerais duros, compactos, duráveis e limpos e não devem conter substâncias de nenhuma natureza e quantidade que venha a afetar o endurecimento e a hidratação do cimento, a durabilidade, a proteção contra a corrosão na armadura e quando requerido, o aspecto visual da estrutura de concreto.

Caso o agregado tenha impurezas orgânicas que interfiram no processo de hidratação, o mesmo não é adequado para a produção de concreto mesmo sendo suficientemente forte e resistente. Estas impurezas orgânicas normalmente são argilas orgânicas ou da decomposição de matéria vegetal e ocorrem com maior frequência na areia, porém é facilmente removida por meio de

lavagem. A determinação do limite aceitável de matéria orgânica pode ser verificado através da normal americana ASTM C 40-04.

O método de dosagem de concreto da ABCP, foi criado na década de 80 por meio de experimentos laboratoriais. Entretanto, resulta em um traço base de concreto para as características esperadas, e para verificar-se, é necessário a realização de ensaios, e quando necessário fazer ajustes no traço de concreto. O método determina qual a quantidade dos componentes, sendo eles cimento, areia, brita e água, se faz necessária para obter o resultado esperado, e para tal é preciso de condições adequadas dos mesmos, além de dados característicos, como a massa específica do cimento, brita e areia, o tipo de cimento, o módulo de finura da areia, a massa unitária e diâmetro máximo da brita, obtidos através de ensaios prescritos em normas. É necessário também ter-se definidas as propriedades esperadas do concreto, seja o abatimento para o concreto fresco e a resistência para o concreto com 28 dias.

Neste trabalho foram realizados os ensaios granulométricos de diferentes de amostras de agregado miúdo, areia, que geram os dados do módulo de finura, a curva granulométrica e o coeficiente de uniformidade deste agregado, que são propriedades fundamentais de análise quanto ao desempenho e, juntamente com a massa específica, para a determinação de um traço de concreto de elevada resistência.

Metodologia

Para o estudo foi utilizado três amostras distintas, a primeira a ser ensaiada foi a fornecida pela universidade, a qual é utilizada pelos alunos e professores para produção de concreto no laboratório. Com uma parte deste mesmo agregado foi executado um processo de moagem mecânica para posterior análise granulométrica, esta etapa consiste em reduzir o tamanho das partículas da amostra por meio do atrito com esferas cerâmicas, meios de moagem, a quantidade de meios de moagem adicionados nesse processo deve apresentar massa de aproximadamente um quarto da massa de amostra a ser cominuída. Tanto a amostra quanto os meios de moagem foram adicionados em um jarro de moagem, o qual foi submetido a rotações axiais para que no seu interior com o movimento as esferas sofram choques entre si e com a areia entre elas, assim fragilizando e quebrando os grãos do agregado, sendo este a segunda série de amostras a serem ensaiadas. Com isso, a última amostra foi retirada de uma fornecedora de concreto localizada em São José dos Campos para se conhecer as propriedades do material que é comercializado na região, e para todas o mesmo procedimento foi executado.

Para realização deste procedimento de determinação da granulometria e o módulo de finura, utilizou-se a norma NBR 7217/87 - Determinação de composição granulométrica. Retirou-se 500g da amostra do agregado miúdo para o ensaio, o mesmo previamente seco em estufa a 110 °C. Colocou-se amostra pesada na série de peneiras na ordem determinada pela norma, a qual inicia-se com a maior abertura com tampa na parte superior e diminuindo gradativamente até o fundo. A agitação foi executada através de um agitador de peneiras vibratório, durante 30 minutos a uma potência de 80% de sua capacidade, e com as peneiras devidamente fixadas ao mesmo. Determinou-se a massa retida em cada peneira com o auxílio da balança de precisão, retirando-se a areia de cada peneira e a transferindo para um becker, aferindo o valor da massa em gramas. Obtida a massa retida em cada peneira, somou-se as mesmas para determinar a quantidade de material perdido durante o processo, a norma permite uma perda de até 0,3% dos mesmos. Com o valor da massa retida em cada peneira e o valor total é possível a determinação das porcentagens simples (massa relativa da amostra pela massa total) e acumuladas (soma das porcentagens simples anteriores) de cada peneira, e com a soma desta mesma porcentagem acumulada, dividida por 100, se obtém o valor do módulo de finura da areia. O procedimento foi executado três vezes com cada amostra de agregado miúdo, conforme estipulado pela norma.

Ao fim da análise e com os valores da composição granulométrica, foi possível montar a curva granulométrica das médias dos materiais amostrados, e através da mesma foi realizado um estudo quanto a uniformidade da areia, que consiste na razão do diâmetro passante por 60% da amostra pelo diâmetro passante por 10% da amostra (diâmetro efetivo).

Com o intuito de se determinar uma granulometria ótima, com o máximo valor de coeficiente de uniformidade para um agregado miúdo, foi elaborada de forma teórica uma curva granulométrica que representasse esta condição. Com o valor mínimo de 0,075 mm e máximo de 4,8 mm, os quais

representam no seu intervalo como o material sendo um agregado miúdo, foi ligado estes dois extremos de forma linear a fim de representar uma mesma graduação durante todas as faixas, e finalizada a curva foi possível a obtenção do coeficiente de uniformidade máximo.

Para execução do ensaio de massa específica foi utilizada somente a amostra fornecida pela universidade, pois é o material a ser utilizado em futuros estudos, e para tal, tomou-se como base a norma NBR 9776 - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman.

Preencheu-se o frasco com água até atingir a marca de 200 cm³, permitindo ainda um período de tempo para que a água aderida as paredes pudesse chegar ao fundo. Colocando cuidadosamente a massa de areia de 500 g, previamente seca em estufa a 110 °C, no frasco e agitou-se o mesmo para a eliminação total das bolhas de ar. Assim foi possível a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco, indicando assim o volume em cm³ ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo. A determinação da massa específica foi realizado através da fórmula de $\gamma(g/cm^3) = 500 g / (L-200 cm^3)$, ao qual o L (cm³) da fórmula é o nível que a água atingiu após a colocação da amostra. Seguindo a norma, o experimento foi realizado duas vezes e com os valores obtidos se tirou a média, ao qual se resulta no valor a ser utilizado no decorrer do trabalho.

Resultados

O quadro 1 demonstra o valor médio obtido das amostras nos ensaios de peneiramento do agregado miúdo como recebido, segundo a norma NBR 7217/87, indicando a abertura das peneiras quanto a medida e sua numeração, a massa de amostra retida e as porcentagens simples e acumuladas de cada peneira, além de no fim o somatório das massas retidas e porcentagens acumuladas e o módulo de finura da areia, e também os dados teóricos de uma variação granulométrica ideal para uma amostra de 500 g.

Quadro 1 - Granulometria média e módulo de finura das três amostras e simulação de uma ideal.

ABERTURA DAS PENEIRAS (mm - #)	GRANULOMETRIA UNIVERSIDADE			GRANULOMETRIA PÓS MOAGEM			GRANULOMETRIA CONCRETEIRA			GRANULOMETRIA IDEAL		
	Massa média (g)	Porcentagem (%)		Massa média (g)	Porcentagem (%)		Massa média (g)	Porcentagem (%)		Massa média (g)	Porcentagem (%)	
		Simples	Acumulada		Simples	Acumulada		Simples	Acumulada		Simples	Acumulada
4,8 - 4	0,544	0,110	0,110	0,000	0,000	0,000	0,885	0,177	0,177	71,428	14,286	14,286
2,4 - 8	6,047	1,218	1,327	1,651	0,331	0,331	16,492	3,302	3,480	71,428	14,286	28,571
1,2 - 16	44,908	9,043	10,370	18,360	3,679	4,010	35,678	7,144	10,623	71,428	14,286	42,856
0,6 - 28	172,118	34,657	45,027	110,825	22,210	26,220	121,367	24,302	34,925	71,428	14,286	57,141
0,3 - 50	167,986	33,825	78,852	211,477	42,381	68,601	204,835	41,015	75,940	71,428	14,286	71,426
0,15 - 100	98,938	19,922	98,774	114,541	22,955	91,556	97,890	19,601	95,541	71,428	14,286	85,711
Fundo	6,091	1,226	100,000	42,136	8,444	100,000	22,267	4,459	100,000	71,428	14,286	100,000
Σ	496,632		234,458	498,990		190,718	499,414		220,687	499,996		299,991
MÓDULO DE FINURA			2,345			1,907			2,206			2,999

Fonte: O autor.

A figura 1 representa a curva granulométrica das amostras ensaiadas com a porcentagem retida nas aberturas das peneiras, sendo a linha vermelha representando a amostra pós-moagem, a azul, a curva da amostra da concreteira, e a verde a variação granulométrica ideal obtida de forma teórica.

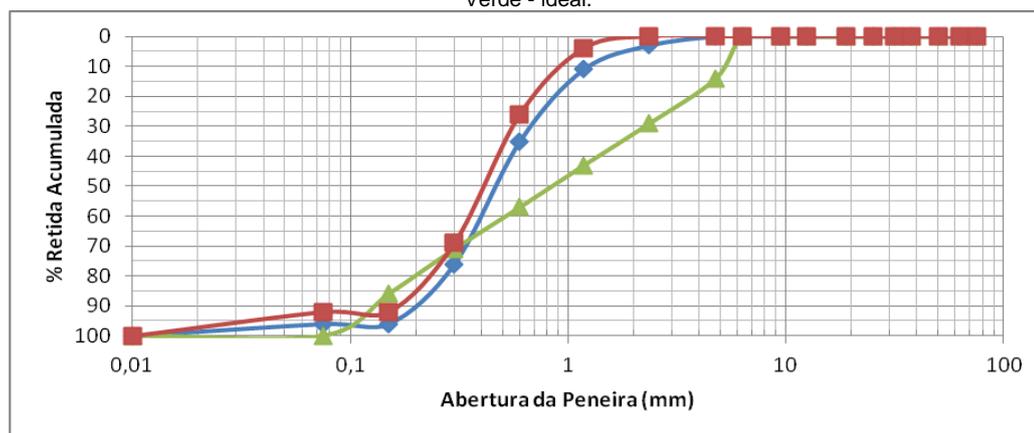
Com a elaboração das curvas granulométricas, nas figuras 1 e 2, foi possível determinar o coeficiente de uniformidade de cada amostra, este representado pelo quadro 2.

Quadro 2 - Coeficiente de uniformidade das três amostras ensaiadas e ideal.

AMOSTRA	UNIVERSIDADE	PÓS MOAGEM	CONCRETEIRA	IDEAL
D10%(mm)	0,23	0,18	0,2	0,13
D60%(mm)	0,66	0,36	0,44	0,52
CU	2,87	2,00	2,20	4,00

Fonte: O autor.

Figura 1 - Curva granulométrica das amostras pós-moagem, concreiteira e ideal. Vermelha - pós-moagem, Azul - Concreiteira e Verde - ideal.



Fonte: O autor.

A curva granulométrica da amostra fornecida pela universidade foi deixada isolada na figura 2, representado pela linha laranja, pois está é que demanda maior análise por se tratar do material a ser utilizado em trabalhos futuros.

Figura 2 - Curva granulométrica da amostra da universidade, Laranja - Universidade.



Fonte: O autor.

O quadro 3 apresenta os resultados obtidos pelo ensaio realizado segundo a norma NBR 9776 para determinação da massa específica do agregado miúdo. Este ensaio foi realizado somente para as amostras fornecidas pela universidade.

Quadro 3 - Representação da massa específica da amostra retirada da faculdade e média dos resultados.

MASSA ESPECÍFICA POR FRASCO DE CHAPMAN

Experimento	Nível	Massa específica (g/cm ³)	Massa específica (kg/cm ³)
1	387	2,6741	2674
2	387,5	2,6667	2667
Média		2,6704	2670

Fonte: O autor.

Discussão

A granulometria de um agregado, considerando a quantidade de material retido em massa, é a distribuição percentual das diversas dimensões das partículas retidas nas peneiras da série normal. Com a execução do ensaio, a composição granulométrica e o módulo de finura são definidos. Esta distribuição granulométrica demonstra as características de um agregado segundo as dimensões de suas partículas, características as quais têm influência sobre as propriedades do concreto,

principalmente quanto a sua compacidade e trabalhabilidade. Compacidade que está diretamente ligada a resistência do concreto, o fator determinante para isso está na relação água/cimento e os poros presentes no mesmo, quanto maior a quantidade destes poros, menor é a resistência do concreto, além de, com o acréscimo do agregado, agravar ainda mais esta situação. Uma boa variação quanto ao diâmetro dos grãos, isto é, distribuídas uniformemente por todas as dimensões, faz com que as partículas se acomodem de forma mais compacta, com os grãos menores preenchendo os vazios deixados pelos maiores, proporcionando assim, uma menor existência de poros. Essa compacidade poderia ser alcançada e até mesmo superada com uma maior quantidade de partículas menores, entretanto quanto mais refinado o grão maior é a demanda de água na mistura para reagir e a deixar trabalhável, fato este devido a sua maior superfície específica (razão entre superfície total e volume). Esta variação pode ser expressa de forma numérica através do coeficiente de uniformidade dos grãos, dado pela relação entre os valores de porcentagem passante da amostra de 60% e 10%.

As peneiras utilizadas para a análise são estipuladas pela NBR 7217/87, da série normal, composta por aberturas quadradas representando o diâmetro dos grãos (4,75, 2,36, 1,18, 0,600, 0,300, 0,150 e 0,075) mm.

A curva granulométrica originada pelo ensaio de composição do agregado é uma linha que une os pontos que representam o resultado da análise granulométrica, ou seja, as aberturas das malhas nas abscissas e a porcentagem acumulada nas ordenadas. Estas curvas são fundamentais para analisar de forma rápida a granulometria do agregado, deixando evidente alguma deficiência quanto a falta de partículas de dada dimensão em alguma fração granulométrica. Também é possível obter uma curva granulométrica de uma mistura de agregados a partir das curvas de cada agregado separado.

Devido a este procedimento se consegue o módulo de finura do agregado, o qual é uma grandeza adimensional que se determina pela soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras de série normal, dividida por 100. Uma forma de se interpretar é que este valor representa uma dimensão média ponderada do agregado, e quanto maior este valor maiores serão suas partículas. Também quanto a este valor, é possível a classificação do agregado conforme o quadro 4.

Quadro 4 - Classificação da areia quanto ao módulo de finura.

Grossa	De 2,71 a 4,02
Média	De 2,11 a 3,38
Fina	De 1,71 a 2,85
Muito fina	De 1,35 a 2,25

Fonte: Bauer.

Outro dado importante a se determinar para prosseguir ao cálculo do traço de concreto é a massa específica real do agregado, este sendo a relação entre a massa e o volume de cheios, ou seja, o volume excluindo os poros permeáveis e vazios existentes entre os grãos, assim só restando o volume do agregado. Esta é uma propriedade específica de cada material, sendo determinada por norma, mas caso não seja viável, um valor a se adotar é de 2650 kg/cm³.

Conclusão

Com os dados da granulometria das amostras de agregado miúdo foi possível conhecer as suas propriedades e verificar quanto a sua eficiência para com o objetivo.

O módulo de finura obtido através do ensaio permite dar prosseguimento ao método de dosagem de concreto da ABCP, fornecendo a informação do diâmetro das partículas constituintes de agregado miúdo. Também, por meio deste mesmo valor foi possível a classificação das amostras utilizando o quadro 4, com isso a amostra da universidade e a elaborada de forma teórica foram classificadas como uma areia média/fina, com os respectivos valores de módulo de finura, 2,345 e 2,999, e a amostra pós moagem e da concreteira, 1,907 e 2,206, ficaram na faixa de fina/muito fina.

Quanto a curva granulométrica, esta nos permitiu analisar de forma prática o diâmetro e a variação das partículas como um todo deixando evidente alguns fatores. A curva gerada pelos dados granulométricos da amostra pós moagem (vermelho) mostra que houve diminuição no diâmetro das partículas como esperado, também pelo fato de alterar o módulo de finura e sua classificação,

entretanto, o processo de moagem acarretou em uma falta de material em uma fração de diâmetros, 0,080 mm a 0,140 mm, o que não é adequada ao propósito do trabalho.

Para um comparativo da granulometria de forma numérica foram obtidos os coeficientes de uniformidade das amostras. Entretanto, em solos é considerado uma boa granulometria a partir de 6, mas neste valor esta incluso partículas pequenas como silte e argila, as quais influenciam de forma negativa no concreto, e essas partículas aumentam o valor do coeficiente. Devido a este fator e a necessidade de tomar-se um valor como parâmetro que foi feito a amostra com variação granulométrica ideal permitindo determinar o valor máximo deste coeficiente para o agregado miúdo. Com este valor máximo conhecido, $Cu_{máx}$ igual a 4 permitiu-se uma melhor análise dos coeficientes das amostras.

Dentre as três amostras ensaiadas a que demonstrou o melhor desempenho foi a da universidade com Cu de 2,87, e com o coeficiente de uniformidade da amostra pós-moagem de 2,00, mostrou-se que o processo além de deixar uma faixa sem material, também afetou de forma negativa a variação granulométrica como um todo. A amostra da concreteira foi estudada por duas razões, conhecer o material presente no mercado regional e tomar o mesmo como base para a amostra da universidade, para conhecer se a mesma é de qualidade para a realização de futuros trabalhos, e com os ensaios realizados conclui-se que a mesma é superior quanto a granulometria a fornecida no mercado regional, por apresentar um coeficiente de uniformidade 0,67 superior.

A massa específica real do agregado se deu no valor de 2670 kg/cm^3 , valor este aproximado do qual é tomado como padrão 2650 kg/cm^3 , indicando assim que o material amostrado é de massa específica próxima aos demais.

Referências

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICO DO PARANÁ, departamento de construção civil. **Apostila de tecnologia do concreto**. 2004.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos, **Concreto armado eu te amo**. 5. ed. São Paulo - SP: Edgard Blucher, 2006. 486 p.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J, **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre - RS: Bookman, 2013. 466 p.

BEBER, Andriei José. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibras de carbono**. 2003. Dissertação (Doutorado em Engenharia) - Universidade do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2003.

BAUER, Falcão. **Materiais de construção. Volume 1**. 5.ed. Uberlândia - MG: LTC. 2000. 447p.

NBR 7211/1983 - **Agregados para concreto**.

NBR 9776/1987 - **Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**.

NBR 7217/1987 - **Agregados - Determinação da composição granulométrica**.

ABNT NBR 15900-1/09 - **Água para amassamento do concreto**.

NBR 5732/91 - **Cimento Portland comum**.