

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DOS FINOS DE PEDREIRA DO MUNICÍPIO DE TRACUATEUA-PA

**Renan Cardoso NEGRÃO (1); Jaime Henrique Barbosa da COSTA (2); Rômulo Simões
ANGÉLICA (3)**

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará, Coordenação da Área Profissional de Mineração, Av. Almirante Barroso 1155 – Marco – Belém – Pará, (91) 3201 1766, e-mail: renan2808@hotmail.com

(2) Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará, Coordenação da Área Profissional de Mineração, e-mail: jhcosta@ig.com.br

(3) Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, e-mail: angelica@ufpa.br

RESUMO

Um dos grandes problemas do setor de produção de brita é a estocagem dos finos oriundos do processo de britagem. Nas pedreiras, as rochas (granitos, gnaisses, basaltos, calcários, entre outras) ao serem cominuídas em circuitos de britagem terciária ou quarternária, visando à produção de agregados para a construção civil, resultam em produtos comercializáveis com geração, de uma parcela significativa, de material fino que até então não possui aplicação.

Estes finos têm sido apenas estocados em pilhas nas áreas das pedreiras, contribuindo para: (i) alteração da paisagem, criando um impacto ambiental; (ii) obstrução de canais de drenagem em virtude da deposição desses finos; (iii) geração de poeiras nas operações de britagem e formação de pilha.

Neste contexto, é de suma importância a caracterização mineralógica dos finos de pedreira para verificação de um potencial uso e com isso diminuir o impacto ambiental causado pela estocagem dos mesmos.

O objetivo principal deste trabalho foi caracterizar mineralogicamente amostras de finos dessa pedreira visando seu reaproveitamento e conseqüentemente contribuir para amenizar o impacto ambiental causado por este rejeito. Para tanto, foram coletadas e preparadas amostras para individualização mineralógica, procurando identificar as fases mineralógicas presentes nos finos de pedreira a partir das amostras obtidas. As técnicas utilizadas foram a difração de raios-x e microscopia eletrônica de varredura.

A caracterização mineralógica dos finos de pedreira se baseou em identificar qualitativamente os minerais presentes. Há a presença de quartzo, muscovita e feldspato (albita e microclínio), atestadas por difração de raios-x e de observações microscópica e macroscópica. Além disso, foi definida a distribuição granulométrica, e como pode ser observado as amostras se apresentam com granulometria média a fina (que variam de 9,5 mm a 0,075 mm) e as formas dos grãos são irregulares ou angulosos.

Palavras-chave: Finos de Pedreira, Caracterização Mineralógica, Tracuateua.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho é parte integrante do projeto de pesquisa “Aproveitamento dos Finos de Pedreira do Município de Tracuateua” o qual visa buscar alternativas viáveis técnica e econômica para o aproveitamento dos mesmos em função do estudo de suas propriedades para determinação de possíveis aplicações. O objetivo principal deste trabalho foi caracterizar mineralogicamente amostras de finos de pedreira visando seu aproveitamento como fonte de agregado miúdo para construção civil e consequentemente contribuir para diminuir o impacto ambiental causado por este rejeito.

O município de Tracuateua situa-se na mesorregião nordeste do Estado do Pará, distante cerca de 169 km de Belém, possui em seu território uma pedreira que contribui para o desenvolvimento de sua economia que está baseada na agricultura, pecuária e turismo.

A rocha existente na região, comercializada na forma de brita, é uma rocha ígnea, plutônica, ácida, de granulação média denominada de granito.

Neste trabalho são apresentadas as principais etapas desenvolvidas para atingir o objetivo pretendido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um dos grandes problemas do setor de produção de brita é a estocagem dos finos oriundos do processo de britagem. O agregado miúdo de pedra britada é o material residual, resultante da obtenção do agregado graúdo de pedra britada e apresenta dimensão máxima de 4,8 mm, e com material fino abaixo de 75 μ m acima de 5%. Este material é mais conhecido como pó de pedra ou areia artificial, de acordo com a norma NBR-9935 (ABNT, 1987b). Nas pedreiras, as rochas (granitos, gnaisses, basaltos, calcários, entre outras) ao serem cominuídas em circuitos de britagem terciária ou quarternária, visando à produção de agregados para a construção civil, resultam, basicamente em quatro produtos comerciais denominados:

- a) Brita 3 (70 a 50 mm);
- b) Brita 2 (50 a 25 mm);
- c) Brita 1 (25 a 12,5mm);
- d) Brita 0 (12,5 a 4,8mm);
- e) Pó de pedra (-4,8mm).

Enquanto as três primeiras encontram aplicações nobres (brita 3-lastro ferroviário, brita 2-agregado em grandes volumes de concreto e brita de base e sub-base de pavimento e brita 1-agregado de concreto esbelto e bombeado) a brita zero e o pó de pedra encontram somente aplicações marginais como matéria-prima para produção de massa asfáltica e pré-moldados (ALMEIDA, 2000). De acordo com Mendes (1999), estes finos têm sido apenas estocados em pilhas nas áreas das pedreiras, contribuindo para:

- (i) alteração da paisagem, criando um impacto ambiental;
- (ii) obstrução de canais de drenagem em virtude da deposição desses finos;
- (iii) geração de poeiras nas operações de britagem e formação de pilha.

Esse material pode ainda sofrer a ação das chuvas e ser drenado para os rios, causando assoreamento dos mesmos. Os finos naturais provenientes da lavra de pedreiras e os finos gerados na etapa de britagem são materiais que, devidamente processados, podem substituir a areia natural. Na região metropolitana de São Paulo, 5 a 10% do mercado de areia já são supridos a partir de finos de pedreiras de brita, com previsão de crescimento acelerado.(VALVERDE, 2001).

Outros materiais substitutivos vêm sendo propostos em níveis experimentais em universidades e institutos de pesquisa. Enquadram-se nesta classificação as escórias de alto forno para utilização em bases de rodovias, resíduos da indústria de plásticos para a fabricação de pré-fabricados leves e resíduos de pneus triturados para a utilização no concreto e pavimentos. Em relação à areia natural há um crescimento da oferta da areia de brita. Este produto pode ser obtido via úmida ou via seca e, em alguns casos, o próprio pó de pedra já possui a curva granulométrica da areia natural. (VALVERDE, 2004).

Segundo Neto (1999) para que a substituição da areia natural pela areia artificial seja realizada sem prejuízo à qualidade do produto, é necessário que ela preencha os seguintes requisitos tecnológicos:

- a) Adequação da distribuição granulométrica;
- b) Forma e textura superficial das partículas;
- c) Resistência mecânica e estabilidade das partículas;
- d) Ausência de impurezas.

Neste contexto, é de suma importância a caracterização mineralógica dos finos de pedreira para uso como agregado na construção civil para com isso diminuir o impacto ambiental causado pela estocagem dos mesmos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Coleta de Amostras

Para a execução do trabalho foi exigida a coleta de amostras dos finos de rejeito da usina de beneficiamento de uma pedreira em Tracuateua (PA).

Obedecendo as técnicas de amostragem, o material coletado (amostra primária) passou por etapas de preparação e adequação, buscando obter as características desejadas para as análises mineralógicas pretendidas. Seguindo o processo de amostragem foram realizadas homogeneizações e quarteamentos e separação de lotes devidamente identificados que foram armazenados para análise.

3.2 Preparação das Amostras

Após a obtenção da amostra primária foi iniciado o processo de preparação dela para os ensaios em laboratório obedecendo às normas da ABNT para agregados.

3.2.1 Homogeneização e quarteamento

As ações iniciais realizadas sobre a amostra primária, em laboratório, obedeceram à norma NBR NM 27/2001: Agregados – Redução de amostra de campo para ensaios de laboratório. Esta norma MERCOSUL estabelece as condições exigíveis na redução da amostra de agregado formada no campo, para ensaio de laboratório.

Para as amostras dos finos de rejeito de granito, a amostra primária ou global, em laboratório, de características correspondentes a mistura de agregado miúdo e graúdo, com uma massa total no valor de 29,09 Kg em estado úmido, foi dispensável operações de redução de tamanho por britagem ou moagem devido a sua granulometria relativamente baixa.

Então foi dada sequência na preparação das amostras que consistiu no uso de técnicas de amostragem baseadas na homogeneização e quarteamento do material – para a massa total de amostra foram realizados três quarteamentos por pilhas cônicas.

3.2.2 Determinação da massa mínima da amostra de ensaio

O material selecionado a partir da amostra global, de massa igual a 13,54 Kg, foi então destinado a outros procedimentos de laboratório para sua preparação como tal.

Com o objetivo de determinar a dimensão máxima nominal do agregado para definir a massa mínima da amostra de ensaio, fizemos um peneiramento cujas aberturas das peneiras eram em ordem crescente de 4,75 mm, 9,5 mm e 12,5 mm. O peneiramento da amostra revelou a dimensão máxima nominal do agregado igual a 9,5 mm. Essa conclusão exigiu a massa mínima da amostra de ensaio igual a 1000 g.

De posse destes dados foram realizadas tarefas de redução da amostra por quarteamentos tipo pilha cônica – para a obtenção de novas amostras – com a função de reduzi-la a uma massa correspondente ao mínimo exigido de 1000 g por amostra.

3.3 Determinação da Quantidade de Material que Passa pela Peneira 0,075 mm por Lavagem

Nesta etapa os procedimentos praticados foram baseados na norma NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 0,075 mm, por lavagem. Esta norma MERCOSUL estabelece o método para determinação, por lavagem, em agregados, da quantidade de material mais fino que a abertura de malha da peneira de 0,075 mm. As partículas de argila e outros materiais que se dispersarem por lavagem, assim como materiais solúveis em água, serão removidos do agregado durante o ensaio.

Para essa etapa foram selecionadas três amostras das quatro antes determinadas. A 1ª amostra, a 2ª amostra e a 4ª amostra secas sofreram peneiramento a úmido – manualmente – pelas aberturas das peneiras 1,18 mm e 0,075 mm.

3.4 Determinação da Composição Granulométrica

Os procedimentos adotados obedeceram à norma NBR NM 248/2003: Agregados – Determinação da composição granulométrica. O objetivo desta norma MERCOSUL é prescrever o método para determinação da composição granulométrica em agregados destinados ao preparo do concreto.

A determinação da composição granulométrica das amostras antes trabalhadas foi realizada por peneiramento a seco com o agitador mecânico de peneiras. Esse ensaio se deu durante um intervalo de tempo de 30 minutos para cada amostra.

Antes das amostras serem peneiradas suas correspondentes massas iniciais foram medidas numa balança de precisão de 0,01 g. Assim a 1ª, a 2ª e a 4ª amostras têm massas equivalentes a 1380 g, 1675 g e 1708,54 g, respectivamente.

Para esse ensaio foram utilizadas 10 peneiras com as seguintes aberturas, em milímetros, em ordem decrescente: 12,5; 9,5; 6,3; 4,75; 2,36; 1,18; 0,6; 0,3; 0,15 e 0,075. As imagens de cada fração granulométrica foram capturadas por um microscópio com um aumento de aproximadamente 10 vezes para visualizar a associação mineral presente nas partículas.

3.5 Execução de Ensaio de Difração de Raios-x

Após a determinação da composição granulométrica foram executados ensaios de ordem mineralógica. Para tanto foram realizados ensaios de Difração de Raios-X.

A caracterização de finos das frações granulométricas da 2ª amostra por difração de raios-x foram realizadas em Difrátômetro de raios-x modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), da PANalytical, com Goniômetro PW3050/60 (Theta/Theta) e com tubo de raios-x cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha 1$ 1,540598 Å), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200W, 60kv. O detector utilizado é do tipo RTMS, X'Celerator.

A aquisição de dados foi feita com o software *X'Pert Data Collector*, versão 2.1a, e o tratamento dos dados com o software *X'Pert HighScore* versão 2.1b, também da PANalytical. Todos os equipamentos e softwares pertencem ao Laboratório de Difração de Raios-x do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

Foram utilizadas as seguintes condições de análise: Voltage (kV): 40; Current (mA): 40; Scan range ($^{\circ}$ 2 θ): 5-70; Step size ($^{\circ}$ 2 θ): 0,02; Scan mode: Continuous; Counting time (s): 5; Divergence slit: Slit Fixed 1/2 $^{\circ}$; Mask Fixed 10 mm; Anti-scatter slit Name: Slit Fixed 1 $^{\circ}$; Sample movement type: Spinning; Rotation time (s): 1,0

As amostras foram pulverizadas em granulometria compatível para a análise e preenchidas em porta-amostra específico.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Preparação das Amostras

Na preparação das amostras utilizando-se de homogeneização e quarteamento obtiveram-se duas amostras ao final de três quarteamentos por pilhas cônicas que equivaleu a duas massas diferentes de 13,54 Kg e 15,55 Kg, medidas em uma balança de precisão igual a 5 g. A amostra selecionada para as preparações que objetivaram a obtenção da amostra final foi a de massa igual a 13,54 Kg e, conseqüentemente a outra massa de material foi arquivada para posteriores ensaios de comprovação de resultado e/ou repetição de análise por erro.

Já para determinar a massa mínima da amostra final de ensaio, foi praticado um primeiro quarteamento que resultou em uma amostra selecionada para continuidade dos ensaios, e outra descartada, e em seguida arquivada. O material selecionado para outros ensaios sofreu outro quarteamento que resultou em duas outras amostras. Essas amostras resultantes foram submetidas a novos quarteamentos cada uma para a obtenção final de quatro amostras com massa mínima de 1000 g cada uma como fora prescrito. As massas obtidas após esses procedimentos não ultrapassaram os 2000 g, e corresponderam as seguintes massas de valores nomeados: 1ª amostra igual a 1770 g; 2ª amostra igual a 1455 g; 3ª amostra igual a 1715 g, e 4ª amostra igual a 1850 g.

Após a medição das massas de ensaio, estas foram colocadas para secar em uma estufa com temperatura equivalente a 110°C. Observe a tabela 1 para verificar os valores das massas do material quando úmido e seco.

Tabela 1: Massa úmida e seca das amostras

Amostras	Massa úmida (g)	Massa seca (g)
1ª	1770	1770
2ª	1455	1455
3ª	1715	1710
4ª	1850	1845

4.2 Resultados da Determinação do Material que passa pela Peneira de 0,075 mm, por Lavagem

Na determinação da quantidade de material que passa pela peneira 0,075 mm observa-se na tabela 2 as massas encontradas na execução do ensaio (retidas e passantes).

Tabela 2: Massa das amostras retidas e passantes no peneiramento

Amostras	Massa original (g)	Massa retida (g)	Massa passante (g)
1ª	1770	1680	80
2ª	1455	1375	70
4ª	1845	1745	85

A perda em massa resultante do tratamento com água foi calculada em % da massa da amostra original e registrada como a % de material mais fino que a peneira de 0,075 mm por lavagem. Observe o cálculo da quantidade de material que passa pela peneira 0,075 mm por lavagem a seguir:

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

m = é a % de material mais fino que a peneira de 0,075 mm por lavagem;

mi = é a massa original da amostra seca (g);

mf = é a massa da amostra seca após lavagem (g).

O resultado deve ser a média aritmética de duas determinações. Contudo, depois de efetuados os cálculos sobre a 1ª amostra e a 2ª amostra a média encontrada para m (% de material mais fino que 0,075 mm) foi de 5,3 % e a diferença entre as duas determinações equivaleu a 0,4 %, o que é aceitável para agregado graúdo e miúdo.

4.3 Resultados da Distribuição Granulométrica

Os peneiramentos foram realizados nas três amostras e a seguir é mostrado na tabela 3 o resultado da distribuição granulométrica da 1ª amostra.

Tabela 3: Distribuição Granulométrica da 1ª amostra

Fração granulométrica (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
+12,5	0,00	0,00	0,00	100
-12,5+9,5	7,02	0,51	0,51	99,49
-9,5+6,3	14,78	1,07	1,58	98,42
-6,3+4,75	62,32	4,53	6,11	93,89
-4,75+2,36	292,4	21,23	27,34	72,66
-2,36+1,18	283,37	20,58	47,92	52,08
-1,18+0,6	304,29	22,10	70,02	29,98
-0,6+0,3	144,9	10,52	80,54	19,46
-0,3+0,15	110,96	8,06	88,60	11,4
-0,15+0,075	132,77	9,64	98,24	1,76
-0,075	24,28	1,76	100,00	0,00
Σ	1377,09	100		

Depois de feitos esses trabalhos de distribuição da granulometria as perdas foram calculadas de cada amostra e os valores obtidos foram: 0,21% para a 1ª amostra, 0,002% para a 2ª amostra e 0,36% para a 4ª amostra.

Foram tomadas fotos das frações granulométricas para se observar as diferentes formas de associação mineral presente nas partículas as quais são apresentadas a seguir:


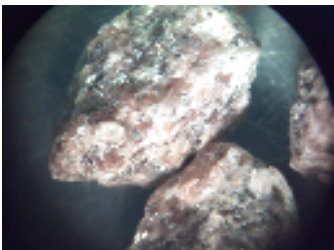
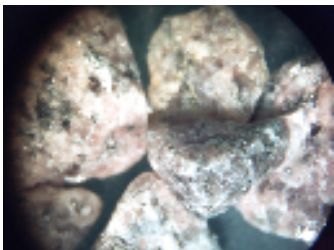
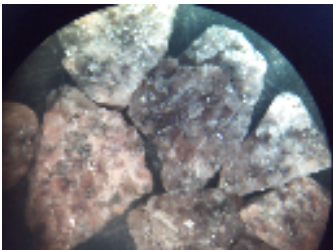
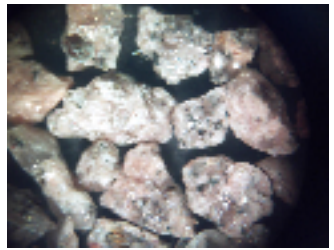
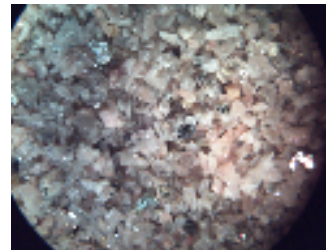

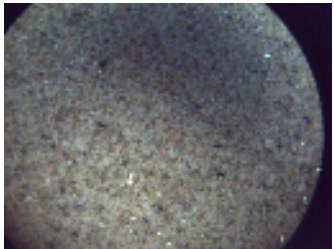
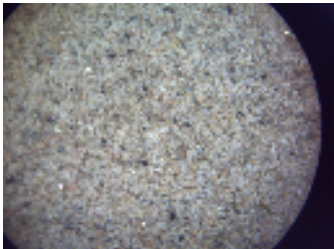

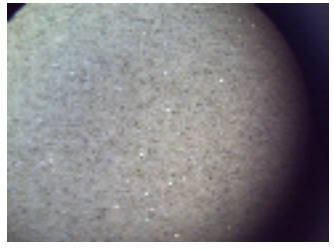
		
Fração: +12,5 mm	Fração: -12,5+9,5 mm	Fração: -9,5+6,3 mm
		
Fração: -6,3+4,75 mm	Fração: -4,75+2,36 mm	Fração: -2,36+1,18 mm
		
Fração: -1,18+0,6 mm	Fração: -0,6+0,3 mm	Fração: -0,3+0,15 mm
		
Fração: -0,15+0,075 mm	Fração: -0,075 mm	

Figura 4 – Fotos das diferentes frações granulométricas

4.4 Análise dos Resultados da Difração de Raios-x

As amostras, em geral, apresentaram padrões de difração de raios-x muito semelhantes, como pode ser observado na figura 6, que apresenta a superposição de todos os difratogramas das amostras analisadas. Para a identificação das fases, foi interpretada apenas uma amostra (figura 8), cuja superposição dos padrões do ICDD-PDF serviu para todas as outras amostras. O resultado da identificação revelou a presença de quartzo, muscovita e dos feldspatos albita e microclínio, além de traços de caulinita e um pico muito pequeno em torno de $6,5^\circ 2\theta$, que pode ser de uma esmectita. Estes dois últimos argilominerais devem ser produtos do intemperismo dos feldspatos.

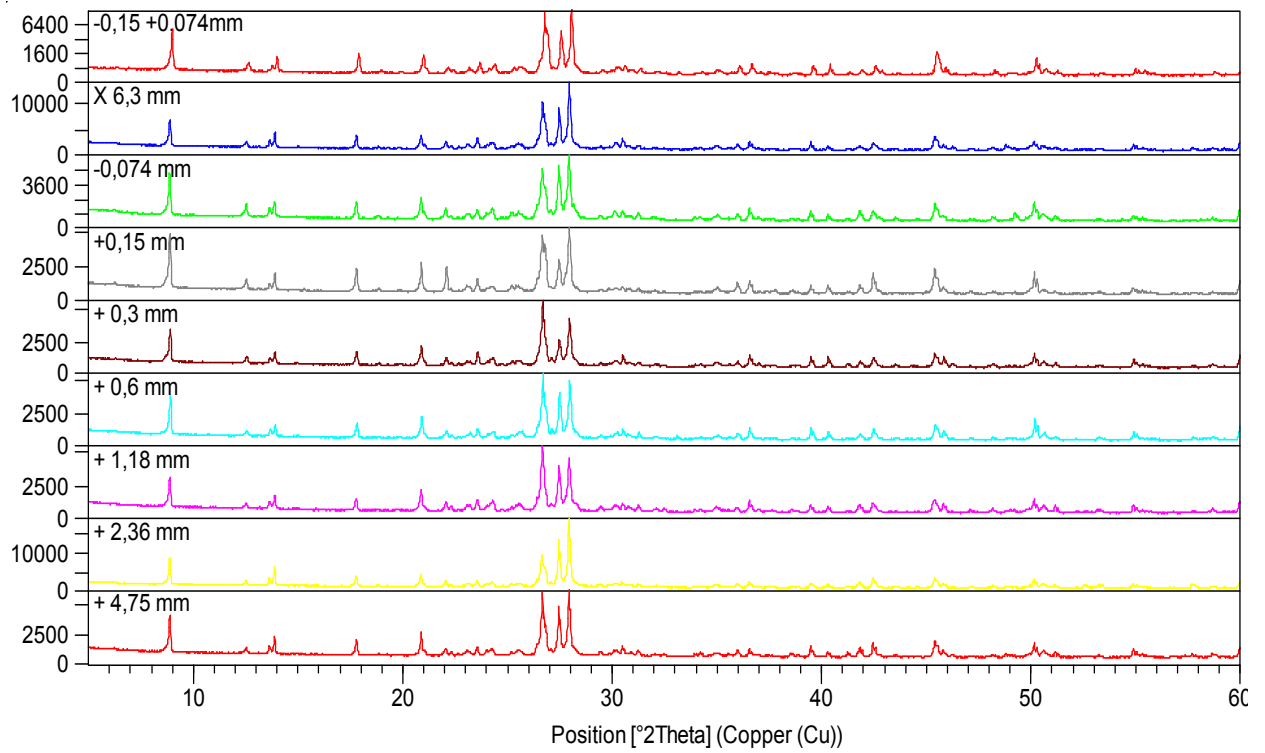


Figura 6 - Superposição de todos os difratogramas das amostras analisadas

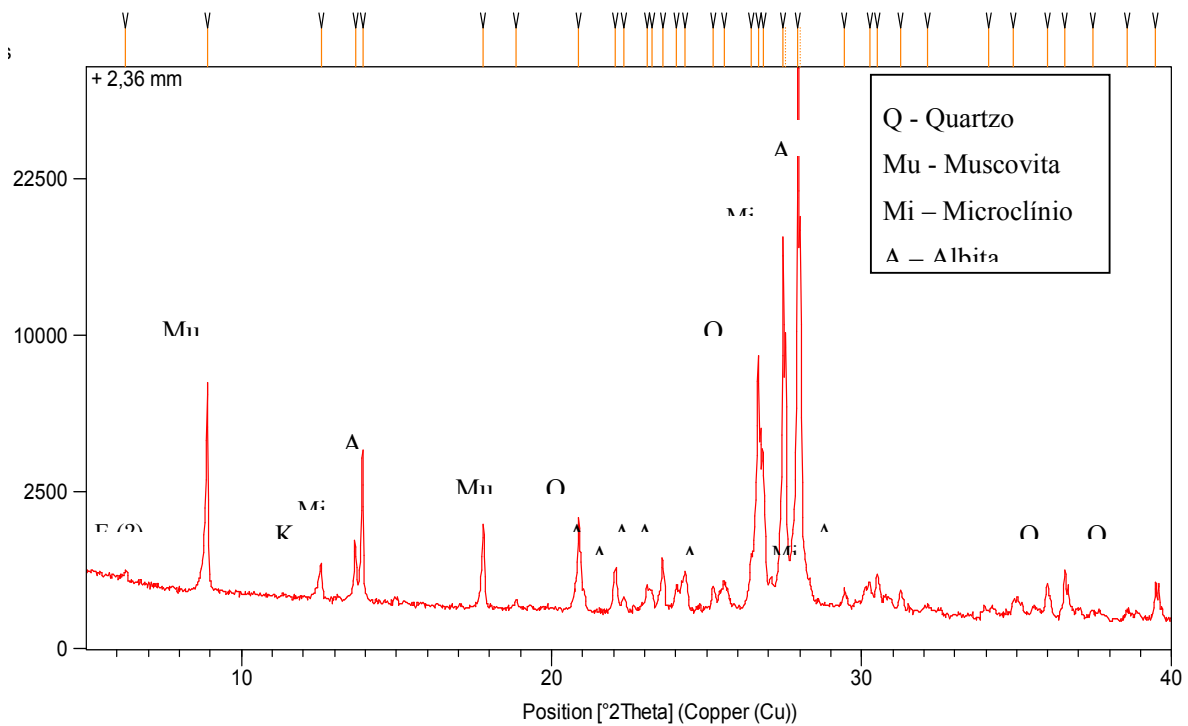


Figura 8 - Detalhe do Difratograma da amostra +2,36 mm, no intervalo de 5-40° 2θ, com a interpretação da mineralogia das fases cristalinas identificadas

5 CONCLUSÃO

A caracterização mineralógica dos finos de pedreira se baseou em identificar qualitativamente os minerais presentes. Há a presença de quartzo, muscovita e feldspato (albita e microclínio), atestadas por difração de raios-x e de observações microscópica e macroscópica. Além disso, foi definida a distribuição granulométrica, e como pode ser observado as amostras se apresentam com granulometria média a fina (que variam de 9,5 mm a 0,075 mm) e as formas dos grãos são irregulares ou angulosos.

O trabalho revelou a importância econômica e ambiental que há no aproveitamento dos finos da pedreira em Tracuateua (PA). Para se obter a otimização da produção do empreendimento e utilização sustentável dos recursos naturais há a necessidade de se aproveitar os finos gerados durante o processo de beneficiamento. Os ensaios realizados indicam a possibilidade de uso dos finos de pedreira como agregado miúdo na construção civil em substituição à areia natural.

6 REFERÊNCIAS

Almeida, S.L.M. **Aproveitamento de rejeitos de Santo Antônio de Pádua, RJ para produção de brita e areia**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, 118p. São Paulo, 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9935: agregados - terminologia**. Rio de Janeiro, 1987b. 6 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 26 : Agregados – Amostragem**, 2001.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 27 : Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**, 2001.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248 : Agregados – Determinação da composição granulométrica**, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 46 : Agregado – determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem**, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211 : Agregados para Concreto - Especificação**, 2005.

Governo do Estado do Pará. **Município de Tracuateua**. Disponível em: www.governodopara.pa.gov.br/conhecaopara/tracuateua.asp . Acesso em: 02/ 2005.

Mendes, K. S. **Viabilidade do emprego de finos de basalto em concreto compactado a rolo**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 109p. São Paulo, 1999.

Neto, C.S. **A importância dos conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para argamassas e concretos**. Areia e Brita, nº 12, p. 26-28, 1999.

Valverde, F. M. **Agregados para Construção Civil**. Sumário Mineral Brasileiro. DNPM/MME – Brasília, 2001.2p. Disponível em: www.dnpm.gov.br. Acesso em : 15/02/2005.

Valverde, F. M. **Agregados para Construção Civil**. Sumário Mineral Brasileiro. DNPM/MME – Brasília, 2004.2p. Disponível em: www.dnpm.gov.br. Acesso em : 15/02/2005.

7 AGRDECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação da Área Profissional de Mineração do CEFET/PA e ao Instituto de Geociências da UFPA por disponibilizar a infra-estrutura necessária para realização dos ensaios, à Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Pará e ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica júnior.