

# **Processamento de amostras de rochas para o desenvolvimento de materiais de referência de remineralizadores de solo**

## **Processing of rock samples for the development of reference materials of soil remineralizers**

**Roberto Lustosa Pereira**

Bolsista PCI, Técnico

**Maria Alice C. de Goes**

Supervisora, Eng. Metalúrgica, D.Sc.

### **Resumo**

Materiais de origem natural, como rochas, minérios e minerais são heterogêneos. Por meio de operações de cominuição e homogeneização, a heterogeneidade do material pode ser reduzida, possibilitando a obtenção de unidades de material de referência que contenham uma porção representativa do todo amostrado. O processo de amostragem realizado no Laboratório PMRC do CETEM se mostra eficaz para obtenção de amostras representativas, não apenas em relação à massa, mas também em relação à distribuição de tamanho de partículas. A informação sobre a distribuição da granulometria e a densidade aparente das amostras de alimentação é fundamental para o estabelecimento das condições operacionais de moagem com bolas.

Palavras chave: material de referência, rocha, processamento de material, moagem com bolas.

### **Abstract**

Natural materials such as rocks, ores and minerals are heterogeneous. By means of comminution and homogenization operations, the heterogeneity of the material can be reduced, making it possible to obtain units of reference material containing a representative portion of the whole sampled. The sampling process performed at CETEM's PMRC Laboratory is effective in obtaining representative samples, not only in relation to the mass, but also in relation to particle size distribution. The information on particle size distribution and bulk density of feed samples is critical for the establishment of ball milling conditions.

Key words: reference material, rock, material processing, ball milling

### **1. Introdução**

Os remineralizadores de solo (pós de rocha) foram incluídos como uma categoria de insumo agrícola no Brasil, segundo a Lei Nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013 (BRASIL, 2013). E, conforme o Decreto Nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014, remineralizador é definido como: “material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho de partícula por processos mecânicos e que, aplicado ao solo, altere os seus índices de fertilidade, por meio da adição de macronutrientes e micronutrientes para as plantas, e promova a melhoria de propriedades físicas, físico-químicas ou da atividade biológica do solo” (BRASIL, 2014).

A produção de material de referência certificado de agrominerais é um dos projetos do Subprograma II – Agrominerais do Programa Minerais Estratégicos do Plano Diretor do CETEM (2017-2021). No desenvolvimento de um material de referência, a etapa de processamento da matéria prima tem por objetivo preservar a integridade do material e garantir que a homogeneidade entre unidades de material de referência seja adequada ao uso pretendido. Este é um requisito de produção exigido para os produtores de material de referência, segundo a norma ABNT NBR ISO 17034 (ABNT, 2017).

Materiais de origem natural, como rochas, minérios e minerais são heterogêneos. Por meio de operações de cominuição e homogeneização, a heterogeneidade do material pode ser reduzida, possibilitando a obtenção de unidades de material de referência que contenham uma porção representativa do todo amostrado. A moagem é o último estágio do processo de fragmentação. Neste estágio as partículas são reduzidas, pela combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito, a um tamanho adequado. Um estudo de moagem consiste no estabelecimento das condições de operação tais como velocidade de operação, tempo de operação, granulometria da alimentação, fração do volume do moinho ocupado pela carga de meio moedor e tamanho do meio moedor.

## 2. Objetivos

O objetivo principal do trabalho é determinar a distribuição da granulometria e a densidade aparente de amostras de basalto e de diabásio, para a alimentação do moinho de bolas em alta alumina Paul O. Abbe CLM-40, recentemente instalado no Laboratório do Programa Material de Referência Certificado - PMRC do CETEM.

## 3. Material e Métodos

As matérias primas de basalto e de diabásio foram fornecidas pelo Grupo Siqueira. Duas amostras de basalto provenientes, respectivamente, das Pedreiras Siqueira e Pirajú, e duas amostras de diabásio provenientes, respectivamente, das Pedreiras Diabásio e Mandaguari, foram processadas Laboratório do Programa Material de Referência Certificado - PMRC do CETEM. A massa inicial e a composição mineralógica das amostras são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Massa inicial e composição mineralógica das amostras de basalto e de diabásio

Matéria Prima	Tipo de Rocha	Massa Inicial (kg)	Composição Mineralógica				
			Piroxênio	Plagioclásio	Opacos	Vidro	Clorita
Siqueira	basalto	105,60	40%	50%	10%	-	-
Piraju	basalto	92,95	30%	50%	13%	2%	5%
Diabásio	diabásio	87,20	40%	45%	10%	-	-
Mandaguari	diabásio	69,40	40%	50%	10%	-	-

As características técnicas do moinho Paul O. Abbe CLM-40 e do meio moedor, disponíveis no Laboratório do PMRC, estão descritas na Figura 1.

Uma regra prática para moagem com bolas é operar com alimentação com um tamanho máximo de partícula 10 vezes menor que o diâmetro da maior bola.

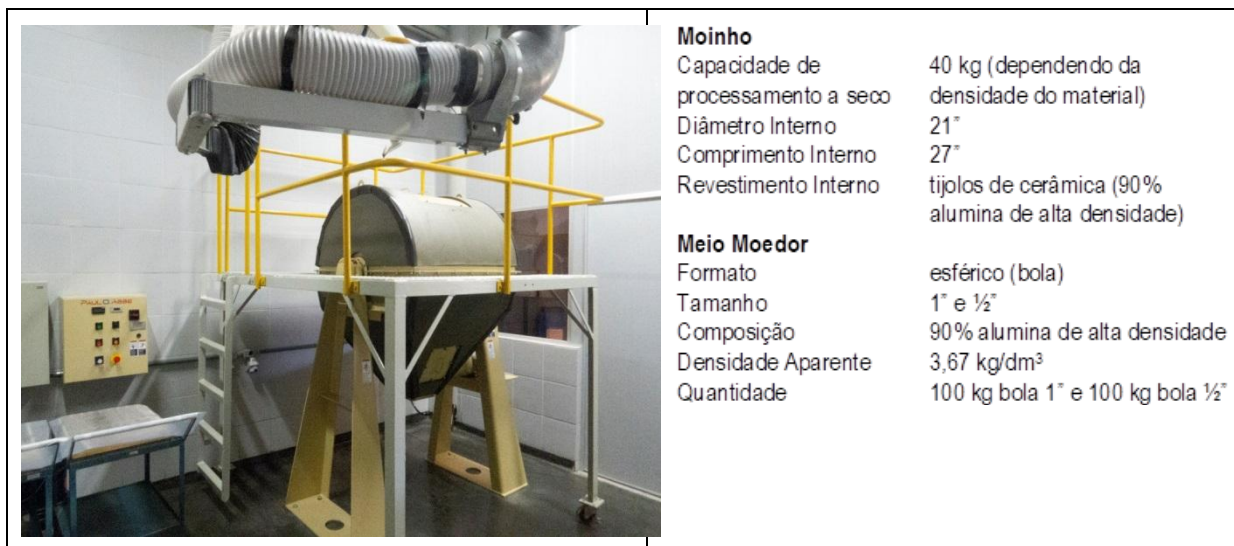


Figura 1. Moinho Paul O. Abbe CLM-40 e meio moedor

Inicialmente, as matérias primas, conforme recebidas, foram submetida às etapas de homogeneização, quartearamento e divisão utilizando alimentador vibratório e divisor rotativo, com doze coletores acoplados. A velocidade do alimentador foi ajustada para obtenção de um fluxo de material homogêneo e contínuo. O quartearamento do material foi realizado juntando os quartos opostos e retornando o material ao silo do alimentador vibratório. A Figura 2 mostra o processo de amostragem e o esquema de quartearamento do material.



Figura 2. Processo de amostragem e esquema de quartearamento

Após divisão do material em doze amostras, uma das amostras (AMOSTRA 1) foi selecionada para a obtenção de subamostras, com massa inferior a 1 kg, para os ensaios de peneiramento e determinação da densidade aparente. O ensaio de peneiramento, a úmido, foi realizado, em duplicata, utilizando peneirador vibratório e a seguinte série de peneiras: 1,700; 1,180; 0,850; 0,600; 0,420; 0,300; 0,212; 0,150; 0,106; 0,075; 0,053; 0,045 e 0,038 mm.

Para garantir um tamanho máximo de partícula menor que 2,5 mm, as matérias primas foram classificadas em 2,38 mm, sendo o material acima deste tamanho britado, utilizando o britador ESSA JC2501, e, em seguida, retornado à amostra original. Cada amostra de basalto e de diabásio, após britagem, foi submetida às etapas de

homogeneização, quarteramento, divisão e obtenção de subamostras para os ensaios de peneiramento e determinação da densidade aparente. O ensaio de peneiramento, a úmido, foi realizado, em duplicata, utilizando peneirador vibratório e a seguinte série de peneiras: 2,360; 1,700; 1,180; 0,850; 0,600; 0,420; 0,300; 0,212; 0,150; 0,106; 0,075; 0,053; 0,045 e 0,038 mm.

A densidade aparente de um material considera o volume total da amostra, inclusive o espaço vazio entre os grãos que a compõem (J.A. Sampaio & F.A.N.G. Silva, 2007) A medida da densidade aparente foi realizada pesando-se a massa de material que ocupa o volume de uma proveta graduada de 1000 cm<sup>3</sup>, após o material ter sedimentado.

Todas as operações de pesagem de amostras foram realizadas utilizando a balança analítica digital de precisão Mettler Toledo XS2002S, com capacidade de carga de 0,5 - 2100 g e menor divisão de 0,01 g.

#### 4. Resultados e Discussão

As Tabelas 2 e 3 mostram, respectivamente, as massas das subamostras obtidas na divisão, com divisor rotativo com 12 coletores acoplados, da AMOSTRA 1 da matéria prima conforme recebida e após britagem. A pequena variação de massa das subamostras (coeficiente de variação do valor de massa inferior a 0,4%), demonstra a adequação do processo de amostragem para obtenção de amostras representativas.

Tabela 2. Divisão da AMOSTRA 1 – matéria prima conforme recebida

Matéria Prima	Massa da subamostra (g)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Siqueira	727,71	729,10	728,67	729,55	730,18	726,61	728,05	729,03	727,75	728,15	725,17	726,10
Piraju	640,01	638,13	641,30	637,44	636,87	638,06	639,18	640,01	640,31	637,48	636,96	639,84
Diabásio	601,36	602,84	603,05	600,98	604,04	601,31	602,64	602,69	601,31	603,40	603,84	601,90
Mandaguari	478,26	479,30	477,80	476,89	477,61	478,31	477,04	478,30	479,81	479,09	480,36	478,56

Tabela 3. Divisão da AMOSTRA 1 – matéria prima após britagem

Matéria Prima	Massa da subamostra (g)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Siqueira	710,95	709,62	709,03	710,13	712,38	709,95	712,69	711,49	712,64	711,90	713,75	712,69
Piraju	625,26	622,28	624,17	624,15	623,12	623,36	625,16	626,04	626,97	625,98	623,58	622,47
Diabásio	589,79	588,22	588,71	588,62	587,42	589,61	590,30	587,79	588,28	587,55	590,15	590,44
Mandaguari	467,26	465,63	463,75	464,26	467,23	467,15	465,57	463,92	464,65	463,32	464,74	467,16

Os Quadros 1 e 2 mostram, respectivamente, os resultados dos ensaios de peneiramento realizados na matéria prima conforme recebida e após britagem. Para ambos os casos, não se observa diferença significativa entre os resultados de % passante numa dada peneira, para os ensaios em duplicata. Este fato confirma a adequação do processo de amostragem para obtenção de amostras representativas, não apenas em relação à massa, mas também em relação à distribuição de granulometria.

Para todas as matérias primas, após britagem, 100% da massa é passante em 2,360 mm, o que atende a razão crítica de 1:10 entre o tamanho máximo de partícula da alimentação e diâmetro da maior bola do moinho.

Para as matérias primas Siqueira, Piraju, Diabásio e Mandaguari, após britagem, o % da massa passante em 0,075 mm é, aproximadamente, 16%, 25%, 50% e 29%, respectivamente. Considerando que o objetivo do processamento de materiais de referência é a obtenção de um produto com 95% passante em 0,075 mm, um corte nessa fração de tamanho irá resultar na diminuição da massa de material a ser submetido à moagem e, consequentemente a diminuição do número de moagens a serem realizadas.

Quadro 1. Resultados dos ensaios de peneiramento - matéria prima conforme recebida

Ensaio	Matéria prima							
	Siqueira		Pirajú		Diabásio		Mandaguari	
	Submostra 1	Submostra 6	Submostra 1	Submostra 6	Submostra 1	Submostra 6	Submostra 1	Submostra 6
<b>Massa inicial (g)</b>	727,71	726,61	640,01	638,06	601,36	601,31	478,26	478,31
<b>Massa final (g)</b>	717,41	717,4	624,41	623,64	596,91	597,15	459,84	460,16
<b>Perda (%)</b>	1,42	1,27	2,44	2,26	0,74	0,69	3,85	3,79
<b>Tamanho (mm)</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>
1,700 mm	76,80	76,75	78,49	78,47	99,79	99,79	51,50	51,50
1,180 mm	53,56	53,51	60,80	60,84	98,97	98,97	28,21	28,14
0,850 mm	42,78	42,74	52,69	52,74	96,47	96,47	19,95	19,91
0,600 mm	33,15	33,12	44,62	44,64	89,43	89,58	15,18	15,13
0,420 mm	30,17	30,13	41,93	41,96	86,66	86,81	14,23	14,19
0,300 mm	22,65	22,61	33,75	33,76	77,47	77,64	12,19	12,14
0,212 mm	17,94	17,91	27,40	27,41	68,24	68,40	11,01	10,97
0,150 mm	15,44	15,40	23,19	23,20	61,50	61,67	9,88	9,82
0,106 mm	13,12	13,08	19,64	19,68	55,45	55,63	9,08	9,09
0,075 mm	11,22	11,17	16,67	16,68	49,34	49,52	8,02	8,04
0,053 mm	9,41	9,38	14,04	14,03	41,97	42,15	6,69	6,70
0,045 mm	8,64	8,60	13,06	13,04	38,26	38,45	6,11	6,13
0,038 mm	7,79	7,76	12,19	12,18	35,22	35,39	5,49	5,50

Quadro 2. Resultados dos ensaios de peneiramento - matéria prima após britagem

Ensaio	Matéria prima							
	Siqueira		Pirajú		Diabásio		Mandaguari	
	Submostra 1	Submostra 6	Submostra 1	Submostra 6	Submostra 1	Submostra 6	Submostra 1	Submostra 6
<b>Massa inicial (g)</b>	710,95	709,95	625,26	623,36	589,79	589,61	467,26	467,15
<b>Massa final (g)</b>	704,72	705,09	612,69	611,44	586,27	586,43	450,89	450,96
<b>Perda (%)</b>	0,88	0,68	2,01	1,91	0,60	0,54	3,50	3,47
<b>Tamanho (mm)</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>	<b>%Passante</b>
2,360 mm	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,700 mm	99,20	99,21	99,15	99,15	99,98	99,98	98,66	98,67
1,180 mm	70,64	70,65	80,99	80,96	99,18	99,18	73,63	73,63
0,850 mm	55,27	55,34	69,54	69,53	94,72	94,71	58,93	58,93
0,600 mm	45,58	45,64	60,86	60,83	88,93	88,91	52,39	52,38
0,420 mm	34,91	35,00	51,83	51,76	80,77	80,74	45,49	45,51
0,300 mm	29,90	29,98	46,39	46,32	75,51	75,49	42,23	42,24
0,212 mm	25,19	25,28	40,27	40,19	68,66	68,65	39,10	39,10
0,150 mm	21,48	21,58	34,76	34,68	62,15	62,13	36,10	36,09
0,106 mm	18,75	18,87	30,61	30,53	56,81	56,80	33,20	33,20
0,075 mm	16,05	16,16	24,56	24,48	49,87	49,85	29,18	29,20
0,053 mm	14,44	14,53	22,77	22,68	44,68	44,67	26,25	26,26
0,045 mm	13,38	13,47	21,39	21,29	40,70	40,69	23,81	23,82
0,038 mm	12,01	12,09	19,70	19,59	35,53	35,52	20,81	20,82

As Figuras 3, 4, 5, e 6 mostram a distribuição granulométrica da matéria prima conforme recebida e após britagem, em forma de gráfica. Para a matéria prima Mandaguari, que inicialmente possuía cerca de 50% da massa com tamanho de partícula superior a 1,700 mm, observa-se uma maior alteração dos tamanhos de

partículas após a britagem do material. Entretanto, para a matéria prima Diabásio, praticamente não houve alteração, uma vez que a massa de material submetida à britagem foi menor que 1% da massa total.

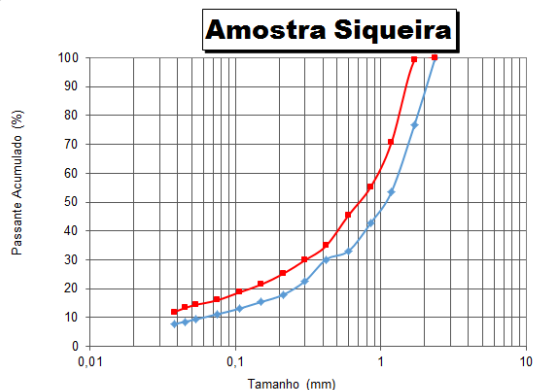


Figura 3. Distribuição granulométrica matéria prima Siqueira, conforme recebida (curva azul) e após britagem (curva vermelha)

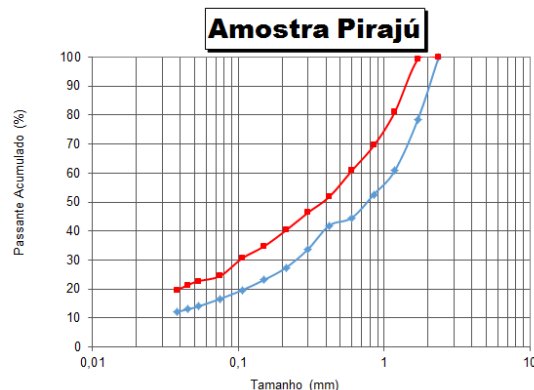


Figura 4. Distribuição granulométrica matéria prima Piraju, conforme recebida (curva azul) e após britagem (curva vermelha)

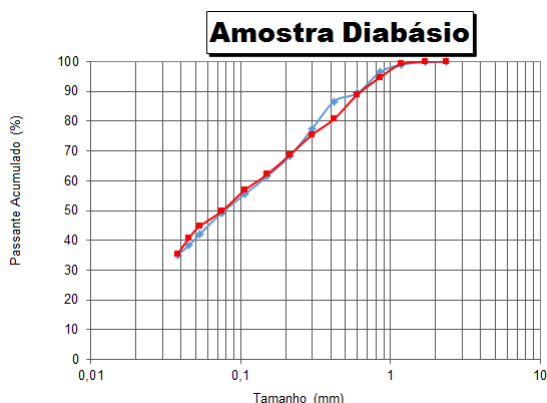


Figura 5. Distribuição granulométrica matéria prima Siqueira, conforme recebida (curva azul) e após britagem (curva vermelha)

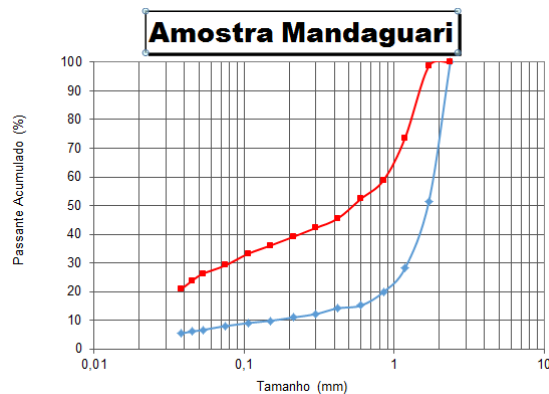


Figura 6. Distribuição granulométrica matéria prima Piraju, conforme recebida (curva azul) e após britagem (curva vermelha)

A Tabela 4 mostra os resultados de densidade aparente para a matéria prima, conforme recebida e após britagem. Observa-se que o valor de densidade aparente depende da distribuição de granulometria da amostra. Caso seja realizado o corte do material em 0,075 mm para a alimentação do moinho, a medição da densidade aparente deverá ser repetida.

Tabela 4. Densidade aparente

Matéria Prima		Massa amostra (g)	Volume Proveta (cm <sup>3</sup> )	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )
Siqueira	Conforme recebida	1705	1000	1705
	Após britagem	1780	1000	1780
Piraju	Conforme recebida	1630	1000	1630
	Após britagem	1730	1000	1730
Diabásio	Conforme recebida	1700	1000	1700
	Após britagem	1770	1000	1770
Mandaguari	Conforme recebida	1565	1000	1565
	Após britagem	1815	1000	1815

## 5. Conclusões

O processo de amostragem realizado no Laboratório do Programa Material de Referência Certificado - PMRC do CETEM se mostra eficaz para obtenção de amostras representativas, não apenas em relação à massa, mas também em relação à distribuição de granulometria.

As matérias primas Siqueira, Piraju, Diabásio e Mandaguari, após britagem, apresentam 100% da massa passante em 2,360 mm, o que atende a razão crítica de 1:10 entre o tamanho máximo de partícula da alimentação e diâmetro da maior bola do moinho.

Considerando que o objetivo do processamento de materiais de referência é a obtenção de um produto com 95% passante em 0,075 mm, as matérias primas Siqueira, Piraju, Diabásio e Mandaguari, após britagem, poderão ser classificadas em 0,075 mm, resultando, respectivamente, em uma diminuição de 16%, 25%, 50% e 29% da massa de material a ser submetido à moagem.

## 6. Agradecimentos

Agradeço ao CNPq pelo suporte financeiro, ao CETEM pela infraestrutura laboratorial, a supervisora Maria Alice Goes pela orientação e a equipe do PMRC pelo apoio na execução do trabalho.

## 7. Referências Bibliográficas

ABNT NBR ISO 17034. *Requisitos gerais para a competência de produtores de material de referência*, 2017.

BRASIL, Lei Nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm)>. Acesso em: out. 2018.

BRASIL. Decreto Nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8384.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8384.htm)>. Acesso em: out. 2018.

J.A. Sampaio & F.A.N.G. Silva. Determinação das densidades de sólidos e polpas. Capítulo 2. Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais, CETEM/MCT, 2007. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1019/1/Cap%202%20Densidade%20Final.pdf>. Acesso em: out. 2018.