

# **Desenvolvimento de uma rota de recuperação do diamante sintético no âmbito do Programa Centelha**

## **Development of a route for the recovery of synthetic diamond within the scope of the Centelha Program**

**Phillipe Fernandes de Almeida**

Bolsista PCI, Tecnólogo em Rochas Ornamentais, D.Sc.

**Francisco Wilson Hollanda Vidal**

Supervisor, Eng. de Minas, D. Sc.

### **Resumo**

A etapa de serragem de blocos em teares multifio diamantado gera um resíduo contendo, além dos finos da rocha processada com umidade, fragmentos de diamantes passíveis de recuperação. Neste sentido, o presente trabalho apresenta o projeto que será fomentado pelo Programa Centelha, embasado em pesquisas do CETEM, em seu Núcleo Regional do Espírito Santo - NRES, que visa a elaboração de uma rota de beneficiamento dos resíduos oriundos da serragem em teares multifio diamantados para a recuperação e reutilização destes diamantes sintéticos em ferramentas diamantadas, visando o desenvolvimento uma nova atividade industrial, seguindo os preceitos da Economia Circular e da Mineração Urbana. O primeiro passo para o desenvolvimento do projeto é a definição do critério de coleta de resíduos de acordo com as etapas do seu tratamento na indústria e da sua fonte litológica geradora, para o embasamento dos processos de classificação e concentração em usina piloto. O projeto está em fase de implementação, e sua execução é uma oportunidade de aplicar na prática industrial os estudos desenvolvidos pelo CETEM/NRES.

**Palavras chave:** diamantes sintéticos, mineração urbana, economia circular, rochas ornamentais.

### **Abstract**

The step of diamond multiwire sawing blocks in the dimension stone sector produces a residue containing, besides the fines of processed rock, grains of synthetic diamonds that can be recovered. In this context, the present paper presents the project that will be promoted by the Centelha Program, based on CETEM research, carried out at the Núcleo Regional do Espírito Santo - NRES, which aims to elaborate a route for the recovery of diamonds present in the residues generated by the sawing of blocks for their reuse in new tools. This recovery process may be a new industrial activity, following the precepts of Circular Economy and Urban Mining. The first step to develop the project is to define the method of collecting waste in the industries and the identification of its lithological source, to support the classification and concentration processes in a pilot plant. The project is being implemented, and its execution is an opportunity to apply the studies developed by CETEM / NRES in industrial practice.

**Key words:** synthetic diamonds, urban mining, circular economy, dimension stones.

## 1. Introdução

O uso de ferramentas diamantadas pode ser considerado o principal fator do avanço tecnológico no setor de rochas ornamentais registrado nas últimas décadas, com destaque para os teares multifio diamantados, que na fase de beneficiamento é a principal tecnologia que desdobra o bloco em chapas. Esse equipamento proporcionou um ganho de competitividade para as indústrias de beneficiamento, com processos mais limpos do ponto de vista ambiental, com maior produtividade e menores custos operacionais, possibilitando ainda o processamento mais eficiente de rochas com dureza elevada ou frágeis mecanicamente (pegmatitos e outras rochas exóticas).

Um dos aspectos importantes a ser considerado no setor de rochas ornamentais é a sua produção anual de resíduos sólidos, gerados em todas as etapas de transformação das rochas em produtos acabados. Os volumes gerados pela etapa de serragem correspondem a 40% do volume inicial do bloco, sendo 26% referentes aos resíduos finos (sulco gerados na produção das chapas) e 14% aos grossos (casqueiros e aparas) (FREIRE et al., 2013). Estima-se que no Estado do Espírito Santo, que é responsável pelo beneficiamento de cerca 90% das rochas do País, sejam produzidos cerca de 1,5 Mt de resíduos (VIDAL et al., 2014).

Agregar valor a estes resíduos é um dos principais desafios enfrentados pelo setor de rochas ornamentais, juntamente com sua correta destinação. Alguns estudos foram desenvolvidos nas últimas décadas com o foco de aproveitamento deste coproduto na obtenção de diversos (MACHADO et al., 2008; GADIOLI et al., 2012; TORRES et al., 2003; BABISK, 2009; ALVES, 2008; F-C. CHANG et al., 2010; FREIRE et al. 2010; QUEIROZ, 2019, e.g.). Algumas pesquisas que visam analisar a possibilidade de recuperação dos diamantes sintéticos dos resíduos de rochas, utilizando técnicas de beneficiamento de minérios foram desenvolvidas na última década pelo Núcleo Regional do Cetem no Espírito Santo – CETEM/NRES. Como exemplo, os estudos de Souza e Vidal (2013, 2014) realizados com resíduos de rochas silicáticas coletados diretamente das unidades de beneficiamento, em que os autores realizaram ensaios de elutriação, separação em meio denso e outras técnicas de classificação e concentração, obtendo-se teores de diamante na ordem de 44,86 g/T e 90,24 g/T, respectivamente. Egramphonte et al. (2019) utilizando técnicas de concentração gravítica e ensaios em meio denso obtiveram teores de 60,6 g/T no beneficiamento de resíduos coletados diretamente do corte de uma rocha quartzítica. Dando continuidade a esta prática, Almeida e Vidal (2019) realizaram o beneficiamento do resíduo coletado no sistema de decantação em tanques dos efluentes dos teares multifio diamantados. Neste sistema, o resíduo mais denso é concentrado previamente na primeira fase de separação do efluente, possibilitando a concentração dos diamantes sintéticos ao longo de várias serradas. Utilizando o peneiramento, ensaios de flotação e em meio denso, os autores obtiveram a teores de diamantes sintéticos na ordem de 6 Kg/T. Em outro estudo, dando continuidade a esta forma de coleta em tanques de decantação, Sopenetto (2020) realizou ensaios exploratórios com resíduos de rochas graníticas, com o uso de técnicas flotação e concentração meio denso, chegando a teores de diamantes da ordem de 0,12% (1,25 kg/t) do total do resíduo processado. Estes dois estudos demonstraram que as quantidades de diamantes sintéticos recuperados variam consideravelmente de acordo com o processo de tratamento aplicado.

Considerando os bons resultados obtidos da aplicação destas técnicas de beneficiamento de minério para recuperação dos diamantes sintéticos, colaboradores do NRES submeteram ao Programa Centelha no Espírito Santo um projeto de pesquisa visando definir uma rota ótima de recuperação destes diamantes, baseados nos conhecimentos adquiridos pela equipe do CETEM. Esse programa está sendo promovido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), financiado pela Finep e executada pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES).

O desenvolvimento deste projeto envolve técnicas de beneficiamento de minérios que estão consolidadas no meio acadêmico e industrial. Inicialmente visa-se o dimensionamento de um circuito ótimo de processamento através de uma fase laboratorial bem estruturada. Os resíduos do processo de serragem de blocos no Brasil são compostos por uma significativa variedade de minerais, visto a diversidade geológica dos materiais beneficiados atualmente nas empresas de rochas ornamentais brasileiras. Desta forma, os resíduos produzidos nas indústrias oriundos de serradas de diferentes litotipos, formam uma mistura contendo muitos minerais, sendo que cada um apresenta propriedades distintas e influenciarão na escolha do tipo de beneficiamento mais adequado para a recuperação do diamante sintético. Ou seja, um processo tecnológico adequado para concentração e separação de um mineral nem sempre é efetivo para um mineral similar, sendo importante uma caracterização que apresentem avaliações quantitativas ou semiquantitativas do minério beneficiado.

Desta forma, o presente projeto apresenta o plano de fomento aprovado pelo Programa Centelha e os critérios iniciais selecionados para a coleta dos resíduos provenientes da serragem com multifio que nortearão a etapa laboratorial e piloto da pesquisa.

## **2. Objetivos**

O objetivo geral da do presente trabalho é apresentar o projeto de fomento classificado na fase final do Programa Centelha, que visa definir, em escala de laboratório e piloto, uma rota de beneficiamento do resíduo oriundo do processo de serragem de blocos de rochas ornamentais em teares multifio diamantados e apresentar os trabalhos iniciais realizados com dos resíduos coletados em fases distintas de tratamento destes.

## **3. Material e Métodos**

O resumo do projeto de fomento aprovado na fase final do Programa Centelha é apresentado a seguir, seguindo a metodologia escolhida para o desenvolvimento da atividade de recuperação dos diamantes sintéticos e testes de eficiência destes quando incorporados em ferramentas diamantadas voltadas para o próprio setor de rochas ornamentais.

- Fase de ensaios laboratoriais: considerando a coleta do resíduo das principais fontes potenciais de aproveitamento (resíduos produzidos e coletados diretamente de empresas, bem como presentes em aterros industriais, considerando os materiais de diferentes tipos litológicos).

- Fase de ensaio piloto: considerando os resultados obtidos na fase laboratorial para a operacionalização em escala piloto;
- Fase de teste do protótipo: realizado pela produção de ferramentas diamantadas em conjunto com empresas parceiras (produtores de fios diamantados e produtores de rebolos abrasivos de polimento) e testes de eficiência destas ferramentas em simulador de polimento de rochas e em teares multifio diamantados;
- Fase de avaliação econômica da aplicação da rota de beneficiamento definida. Esta fase visa determinar o preço mínimo do produto, levantar os custos de capital (CAPEX) e levantamento dos custos operacionais (OPEX).

### **3.1. Ensaios Laboratoriais de Classificação dos Resíduos**

O primeiro passo para o desenvolvimento da rota de beneficiamento dos resíduos foi conhecer as características granulométricas dos resíduos para a determinação da quantidade a ser coletada em etapas futuras, de acordo com o tipo de resíduo processado, definido pela forma de tratamento industrial. Desta forma, foi realizada a coleta de 3 tipos de resíduos para identificar a taxa de recuperação do peneiramento das faixas com presença do diamante sintético, sendo: 1 resíduo da serragem e polimento de rochas graníticas, coletado diretamente no sistema de filtragem dos efluentes; 1 resíduo coletado em tanques do sistema de decantação de efluentes do tear multifio e; 1 resíduo de origem desconhecida, coletado em aterro industrial de uma associação em Cachoeiro de Itapemirim.

Cerca de 160 kg de amostra foram submetidos à secagem por 3 dias à temperatura ambiente, pesadas e peneiradas à úmido em peneiras de coluna. A escolha da sequência de peneiramento foi baseada nos estudos realizados previamente (ALMEIDA e VIDAL, 2019), levando em consideração a presença dos diamantes sintéticos de granulometria entre 700  $\mu\text{m}$  a 150  $\mu\text{m}$ , sendo as faixas de 28-35 / 35-48 / 48-65 e 65 -100 *mesh*. Esta fase inicial visou analisar as condições granulométricas das diferentes amostras coletadas para a execução dos ensaios de flotação segundo o planejamento experimental estabelecido.

## **4. Resultados e Discussão**

Os resultados apresentados a seguir referem-se a etapa exploratória de tratamento dos resíduos por meio de peneiramento, realizadas com o intuito de se conhecer previamente a taxa de aproveitamento em cada faixa selecionada, para orientação de coletas futuras destinadas a ensaios de flotação, com base no planejamento experimental.

### **4.1. Ensaios Exploratório de Peneiramento dos Resíduos**

Os resíduos coletados foram nomeados em A (resíduos processados por filtro prensa), B (resíduos de tanques de decantação) e C (resíduos de aterro). As amostras foram classificadas nas faixas apresentadas na Tabela 1. Os resultados obtidos pela recuperação em cada faixa foram utilizados para a realização do planejamento dos

experimentos de flotação, de acordo com as dimensões da célula do equipamento pertencente ao laboratório de beneficiamento de minério do Instituto Federal do Espírito Santo, em Cachoeiro de Itapemirim, onde será realizada a etapa laboratorial.

Tabela 1. Nomenclatura das amostras coletadas e planejamento experimental dos ensaios de flotação.

Amostras	Faixas peneiradas (#)					Flotação		
	28/35	35/48	45/65	65/100		Espumante	Reagente	% Sólido
<b>A – 150 kg</b>	A1	A2	A3	A4	<b>Níveis</b>	-1	-1	-1
					<b>das</b>			
<b>B – 175 kg</b>	B1	B2	B3	B4	<b>variáveis</b>	0	0	0
<b>C – 16- kg</b>	C1	C2	C3	C4		1	1	1

Para a realização do planejamento dos experimentos da fase laboratorial, considerou-se a metodologia utilizada por Sopelleto (2020), em ensaios utilizando células de 1 litro, com percentual de sólidos médio de 15 %. A matriz dos experimentos da fase laboratorial, que será realizada na próxima etapa do projeto, foi definida com o auxílio do programa Statistica 10.0, em 3 níveis de variações para cada fator do ensaio, totalizando 16 ensaios necessários para a definição das rotinas mais eficientes, considerando os percentuais de sólidos, de reagentes e de espumantes do processo. Considerando o volume máximo de sólidos admitidos nesta célula (200g) será necessária a recuperação de 3,2 kg para a realização dos ensaios referentes ao planejamento dos experimentos. Desta forma, é apresentado na tabela 2 o volume em cada faixa processada no peneiramento, a taxa de recuperação respectiva e a quantidade mínima necessária para se executar a etapa de flotação, baseada no planejamento experimental.

Tabela 2. Resultados do peneiramento e quantidade necessária de resíduos para os experimentos futuros.

Amostra	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4
<b>Quantidade Retida (kg)</b>	1.23	1.08	1.34	1.75	0,07	0,070	0,12	0,17	1,26	1,17	1,44	1,14
<b>Quantidade Retida (%)</b>	0,83	0,72	0,90	1,17	0,04	0,04	0,07	0,10	0,79	0,73	0,90	0,72
<b>Quantidade Necessária (kg)</b>	388	444	356	274	800	800	4571	3200	405	438	356	444

Por meio da análise do aproveitamento do resíduo peneirado foi possível perceber que os diferentes tipos de resíduos resultaram diferentes taxas de recuperação. Os resíduos oriundos do filtro prensa (B) resultaram em menores taxas de recuperação, principalmente por sua composição ser também de parte dos efluentes provenientes do polimento, tornando seu processamento pouco viável para a fase de planejamento dos

experimentos, pois para se obter a quantidade necessária para realização dos ensaios é exigida a coleta e peneiramento de uma quantidade significativa de resíduos somente para esta fase. Os outros dois resíduos processados mostraram uma boa recuperação de peneiramento, resultando em quantidades viáveis de coleta para execução de ensaios de flotação.

## **5. Conclusão**

É importante ressaltar que todo o material consumido no Brasil durante a manufatura de ferramentas abrasivas diamantadas provém de importação altamente taxada e mesmo assim, não há fabricantes desse material em território nacional. Com isto, a atividade de recuperação dos diamantes pode ser uma alternativa competitiva no mercado de ferramentas abrasivas, visto que a mineração de rochas ornamentais tem grande importância na balança comercial nacional e, principalmente no estado do Espírito Santo.

A ideia de recuperar o diamante sintético do resíduo da serragem das rochas ornamentais, em um setor de grande importância econômica e social para o estado do ES e que descarta milhões de toneladas de resíduos anualmente em aterros, pode ser uma forma de valorizar os resíduos da serragem de rochas. Já está demonstrado a capacidade técnica de se recuperar esse insumo com técnicas de tratamento de minérios, visando seu retorno ao setor de rochas ornamentais como um novo produto. Tal projeto vislumbra, a partir dos preceitos de Economia Circular e Mineração Urbana, a oportunidade de reintroduzir na economia algo que até descartado pela indústria.

Diversas empresas produtoras de ferramentas diamantadas estão instaladas no país e os maiores custos na produção dessas ferramentas são os relacionados aos grãos de diamante sintético. Dessa forma, é interessante para tais empresas a possibilidade da obtenção de uma matéria-prima com menor custo. Não há no momento nenhuma empresa/entidade que recupere esse insumo com fins lucrativos, o que impulsiona essa ideia inovadora no setor de rochas. Além disto, a realização deste estudo, abre um leque para o desenvolvimento de outras linhas de pesquisas ligadas diretamente ao desenvolvimento tecnológico do setor de rochas ornamentais, com grande impacto científico nacional e internacional.

É inegável a mudança social que um empreendimento mineiro proporciona à comunidade local. Desde serviços em mecânica pesada até serviços de hospedagem e alimentação a presença da mineração enfatiza a demanda de mão de obra local. A possibilidade de fornecimento de um produto reutilizado com as mesmas condições técnicas de um produto novo e por um menor preço, alavancam ainda mais as perspectivas da introdução de um novo setor colaborador na indústria capixaba de rochas.

## **6. Agradecimentos**

Agradeço ao CNPq pela bolsa concedida (processo: 301590/2020-6). Aos colaboradores do CETEM/NRES. Ao meu Supervisor Dr. Francisco Hollanda. Ao IFES/Cachoeiro, na figura dos Técnicos Murilo Agrizze e Carlos Agrizze. Aos colaboradores do NRES Gustavo Egramphonte e Victor Moza pelo auxílio na realização dos ensaios laboratoriais.

## 7. Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, P.F.; VIDAL, F.W.H. Avaliação da recuperação de diamantes do resíduo de serragem em teares multifio. In: **VIII Jornadas do Programa de Capacitação Institucional**, CETEM-MCTI, Rio de Janeiro, Brasil, 7p., 2019
- BABISK, M. P., **Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais**, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro – RJ, 2009.
- EGRAMPHONTE, G.; VIDAL, F.W.H.; SILVEIRA, L.L.L.; Análise qualitativa dos diamantes oriundos dos resíduos de teares multifios para fins de reaproveitamento. In: **XXVII Jornada de Iniciação Científica e III Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**, CETEM-MCTI, Rio de Janeiro, Brasil, 5p., 2019.
- F-C. CHANG, M-Y. LEE, S-L. LO, J-D. LIN. Artificial aggregate made from waste stone sludge and waste silt. **Journal of Environmental Management** 91, pp 2289-2294, (2010).
- FREIRE, L. C.; CASTRO, N. F.; SILVEIRA, L. L. L. Aproveitamento dos resíduos de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. In: **Jornada PCI do CETEM**, 2., Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2010.
- FREIRE, L. C.; CASTRO, N. F.; VIDAL, F. W. H. Aproveitamento dos resíduos de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. In: **Jornada PCI do CETEM**, 3., Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.
- GADIOLI, M.C.B., AGUIAR, M.C., PAZETO, A.A., MONTEIRO, S.N., VIEIRA, C.M.F. Influence of the Granite Waste into a Clayey Ceramic Body for Rustic Wall Tiles. **Materials Science Forum** Vols. 727-728 (2012) pp 1057-1062. Trans Tech Publications, Switzerland: 2012.
- MACHADO, R. V., RIBEIRO, R. C. C. E ANDRADE, F. V., Utilização de rejeitos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais, **XVI Jornada de Iniciação Científica do Cetem**, Rio de Janeiro – RJ, 2008.
- SOPELETTO, M.V.S.; MAGALHAES M. P.; VIDAL, F.W.H. (2020). Recuperação dos diamantes sintéticos por flotação do resíduo do corte de rochas ornamentais com multifios. **Revista Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**. (No prelo).
- SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W. H. (2013) Análise da recuperação do diamante oriundo do resíduo de teares multifio. In: **XXI Jornada de Iniciação Científica**, CETEM-MCTI, Rio de Janeiro, Brasil, 4p., 2013.
- SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W. H. Recuperação do diamante contido no resíduo serragem de rochas ornamentais em teares multifio. In: **XXII Jornada de Iniciação Científica**, CETEM-MCTI, Rio de Janeiro, Brasil, 3p., 2014.
- TORRES, P., FERNANDES, H.R., AGATHOPOULOS, S., TULYAGANOV, D.U., FERREIRA, J.M.F. Incorporation of granite cutting sludge in industrial porcelain tile formulations. **Journal of the European Ceramic Society** 24 (2004) 3177–3185. Elsevier Ltd, 2003. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2003.10.039
- VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral/CETEM/MCTI, p. 329-398. 2014