

# RECICLAGEM DO RESÍDUO DA SERRAGEM DE ÁGATAS E AMETISTAS PARA O APROVEITAMENTO EM ARGAMASSAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL<sup>(01)</sup>

Lanes Tramontina<sup>(02)</sup>  
Leonardo Casagrande<sup>(02)</sup>  
André Geyer<sup>(03)</sup>  
Ivo André H. Schneider<sup>(04)</sup>

## RESUMO

O Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores mundiais de ágatas e ametistas. No beneficiamento dessas pedras semi-preciosas, os geodos são processados para a produção de manufaturados, tais como porta-livros, porta-copos e cinzeiros. Nas fábricas, as pedras são serradas e polidas, acarretando em um resíduo sólido composto por um pó de rocha misturado com óleo. O impacto ambiental causado é significativo, em especial em certas localidades que concentram um grande número de fábricas. O objetivo deste trabalho foi caracterizar este resíduo e estudar a utilização em argamassas. Para isto, coletou-se uma amostra típica de uma indústria da região e o material foi analisado em relação ao teor de óleo, água, granulometria das partículas e composição mineralógica. Estudou-se a separação do óleo do pó por compressão mecânica, agitação em água e extração com solventes orgânicos. Por fim, o material foi aproveitado na confecção de argamassas. Os estudos mostraram que o resíduo apresenta 3 a 4% de óleo e 20 a 30% de água. A granulometria das partículas, predominantemente sílica criptocristalina e cristalina, é muito fina (95% abaixo de 74 µm). O pó, isento de óleo, pode ser utilizado como material de adição em concentração em torno de 4 % da massa de cimento, melhorando a resistência à compressão. O benefício econômico e ambiental da reciclagem desse resíduo é discutido.

Palavras-chave: ágata, resíduo, argamassa

- 
- (01) Trabalho a ser apresentado no XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa e I Seminário de Química de Colóides Aplicada à Tecnologia Mineral, Águas de São Pedro - SP, 23 a 26 de agosto de 1998.
- (02) Bolsistas do Programa PIBIC-CNPq da Universidade de Passo Fundo.
- (03) Engenheiro Civil, Mestre em Construção Civil, Professor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo.
- (04) Engenheiro de Minas, Doutor em Metalurgia Extrativa, Professor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo.

## INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta-se no mercado gemológico internacional como um dos maiores fornecedores de gemas de cor. O Estado do Rio Grande do Sul destaca-se pela produção de ágatas, ametistas e citrinos (TUBINO *et al.*, 1996). Os municípios de Soledade, Salto do Jacuí e Lajeado concentram o maior número de indústrias de processamento de pedras preciosas no RS. A matéria-prima é obtida de diversos garimpos, sendo a ágata explorada na região do Alto Jacuí e a ametista na região do Alto Uruguai (Figura 1).

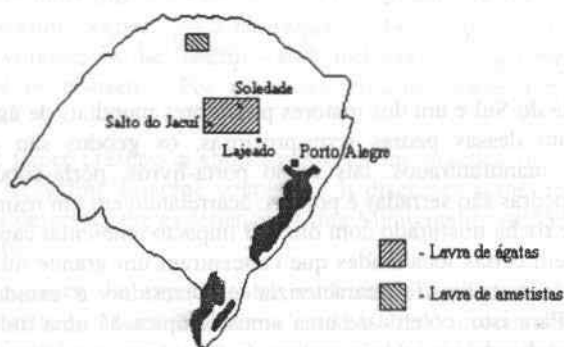


Figura 1. Regiões de lavra e municípios que realizam o beneficiamento de pedras preciosas no Estado do Rio Grande do Sul.

No beneficiamento, os geodos de ágata e ametista são processados para a produção de manufaturados. As peças mais variadas são obtidas a partir da ágata, como porta-livros, porta-copos, cinzeiros e adornos diversos. Na produção, as ágatas sofrem processos de classificação, serragem, polimento e tingimento, o que acarreta em significativos volumes de efluentes líquidos e resíduos sólidos (KNECHT, 1957; DNPM, 1975; SOUZA e SAMPAIO, 1996a; SOUZA e SAMPAIO 1996b; TUBINO *et al.*, 1996).

De forma mais específica, a operação de serragem produz um resíduo sólido composto por um pó de rocha misturado com óleo diesel ou naval. Parte desse material, após uma prensagem manual nas empresas, é reaproveitado, sendo empregado no polimento das peças de ágatas. O restante, que é descartado, proporciona um problema ambiental, pois contamina com óleo o solo e a água local. Estima-se que cerca de 50 toneladas deste resíduo são gerados por mês por indústrias de beneficiamento de ágatas e ametistas no Rio Grande do Sul.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar este resíduo, estudar procedimentos para a separação do pó de rocha do óleo e, por fim, investigar a possibilidade de utilização do pó em argamassas para a construção civil.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Amostras do resíduo

Amostras do resíduo foram obtidas em uma empresa do Município de Soledade. O material foi coletado e embalado em sacos plásticos conforme a norma NBR 10007.

### Estudos de caracterização

Análises do conteúdo de óleo foram realizadas por Extração em Soxhlet com hexano e o teor de umidade foi medido por secagem em estufa a 105°C. Os resultados apresentados constituem a média de duas medidas com erro inferior a 2%. A composição cristalina do material foi analisada por microscopia ótica e difração de raio x. A massa específica aparente foi determinada pela medida da massa de material contida em um recipiente de volume conhecido (rasado com um disco de vidro plano) e a massa específica real por picnometria. A análise granulométrica foi realizada em uma série de Peneiras Tyler com as seguintes aberturas: 1180 µm, 600 µm, 300 µm, 150 µm e 74 µm e por difração de raios laser. A análise visual do pó foi feita por microscopia eletrônica de varredura. O teor dos elementos Na, K, Ca, Mg, Fe, Al e Mn, no pó de rocha, foi determinado por espectroscopia de absorção atômica.

### Separação do óleo do pó de rocha

Estudos de separação do óleo do resíduo foram realizados por compressão mecânica, agitação em água e extração em solventes orgânicos. No primeiro caso, 500 gramas do resíduo foram colocados em um recipiente cilíndrico. A compressão foi exercida através da aplicação de uma força sobre um disco colocado sobre o material e os fluidos foram removidos por uma abertura localizada na parte inferior do cilindro. O equipamento empregado para a aplicação da força foi uma prensa para ensaios de compressão uniaxial. Em cada ensaio, a pressão foi mantida constante até a total saída dos líquidos. Nos experimentos de extração do óleo em meio aquoso, 300 gramas do material foram colocados com 500 ml de água e o sistema agitado por 30 minutos. Em alguns ensaios foi utilizado um detergente à base de alquil benzeno sulfonato de sódio e a temperatura variada. O pó foi separado da água por filtração e secado em estufa a 60°C. Na extração com solventes orgânicos, a mesma quantidade de material foi misturada com 500 ml de hexano ou éter de petróleo. O procedimento de agitação, filtração e secagem foi análogo ao anterior.

### Estudos de aproveitamento em argamassa

Frações do pó de rocha, após a extração do óleo em éter de petróleo, foram empregados na preparação de argamassas. Foram investigadas as propriedades de resistência à compressão empregando o resíduo em substituição ao cimento e como material de adição. Os ensaios foram realizados segundo as normas NBR 5752 e NBR 7215. A proporção de cimento e areia foi de 1:3. A areia empregada foi de granulometria média. Todos os resultados apresentados constituem a média de três experimentos independentes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização do material

Análises das amostras demonstraram que o resíduo apresenta, tipicamente, 3 a 4% de óleo e 20 a 30% de água, sendo o restante rocha fragmentada. Estudos de caracterização da fração sólida, por análise microscópica e difração de raios x, indicaram que a composição mineralógica do resíduo é, predominantemente, sílica cristalina e criptocristalina. Acima de 90% do material é composto por quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). O teor de alguns elementos químicos de uma amostra do resíduo encontra-se na Tabela 1. A massa específica aparente foi determinada em  $0,72 \text{ g/cm}^3$  e a massa específica real em  $2,0 \text{ g/cm}^3$ .

Tabela 1. Principais contaminantes do resíduo da serragem.

Elemento	Teor (% , em base seca)
Na	0,68
K	0,08
Ca	0,22
Mg	0,02
Al	5,20
Fe	0,12

A análise granulométrica encontra-se na Tabela 2. Observa-se que 95% do material encontra-se abaixo  $74 \mu\text{m}$ . Os 5% de material grosso é devido à presença de lascas decorrentes da quebra das pedras durante a operação de serragem. A análise da fração fina por difração de raios laser demonstrou a presença de dois picos distintos, um entre 10 e  $20 \mu\text{m}$  e outro entre 0,4 e  $0,8 \mu\text{m}$ . O  $D_{50}$  (diâmetro em que fica retido 50% do material) foi determinado como  $2,5 \mu\text{m}$ . Uma fotografia por microscopia eletrônica de varredura é apresentada na Figura 2.

Tabela 2. Análise granulométrica da fração sólida do resíduo.

Peneira	Fração em massa (%)
1180 $\mu\text{m}$	1,9
600 $\mu\text{m}$	0,9
300 $\mu\text{m}$	0,8
150 $\mu\text{m}$	0,4
74 $\mu\text{m}$	0,7
Fundo	95,3

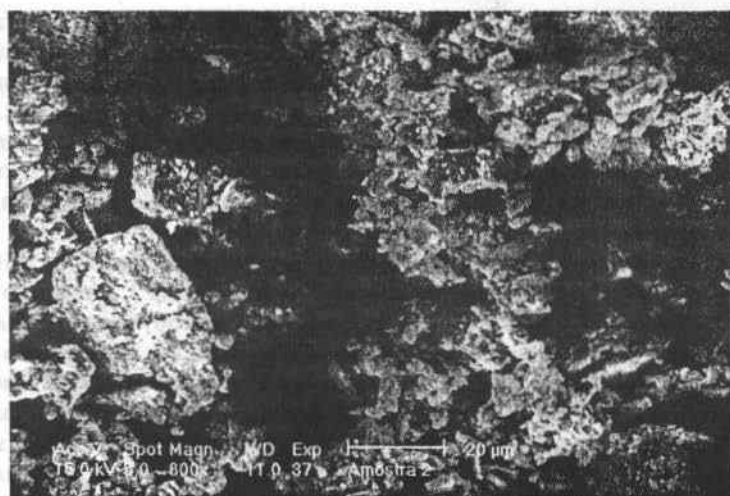


Figura 2. Fotografia por microscopia eletrônica de varredura do pó de rocha.

### Separação do óleo do pó de rocha

Ensaio preliminares de utilização do pó de rocha em corpos de prova indicaram que é essencial a remoção do óleo para não comprometer a resistência à compressão de argamassas.

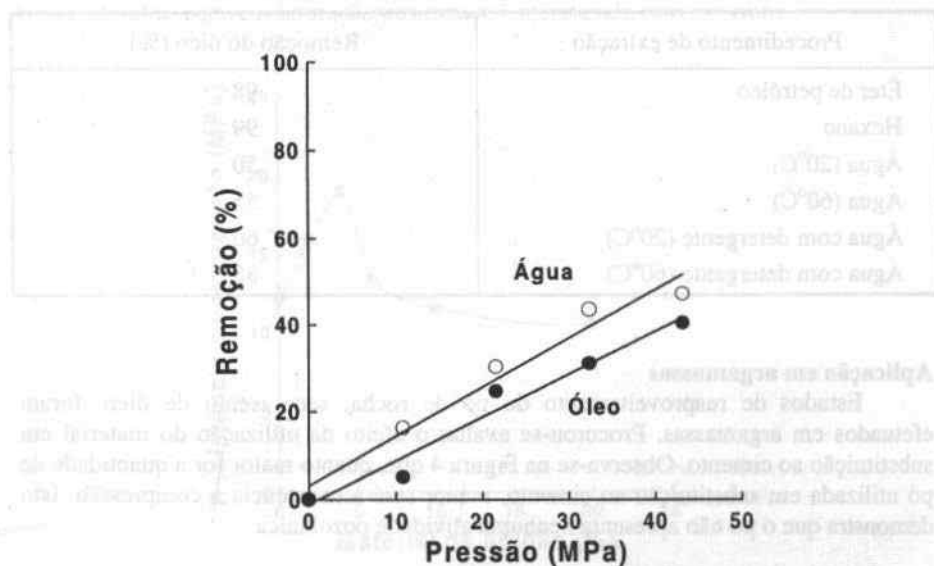


Figura 3. Remoção do óleo e da água do resíduo por compressão mecânica.

A Figura 3 apresenta os valores de remoção de óleo e água em função da pressão em uma amostra contendo 4% de óleo e 30% de água. A prensagem manual, (que dificilmente alcança uma pressão de 3 MPa) realizada por muitas indústrias, não permite uma significativa remoção dos fluidos. A compressão mecânica, que no equipamento empregado atinge pressões próximas a 50 MPa, retira aproximadamente 40% do óleo e 50% da água contida. Mesmo assim, o teor de óleo, em torno de 2% após a extração, ainda é bastante elevado para o emprego do resíduo em agregados para a construção civil.

Resultados dos estudos de separação do óleo do pó de rocha por agitação em água e extração em solventes orgânicos encontram-se na Tabela 3. A agitação em água e posterior sedimentação permite uma separação de somente 50% do óleo. A adição de um detergente à base de alquil benzeno sulfonato de sódio e o aquecimento do meio promovem uma melhora significativa no processo de extração com água, chegando a remoção do óleo a 85%. Observa-se que a água é um meio preferível na prática industrial, pois apresenta um menor preço e menor grau de toxicidade que os solventes orgânicos. Entretanto, faz-se necessário um posterior tratamento da água para a remoção do óleo emulsificado oriundo do processo de extração.

O emprego de solventes orgânicos, tais como éter de petróleo e hexano, promovem a remoção e recuperação de quase 100% do óleo. Esta prática foi considerada a preferível para ser efetuada nos estudos de laboratório pela alta eficiência e simplicidade. Industrialmente pode também ser aplicada, apesar de que a um custo elevado.

Tabela 3. Extração do óleo com éter de petróleo, hexano, água e água com detergente.

Procedimento de extração	Remoção do óleo (%)
Éter de petróleo	98
Hexano	99
Água (20°C)	50
Água (60°C)	55
Água com detergente (20°C)	60
Água com detergente (60°C)	85

### Aplicação em argamassas

Estudos de reaproveitamento do pó de rocha, seco isento de óleo, foram efetuados em argamassas. Procurou-se avaliar o efeito da utilização do material em substituição ao cimento. Observa-se na Figura 4 que, quanto maior for a quantidade de pó utilizada em substituição ao cimento, menor será a resistência à compressão. Isto demonstra que o pó não apresenta nenhuma atividade pozolânica.

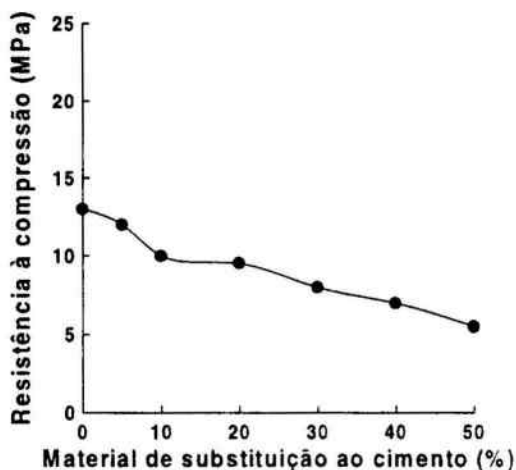


Figura 4. Resistência à compressão da argamassa utilizando o pó de rocha (sem óleo) em substituição ao cimento.

Resultados de estudos de resistência à compressão utilizando o pó de rocha como material de adição encontram-se na Figura 5. Repara-se que o material permite uma melhora na resistência quando empregado em uma concentração em torno de 4% da massa de cimento. Nesta proporção, o pó de rocha preenche os espaços vazios existentes entre os grãos de areia, promovendo uma maior resistência da argamassa. Após este valor, ocorre a saturação dos espaços intersticiais entre os grãos.

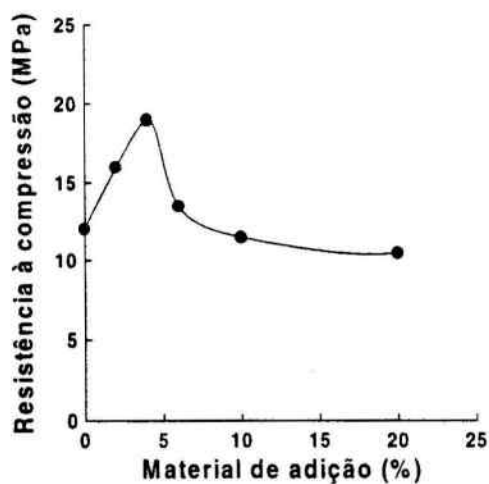


Figura 5. Resistência à compressão da argamassa utilizando o pó de rocha (sem óleo) como material de adição.

A Tabela 4 resume os valores de resistência à compressão da argamassa empregando o pó de rocha como material de adição (4% da massa de cimento). São apresentados os valores obtidos com o pó sem extrair o óleo e com o pó após a extração do óleo. A referência é a preparação normal da argamassa. Os valores da tabela claramente demonstram que a extração do óleo é fundamental para o aumento da resistência da argamassa.

Tabela 4. Efeito da extração ou não do óleo sobre a resistência à compressão, utilizando o pó da serragem de pedras como material de adição.

Material de adição	Resistência à compressão (MPa)
Isento	14,5
4% do pó da serragem com óleo (4% de óleo)	13,5
4% do pó da serragem sem óleo	17,2

Atualmente, diversos estudos têm sido realizados a fim de se empregar materiais alternativos na construção civil; incluindo pó de rochas, cinzas diversas e diferentes resíduos industriais (PRUDENCIO *et al.*, 1995).

No caso específico do pó oriundo da serragem de ágatas e ametistas, verificou-se a possibilidade de utilização como material de adição em função de sua pequena granulometria. Apesar desse resíduo não ser produzido em larga escala (estima-se que a produção no RS esteja em torno 50 t/mês), pode ser empregado pelas próprias empresas de pedras preciosas nas ampliações de suas instalações e em eventuais outras situações.

Ressalta-se, também, que posteriores estudos devem ser efetuados no sentido de se encontrar outras aplicações para este material. Devido a sua granulometria e composição, pode ser utilizado como abrasivo. Ainda, se purificado, pode ser a matéria-prima para a obtenção de quartzo fundido, o qual possui um mercado bastante sofisticado na indústria ótica, de equipamentos elétricos, química básica e de aparelhagem científica e de precisão (LUZ e NETO, 1995).

## CONCLUSÕES

Portanto, as principais conclusões deste trabalho são:

- A serragem de pedras preciosas acarreta em um resíduo de partículas de SiO<sub>2</sub> com tamanho muito pequeno. O teor de óleo no pó de rocha é de 3 a 4%. O descarte desse material acarreta em um problema ambiental, pois contamina com óleo o solo e a água local.

- A remoção do óleo do pó de rocha pode ser realizada parcialmente por compressão mecânica ou agitação em água. A remoção completa pode ser efetuada por extração em solventes orgânicos, como por exemplo o hexano e o éter de petróleo.



- O resíduo da serragem de ágatas e ametistas, após a extração do óleo, pode ser empregado na construção civil como material de adição, aumentando a resistência à compressão de argamassas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio financeiro e pelas bolsas iniciação científica dos dois primeiros autores do trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **Pozolanas - Determinação do Índice de Atividade Pozolânica com Cimento Portland**. NBR 5752. 1977.
- ABNT. **Ensaio de Cimento Portland**. NBR 7215, 1982.
- ABNT. **Amostragem de Resíduos - Procedimentos**. NBR 10007. 1987.
- DNPM. **Perfil Analítico da Ágata**. Ministério de Minas e Energia. 38p.. 1975.
- KNECHT, T. Coloração Artificial de Ágatas. **Gemologia**, n.7, p.1-9, 1957.
- LUZ, A. B.; NETO, J. P. Obtenção do Pó de Quartzo de Alta Pureza. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA.. 1995. **Anais...** Rio de Janeiro, 1995, p.191-202.
- PRUDÊNCIO, L. R.; COELHO, A. H.; GUTSTEIN, D. Utilização do Pó-de-Pedra para a Produção de Agregado Miúdo para Uso em Concreto. In: XXVII JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 1995, Tucumán, Argentina. **Anales...** Tucuman, Argentina, 18 a 22 de Septiembre de 1995, p.173-184.
- SOUZA, J. C.; SAMPAIO, C. H. Lapidação Manual de Ametistas no Rio Grande do Sul. In: IV CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 1996a. Canela, RS. **Egatea...** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996a. vol. esp., p.391-398.
- SOUZA, J. C.; SAMPAIO, C. H. Lapidação Mecanizada de Ametistas no Rio Grande do Sul. In: IV CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 1996. Canela, RS. **Egatea...** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996b. vol. esp., p.399-405.
- TUBINO, L. C. B.; SOUZA, J. C.; SAMPAIO, C. H. Tratamento Industrial da Ágata em Bruto. In: IV CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 1996. Canela, RS. **Egatea...** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. vol. esp., p.355-359.

## RECYCLING THE RESIDUE FROM AGATES AND AMETHYSTS CUTTING FOR UTILIZATION IN THE CIVIL CONSTRUCTION

Lanes Tramontina  
Leonardo Casagrande  
André Geyer  
Ivo André H. Schneider

### ABSTRACT

The agates and amethysts produced in the southern Brazil are exported worldwide. These stones are processed to produce several ornamental objects. In the factories, the stones are mechanically cut and polished, which produces a powder residue mixed with oil and water. The environmental effects of the disposal of this residue is significant, specially in the localities where several factories are placed. This work aims to characterize and to study this material to apply in aggregates for civil construction. Thus, a typical sample of this residue was collected from a local industry and the material was analyzed in terms of oil and water content, particle size and mineralogical composition. Studies of oil separation were carried by mechanical pressure, agitation in water and removal with organic solvents. Finally, this material was used in sand aggregates as a filling material. The studies showed that the residue presents about 3-4% oil and 20-30% water. The material is composed mainly by very fine quartz particles, about 95 % below 74  $\mu\text{m}$ . The powder, without oil, can be used as a filling material in mixtures for sand aggregates. The economic and environmental profits of the reutilization of this material is discussed.

Key-word: agate, residue, concrete