

Sistematização de Caracterização de Lamas Abrasivas de Corte de Rocha Ornamental para Orientação de seu Aproveitamento como Matéria Prima na Indústria da Construção Civil

Juliana Martins Silveira de Moraes

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, msmjuh@gmail.com

Patrício José Moreira Pires

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, patricio.pires@gmail.com

Brenda da Silva Altoé

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, brenda.altoe@gmail.com

Sidineidy Izoton

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, sidineidy.izoton@hotmail.com

RESUMO: O setor de rochas ornamentais tem se destacado mundialmente nestas últimas décadas, produzindo inúmeras rochas para ornamentação e revestimento anualmente. Durante o processamento destas rochas há uma geração significativa de resíduos sólidos, contabilizando assim cerca de 60.000 toneladas de resíduo mensais somente no estado do Espírito Santo. Legalmente estes resíduos devem ser descartados em aterros, mas, devido a falta de fiscalização e altos custos de transporte, habitualmente estes rejeitos são estocados nos pátios das indústrias, em lagoas de sedimentação ou até mesmo lançados no meio ambiente, fazendo assim com que, para as empresas de beneficiamento, tanto o resíduo como seu descarte sejam um dos principais passivos ambientais gerados pelo processo produtivo. Este artigo apresenta a caracterização química, física, mineralógica e morfológica, obtidas através de ensaios laboratoriais e técnicas experimentais, dos resíduos gerados no processo de desdobramento da rocha ornamental, tanto proveniente do tear convencional (RBRO-TC) quanto do tear com fio diamantado (RBRO-FD), afim de indicar suas potencialidades e orientar as possibilidades de seu reuso como insumo na fabricação de novos materiais na indústria da construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo, Tear convencional, Fio diamantado, Impactos ambientais.

1 INTRODUÇÃO

O setor de rochas ornamentais vem se sobressaindo nacionalmente nestas últimas décadas, sendo responsável por uma parcela expressiva da economia do nosso país. Os inúmeros afloramentos rochosos existentes somados ao grande parque de beneficiamento do país, proporcionaram autonomia no processo produtivo, desde a exploração das jazidas até o polimento das rochas, fazendo com que o Brasil se tornasse o quarto maior produtor de rochas

ornamentais e o sétimo maior exportador em volume físico total. O Estado do Espírito Santo tem colaborado significativamente com estas estatísticas, participando de aproximadamente 60% da produção de granitos, mármore e materiais afins. (ABIROCHAS,2013).

Na contramão do progresso desta cadeia produtiva, há uma problemática ambiental em virtude dos resíduos sólidos gerados durante a serragem da rocha. Segundo Monteiro et.al (2004) o volume de resíduo sólido gerado nas etapas de beneficiamento da rocha ornamental

corresponde cerca de 20% a 35% do bloco de rocha, totalizando cerca de 60.000 toneladas mensais de resíduo somente no estado do Espírito Santo. (CALMON,2010).

A geração do resíduo e seu consecutivo descarte são, para as empresas de beneficiamento, um dos principais passivos ambientais resultantes do processo de serragem.

O destino final mais adequado a estes resíduos são os aterros, porém, devido a ausência de fiscalização, é recorrente o lançamento destes rejeitos em locais inapropriados, como depósitos provisórios, pátios ao redor das empresas, inutilizando grandes áreas que poderiam ser aproveitadas para fins produtivos; e no ecossistema, gerando ainda mais problemas de cunho ambiental, como a contaminação de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, assoreamento de córregos e rios, colmatação dos solos, poluição da atmosfera e do solo.

Diante deste panorama, muitas pesquisas tem sido realizadas, buscando viabilizar a incorporação deste resíduo como insumo em novos materiais, visando a mitigação dos impactos ambientais, sociais e econômicos causados por estes rejeitos. Como o setor da construção civil consome grandes quantidades de matéria-prima, muitas destas pesquisas recentes foram voltadas para avaliação do desempenho de materiais da construção civil, com adição de resíduo, como: argamassa (CALMON et al,1997), concreto (GONÇALVES, 2000), concreto asfáltico (CALMON et al ,2014), cerâmica vermelha (MELLO,2006), dentre outros. Estes trabalhos tem o objetivo em comum de abrir caminhos para o reuso deste resíduo, fazendo com que o mesmo seja cada vez mais encarado como matéria-prima e não como rejeito.

Apesar da gama de estudos já realizados sobre o reaproveitamento do material, ainda há a necessidade de uma ponte que ligue os resultados já obtidos a uma metodologia de aproveitamento racional e lucrativo por parte das empresas beneficiadoras.

Desta forma, este presente trabalho tem como objetivo obter as características necessárias para a identificação das potencialidades do resíduo de beneficiamento

de rocha ornamental gerado no tear convencional (RBRO-TC) e do resíduo de beneficiamento de rocha ornamental gerado no tear com fio diamantado, durante o processo de desdobramento da rocha, visando assim uma posterior incorporação dos mesmos em materiais da construção civil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo de desdobramento dos blocos de rochas ornamentais é dividido em etapas. Um destes processos é o de desdobramento da rocha, que se dá em equipamentos denominados teares, que podem ser convencionais ou com fio diamantado.

A etapa de serragem do bloco pelo tear convencional é realizada através do atrito das laminas com a rocha em meio a um fluido abrasivo, denominado de lama abrasiva. Esta lama abrasiva tem como objetivo: esfriar e lubrificar as lâminas, limpar os canais entre as chapas, atuar como abrasivo durante a serragem e evitar a oxidação das lâminas. A proporção desta lama varia conforme os conhecimentos e peculiaridades dos serradores e é constituída basicamente de água, pó de pedra, granalha e cal.

A etapa de serragem do bloco pelo tear com fio diamantado é realizada somente com a adição de água para a lubrificação e resfriamento do fio. Como não há a adição de outros componentes, o resíduo gerado neste processo é constituído de pó de pedra e água. Este resíduo não é reaproveitado no processo de corte como o resíduo gerado no tear convencional, sendo descartado na primeira vez que utilizado. Uma visível vantagem deste processo de serragem é a possibilidade de utilização deste resíduo gerado em materiais cerâmicos, pois, ao contrário do resíduo oriundo do tear convencional, o resíduo proveniente do fio diamantado não possui ferro (granalha), eliminando assim os riscos de oxidação.

A etapa de desdobramento das rochas ornamentais, tanto no tear convencional quanto no tear com fio diamantado, é a que mais gera resíduo durante todo o processo produtivo. Destarte, todos os resíduos gerados, no processo

de beneficiamento, são encaminhados para lagoas ou tanques de sedimentação onde a água retirada retorna ao processo de serragem. Para reduzir a umidade do resíduo utiliza-se filtros-prensa.

3 METODOLOGIA

Os resíduos utilizados foram coletados em empresas de beneficiamento de rochas ornamentais localizadas no município da Serra, no estado do Espírito Santo. A amostra denominada (RBRO-TC) foi fornecida pela empresa Femabra Granitos Serraria e Polimento e a amostra denominada (RBRO-FD) foi disponibilizada pela empresa Exotic Importação e Exportação. As amostras foram quarteadas e secas em estufa por 24h a temperatura de $(100 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. Em seguida destorroadas, passadas na peneira nº10.

Para a caracterização física, uma avaliação granulométrica foi realizada, através dos ensaios de: compactação e caracterização conforme NBR 6457 (ABNT,1986), análise granulométrica conforme NBR 7181 (ABNT,1984) e determinação da massa específica conforme NBR 6508 (ABNT,1984). Ainda sobre a determinação do comportamento mecânico dos resíduos, ensaios de consistência foram executados, como: limite de liquidez conforme NBR 6459 (ABNT,1984), limite de plasticidade conforme NBR 7180 (ABNT,1984) e limite e relação de contração conforme NBR 7183 (ABNT,1982).

A determinação das características mineralógicas foram obtidas através do método de difração de raios-x, realizada no equipamento D8-Discovey da marca Bruker AXS. Para a qualificação morfológica, foram realizadas as seguintes técnicas: a microscopia eletrônica de varredura (MEV) no equipamento EVO 10 da marca Zeiss e a microscopia ótica por reflexão no equipamento ECLIPSE MA200 da marca Nikon. As características químicas do RBRO-TC e do RBRO-FD foram determinadas através de espectrometria por energia dispersiva (EDS) no equipamento X-Max da marca Oxford.

A Figura 1 apresenta as amostras dos resíduos utilizados nesta pesquisa. E as figuras 2 e 3 os resíduos em detalhe.



Figura 1: Amostra do RBRO-FD (à esquerda) e amostra do RBRO-TC (à direita).



Figura 2: Imagem 4x aumentada do RBRO-TC

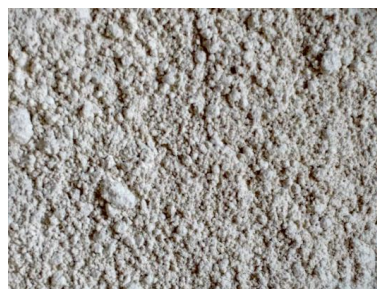


Figura 3: Imagem 4x aumentada do do RBRO-FD.

4 RESULTADOS

As tabelas 1, 2 e 3 descrevem os resultados obtidos na caracterização física do RBRO-TC e do RBRO-FD.

Tabela 1: Umidade e massa específica

Amostras	Umidade Higroscópica (%)	Massa específica (g/cm^3)
RBRO-TC	1,01%	2,84
RBRO-FD	0,95%	2,56

Tabela 2: Limite de plasticidade, de liquidez e de contração

Amostras	Índice de consistência (%)				
	LP	LL	LC	IP	GC
RBRO-TC	-	-	29,73	NP	17,86
RBRO-FD	-	-	29,98	NP	13,75

Não foi possível determinar os limites de plasticidade e de liquidez de ambos os materiais. Desta forma, o RBRO-TC e o RBRO-FD são considerados não plásticos, de acordo com a NBR 7180. (ABNT, 1984).

Tabela 3: Granulometria

Amostras	Diâmetro (mm)	RBRO-TC	RBRO-FD
Areia Grossa	2,0 - 0,60	0,40%	0,10%
Areia Média	0,60 - 0,20	1,75%	0,16%
Areia Fina	0,20 - 0,06	13,32%	1,40%
Silte	0,06 - 0,002	68,74%	82,01%
Argila	0,002 - 0	15,79%	16,42%

As curvas granulométricas do RBRO-TC e do RBRO-FD estão representadas nas Figuras 4 e 5 respectivamente.

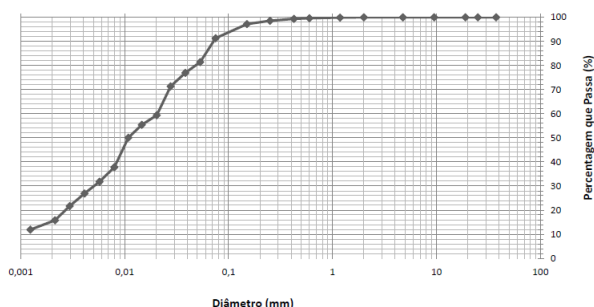


Figura 4: Curva de distribuição granulometria da amostra RBRO-TC

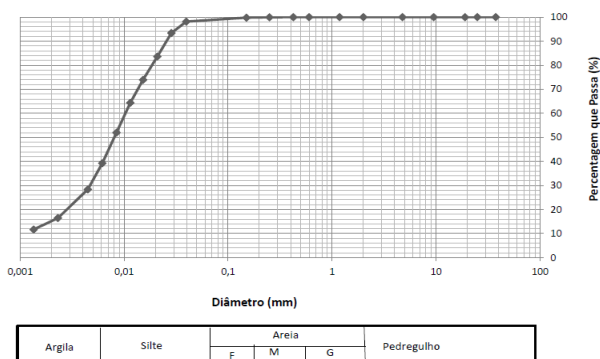


Figura 5: Curva de distribuição granulometria da amostra RBRO-FD

As fases morfológicas identificadas na DRX dos RBRO-TC e RBRO-FD estão apresentadas nos difratogramas das Figuras 6 à 13.

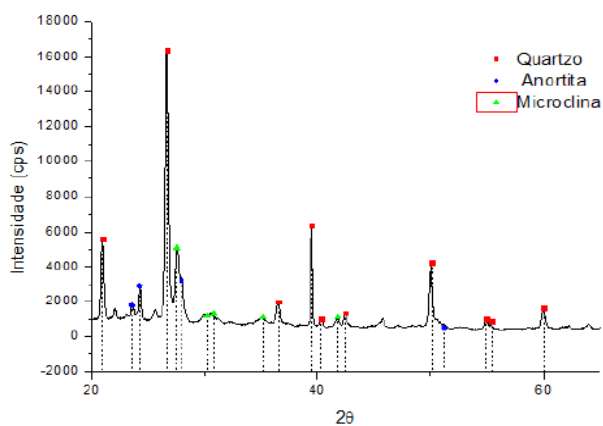


Figura 6: Difratograma do RBRO-FD não peneirado.

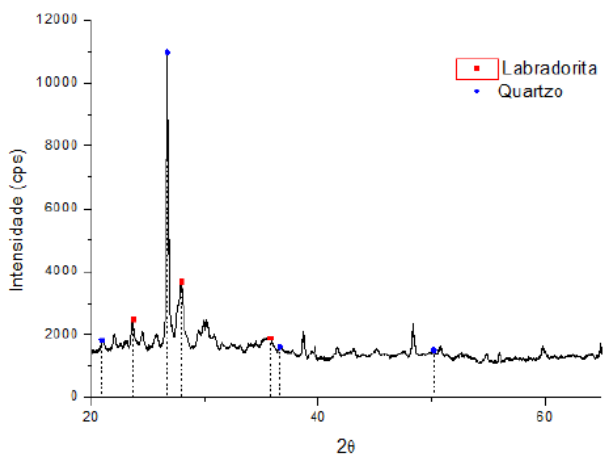


Figura 7: Difratograma do RBRO-TC não peneirado.

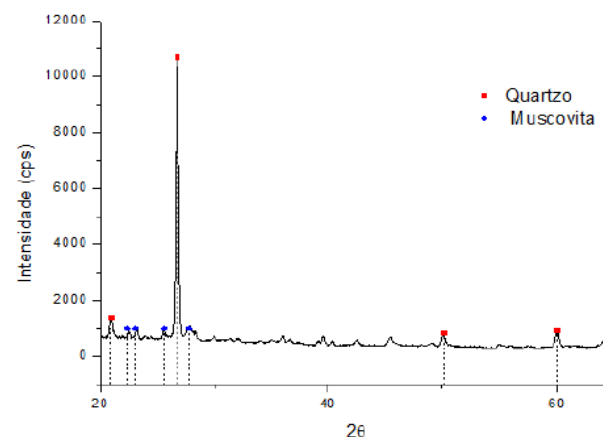


Figura 8: Difratograma do RBRO-FD, passante na peneira nº60 e retido na peneira nº100.

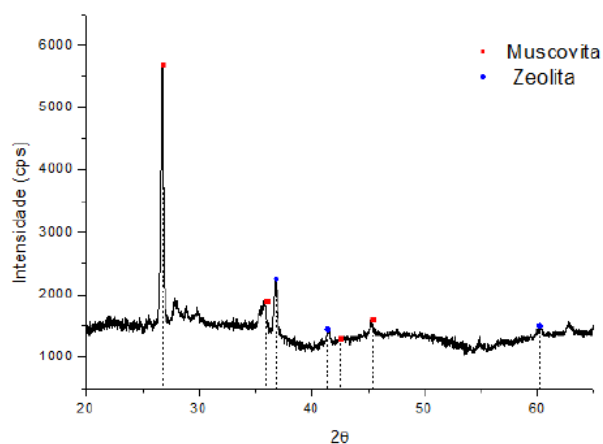


Figura 9: Difratograma do RBRO-TC, passante na peneira nº60 e retido na peneira nº100.

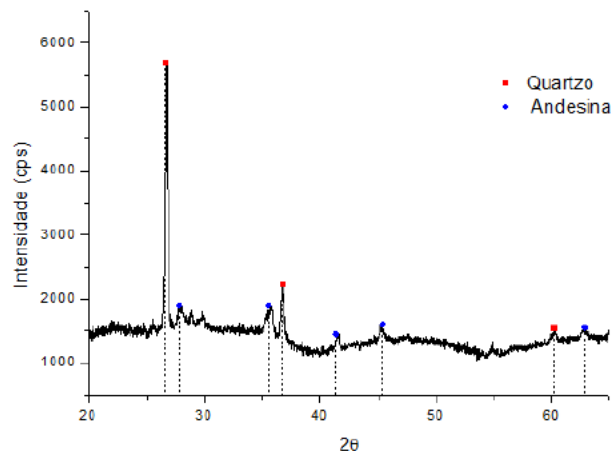


Figura 12: Difratogramas do RBRO-TC passante na peneira nº40 e retido na peneira nº60.

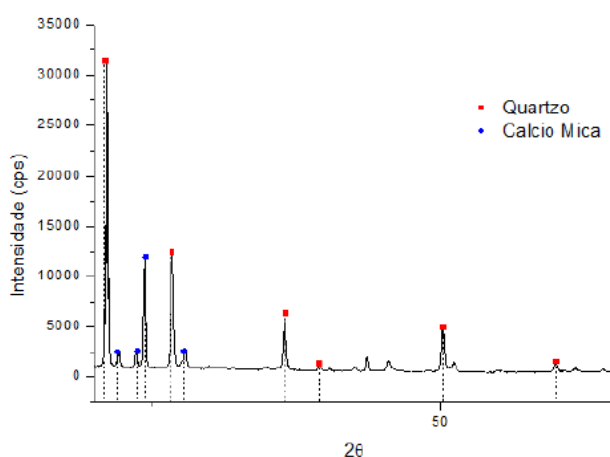


Figura 10: Difratograma do RBRO-FD, passantes na peneira nº100 e retido na peneira nº200.

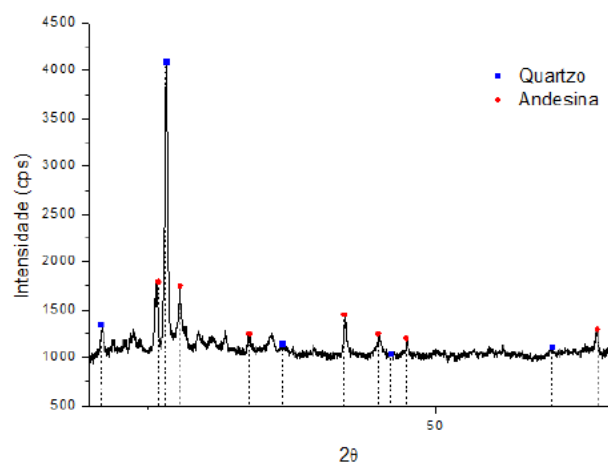


Figura 13: Difratogramas do RBRO-TC passante na peneira nº30 e retido na peneira nº40.

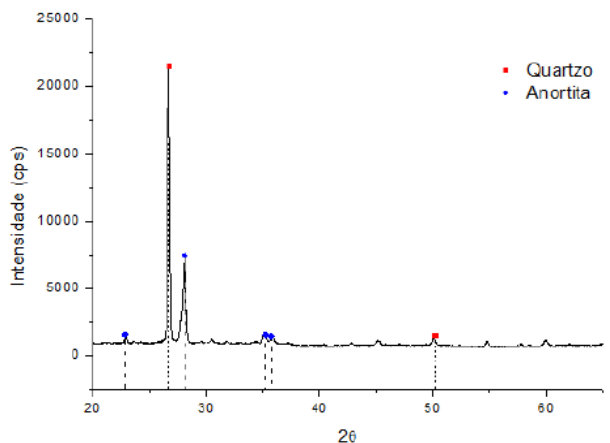


Figura 11: Difratograma do RBRO-TC, passante na peneira nº100 e retido na peneira nº200.

Em resumo, os minerais existentes nas amostras de RBRO-TC e RBRO-FD, de acordo com o ensaio de DRX, são os descritos na tabela a seguir.

Tabela 4: Minerais encontrados na DRX

Grupo Mineral	Mineral	RBRO-TC	RBRO-FD
Feldspato	Andesina	X	
	Anortita	X	X
	Labradorita	X	
	Microclina		X
Mica	Muscovita	X	X
Quartzo	Quartzo	X	X

A EDS foi realizada em diferentes pontos dos resíduos, para a determinação da composição química das amostras. A tabela 5 informa os resultados da análise química do RBRO-TC e do RBRO-FD por EDS.

Tabela 5: Análise química por EDS

Elementos Químicos	RBRO-TC (%)		RBRO-FD(%)	
	Ponto 19	Ponto 21	Ponto 12	Ponto 14
O	50,0	51,6	46,4	59,4
Si	20,9	16,3	29,0	35,4
Al	8,2	6,7	10,3	1,9
Fe	5,5	6,5	-	-
K	5,2	4,6	11,4	1,2
Mg	2,9	3,2	-	-
Ca	1,9	5,6	-	-
Na	1,9	1,4	0,9	0,7
Cu	1,7	2,0	2,0	1,4
Ti	1,1	1,6	-	-
Ba	0,7	0,5	-	-

A micrografias encontradas nas Figuras 14 e 15 correspondem aos resultados da (MEV) para as amostras de RBRO-TC e de RBRO-FD respectivamente.

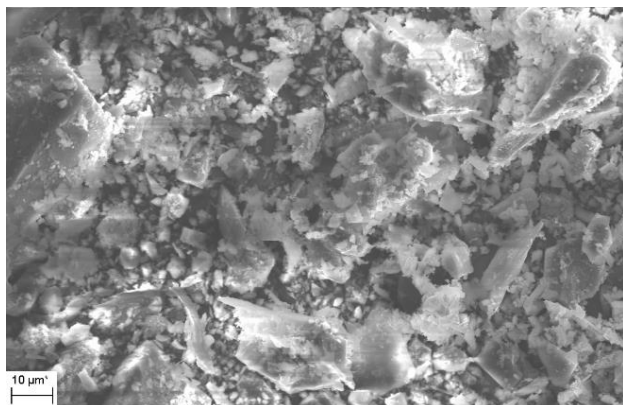


Figura 14: Imagem aumentada 2000 vezes (MEV) – RBRO-TC

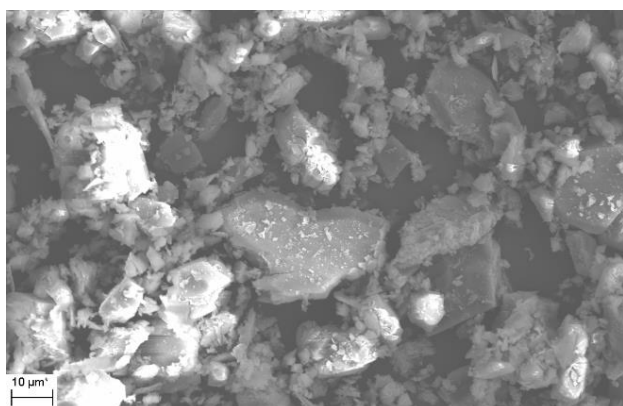


Figura 15: Imagem aumentada 2000 vezes (MEV) – RBRO-FD

As Figuras 16 e 17 apresentam as morfologias obtidas via microscopia ótica por reflexão dos resíduos estudados.

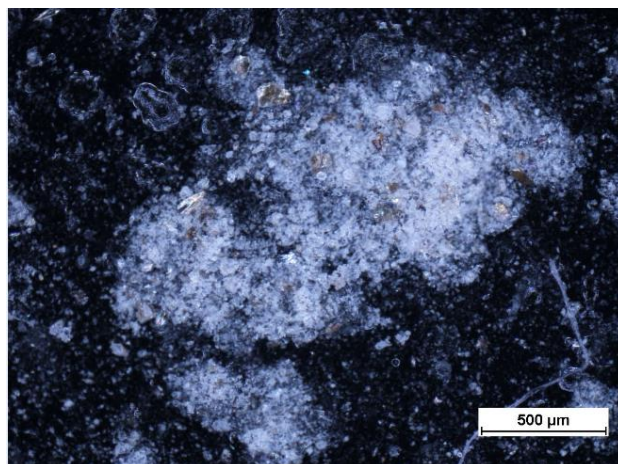


Figura 16: Imagens aumentadas 50 vezes pelo microscópio ótico do RBRO-TC.

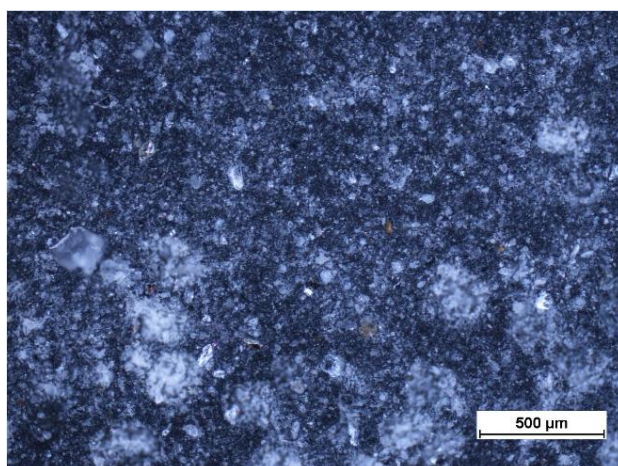


Figura 17: Imagens aumentadas 50 vezes pelo microscópio ótico do RBRO-FD.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base nos resultados da massa específica, verificou-se que os grãos do RBRO-TC são maiores, se comparados aos grãos do RBRO-FD. Isto ocorreu devido à pouca reutilização da granalha no processo de desdobramento, fazendo com que a mesma sofresse pouca abrasão e mantivesse suas dimensões, superiores ao esperado.

Mediante as análises granulométricas, foi possível constatar que, tanto o RBRO-TC quanto o RBRO-FD são constituídos predominantemente da fração granulométrica passante na peneira de abertura de malha 75 nm (tamanho do grão equivalente a silte e argila), sendo desta forma considerados materiais pulverulentos conforme a NBR 7211 (ABNT, 2005). A diferença de quase 12% na

porcentagem de areia entre os resíduos é graças a presença da granalha no resíduo oriundo da serragem no tear convencional.

As curvas granulométricas indicam que, os dois resíduos são materiais bem graduados. Observou-se uma perda de uniformidade na curva granulométrica do RBRO-TC, decorrente da variada distribuição granulométrica da granalha.

Quanto aos índices de consistência, ambos os resíduos foram considerados não plásticos, como mostrado na Tabela 1. O grau de contração do RBRO-TC é de 17,86% e o RBRO-FD é de 13,75%. Esta disparidade nos resultados decorre do fato da granalha dificultar a contração do RBRO-TC.

Analisando os dados da EDS, constatou-se que os dois resíduos são constituídos, basicamente de óxidos de silício, de alumínio e de potássio. A presença de altos teores destes óxidos nas amostras concorda com o fato destes resíduos serem provenientes de rochas silicáticas. A presença de óxido de ferro e de cálcio evidenciada somente no RBRO-TC é devido a adição da granalha, utilizada como abrasivo, e de cal, utilizada como lubrificante, no processo de desdobramento das rochas.

Com relação ao RBRO-TC, observou-se um teor de umidade de 1,01%, uma concentração de aproximadamente 70% de ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), nenhuma concentração significativa de SO_3 e aproximadamente 22% de material retido na peneira 45nm, indicaram assim a possibilidade deste material ter características pozolânicas, conforme NBR 12653 (ABNT,2012).

As análises mineralógicas com identificação das fases comprovaram a existência de quartzo, mica e feldspato nas amostras, grupos minerais típicos de rochas ígneas. As maiores intensidades foram das fases morfológicas do quartzo, indicando assim sua maior concentração nos dois resíduos.

O RBRO-TC apresentou os minerais: Andesina, anortita, labradorita (ambos do grupo dos plagioclásios); muscovita (comumente conhecida como mica branca); zeolita e quartzo (do grupo da sílica). O RBRO-FD apresentou os minerais: Anortita e microclina (grupo do feldspato potássico); muscovita; e quartzo. Os

picos dos difratogramas estão bem definidos, indicando assim a estabilidade química destes compostos cristalinos.

As micrografias, obtidas no MEV, de ambos os resíduos indicam uma morfologia angulosa dos grãos, causada pelo choque mecânico no processo de desdobramento da rocha. A dimensão dos grãos varia de 5nm à 35nm.

Por fim, a análise dos resultados obtidos na microscopia ótica por reflexão foi realizada com base nas propriedades de clivagem e ruptura dos minerais. Constatou-se que em ambos os resíduos há a presença de minerais proeminente, com um plano definido de clivagem, sendo neste caso a muscovita, detectada também na difração de raios-x. Observou-se a presença de minerais que possuíam dois planos de clivagem, sendo estes, todos os minerais encontrados que fazem parte do grupo dos feldspatos. Outro mineral encontrado nos dois materiais foi o quartzo, caracterizado pela ausência de planos definidos de clivagem e formato conchoidal de ruptura. Estas propriedades encontradas nos resultados enfatizam a existência da estrutura cristalina dos minerais.

6 CONCLUSÃO

Com os estudos realizados neste presente trabalho sobre a caracterização do RBRO-TC e do RBRO-FD no desdobramento da rocha ornamental, pode-se concluir que, ambos os resíduos são materiais silício-aluminosos, com predominância de compostos cristalinos em sua composição, promovendo assim uma estabilidade química nos resíduos. O RBRO-TC possui concentrações significativa de óxido de ferro, e de cálcio, devido a adição da granalha e da cal no processo de serragem.

Grande parte do RBRO-TC e do RBRO-FD é constituído materiais de granulometria similar a silte e argila, sendo estes considerados materiais pulverulentos e aptos, por exemplo, para serem incorporados a materiais da construção civil com a função de filler. A granulometria dos dois resíduos é considerada bem graduada, porém observa-se uma perda de uniformidade da curva granulométrica do

RBRO-TC devido a presença de partículas diferenciada, como a granalha.

Quanto a contração, observou-se uma baixa resistência de ambos os materiais com relação a compressibilidade. A análise morfológica dos resíduos em estudo demonstrou que as partículas são irregulares devido ao processo de serragem a que foram submetidos.

Com os resultados obtidos em alguns ensaios realizados neste trabalho, observou-se a possibilidade do RBRO-TC ter atividade pozolânica. Para a certificação desta propriedade, outros ensaios descritos na NBR 12653 devem ser realizados.

Com base nos resultados da caracterização, podemos concluir que é viável a utilização dos resíduos de beneficiamento de rocha ornamental como insumos na fabricação de diversos materiais da construção civil. Ao agregar valor a estes rejeitos, os mesmos terão certamente um destino produtivo, beneficiando assim a população, as indústrias de beneficiamento e de forma significativa o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais.). *Cenário Mundial do Setor de Rochas Ornamentais*. São Paulo, SP. 2013. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br/noticias.php?eve_id=1235>. Acesso em 03 ago.2013.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: *Amostragem de Resíduos*, Rio de Janeiro, 2004.
- _____. NBR 6457: *Amostras de solo-Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*, Rio de Janeiro, 1986.
- _____. NBR 7181: *Solos-Análise granulométrica*, Rio de Janeiro, 1984.
- _____. NBR 6508: *Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm- Determinação da massa específica*, Rio de Janeiro, 1984.
- _____. NBR 6459: *Solo- Determinação do limite de liquidez*, Rio de Janeiro, 1984.
- _____. NBR 7180: *Solo-Determinação do limite de plasticidade*, Rio de Janeiro, 1984.
- _____. NBR 7183: *Determinação do limite e relação de contração de solos*, Rio de Janeiro, 1982.
- _____. NBR 7211: *Agregados para concreto-Especificação*, Rio de Janeiro, 2005.
- _____. NBR 12653: *Materiais Pozolânicos- Requisitos*, Rio de Janeiro, 2014.
- Calmon, J.L. (2010) *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais: Resíduos industriais e agrícolas*, Ed. G.C. Isaias. 2.ed. São Paulo, IBRACON, Vol. 2, Cap. 51.
- Calmon, J.L.; Tristão, F. A.; Lordêllo, F.S.S. e Silva, S.A. (1997) *Reciclagem do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas*, I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidade Sustentáveis, Canela, RS.
- Cosme, R. L.; Altoe, A.; Gottardi, E. V.; Teixeira, J. E. S. L. e Calmon, J.L. (2014) *Previsão do comportamento mecânico de concretos asfálticos a partir da análise das propriedades reológicas de mástiques com fíler de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais e escória de aciaria*, XXVIII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes ANPET, Curitiba.
- Gonçalves, J.P. (2000) *Utilização do resíduo de corte de granito (rcg) como adição para produção de concretos*, Dissertação de mestrado, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Mello, R.M. (2006) *Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha*, Dissertação de mestrado, Instituto de pesquisas energéticas e nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Monteiro, S.N.; Peçanha, L.A. e Vieira, C.M.F. (2004) *Reformulation of roofing tiles body with addition of granite waste from sawing operations*. *Journal of the European Ceramic Society*, p. 2349–2356.