



Sandro Jerônimo de Almeida Diniz

**Concreto produzido com agregado graúdo
basáltico da região de Santarém-PA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Mestrado Profissional e Processos Construtivos e
Saneamento Urbano

Dissertação orientada pelo Professor Dênio Ramam Carvalho de
Oliveira



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
MESTRADO EM PROCESSOS CONSTRUTIVOS E SANEAMENTO URBANO**

**Concreto produzido com agregado graúdo basáltico
da região de Santarém-PA**

ENG. CIVIL SANDRO JERÔNIMO DE ALMEIDA DINIZ

**Belém – PA
2015**

Concreto produzido com agregado graúdo basáltico da região de Santarém-PA

ENG. CIVIL SANDRO JERÔNIMO DE ALMEIDA DINIZ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Denio Ramam Carvalho de Oliveira

**Belém – PA
2015**

Concreto produzido com agregado graúdo basáltico da região de Santarém-PA

ENG. CIVIL SANDRO JERÔNIMO DE ALMEIDA DINIZ

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Processos Construtivos e Saneamento Urbano, área de concentração Estruturas, Construção Civil e Materiais, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano (PPCS) do Instituto de Tecnologia (ITEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Aprovada em 13 de Março de 2015.

Prof. Dr. Denio Ramam Carvalho de Oliveira
(Coordenador do PPCS)

Prof. Dr. Denio Ramam Carvalho de Oliveira
(Orientador – UFPA)

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Bernardo Borges Pompeu Neto
(Examinador Interno – UFPA)

Prof. Dr. Adelson Bezerra de Medeiros
(Examinador Externo – UFPA)

“AS PALAVRAS CONVENCEM, MAS OS EXEMPLOS ARRASTAM”
Confúcio.

DEDICATÓRIA

À Deus pelo dom da vida, bem mais valioso.

Aos meus pais, pela incansável luta diária, pelo esforço dedicado a mim e a meus irmãos, oferecendo as condições necessárias para a realização dos nossos estudos, desde a infância até o nível superior. Hoje essa dissertação faz parte do esforço de vocês.

A minha esposa e companheira Sahvana, e aos meus filhos André Luís e Matheus, por me darem as forças, o incentivo e a vontade de vencer. Vivo para vocês.

*Dedico este trabalho aos meus avós paternos Luís Felipe Diniz e Jerônima Gomes
Diniz (Dona Joca), “in memoriam”*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, o Professor Doutor Denio Ramam, pelo incentivo e dedicada orientação para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao 8º Batalhão de Engenharia de Construção – 8º BEC, na pessoa no TC Cláudio Meneses, comandante do 8º BEC, e do Maj Albuquerque, chefe do SECTEC do 8º BEC, a quem agradeço a disposição do laboratório de ensaios e da equipe de técnicos, sem a qual não conseguiria realizar os testes necessários para este trabalho.

Ao técnico em edificações Marcos Marcacine, responsável pela equipe do laboratório de ensaios do 8º BEC, pela cordialidade e atenção dispensada a este trabalho.

Ao Cap De Alencar, que contribuiu para que as amostras da rocha fossem britadas no destacamento do 8º BEC (DRU) no município de Rurópolis.

RESUMO

Obras de construção e conservação de infraestrutura rodoviária são consideradas importantes para o desenvolvimento regional, por garantirem a manutenção da trafegabilidade, o escoamento da produção, o acesso a produtos e serviços, além do transporte de mercadorias e pessoas. Considerando as inerentes dificuldades e particularidades relativas à execução de obras de infraestrutura rodoviária na Amazônia (como exemplo, o “inverno amazônico” com ocorrência predominante nos meses de janeiro a junho), a “Serra do Inajá” (localizada na rodovia BR-163, km 195, sentido Santarém-Cuiabá) representa um obstáculo a ser transposto na execução dessa obra. O objetivo deste trabalho consistiu em uma caracterização geotécnica da rocha da “Serra do Inajá” visando à obtenção de resultados que embasem tecnicamente a execução das obras de construção/conservação da rodovia, sob responsabilidade de um Batalhão de Engenharia de Construção. Foram avaliadas as principais propriedades geotécnicas de amostras coletadas no local, a partir do esmagamento e britagem do material realizado no destacamento do BEC, no município de Rurópolis-PA e, posteriores ensaios de laboratório realizados em Santarém-PA. A metodologia consistiu em testes da rocha britada como agregado graúdo para ensaio de corpos-de-prova de concreto; caracterização genérica das rochas gabróicas, discutindo-se as correlações entre as diferentes propriedades. Os resultados obtidos permitem afirmar que a rocha britada, um gabro, existente na “Serra do Inajá”, no Km 165 da BR-163, trecho entre o município de Santarém e o município de Rurópolis, depois de testada como agregado graúdo, atendeu a norma para concreto estrutural, tendo sua resistência média à compressão, testada em corpos-de-prova, de 26,1 MPa.

Palavras chave : *“Serra do Inajá”, rocha britada, agregado graúdo, concreto.*

ABSTRACT

Construction and road infrastructure conservation are considered important for regional development, for it to remain trafficability, the flow of production, access to goods and services as well as transport of goods and people. Considering the inherent difficulties and circumstances relating to the implementation of road infrastructure projects in the Amazon (for example, the "winter Amazon" predominantly occurring in the months from January to June), the "Serra" Inajá "(located on the BR-163 highway , km 195, Santarém-Cuiabá sense) is an obstacle to be overcome in carrying out this work. This study consisted of a geotechnical characterization Rock "Serra do Inajá" in order to obtain results that technically support the execution of construction works / maintenance of the highway, under the responsibility of a Construction Engineering Battalion. We evaluated the main geotechnical properties of samples collected on site, from the crushing and crushing of materials held in the deployment of BEC in the municipality of Rurópolis-PA and subsequent laboratory tests carried out in Santarém-PA. The methodology consisted of crushed rock tests as aggregate for concrete test specimens; general characterization of gabbroic rocks, discussing the correlations between different properties. The results have revealed that the crushed rock, a gabbro, existing in the "Serra do Inajá" at Km 165 of the BR-163 stretch between the city of Santarém and the municipality of Rurópolis after tested as aggregate, attended standard for structural concrete, and its average compressive strength, tested specimens, 26,1 MPa.

Keywords: *"Serra do Inajá", crushed rock, coarse aggregate, concrete.*

SUMÁRIO

1	-	INTRODUÇÃO	1
1.1	-	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2	-	JUSTIFICATIVA	1
1.3	-	OBJETIVOS	2
1.4	-	ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2	-	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	-	CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS	3
2.2	-	CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS ÍGNEAS OU MAGMÁTICAS	5
2.2.1	-	Cristalinidade	5
2.2.2	-	Granulometria	6
2.2.3	-	Homogeneidade granulométrica	7
2.2.4	-	Granulometria e velocidade de resfriamento	9
2.3	-	ROCHAS MAIS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO NO BRASIL	12
2.4	-	RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS	13
2.4.1	-	Classificação	13
3	-	CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA DA “SERRA DO INAJÁ” E APLICAÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO PARA CONCRETOS	21
3.1	-	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	21
3.2	-	CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA DA “SERRA DO INAJÁ”	21
3.3	-	ENSAIO REALIZADO NA AMOSTRA DA ROCHA COLETADA	23
3.4	-	COMINUIÇÃO DA ROCHA (BRITAGEM)	25
3.5	-	ENSAIOS REALIZADOS NA ROCHA BRITADA	26
3.5.1	-	Granulometria	26
3.5.2	-	Ensaio de abrasão Los Angeles	27
3.5.3	-	Densidade real (massa específica)	28
3.6	-	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AREIA	29
3.7	-	PRODUÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO	30
3.8	-	ENSAIO REALIZADO NOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO	31
4	-	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
4.1	-	CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA DA “SERRA DO INAJÁ”	34

4.2	- ANÁLISE DA APTIDÃO DA ROCHA GABRÓICA BRITADA PARA USO EM CONCRETO ESTRUTURAL	34
4.3	- CONCRETO FEITO COM BRITA GABRÓICA	34
4.4	- ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	35
5	- CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	37
5.1	- CONCLUSÕES	37
5.2	- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Classificação geral das rochas	4
Figura 2	- Lava vulcânica solidificando-se e dando origem a rochas ígneas ou magmáticas	5
Figura 3	- Rochas ígneas (SILVA, 2006)	6
Figura 4	- Granulometria grossa, média e fina de rochas ígnea (SILVA, 2006)	6
Figura 5	- Exemplos de rochas ígneas de granulometrias diferentes (SILVA, 2006)	7
Figura 6	- Visão macroscópica e microscópica de rochas ígneas (SILVA, 2006)	8
Figura 7	- Relação entre a granulometria das rochas ígneas e o modo de ocorrência geológica conforme (A) conceito tradicional do século XIX e (B) conceito atualizado	9
Figura 8	- Influência da dimensão máxima do agregado sobre a resistência do concreto (MEHTA & MONTEIRO,1994)	16
Figura 9	- Trecho da BR-163, Km 165. “Serra do Inajá”	22
Figura 10	- Corte executado na obra mostrando o maciço rochoso da “Serra do Inajá”	23
Figura 11	- Amostra do gabro da “Serra do Inajá”	23
Figura 12	- Ensaio de compressão uniaxial realizado com amostra da rocha gabro da “serra do Inajá”	24
Figura 13	- Ruptura da amostra sob compressão uniaxial	24
Figura 14	- Britador do destacamento Rurópolis, pertencente ao órgão executor da obra BR-163	25
Figura 15	- Rocha gabro britada obtida no britador do destacamento de Rurópolis	25
Figura 16	- Moldagem dos corpos-de-prova	31
Figura 17	- Corpos-de-prova preparados para o ensaio – 8° BEC	32
Figura 18	- Ensaio de resistência à compressão – 8° BEC	33
Figura 19	- Ensaio de resistência à compressão – IFPA	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	-	Limites da composição granulométrica do agregado graúdo pela NBR ISSO 3310-1 (ABNT, 2003)	15
Tabela 2	-	Quantidade percentual permitida relativa à massa do agregado graúdo	18
Tabela 3	-	Limites máximos para a expansão devida à reação álcali-agregado e teores de cloretos e sulfatos presentes nos agregados pela NBR 7211 (ABNT, 2009)	19
Tabela 4	-	Ensaio especiais recomendados pela ABNT	20
Tabela 5	-	Etapas do estudo da rocha da “Serra do Inajá”	21
Tabela 6	-	Resultado do ensaio de compressão uniaxial na rocha gabro	24
Tabela 7	-	Análise granulométrica da rocha britada	26
Tabela 8	-	Resultado do ensaio de desgaste por abrasão “Los Angeles”	27
Tabela 9	-	Resultado do ensaio de densidade real	28
Tabela 10	-	Granulometria da areia	29
Tabela 11	-	Características e propriedades do cimento CII-Z-32 (Cimentos Nassau)	30
Tabela 12	-	Traço para a moldagem dos corpos-de-prova de concreto	30
Tabela 13	-	Resultados dos ensaios à compressão dos corpos-de-prova	36

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A construção de rodovias na Amazônia tem sido destaque nos noticiários nacionais. A caracterização geotécnica de um maciço rochoso e a avaliação da sua aptidão para a construção de uma obra rodoviária torna-se relevante. O trabalho em um maciço rochoso sugere perigos diversos, como deslizamentos de blocos de rocha, uma vez que maciços rochosos podem conter descontinuidades. Esses deslizamentos podem ser resultados da descompressão do maciço. Estudar a rocha intacta é apenas uma parte da caracterização da rocha. A caracterização geotécnica, adequada ao tipo de obra e terreno, contribui para otimizar a concepção e em seguida a possível execução da construção, ajudando a torná-la mais econômica e segura, fornecendo informações importantes a cerca da resistência do maciço rochoso e possíveis necessidades de reforços, evitando-se assim, custos adicionais durante a construção (GOMES, 2011).

Ainda de acordo com o autor, a caracterização geotécnica de maciços rochosos, é considerada um gasto desnecessário ou um atraso nos trabalhos. Como consequência, o terreno acaba sendo mal caracterizado e seus parâmetros adotados nos modelos de cálculos resultam em aproximações distantes da realidade. Realizada adequadamente, a caracterização geotécnica, tem baixo custo, comparado ao valor de uma obra de grande porte, sendo que atrasos e/ou alterações consideráveis causam um maior prejuízo, decorrente da falta ou caracterização geotécnica mal realizada. Então, a adequada caracterização geotécnica de maciços rochosos é imprescindível para o desenvolvimento de um projeto, fazendo parte do estudo de inúmeros geotecnistas e engenheiros especializados em Mecânica das Rochas. Ao longo dos anos, as classificações e as descrições de maciços rochosos têm sido feitas através de sistemas desenvolvidos, de modo que eventuais erros possam ser evitados, como resultado de mal entendidos, por engenheiros ou geólogos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Levando-se em consideração as peculiaridades regionais, notadamente na Amazônia, quais sejam, o ainda isolamento parcial, pela falta de estradas e ferrovias e a carência de mais aeroportos, obras de infraestrutura de grande envergadura, como a construção de estradas e

ferrovias, geralmente de alto custo, necessitam de bons projetos e planejamentos. A construção da BR-163, trecho que vai da cidade de Santarém, estado do Pará, até o município de Rurópolis, passando nesse percurso, por mais dois municípios, o município de Belterra e o município de Placas, totalizando 217 quilômetros, faz parte dessa realidade.

Atualmente a execução da obra localizada entre os municípios de Rurópolis e Placas, no Km 195, tem a conhecida e localmente chamada “Serra do Inajá”, com seu maciço rochoso, constituindo em um obstáculo a ser transposto para a execução dessa obra. O órgão executor, ainda não conta com um estudo de caracterização geotécnica e possível aptidão para o uso e manejo desse maciço rochoso, visando minimizar os custos e possível uso da rocha, visto que o maciço rochoso será removido em parte para garantir a execução do projeto da rodovia.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho pretende realizar a caracterização geotécnica e estudo do maciço rochoso, visando contribuir, analisando também a possível aptidão dessa rocha para o seu uso como agregado graúdo na confecção de concretos estruturais feitos com cimento Portland. Espera-se que, com base nos resultados obtidos, os ensaios e testes sejam colocados à disposição do órgão executante da obra, e possam ser utilizados como dados importantes para o conhecimento a respeito daquele maciço rochoso. Disponibilizar as informações obtidas para que, em uma região como a Amazônia, onde a construção de obras importantes, como a BR-163 e outras que possivelmente estarão por vir, estudos de casos como esses possam contribuir para enriquecer o conhecimento.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No **Capítulo 2** é apresentado alguns estudos e trabalhos relacionados ao assunto, onde são analisados para contribuir com o estudo e verificação de alguns procedimentos adotados. São apresentados, também, alguns conceitos e equações das normas brasileiras utilizadas para a obtenção dos resultados e melhor entendimento do assunto. No **Capítulo 3** é apresentada a caracterização da rocha da “Serra do Inajá” e os testes em laboratório ao utilizá-la como agregado graúdo. O **Capítulo 4** apresenta-se e analisa-se os resultados e o **Capítulo 5** apresenta-se as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS

Rocha é uma associação natural de minerais (geralmente dois ou mais), em proporções definidas e que ocorre em uma extensão considerável. O granito, por exemplo, é formado por quartzo, feldspato e, muito frequentemente, também mica. Algumas rochas são constituídas por um único mineral, mas são consideradas rocha e não mineral porque ocorrem em grandes volumes, formando, por exemplo, um morro inteiro ou camadas que podem se estender por dezenas de quilômetros. Essas rochas são chamadas de **monominerálicas**. São exemplos o calcário (formado de calcita) e o quartzito (formado de quartzo). Os minerais presentes em uma rocha podem ser essenciais ou acessórios. **Minerais essenciais** são aqueles que definem a natureza da rocha. São eles que dizem que uma rocha vulcânica é um basalto e não um riolito. **Minerais acessórios** são aqueles que aparecem na rocha em quantidades pequenas e que não afetam sua classificação, podendo servir para definir uma variedade de rocha. Um basalto costuma ter magnetita, mas se ela não estiver presente, ele continuará sendo um basalto. Um sienito não precisa ter nefelina para ser sienito, mas se tiver, será uma variedade chamada sienito nefelínico. (BRANCO, 2008).

De acordo com Silva (2006) as rochas podem ser agrupadas em três grandes grupos, conforme o processo de formação: ígneas, metamórficas ou sedimentares. As rochas sedimentares constituem apenas 5% da crosta terrestre; os restantes 95% são de rochas ígneas ou metamórficas. São produtos consolidados resultantes da união natural dos minerais. São diferentes dos sedimentos, como por exemplo, a areia da praia (um conjunto de minerais soltos). As rochas têm seus cristais ou grãos constituintes muito bem unidos. Dependendo do processo de formação, a força de ligação dos grãos varia, resultando em rochas “duras” e rochas “brandas”. O aspecto geral externo determina a estrutura da rocha que pode ser maciço, com cavidades, orientado ou não, etc. A textura da rocha se revela por meio da observação mais detalhada do tamanho, forma e relacionamento entre os cristais ou grãos constituintes da rocha. Na rocha existem os minerais essenciais, que são os mais abundantes e suas proporções determinam o nome dado à rocha. Os minerais acessórios ocorrem em pequena proporção, em torno de 1% (um por cento) e não tem influência na classificação da rocha.

Rochas ígneas ou magmáticas – são resultantes do resfriamento do material rochoso fundido, chamado de magma, quando ocorre no interior da terra, ou lava, quando extravasa para a superfície da terra à uma temperatura elevada variando de 800 a 1200 °C. O magma ou lava resfriados, dão origem as rochas magmáticas. Rochas magmáticas ou ígneas - As rochas magmáticas são originadas a partir da consolidação do magma, sendo que através de sua textura pode-se determinar as condições geológicas em que estas rochas se formaram. Ao saber a textura, consegue-se determinar o tamanho e a disposição dos minerais que compõem a rocha (SILVA, 2006). Já as rochas sedimentares são formadas por compactação e/ou cimentação de fragmentos (grãos minerais) de rochas preexistentes produzidos pela ação dos agentes de intemperismo. As rochas metamórficas resultam da transformação de uma rocha preexistente no estado sólido. O processo geológico de transformação se dá por aumento de pressão e/ou temperatura sobre a rocha preexistente, sem que o ponto de fusão dos seus minerais seja atingido, algo em torno de 200 a 700 °C. A Figura 1 Mostra esses três grupos de rochas, destacando sua origem mineral e seu processo de formação geológico.



Figura 1. Classificação geral das rochas, quanto à sua origem do material e seu processo de formação geológico (SILVA, 2006)

2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS ÍGNEAS OU MAGMÁTICAS

Atualmente a classificação de rochas ígneas é baseada na textura, principalmente granulometria e composição mineralógica quantitativa. Os critérios texturais importantes para a classificação das rochas ígneas são a **cristalinidade, granulometria e homogeneidade granulométrica.**

2.2.1 Cristalinidade

A cristalinidade corresponde ao grau de cristalização do magma, ou seja, a proporção de minerais e vidro presentes na rocha ígnea. De acordo com a cristalinidade as rochas são classificadas como Holocristalina, Hipocristalina e Vítreas. As rochas holocristalinas são compostas inteiramente de cristais, formadas através de resfriamento relativamente lento do magma. As rochas hipocristalinas, também chamadas de hialocristalinas, são rochas compostas por uma mistura de cristais e vidro, formadas em um processo de resfriamento rápido do magma. As rochas vítreas, também chamadas de holohialina é constituída quase que inteiramente de vidro, formadas através de um resfriamento extremamente rápido do magma (Figura 2). A Figura 3 mostra a classificação das rochas ígneas quanto à cristalinidade e fotos com exemplos dessas rochas.



Figura 2. Lava vulcânica solidificando-se e dando origem a rochas ígneas ou magmáticas.

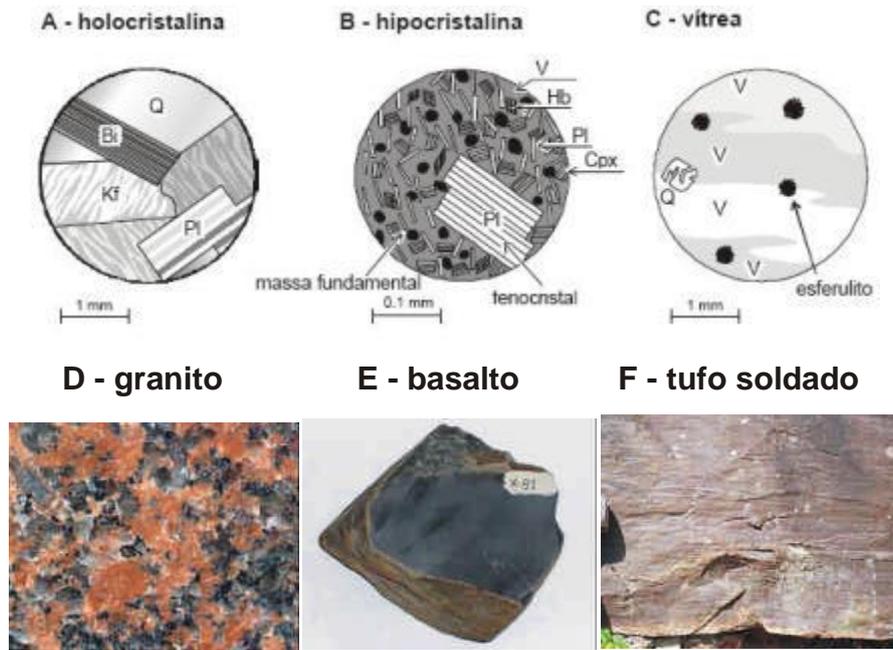


Figura 3. Rochas ígneas (SILVA, 2006).

2.2.2 Granulometria

A granulometria representa a medida quantitativa do tamanho dos minerais constituintes de rochas ígneas. Classificam-se como **grossa, média e fina**, como mostra a Figura 4.

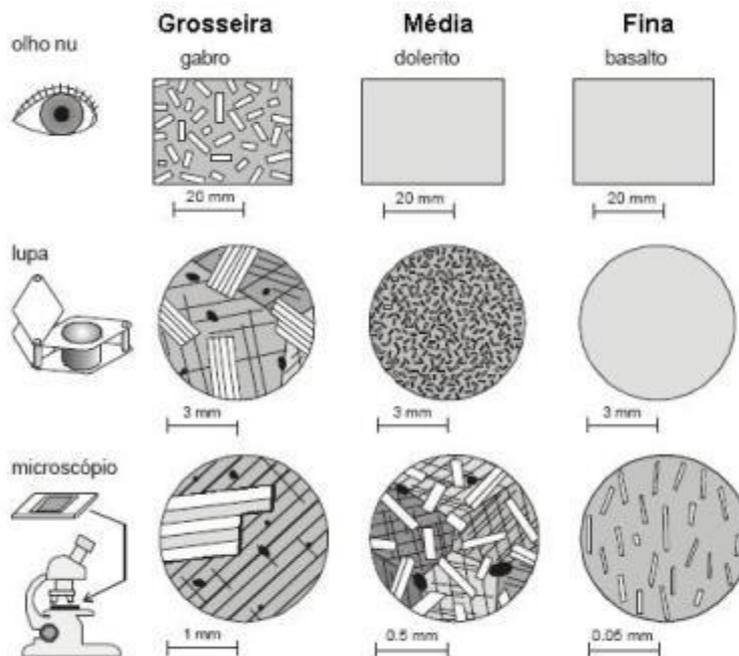


Figura 4. Granulometria grossa, média e fina de rochas ígneas (SILVA, 2006)

Granulometria grossa (de 1 a 10 mm). Normalmente, as rochas compostas de minerais com tamanho suficientemente grande, podendo ser identificados com facilidade a olho nu, são descritas como de granulometria grossa. Granito (Figura 4), sienito, diorito e gabro são exemplos de rocha de granulometria grossa.

Granulometria média (de 0,2 a 1 mm). Esta categoria granulométrica quantitativamente não é bem definida, sendo variável de acordo com cada autor. Na prática, muitas rochas descritas como de granulometria média são compostas de minerais de tamanho visível a olho nu ou lupa, porém, são pouco difíceis de serem identificados. Dolerito é um exemplo de rocha de granulometria média. Diábise, diabase, diabásio (do gregodiábasis, 'travessia', e diabaínein, 'cruzar') ou *dolerito* é uma rocha magmática hipabissal, de textura ofítica, constituída essencialmente por plagioclásios básicos, piroxênio, magnetita e ilmenita.

Granulometria fina (menor do que 0,2 mm). Normalmente, as rochas compostas de minerais com tamanho dos grãos invisíveis a olho nu ou a lupa são descritas como de granulometria fina. Tais rochas são estudadas em lâminas delgadas ao microscópico petrográfico. Rionito, fonolito, traquito e basalto (Figura 5) são exemplos de rocha de granulometria fina.

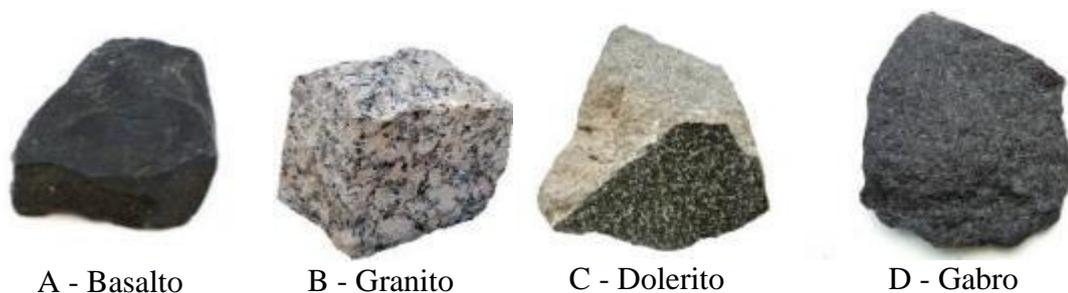


Figura 5. Exemplos de rochas ígneas de granulometrias diferentes (SILVA, 2006).

2.2.3 Homogeneidade granulométrica

Existem rochas ígneas constituídas por minerais de tamanho aproximadamente igual, que são denominadas de textura equigranular. As rochas compostas de minerais de granulometria gradativamente variável são denominadas transgranulares, porém, essas são raras em rocha ígneas. Desta forma, a maioria das rochas inequigranulares, ou seja, não equigranulares, é classificada em uma das texturas granulométricas distintas, **equigranular** e **porfirítica**, como mostra a Figura 6.

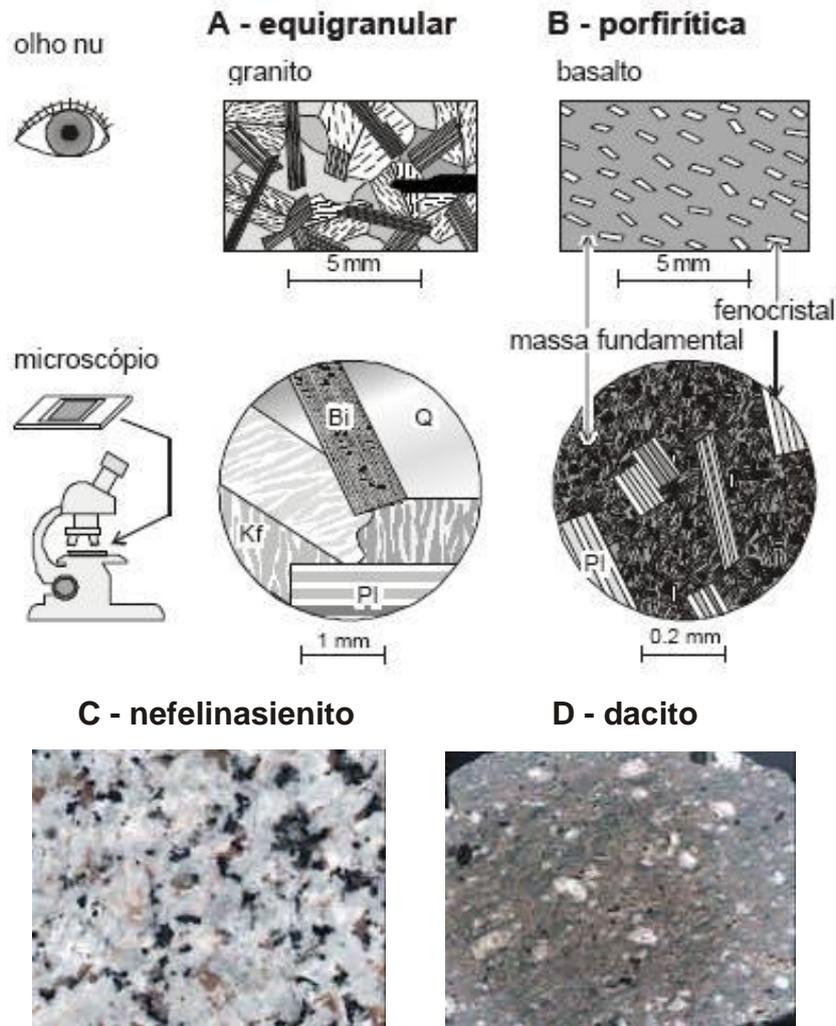


Figura 6. Visão macroscópica e microscópica de rochas ígneas (SILVA, 2006).

Equigranular : A rocha é constituída com tamanho relativo aproximadamente igual, ou seja, a granulometria é homogênea. Muitas rochas ígneas de granulometria grossa são equigranulares. A maioria das rochas equigranulares possui granulometria de 1 a 10 mm. A homogeneidade granulométrica das rochas equigranulares significa que o resfriamento do magma foi um processo regular em um único estágio.

Porfirítica : A rocha é constituída por minerais com duas granulometrias distintas, minerais grandes e pequenos. Os minerais grandes, normalmente menos freqüentes, são denominados fenocristais, e os pequenos, que constituem a maioria, são chamados de massa fundamental. O termo “pórfiro” corresponde ao grão de mineral destacadamente grande em relação aos outros de qualquer gênese, ou seja, fenocristal é um tipo de pórfiro de origem ígnea e porfiroblasto é outro tipo, porém, de origem metamórfica, que é chamado de “porfiroblasto”. Por outro lado, o termo matriz corresponde à massa fina de qualquer origem,

enquanto que, a massa fundamental é um tipo de matriz de origem magmática. A textura porfirítica é observada tipicamente em riolito, dacito, andesito, basalto, traquito e fonolito.

2.2.4 Granulometria e velocidade de resfriamento

A granulometria das rochas ígneas, ou seja, a velocidade de resfriamento do magma foi correlacionada tradicionalmente à profundidade de posicionamento do magma (MOTOKI, 2014): magmas intrusivos nos locais profundos deveriam resfriar-se lentamente, e os da superfície ou da subsuperfície deveriam resfriar-se rapidamente. A partir deste ponto de vista, foi estabelecida a seguinte classificação granulométrica clássica das rochas ígneas.

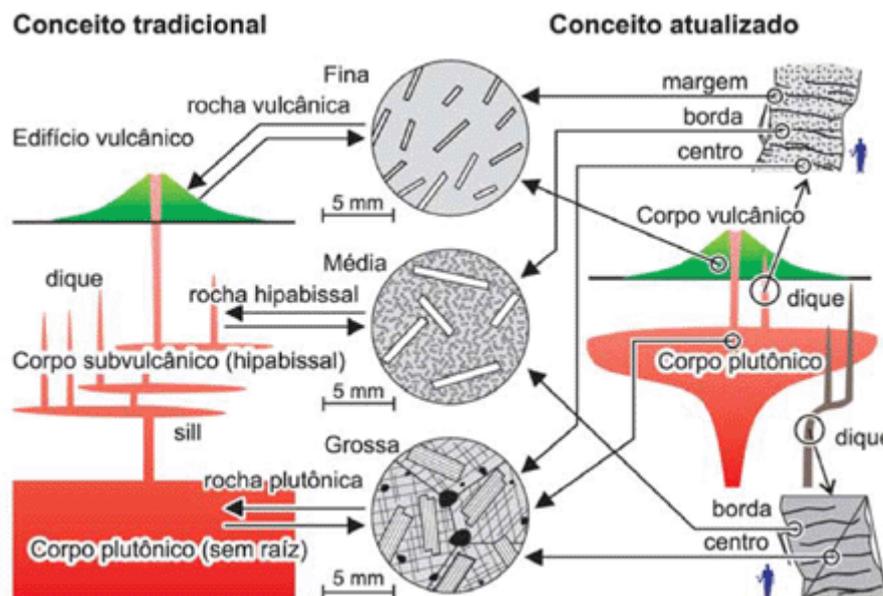


Figura 7. Relação entre a granulometria das rochas ígneas e o modo de ocorrência geológica, conforme (A) conceito tradicional do século XIX e (B) conceito atualizado (MOTOKI, 2014).

Rochas vulcânicas, chamadas também de rochas eruptivas, efusivas ou extrusivas, são formadas através do resfriamento rápido do magma na superfície da Terra, constituindo corpos vulcânicos, tais como lava e tufo. As rochas possuem granulometria fina e textura porfirítica, com massa fundamental vítrea, hialocristalina ou holocristalina. Exemplos típicos são o basalto, andesito e riolito;

Rochas hipabissais, chamadas também de rochas subvulcânicas, ou no século XIX de rochas de diques ou rochas filonares, são formadas através do resfriamento magmático com velocidade média, constituindo corpos subvulcânicos, ou seja, intrusivos pequenos e rasos,

tais como diques e sills. Possuem textura porfírica com massa fundamental holocristalina. Exemplos típicos são granito-pórfiro, quartzo pórfiro e dolerito;

Rochas plutônicas são formadas através do resfriamento lento de magma nos locais profundos, constituindo corpos intrusivos grandes, tais como batólito e stock. Possuem granulometria grossa e textura equigranular. Exemplos típicos são granito, sienito e gabro. De acordo com este conceito, era aplicada a denominação de rochas ígneas conforme o modo de ocorrência geológica, tais como: a rocha constituinte de uma lava era basalto, a de um dique era dolerito, e a de um stock era gabro. Os corpos vulcânicos, subvulcânicos e plutônicos eram interpretados como bem distinguidos de acordo com a profundidade.

No Brasil, as rochas de composição máfica encontradas na forma de diques eram denominadas diabásio (dolerito), independentemente da sua granulometria. Da mesma maneira, foi praticada a dedução do modo de ocorrência geológica e profundidade de posicionamento a partir da granulometria de uma amostra (Fig. 7 A e B). Entretanto, na realidade, a granulometria de rochas ígneas está relacionada à velocidade de resfriamento magmático, e não ao modo de ocorrência geológica ou profundidade de posicionamento. Como por exemplo, na região litoral dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, ocorrem diques de composição máfica com mais de 5 m de largura. Nesses diques, observa-se a variação granulométrica da rocha formada pela diferença da velocidade de resfriamento: a granulometria é fina nas bordas, correspondente a basalto, e grossa no centro, correspondente a gabro, com passagem gradativa. Desta forma, os três tipos de rochas acima citadas, basalto, dolerito e gabro, podem ser formados na mesma profundidade e do mesmo modo de ocorrência.

Cada dique foi formado por um único pulso de intrusão magmática, e tanto a borda quanto o centro foram formados na mesma profundidade. A temperatura da rocha encaixante na época da intrusão era cerca de 120 °C (MOTOKI, 2014), e o magma intrusivo estava acima de 1200 °C. Devido ao grande contraste térmico, as bordas do dique resfriaram-se rapidamente por condução térmica, e o centro resfriou-se lentamente. A partir das características petrográficas, não é possível definir o modo de ocorrência geológica e a profundidade do posicionamento magmático. A princípio, o modo de ocorrência deve ser estudado através do trabalho de campo, e não por dedução petrográfica. Da mesma forma, as rochas devem ser classificadas por características petrográficas, e não pelo modo de ocorrência. Na realidade, a relação entre as rochas ígneas e os corpos geológicos é muito complexa. De fato, a **correlação exata e imediata** entre a **granulometria** de rochas ígneas ao **modo de ocorrência** geológica ou à **profundidade** do posicionamento é **equivocada**.

Hoje em dia, os termos texturais estão utilizados puramente no sentido petrográfico, como por exemplo: **rochas vulcânicas** correspondem às rochas de **granulometria fina**, seja de ocorrência extrusiva ou intrusiva; **rochas plutônicas** são de **granulometria grossa**, sejam dediques ou de stocks. Isto é, as expressões rochas vulcânicas, hipabissais e plutônicas representam apenas granulometria, e nada mais. Neste sentido, é **aconselhável** adotar as expressões **granulometria fina, média e grossa**. Por outro lado, as expressões corpo vulcânico, hipabissal e plutônico devem ser utilizados no sentido geológico, conforme modo de ocorrência determinada por trabalhos de campo, independentemente da granulometria de amostras de mão observada no laboratório. A **classificação granulométrica moderna** das rochas ígneas é a seguinte:

Rochas vulcânicas: Rochas de granulometria fina, formadas através do resfriamento rápido do magma. Certas rochas desta categoria possuem textura porfirítica. A massa fundamental pode ser tanto holocristalina, hialocristalina quanto vítrea. Exemplos típicos são basalto, andesito e riolito;

Rochas hipabissais: Rochas de granulometria média, formadas através do resfriamento magmático com velocidade média. Quando estas rochas possuem textura porfirítica, a massa fundamental é holocristalina. Exemplos típicos são granito-pórfiro, quartzo pórfiro e dolerito;

Rochas plutônicas: Rochas de granulometria grossa, formadas através do resfriamento lento de magma. Exemplos típicos são granito, sienito e gabro.

As rochas da **granulometria média de textura porfirítica** são denominadas **adicionando-se “pórfiro”** com hífen atrás do nome da cada rocha de granulometria grossa, tais como granito pórfiro, granodiorito-pórfiro, etc. As rochas de **granulometria média** com textura **equigranular** (sem fenocristais) são chamadas freqüentemente **com o prefixo “micro”**, tais como “microgranito”, “microgranodiorito”, “microdiorito”, “microgabro”, etc.

O termo “diabásio” foi utilizado freqüentemente pelos petrólogos dos continentes americanos para representar as rochas básicas de granulometria média. Porém, este termo possui significados diferentes na Alemanha (rochas máficaspré-terciárias) e na Inglaterra (basaltos alterados). Neste sentido, os autores **recomendam** o termo **“dolerito”** (origem inglês) **no lugar de diabásio**.

No campo, encontram-se rochas ígneas de composição máfica de granulometria grossa (gabro), média (dolerito) e fina (basalto), com eventual passagem granulométrica gradativa dentro de um corpo. Entretanto, no caso de rochas félsicas, as rochas de granulometria média (granito-pórfiro, micro-granito) são raras, apesar da abundância de

rochas grossas (granito) e finas (riolito). Devido à escassez dos exemplos da categoria hipabissal, certos pesquisadores propuseram abolição desta categoria. Por outro lado, os magmas máficos contêm baixo teor de materiais voláteis representados por H₂O (maioria) e CO₂ (minoria), enquanto que, os magmas félsicos contêm alto teor destes materiais.

O fato acima citado sugere que a velocidade de resfriamento não é o único fator controlador de granulometria de rochas ígneas. Os **materiais voláteis** contidos no magma **aumentam a granulometria** por meio da elevação de fluidez do magma. Este fator pode ser de importância comparável à velocidade de resfriamento, sobretudo para rochas félsicas. O **pegmatito** é um grupo de rochas ígneas altamente félsicas, constituídas por **minerais de tamanho extremamente grande**, de tamanho de alguns centímetros até 1 m, originadas de magmas de **baixa temperatura**, cerca de 500 °C, **supersaturados em H₂O**. A temperatura de magma comum, denominado ortomagma, é acima de 600 °C. Neste caso, acredita-se que os materiais voláteis são fatores mais importantes do que a velocidade de resfriamento magmático para definição da granulometria.

2.3 ROCHAS MAIS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO NO BRASIL

As britas são os agregados graúdos mais usados no Brasil, com uso superior a 50 % do consumo total de agregado graúdo nos concretos (MEHTA & MONTEIRO, 1994). No passado era comum a mistura de britas 1 e 2 para a confecção de concretos, porém, hoje no Brasil, a grande maioria dos concretos feitos para as obras correntes utiliza apenas a brita 1 na sua confecção (BASTOS, 2001).

Brita ou pedra britada para construção civil é o produto do processo de cominuição de vários tipos de rochas. Brita é um termo utilizado para denominar fragmentos de rochas duras, originários de processos de beneficiamento (britagem e peneiramento) de blocos maiores, extraídos de maciços rochosos (granito, gnaisse, basalto, calcário) com auxílio de explosivos. Trata-se de um material de uso amplo e diversificado na indústria da construção civil em aplicações como: concreto, pavimentação, edificações, obras civis (ferrovias, túneis, barragens), obras de infraestrutura (saneamento básico), segundo definição técnica de (TANNO, 2003).

A princípio, qualquer rocha pode ser britada e usada na construção civil. Entretanto, para uso em concreto, em pavimento asfáltico, base e sub-base, lastro de ferrovia e na produção de peças de cimento, algumas características indesejáveis podem impedir seu uso, embora possam ser usadas em aterros, contenção de encostas e erosão ou manutenção de

estradas de terra. As rochas mais comumente usadas na produção de brita são granito, gnaisse, basalto, diabásio, calcário e dolomito. No Brasil, cerca de 85% da brita produzida vem de granito/gnaisse, 10% de calcário/dolomito e 5% de **basalto/diabásio**.(J. MENDO consultoria, 2009).

2.4 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS

Os agregados são materiais granulares, sem forma e volume definidos. Ocupam de 60 a 80% do volume total do concreto, portanto sua qualidade é de grande importância para a qualidade final do mesmo. As características dos agregados que mais se destacam para a fabricação do concreto são: porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes. Essas características dos agregados influem nas propriedades do concreto. No estado fresco podem afetar sua coesão, consistência e trabalhabilidade e no estado endurecido a resistência à compressão, estabilidade dimensional, durabilidade, resistência à abrasão e aspecto visual. (ABCP, 2014).

2.4.1 Classificação

a) Quanto à origem:

a.1) Naturais: encontrados na natureza e podem requerer processos simples de lavagem ou seleção. Ex: areia e pedregulho

a.2) Artificiais: materiais processados industrialmente, incluindo-se britagem, a partir de matérias-primas naturais. Ex: brita, pedrisco, argila expandida, EPS, concreto reciclado de demolições, etc;

b) Quanto à massa específica:

b.1) Leves: agregados com massa específica menor que 2000 kg/m^3 . Ex: EPS, argila expandida, vermiculita;

b.2) Normais: agregados com massa específica entre 2000 kg/m^3 e 3000 kg/m^3 . Ex: areias naturais de cava ou praia, pedras britadas, pedregulho, etc;

b.3) Pesados: agregados com massa unitária acima de 3000 kg/m^3 . Ex: barita, magnetita, hematita, etc.

c) Quanto às dimensões:

c.1) Miúdos: agregados cujos grãos passam pela peneira 4,75 mm e ficam retidos na peneira 150 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248;

c.2) Graúdos: agregados cujos grãos passam pela peneira 75 mm e ficam retidos na peneira 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248.

d) Granulometria - NBR NM 248 (ABNT, 2003)

A granulometria é um método de análise que visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho. A composição granulométrica é a característica de um agregado de maior aplicação na prática, principalmente para:

d.1) Determinação do módulo de finura e dimensão máxima característica da curva granulométrica;

d.2) A curva granulométrica permite planejar um melhor empacotamento dos grãos de agregados, com isso reduzir vazios e melhorar a interface pasta agregado;

d.3) Controlar a homogeneidade dos lotes recebidos na obra;

d.4) Elaborar a dosagem do concreto.

A amostra deve ser coletada conforme NBR NM 26 e formar duas sub-amostras para ensaio conforme NBR NM 27. A quantidade mínima de material para cada determinação da composição granulométrica de um agregado encontra-se na Tabela 1.

Os equipamentos e acessórios a serem utilizados são:

- a) Balança (resolução de 0,1% da massa da amostra de ensaio);
- b) estufa capaz de manter a temperatura no intervalo de (105 +- 5) °C;
- c) peneiras das séries normal e intermediárias, fundo e tampa;
- d) agitador mecânico de peneiras (facultativo);
- e) escovas ou pincéis de cerdas de náilon e de cerdas de latão;
- f) bandejas plásticas ou metálicas para a determinação de massa.

A distribuição granulométrica, determinada segundo a NBR NM 248, deve atender aos limites indicados para o agregado graúdo constantes na Tabela 1.

Tabela 1 – Limites da composição granulométrica do agregado graúdo pela NBR ISSO 3310-1 (ABNT, 2003)

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

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

^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades.

e) *Forma dos Grãos*

O índice de forma dos grãos não deve ser superior a 3, quando determinado de acordo com a NBR 7809 (ABNT, 2005). A forma do agregado se refere à sua geometria tridimensional. NEVILLE (1997) revela que como é difícil representar corpos tridimensionalmente irregulares, é mais conveniente definir certas características geométricas desses corpos, tais como alongamento, achatamento, cubicidade e esfericidade. A textura superficial do agregado tem influência sobre sua aderência com a pasta de cimento. Tanto a forma quanto a textura do agregado exercem forte influência sobre a resistência a compressão do concreto principalmente nas primeiras idades. Segundo NEVILLE (1997), o efeito da forma e da textura é mais significativo em concretos de alta resistência. Ao manter-se a mesma mineralogia do agregado, os concretos com agregado de superfície mais rugosa, tendem a apresentar maior resistência que os concretos com agregado de superfície mais lisa.

O aumento da dimensão máxima do agregado, para uma mesma mineralogia, pode ter dois efeitos opostos sobre a resistência do concreto. Utilizando o mesmo teor de cimento e mesma consistência do concreto, as misturas do concreto com agregados maiores requerem menos água de amassamento do que aquelas que contem agregados menores. Por outro lado agregados maiores apresentam área superficial proporcionalmente menor o que por sua vez geram maiores tensões na zona de transição pasta-agregado. Por isso, concretos fabricados com agregados maiores, tendem a apresentar zonas de transição mais fracas, com mais microfissuras e, portanto, menor resistência. (ALHADAS, 2008; METHA & MONTEIRO, 1994).

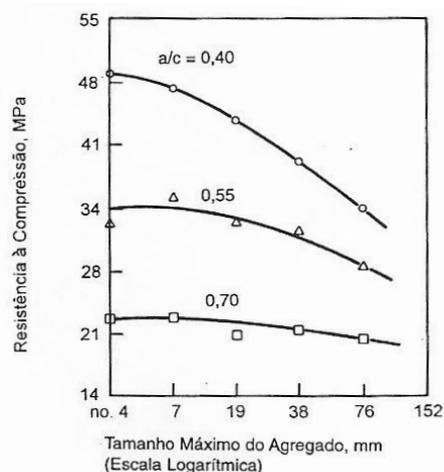


Figura 8. Influência da dimensão máxima do agregado sobre a resistência do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 1994)

f) Desgaste – Ensaio de Abrasão “Los Angeles”

O índice de desgaste por abrasão “Los Angeles”, determinado segundo a NBR NM 51 (ABNT, 2001), deve ser inferior a 50% em massa do material. A resistência à abrasão é a resistência ao desgaste superficial dos grãos de agregado quando é submetido ao atrito. Mede, portanto a capacidade do agregado não se alterar (quebrar) quando manuseado. É medida na máquina “Los Angeles” composto por um tambor cilíndrico que gira durante um tempo estabelecido com agregado mais bolas de ferro fundido no seu interior, o impacto das bolas com o agregado provoca o desgaste dos grãos. A amostra entra no ensaio com uma granulometria definida e depois do atrito, peneira novamente para medir o desgaste. A especificação de agregado para concreto NBR 7211 (ABNT, 2009) estabelece que o índice de desgaste por abrasão não deve ser inferior a 50% em massa do material inicial.

f.1) Máquina “Los Angeles” completa conforme especificação composta por um tambor de aço cilíndrico oco de aproximadamente 500 mm de comprimento e 700 mm de diâmetro, eixo horizontal fixado em dispositivo externo que transmite um movimento de rotação ao redor dele próprio. A velocidade deve ser periférica e uniforme;

f.2) Carga abrasiva que consiste em esferas de ferro ou aço fundido, com aproximadamente 48 mm de diâmetro e massa entre 390 g e 445 g;

f.3) A máquina possui abertura com tampa para introduzir o agregado a ser ensaiado e as bolas de aço, a tampa deve ter trava forte, boa vedação para não permitir perda de pó e de fácil abertura;

f.4) Balança com resolução de 0,5 g;

f.5) Estufa capaz de manter a temperatura entre $(107,5 \pm 2,5)$ °C;

f.6) Jogo de peneiras com as seguintes aberturas: 75 mm – 63 mm – 50 mm – 37,5 mm – 25 mm – 19 mm – 12,5 mm – 9,5 mm – 6,3 mm - 4,75 mm – 2,36 mm e 1,7 mm;

f.7) Bandeja metálica de aproximadamente 70 x 50 x 50 cm;

f.8) Colher retangular ou pá de cabo curto;

f.9) Escova de fibra para limpeza das esferas (carga abrasiva) depois do ensaio.

g) *Substâncias Nocivas*

No caso de agregados miúdos produzidos pela britagem de rochas (areia industrializada), os limites para material fino apresentados na Tabela 3 podem ser alterados para 10% em concreto submetido a desgaste superficial e para 12% em concreto protegido de desgaste superficial, desde que se comprove, por apreciação petrográfica, que o material não interfere nas propriedades do concreto. A quantidade de substâncias nocivas não deve exceder os limites máximos em porcentagem estabelecidos na Tabela 2 com relação à massa do material.

Tabela 2. Quantidade percentual permitida relativa à massa do agregado graúdo.

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado graúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	NBR 7218	Concreto aparente	1,0
		Concreto sujeito à desgaste superficial	2,0
		Outros concretos	3,0
Materiais carbonosos	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento)	NBR NM 46		1,0

h) *Durabilidade*

Aplicam-se os requisitos estabelecidos para agregados analisados individualmente e para agregado total de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009).

h.1) Em agregados de regiões litorâneas ou extraídos de águas salobras ou ainda quando houver suspeita de contaminação natural ou industrial, os teores de cloretos e sulfatos não devem ultrapassar os limites da Tabela 3;

h.2) a apreciação petrográfica indica a natureza mineralógica potencial reativa ou não do agregado. Agregados potencialmente reativos devem ser ensaiados, não devendo apresentar expansão maior que a estabelecida na Tabela 3.

Agregados com expansão superior a 0,10% só podem ser utilizados em concretos com teor total de álcalis menor ou igual a 3 kg/m³ ou quando for comprovado que o cimento utilizado atua como inibidor da reação álcali-agregado, como ocorre em alguns cimentos com adições minerais. Alternativamente pode-se verificar a reatividade do agregado de acordo com a NBR 9773. Se a apreciação petrográfica fornecer indicações de que o agregado não é reativo e não houver histórico do comportamento danoso do material, pode-se prescindir do ensaio de reatividade.

Tabela 3 - Limites máximos para a expansão devida à reação álcali-agregado e teores de cloretos e sulfatos presentes nos agregados pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

Determinação	Método de ensaio	Limites
Teor de cloretos (CL)	NBR 9917 NBR 14832	< 0,2 % concreto simples
		< 0,1 % concreto armado
		< 0,01 % concreto protendido
Teor de sulfatos (SO ₄ ²⁻)	NBR 9917	< 0,1 %

Agregado total é o agregado resultante da britagem 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 total devem atender aos critérios de ponderabilidade em massa entre os agregados graúdos e miúdos que o compõem.

i) Ensaios especiais

Em determinadas regiões ou para concretos com determinados requisitos específicos, pode ser necessária exigência, por parte do consumidor, de prescrições adicionais, ficando a

seu critério os limites e os métodos de ensaio. Algumas destas prescrições ou os métodos para sua determinação são exemplificados na Tabela 4.

Tabela 4. Ensaio especiais recomendados pela ABNT.

	Determinação	Método
Propriedades físicas	Massas específica e aparente e absorção de água	NBR NM 53
	Ciclagem natural	NBR 12695
	Ciclagem artificial água – estufa	NBR 12696
	Ciclagem com etilenoglicol	NBR 12697
	Teor de partículas leves	NBR 9936
	Umidade total	NBR 9939
Propriedades mecânicas	Módulo de deformação estático e coeficiente de Poisson de rochas	NBR 10341
	Resistência ao esmagamento	NBR 9938
	Desgaste por abrasão	NBR 12042
	Resistência à compressão de rocha	NBR 6953

3. CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA DA “SERRA DO INAJÁ” E APLICAÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO PARA CONCRETOS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com os objetivos desta pesquisa, descritos nos capítulos anteriores, este capítulo aborda a caracterização da rocha coletada na “Serra do Inajá”, e descreve os procedimentos experimentais adotados para o estudo da viabilidade da utilização da rocha britada para concretos estruturais, que podem ser divididos em 6 etapas, conforme apresenta a Tabela 5.

Tabela 5. Etapas do estudo da rocha da “Serra do Inajá”.

Etapa	Descrição
1	Coleta da rocha na “Serra do Inajá”.
2	Ensaio realizados na rocha coletada.
3	Britagem da rocha.
4	Ensaio realizados na rocha britada.
5	Produção dos corpos-de-prova de concreto.
6	Ensaio realizados nos corpos-de-prova de concreto.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA DA “SERRA DO INAJÁ”

No trecho referido da estrada federal BR-163, no Km 165, partindo da referência Santarém – Rurópolis, está localizada a “Serra do Inajá”. Foi coletada amostra da rocha presente na estrada. Após análise, caracterizou-se a pedra como um **gabro**, tipo de rocha *ígneas, plutônicas, de granulometria grossa*. O gabro é uma rocha ígnea intrusiva, de granulometria grossa e composição mineralógica equivalente ao basalto, representando magma de composição basáltica que cristalizou lentamente em profundidade. Apresentará em regra uma cor verde escura, cinzenta escura, cinzenta esverdeada escura a preta e é composto sobretudo por piroxenas e plagioclases cálcicas (TARBUCK & LUTGENS, 1999). Não é uma rocha muito abundante na crosta continental, onde está presente em algumas intrusões, mas constitui, sem dúvida, uma grande percentagem da crosta oceânica, onde grandes porções do magma encontrado em reservatórios subterrâneos que em tempos alimentaram fluxos basálticos, eventualmente solidificaram em profundidade e formaram gabros. A maioria dos magmas máficos tem origem da fusão parcial da rocha ultramáfica peridotito, o constituinte

principal do manto superior. Estudos laboratoriais confirmam que a fusão parcial desta rocha, pobre em sílica, origina magma de composição basáltica (TARBUCK & LUTGENS, 1999).

Por todo o mundo as intrusões de gabros parecem exibir uma variedade de geometrias, dependendo, em parte, da escala da intrusão. Intrusões gabróicas de tamanho moderado podem apresentar formas afuniladas alargadas, em forma de bacia, diques gigantes ou diques afunilados em perfil cruzado. As maiores intrusões básicas – ultrabásicas tendem a formar lapólitos, como é o caso do Complexo de Bushveld, na África do Sul. No entanto, para uma significativa proporção de importantes complexos máficos/ultramáficos, a forma original é obscurecida por falhamento, deformação tectónica, intrusões posteriores ou mais frequentemente por depósitos de cobertura recentes. Assinala-se a importância das mineralizações associadas a estes Complexos do ponto de vista mineiro (GOMES, 2011).

A rocha foi formada através do resfriamento lento do magma. Nas figuras 9 e 10, aparece o maciço rochoso da “Serra do Inajá”, no local de execução da obra no trecho da BR-163. Pode-se observar o aspecto escuro do maciço basáltico. A Figura 11 mostra uma amostra da rocha.



Figura 9. Trecho da BR-163, Km 165. “Serra do Inajá”



Figura 10. Corte executado na obra mostrando o maciço rochoso da “Serra do Inajá”.



Figura 11. Amostra do gabro da “Serra do Inajá”

3.3 ENSAIO REALIZADO NA AMOSTRA DA ROCHA COLETADA

No laboratório da UFPA foram realizados ensaios de compressão uniaxial, com os seguintes resultados, apresentados na Tabela 6. A amostra analisada apresentou boa resistência à compressão (Figura 12 e Figura 13), demonstrando, inicialmente, características desejáveis quando se trata de rochas para serem usadas como agregado graúdo para concretos estruturais.

Tabela 6. Resultado do ensaio de compressão uniaxial na rocha gabro.

ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL	
1ª amostra	140,6 MPa
2ª amostra	131,8 MPa
Média	136,2 MPa
Material : Amostra de rocha gabro da “Serra do Inajá”	



Figura 12. Ensaio de compressão uniaxial realizado em amostra da rocha gabro da “serra do Inajá”.



Figura 13. Ruptura da amostra sob compressão uniaxial.

3.4 COMINUIÇÃO DA ROCHA (BRITAGEM)

Foram levados ao destacamento do órgão executor da obra, no município de Rurópolis, onde está localizado um britador, uma quantidade de rocha da “Serra do Inajá”, para efetuarmos a britagem da rocha com o objetivo de testá-la para uso em concreto. Após a britagem da rocha (Figura 14), esta foi trazida para Santarém (Pa), onde realizou-se os ensaios com a rocha britada (Figura 15).



Figura 14. Britador do destacamento Rurópolis, pertencente ao órgão executor da obra BR-163.



Figura 15. Rocha gabro britada obtida no britador do destacamento de Rurópolis.

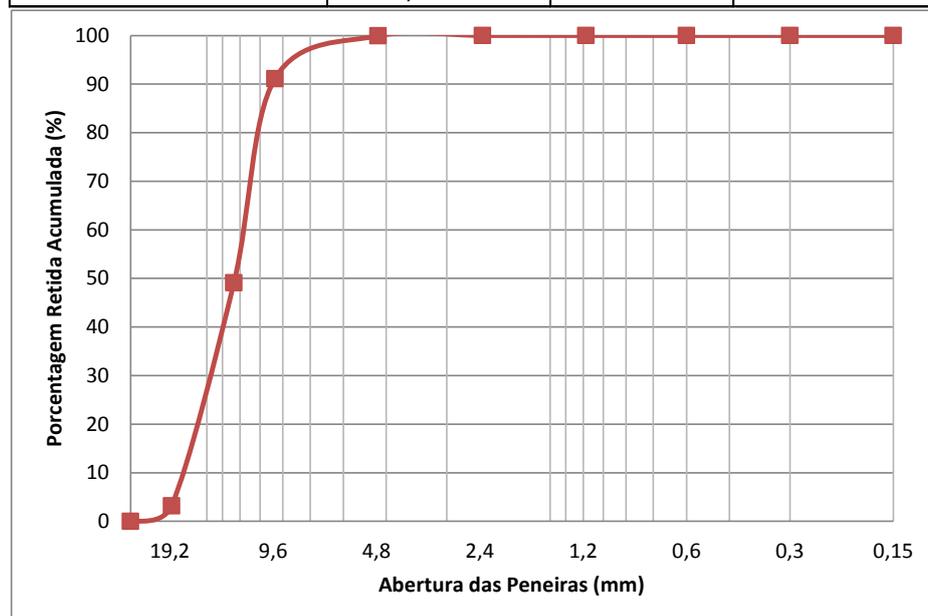
3.5 ENSAIOS REALIZADOS NA ROCHA BRITADA

3.5.1 Granulometria

Realizou-se o ensaio de análise granulométrica em laboratório, utilizando as peneiras de metal, com vibração manual. Os resultados encontrados estão na Tabela 7 com seu respectivo gráfico de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 1984).

Tabela 7. Análise granulométrica da rocha britada

AMOSTRA 01			
Abertura das Peneiras	Masa Retida (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Retida Acumulada (%)
31,5	-	0	0
25	-	0	0
19	63,6	3	3
12,5	918,9	46	49
9,5	839,4	42	91
4,75	176,7	9	100
2,36	1,4	0	100
1,18	0	0	100
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,15	0	0	100
Total	2000		
DMC (mm)	19		
Módulo de Finura	6,94202		



3.5.2 Ensaio de abrasão Los Angeles

Foi realizado o ensaio de desgaste por “Abrasão Los Angeles”, segundo a referida norma e os resultados são apresentados na Tabela 8, de acordo com a NBR NM 51 (ABNT, 2001).

Tabela 8. Resultado do ensaio de desgaste por abrasão Los Angeles.

LABORATÓRIO DE ENSAIOS TECNOLÓGICOS					
SEÇÃO TÉCNICA					
ENSAIO DE DESGASTE POR ABRASÃO - ABNT NBR NM 51					
Material:	BRITA				
Procedência:	"Serra do Inajá"				
Interessado:	Sandro Diniz				
Data:	16/06/2014				
ABERTURA DA PENEIRA		PESO PARCIAL DA AMOSTRA EM GRAMAS			
Passando	Retido	Grad. A (12)	Grad. B (11)	Grad. C (8)	Grad. D (6)
38,1 mm	25,4 mm	1250 ± 25			
25,4 mm	19,0 mm	1250 ± 25			
19,0 mm	12,7 mm	1250 ± 10	2500 ± 10		
12,7 mm	9,51 mm	1250 ± 10	2500 ± 10		
9,51 mm	6,35 mm			2500 ± 10	
6,35 mm	4,76 mm			2500 ± 10	
4,76 mm	2,38 mm				5000 ± 10
PESO TOTAL (g)		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
NOTA:	Os números que se seguem à designação das graduações, indicam as quantidades de esferas de aço, empregadas no ensaio.				

Quantidade de Rotação:	500
Duração do Ensaio:	15' 15"
Graduação do Ensaio:	"B"
Peso Total da Amostra Seca	5.000
Peso Total da Amostra após o Ensaio	4.211
Desgaste (%)	15,79%

3.5.3 Densidade real (massa específica)

Realizou-se também o ensaio de densidade real ou massa específica para a rocha britada, e na Tabela 9 são apresentados os resultados, seguindo as recomendações da NBR NM 53 (ABNT, 2009).

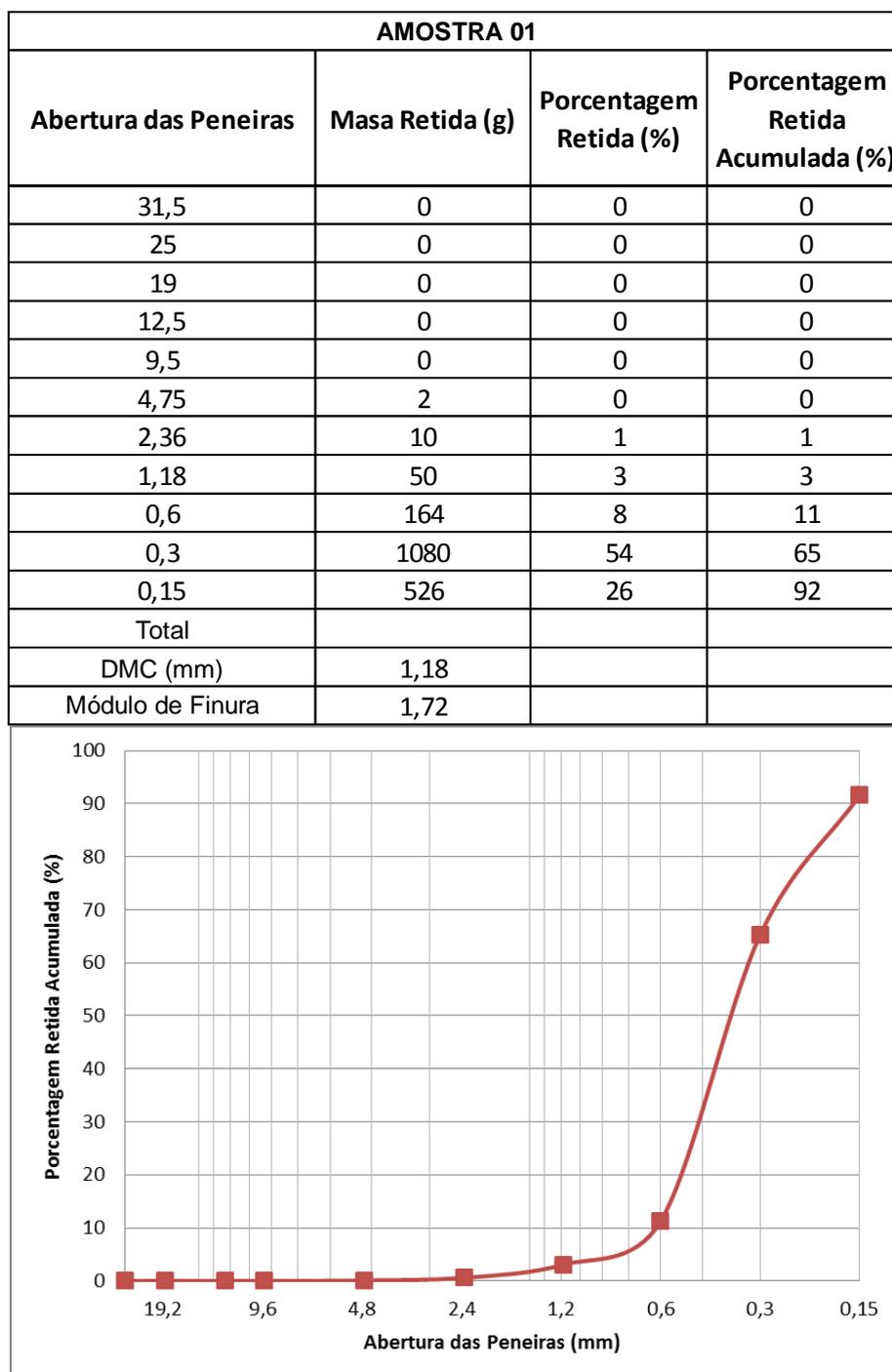
Tabela 9. Resultado do ensaio de densidade real

LOCAL: Santarém (Pa)				TRECHO: SERRA DO INAJÁ			
INTERESSADO: SANDRO DINIZ				MATERIAL: BRITA			
OPERADOR: SC Marcacine				DATA: 16 de Junho de 2014			
ENSAIO DE DENSIDADE REAL (MASSA ESPECÍFICA) ABNT NBR NM 53							
MASSA MINIMA DE AMOSTRA DE ENSAIO							
DIMENSÃO MINIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO (mm)				MASSA MINIMA DA AMOSTRA DE ENSAIO (Kg)			
		12,5				2,0	
		19				3,0	
		25				4,0	
		38				5,0	
		50				8,0	
		64				12,0	
		76				18,0	
		100				40,0	
		125				75,0	
		152				125,0	
RESULTADOS							
Dap=Ms/Mh-L							
DAP = Densidade aparente							
Ms = Massa, ao ar, do agregado seco em estufa, em kg;							
Mh = Massa, ao ar, do agregado na condição saturada superfície seca, em g.							
L = Leitura na balança correspondente ao agregado submerso, em g (pesagem hidrostática).							
		Ms				2000,90	
		Mh				2009,90	
		L				1282,40	
		Dap				2,750	

3.6 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AREIA

Realizou-se o ensaio de análise granulométrica da areia em laboratório (Tabela 10), utilizando as peneiras de metal (NBR 7217; ABNT, 1987), com vibração manual. Esta areia foi utilizada na produção do traço de concreto para o teste do agregado graúdo, objeto de estudo deste trabalho.

Tabela 10. Granulometria da areia



3.7 PRODUÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO

Para a realização dessa pesquisa foram confeccionados corpos-de-prova de concreto com a rocha britada da “Serra do Inajá”, (gabro) como agregado graúdo. Os corpos-de-prova foram moldados no Laboratório do órgão executor da obra da BR-163, local da referida serra, onde se encontra o maciço rochoso. Para a moldagem, utilizou-se areia proveniente das jazidas comerciais de Santarém (Pa), com dimensões máximas dos grãos de 1,18 mm, massa específica saturada de 2624 Kg/m³ e massa unitária no estado solto de 1551 Kg/m³, além de cimento tipo CP II-Z-32, produzido pela empresa Cimentos Nassau, cujas características são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11. Características e propriedades do cimento CII-Z-32 (Cimentos Nassau)

Características e propriedades		Unidade	Valores
Finura	Resíduo na peneira #75	%	≤12
	Área específica	m ² /Kg	≥260
Tempo de pega	Início	h:min	≥1
	Fim	h:min	≤10(1)
Resistência à compressão	3 dias	MPa	≥10
	7 dias	MPa	≥20
	28 dias	MPa	≥30

Conhecendo-se as características de cada um dos agregados, procurou-se produzir um traço de concreto usual em obras de pouco controle tecnológico, visando obter um concreto com características mais comuns em pequenas obras, mas de grande utilização. O objetivo será aproximar o estudo da realidade da maioria das obras no mercado de construção civil em Santarém. Assim como uma relação água/cimento (0,5) e o volume dos agregados, como apresentada na Tabela 12, este trabalho pretende determinar o valor da resistência à compressão dos corpos-de-prova produzidos, de modo a analisar a aptidão da rocha da “serra do Inajá” para a produção de concreto estrutural.

Tabela 12 – Traço para a moldagem dos corpos-de-prova de concreto

CP	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Agregado (Kg)	Água (Kg)	Relação água/cimento
1 a 6	4	8	12	2	0,5

A mistura dos materiais foi realizada manualmente, em laboratório, utilizando-se uma bandeja metálica e, a moldagem dos corpos-de-prova foi feita manualmente respeitando-se a

sequência de três camadas. Para o concreto, foram moldados 6 corpos-de-prova cilíndricos com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, como mostra a Figura 16. Os corpos-de-prova moldados foram secados no ambiente do laboratório por um período de 24 horas. Após esse período, os corpos-de-prova foram desformados e foram submetidos ao processo de cura, em uma câmara úmida com umidade variando de 90 % a 95 % e temperatura variando de 20 °C a 23 °C até atingirem a idade de 7 e 14 dias.



Figura 16. Moldagem dos corpos-de-prova.

3.8 ENSAIO REALIZADO NOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO

Para o ensaio de resistência à compressão foram preparados 6 corpos-de-prova partindo do mesmo traço dosado. O ensaio foi realizado com idade de 28 dias, de acordo com a NBR 5739 (ABNTM 2007). Após a moldagem, os corpos-de-prova curaram por 24 horas, apenas para poderem ser desmoldados. Após esse período, os corpos-de-prova passaram pelo processo de capeamento, que consiste na aplicação de massa nas extremidades superiores e inferiores para o nivelamento, como mostra a Figura 16. Na data referente à idade de 28 dias, os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão, através de um

equipamento de ensaio de compressão (prensa) no laboratório do 8º BEC e IFPA como mostram as figuras 17, 18 e 19.



Figura 17. Corpos-de-prova preparados para o ensaio – 8º BEC



Figura 18. Ensaio de resistência à compressão – 8º BEC



Figura 19. Ensaio de resistência à compressão - IFPA

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nesta pesquisa sobre a produção de concreto com agregado graúdo basáltico da “Serra do Inajá” localizada na BR-163. A análise será dividida em 2 etapas, sendo elas a *caracterização da rocha coletada e a análise dos resultados obtidos do rompimento dos corpos-de-prova de concreto*, produzidos com a rocha britada.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA DA “SERRA DO INAJÁ”

Caracterizou-se a rocha a partir da análise macroscópica. A rocha coletada e estudada é um gabro. É possível a análise macroscópica observando sua granulometria grossa, cor e homogeneidade granulométrica a olho nu.

4.2 ANÁLISE DA APTIDÃO DA ROCHA GABRÓICA BRITADA PARA USO EM CONCRETO ESTRUTURAL

Em laboratório, foi feito o ensaio de compressão uniaxial na rocha natural, onde a mesma apresentou boa resistência, em média de **136,2 MPa**. Então a rocha foi britada para obtenção de agregado graúdo para concreto estrutural. Resultou em uma brita com boa granulometria e boa forma dos grãos (cubicidade). Realizou-se também o ensaio de abrasão “Los Angeles”, onde os resultados obtidos atenderam as normas vigentes. Outro ensaio realizado em laboratório na rocha britada, foi o de densidade real, cujo resultado foi compatível com os encontrados na literatura para agregados de peso normal. O ensaio de desgaste químico, por reação a sulfatos de sódio ou magnésio, foi realizado e objetivou-se como resultado avaliar a durabilidade da rocha.

4.3 CONCRETO FEITO COM BRITA GABRÓICA

Realizou-se o experimento fazendo um traço de concreto usual em obras de pouco controle tecnológico, principalmente nas pequenas obras de construção civil, da cidade de Santarém (Pa), visando obter um concreto com características mais comuns em pequenas obras, mas de grande utilização. O traço utilizado foi de **1:2:3:0,5** em peso das quantidades de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água limpa. O concreto obtido dessa dosagem,

ainda em estado fresco, resultou com boa trabalhabilidade, o que já é um bom indício da aptidão da rocha e seu uso para agregado graúdo.

A partir de então, foram produzidos seis corpos-de-prova de concreto, em formas cilíndricas, nas dimensões 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Esses corpos-de-prova foram produzidos seguindo as normas técnicas e receberam tratamento de cura em imersão na água, para serem realizados os ensaios de resistência à compressão.

4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios de resistência à compressão nos corpos-de-prova confeccionados com o agregado de brita gabróica foram realizados no Laboratório do 8º Batalhão de Engenharia de Construção e no laboratório do IFPA em Santarém. Esses ensaios foram realizados com o objetivo de se determinar as principais características dos agregados para a produção de concretos estruturais. Salienta-se que o objetivo da pesquisa é obter informação sobre essa rocha específica, no caso o **gabro** da “Serra do Inajá”, e sua aptidão para o seu uso como agregado graúdo em concretos estruturais.

Para os ensaios de resistência à compressão e de massa específica aparente foram utilizados corpos-de-prova de concreto cilíndricos, com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura. O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a Norma Brasileira NBR 5739 (ABNT, 2007), em idade de 28. Os valores obtidos para a resistência à compressão dos corpos-de-prova são apresentados na Tabela 13. Analisando-se a Tabela 13, observa-se que com idade de 28 dias, a resistência à compressão dos corpos-de-prova variou de **23,9MPa** a **30,5 MPa**. As médias nos dois casos, testados em laboratórios diferentes, ficou em **26,9 MPa** e **25,4 MPa**. Com o cálculo da média desses dois resultados obtem-se uma média final de **26,1 MPa** para os testes realizados nos corpos-de-prova.

Tabela 13. Resultados dos ensaios à compressão dos corpos-de-prova.

8º BEC						
Rompimento de Corpo de Prova						
LOCAL: Santarém (Pa)				TRAÇO: 1 : 2 : 3 : 0,5		
FATOR ÁGUA CIMENTO: 0,5				DATA: 26/02/2015		
CP	MOLDAGEM	ROMPIMENTO	IDADE	Força (KGf)	Tensão Mpa	Tensão Média Mpa
1	30/01/2015	26/02/2015	28 dias	11520,6	23,9	26,9
2	30/01/2015	26/02/2015	28 dias	16216,2	30,5	
3	30/01/2015	26/02/2015	28 dias	14359,8	26,3	
IFPA						
Rompimento de Corpo de Prova						
LOCAL: Santarém (Pa)				TRAÇO: 1 : 2 : 3 : 0,5		
FATOR ÁGUA CIMENTO: 0,5				DATA: 27/02/2015		
CP	MOLDAGEM	ROMPIMENTO	IDADE	Força (KN)	Tensão Mpa	Tensão Média Mpa
1	30/01/2015	27/02/2015	28 dias	124,89	23,9	25,4
2	30/01/2015	27/02/2015	28 dias	138,16	26,4	
3	30/01/2015	27/02/2015	28 dias	135,18	25,9	

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Concluí-se que a brita feita do gabro, proveniente da “Serra do Inajá”, atende aos requisitos da norma para concreto estrutural, pois os resultados apresentados ficaram acima de 20 MPa. O agregado teve bom rendimento, observando-se os aspectos de resistência à compressão para o consumo adotado. A brita resultante da rocha gabro, apresentou forma com boa cubicidade, e o concreto produzido a partir do traço usado teve boa trabalhabilidade.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se, para trabalhos futuros, o teste dessa rocha britada, para tentar produzir concretos com maior resistência. Pela resistência da rocha, seria possível produzir um concreto com maior resistência final aos 28 dias, testando-a em laboratório com traços mais elaborados e dosados, a partir também de uma análise mais criteriosa de suas propriedades.

No trecho da BR-163 no km 165, próximo ao município de Rurópolis, onde está localizado esse maciço rochoso, de rocha ígnea, onde futuramente a região, ainda em processo de expansão econômica e com grandes obras de estradas e pontes que ainda poderão acontecer, a rocha gabro da “Serra do Inajá”, depois de aprofundadas as pesquisas sobre sua aptidão para a produção de concretos estruturais, poderá ser de grande importância na hora de viabilizar esses grandes projetos. Outra possibilidade de uso dessa rocha é a produção da brita para uso em concretos asfálticos, usados no revestimento de rodovias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. Manual para Ensaios de agregados, concreto fresco e concreto endurecido, 2014.

ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Guide for structural lightweight aggregate concrete. ACI – 213R-03. ACI Manual of Concrete Practice, part 1, 27p., 2003.

ACI 318 – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Reliability- based Calibration of Design Code for Concrete Structures. The Board of Regents of the University of Nebraska, 2007.

ALHADAS, M. Estudo da Influência do Agregado Graúdo de Diferentes Origens Mineralógicas nas Propriedades Mecânicas do Concreto – Miguel Fernando Alhadadas, 2008).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos de Concreto. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregado para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7218: Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7219: Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7220: Agregados - Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251: Agregados em estado solto. Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7809: Agregados graúdos - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9773: Agregado - Reatividade potencial de álcalis em combinações cimento-agregado. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO NM 3310-1: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1. Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 26: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 27: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 35: Agregados leves para concreto estrutural – Especificações. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46: Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 51: Agregado graúdo - Ensaio de abrasão Los Angeles. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

BASTOS, P. S. Fundamentos do Concreto Armado. Notas de Aula, 2001, UNESP.

BRANCO, P. M.. Dicionário de Mineralogia e Gemologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 608 p. il.

EARTH SCIENCE 9th Ed, 1999, Prentice Hall, Tarbuck/Lutgens

SGARBI, G. Petrografia Macroscópica das Rochas Ígneas, Sedimentares e Metamórficas, Editora: UFMG, 2012.

GOMES, R. I. P. Contributo para a Caracterização Geotécnica dos Gabros da Faixa Beringel - Beja. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, 2011.

J MENDO CONSULTORIA, 2009. Desenvolvimento de Estudos para Elaboração do Plano Duodecenal (2010 - 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral.

MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: Pini, 1994.

MOTOKI, A. Petrografia das Rochas Igneas. Notas de Aula, UERJ, 2014.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Autor,. Edição, 2. Editora, Pini, 1997.

SILVA, W. L. Ciclos Geológicos – Ciclo das Rochas e Tectônica Global, Notas de Aula, Unicamp-IG-DGRN, 2006.

TANNO, S. Mineração & Município, Base para Planejamento e Gestão de Recursos Minerais, 2003.

TARBUCK, E. J., LUTGENS , F. K. Ciencias de la Tierra. Prentice Hall, 540pp. Madrid, 1999.