

# APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS GROSSOS ORIUNDOS DE LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESPÍRITO SANTO EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

**Hieres Vettorazzi da Silva**

Bolsista Capacitação Institucional, Geologia, UFES

**Nuria Fernandez Castro**

Orientadora, Eng. de Minas, M. Sc.

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Coorientador, Eng. Químico, D. Sc.

## Resumo

O Estado do Espírito Santo, principal produtor de rochas ornamentais, acumula grandes quantidades de resíduos nas pedreiras, estocados em escarpas, vertentes e encostas de frentes de lavra. Na linha do enfoque sustentável o CETEM busca meios de aproveitamento desse material, sendo uma alternativa oportuna sua utilização na pavimentação da rodovia Governador Mario Covas, BR-101, que será duplicada nos próximos anos. Previamente aos ensaios rotineiros de caracterização tecnológica dos materiais estocados, realizou-se uma etapa de geoprocessamento, resultando em um mapa das pedreiras existentes que serviu de base para selecionar alvos para cubagem e amostragem, seguindo o critério de distância não superior a 25 km da rodovia. Foi realizada a etapa de campo em 52 alvos selecionados no sul do estado, que foram reduzidos a 13 em função de qualidade e quantidade de material disponível e as amostras coletadas estão sendo caracterizadas para se determinar a viabilidade de sua utilização. Pretende-se completar o trabalho de campo e caracterização e apresentar um mapa de potencialidade para a empresa responsável pela duplicação.

## 1. Introdução

O Brasil, importante produtor de rochas ornamentais no cenário mundial, com aproximadamente 1.500 pedreiras em atividade, e que no ano passado produziu 10,13 Mt de rochas ornamentais (ABIROCHAS, 2014), pode ter gerado aproximadamente 30 Mt de resíduos, considerando que, segundo levantamento de dados do Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral - NRES/CETEM em campo, a taxa de aproveitamento nas pedreiras, seja de, em torno de 25%. Deve se destacar que esses resíduos são rochas sem nenhum tratamento ou beneficiamento, mas que não cumprem os requisitos de tamanho, formato ou padrão estético para serem comercializadas. Por isso, são denominados, no setor, de “estoques remanescentes”.

Os motivos para a grande geração de resíduos nas pedreiras de rochas ornamentais são diversos: baixo investimento na prospecção preliminar, lavra focada na produção de grandes volumes apesar do uso de alta tecnologia, o que gera fraturas e trincas no maciço inviabilizando a produção de blocos de tamanho comercial e, muitas vezes, a necessidade de produção de blocos com homogeneidade e continuidade no padrão textural, por exigência do mercado. Somado a isto, poucas práticas sustentáveis na gestão e armazenamento desses resíduos agrava o problema ainda mais, provocando mudanças na fisiografia e afetando a hidrografia local.

Durante a última década, a busca de rotas de aproveitamento dos resíduos minerais, visando à racionalização do uso dos recursos não renováveis tem sido intensa. Em atendimento às exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), pesquisadores, associações e empresas envolvidas no setor de rochas ornamentais têm direcionado seus esforços para o desenvolvimento de metodologias e produtos capazes de absorver o passivo ambiental remanescente nas regiões produtoras, buscando o aproveitamento eficiente dos resíduos, principalmente como subprodutos destinados à construção civil (VIDAL *et al.* 2014).

O CETEM, instituto governamental cuja missão é o desenvolvimento tecnológico e sustentável das atividades minerais no país, desenvolve diversas pesquisas com o objetivo de aproveitar os resíduos da produção de rochas ornamentais em diversas indústrias e, principalmente, pela composição desses resíduos e pelos volumes potencialmente utilizáveis, na indústria da construção civil. Dentre as várias formas de aproveitamento estudadas, uma mostra-se interessantemente aplicável no caso das pedreiras: a utilização de seus resíduos como agregados para pavimentação asfáltica, processo com carta patente, desenvolvido por Ribeiro (2003) para o aproveitamento dos resíduos da cadeia produtiva de gnaisses miloníticos do município de Santo Antônio de Pádua, no noroeste do estado do Rio de Janeiro. Essa patente servirá de base metodológica e científica para este projeto, buscando absorver, grande parte dos “estoques remanescentes” na duplicação de quase 500 km da Rodovia Mario Covas, BR-101, que atravessam o estado do Espírito Santo, para atender à elevada quantidade agregado necessário para composição da massa asfáltica, base ou sub-sabe.

As rochas ígneas silicáticas, assim como seus correspondentes metamórficos, podem receber uma classificação quanto ao teor de sílica (SiO<sub>2</sub>) existente em sua composição química. As rochas podem ser diferenciadas em quatro grupos principais: ácidas, quando o teor de sílica excede 66% em composição; intermediária, com valores entre 52% e 66%; básica, com percentual de sílica até 45% e ultrabásica, quando o teor de sílica é inferior aos 45%.

Esta classificação química fornece um importante parâmetro para escolha dos agregados a serem utilizados em pavimentos, em relação à carga elétrica superficial das partículas do agregado, importante na adsorção química, que é o principal fator controlador da adesividade entre os agregados e o ligante asfáltico (BERNUCCI *et al.* 2008).

As características desejáveis dos agregados para concretos asfálticos são boa tenacidade e resistência à abrasão, assim como boa resistência à compressão, para suportar o peso dos automóveis em tráfego no pavimento, distribuindo os esforços para as camadas inferiores (BERNUCCI *et al., op. cit.*).

Devem ser duráveis, para resistir às ações do intemperismo, principalmente em países de clima tropical, e boa cubicidade, o que fornece boa resistência ante as tensões de impacto e compressão além de contribuir na redução do consumo de ligante asfáltico (CAMPOS *et al.* 2007).

No Brasil, os agregados provenientes de fontes naturais utilizados na pavimentação são: granitos, dioritos, gabros, sienitos, traquitos, basaltos, andesitos, riolitos, conglomerados, calcários, mármore, quartzitos e gnaisses. No Espírito Santo, seus limites políticos coincidem com um terreno geológico pré-cambriano de alto

grau metamórfico, com o domínio de rochas de composição silicática ácida, o que favorece ocorrências de materiais com propriedades tecnológicas de interesse.

Alckimin e outros (2006) *apud* Silva e Castro (2012) elaboraram um esquema representativo no qual os modelos estruturais da região podem ser subdivididos em domínios, embasados em análises cinemáticas regionais. O Espírito Santo, localizado exatamente no domínio interno de alto grau metamórfico da unidade litoestratigráfica chamada Orógeno Araçuaí, classificada em cinco estágios evolutivos de granitogênese e concomitante retrabalhamento das rochas preexistentes dos Complexos Paraíba do Sul e Nova Venécia (PEDROSA-SOARES; CAMPOS, 2000 *apud* PEDROSA-SOARES *et al.*, 2007).

Ao sul do estado, existe ainda um subdomínio, no qual ocorrem exposições de rochas de fácies anfibolito e granulito, lentes de mármore e plútons zonados com núcleo máfico ou alcalinos, encaixados em estruturas geológicas regionais com *trend* no sentido NNE, remanescente da Faixa Ribeira mais ao sul, outra unidade litoestratigráfica correlata ao Orógeno Araçuaí, localizada nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro (CAMPOS *et al.* 2000 *apud* SILVA; CASTRO, *op.cit*).

## 2. Objetivos

Mapeamento, identificação e caracterização tecnológica de depósitos de resíduos grossos oriundos de pedreiras de rochas ornamentais para seu possível uso como agregados na pavimentação asfáltica da BR-101, no trecho do Espírito Santo.

## 3. Material e Métodos

Inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica da geologia regional e do uso de agregados para pavimentação asfáltica, com enfoque nos ensaios rotineiros de caracterização tecnológica, bem como a influência das características morfométricas e da composição mineralógica desses agregados na resistência mecânica dos traços de massa asfáltica.

A etapa de geoprocessamento e mapeamento das frentes de lavra iniciou-se com o auxílio do software ArcGIS®, em que fontes de dados matriciais, sob a forma de ortofotos aéreas de escala 1:20.000 datadas do ano de 2008 e fornecidas livremente no site do INCAPER, além composições de imagens de satélite disponíveis no software Google Earth®, foram utilizadas para reconhecimento das feições que caracterizam frentes de lavra à céu aberto. Foram usadas cenas multiespectrais do estado, dos satélites LANDSAT 7 ETM+, CBERS 2B CCD, captadas entre 2010 e 2014 e imagens de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para a elaboração dos modelos numéricos de elevação.

Os alvos para a etapa de cubagem dos depósitos em campo e amostragem de materiais foram selecionados pela análise de bancos de dados vetoriais, georreferenciados e disponíveis na internet SIGMINE no site do Departamento Nacional da Produção Mineral DNPM, e o banco de dados Geodiversidade do Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

A etapa de amostragem e visita às frentes de lavra seguiu a norma NBR NM 26, onde foram feitas também descrições, cubagem e avaliação das condições de aproveitamento dos depósitos de interesse com proximidade máxima de 25 km de distância da rodovia BR-101. As amostras coletadas foram britadas, homogeneizadas e peneiradas no CETEM no Rio de Janeiro para posterior caracterização tecnológica no Laboratório de Pavimentos da COPPE-UFRJ. A rotina de caracterização segue especificações para projetos de base e sub-base de pavimentos, cedidas pela empresa responsável pela duplicação, abrangendo análise granulométrica, cubicidade, índices físicos, percentual de argila, de impurezas orgânicas, durabilidade em imersão de sulfatos e abrasão.

#### **4. Resultados e Discussão**

As imagens utilizadas para identificação e mapeamento das ocorrências das frentes de lavra mostraram que no estado do Espírito Santo existem 898 frentes de lavra, em operação ou não. A análise das pedreiras existentes somente até a data de aquisição das imagens desconsidera a existência de pedreiras que deixaram de operar ou então as que tenham iniciado suas atividades, após as datas de aquisição das imagens. Publicações de ortofotos mais recentes, em campanhas de instituições governamentais do estado poderão refinar o número de alvos, fornecendo assim números mais próximos com a realidade atual, como constatado em campo.

Como resultado, foi gerado um mapa ilustrativo em escala 1:1.000.000 das ocorrências de frentes de lavra, domínios geotectônicos e municípios produtores do estado (Figura 1), com o propósito de identificar as regiões e municípios produtores de maior extração no estado, destacando também os domínios tectônicos e as assembleias litológicas extraídas neles.

No mapa é possível identificar três principais concentrações de frentes de lavra. A de maior número, localizada na região noroeste, e outras duas menores, nas regiões centro-oeste e sul do estado. Nessas regiões, destacam-se como os municípios de maior número de frentes de lavra: Ecoporanga (100), Barra de São Francisco (99), Nova Venécia (72), Baixo Guandú (67), Cachoeiro de Itapemirim (62), Vila Pavão (60), Castelo (47), Colatina (41), Água Doce do Norte (32) Itaguaçu (27), Mimoso do Sul (26).

A distinção litológica das ocorrências entre domínios geotectônicos é bastante complexa, apenas o reconhecimento das características petrográficas não evidencia a procedência geotectônica das rochas extraídas nas frentes de lavra, porém as descrições petrográficas, somadas as relações estruturais extraídas em mapeamentos de grande escala de detalhe, podem fornecer evidências genéticas das ocorrências minerais.

No banco de dados vetorial Geodiversidade, da CPRM, esta distinção, realiza-se a partir da classificação destes domínios de acordo com descrições litológicas existentes nas tabelas de atributos de cada polígono representativo das suítes vetorizadas individualmente. Mapas geológicos do estado com escala de detalhe 1:100.000, folhas SE.24-Y-D-IV – Aracruz; SF.24-V-B-IV – Guarapari, lançado ano passado pelo programa PRONAGEO da CPRM em parceria com universidades; e SF.24-V-A-V – Cachoeiro de Itapemirim de 1992 auxiliaram na vetorização e delimitação de algumas suítes com limites indefinidos.

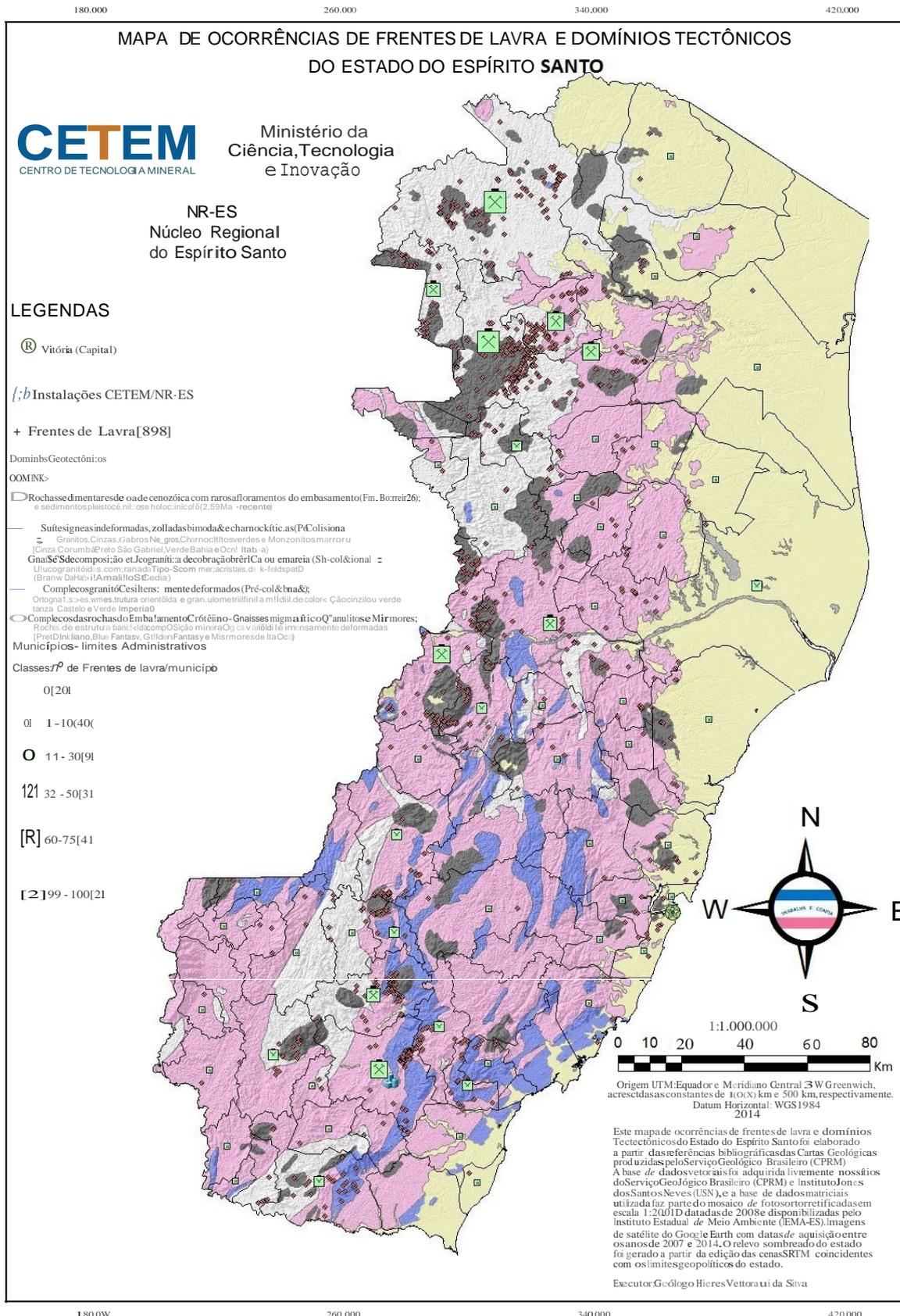


Figura 1- Mapa de ocorrências de frentes de lava, ativas ou não, mostrando também a unidades geotectônicas que distinguem determinados tipos litológicos produzidos além da classificação dos municípios produtores por número de frentes de lava.

No mapa, em rosa, e em maior participação espacial, ocorrem as rochas do embasamento cristalino, composta por rochas de composição mineralógica variada, com estruturas predominantemente bandadas e intensamente deformadas, onde são extraídos gnaisses migmatíticos, granulitos e mármore. Na cor azul ocorrem as rochas de suítes pré-colisionais, granitóides com estrutura levemente bandada, de coloração acinzentada ou verde. Na cor branca encontram-se as suítes sin-colisionais, composta por rochas leucograníticas e outros materiais com semelhanças petrográficas, mas alterados e de coloração amarela. Na cor grafite estão as suítes indeformadas pós-colisionais, plútons com zoneamento bimodal, composição mineralógica charnockítica ou então de composição alcalina. Nestas suítes extraem-se monzogranitos cinzentos, gabros, charnockitos esverdeados e monzonitos marrons.

De posse das informações dos mapas e considerando a limitação de 25 km de distância até a rodovia, foram selecionados 70 alvos para estimativa do resíduo disponível e amostragem para caracterização. O trabalho de campo iniciou-se no trecho sul, por onde se iniciará a duplicação da rodovia, com 52 frentes de lavra para visita, distribuídas nos municípios de Mimoso do Sul (21), Rio Novo do Sul (15), Cachoeiro de Itapemirim (6), Iconha (5), Anchieta (2) e Guarapari (2). Nas visitas pode-se observar que em muitos depósitos de resíduos as rochas estão misturadas com solo, o que inviabiliza seu aproveitamento na massa asfáltica, mas que poderiam servir para a base e sub-base de pavimentos. Algumas pedreiras foram também eliminadas como alvo de estudo por estarem desativadas, por terem pouca produção ou, ainda, por falta de interesse dos proprietários. Assim, as frentes de lavra visitadas com possibilidade de aproveitamento foram reduzidas para 13, até o momento, com volumes de depósitos aproveitáveis que variam entre 30.000 m<sup>3</sup> a 100.000 m<sup>3</sup>. As amostras coletadas nessas frentes são seis monzogranitóides mesocráticos de granulação fina e textura granoblástica, comercializados como *Cinza Andorinha* e um como *Prata Imperial*; dois monzogranitos comercializados como *Cinza Nobre* e *Cinza Mundo Novo*, um de textura fina e outro porfirítico, respectivamente; um gabro comercializado como *Ouro Negro*, e três migmatitos, dois estromáticos comercializados como *Preto Indiano* e *Blue Fantasy* e um nebulítico, denominado *Romanix* e que ainda não é comercializado.

As amostras britadas, homogeneizadas, quarteadas e peneiradas estão sendo caracterizadas, neste momento, no laboratório de pavimentos da COOPE/UFRJ.

## 5. Conclusão

O grande número de pedreiras identificadas no estado mostra que, potencialmente, seus resíduos poderiam ser utilizados na pavimentação da rodovia. No entanto não é possível ainda afirmar a viabilidade técnica do uso desses resíduos, pois o trabalho está em andamento. Sugere-se a continuação do estudo e a elaboração do mapa de disponibilidade para apresentação à empresa responsável pela duplicação.

## 6. Agradecimentos

Agradeço aos orientadores, pesquisadores, técnicos, bolsistas, empresas e amigos que colaboram com o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também ao CNPq pela concessão da bolsa.

## 7. Referências Bibliográficas

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Abirochas em notícia – ABINEWS – Bela Vista – SP, Jan/Mar 2015. Disponível em: <[http://issuu.com/abirochas/docs/abirochas\\_em\\_noticia\\_1](http://issuu.com/abirochas/docs/abirochas_em_noticia_1)> Acesso em: 28 jun. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2009). NBR NM 26. Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro. 6p

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**. 3ª Reimpressão. Rio de Janeiro, Brasil: PETROBRAS ABEDA, 2010, 504p.

CAMPOS, E.E; FRAZÃO, E.B; CALAES, G.D; HERRMANN, H. Org.: Tannús, M.B.; Do Carmo, J.C.C; Agregados para a construção civil no Brasil: contribuições para formulação de políticas públicas. – Belo Horizonte: CETEC, 2007

RIBEIRO, R.C.C. **Interação entre Cimentos Asfálticos e seus Constituintes com Agregados Minerais na Formação do Asfalto**. 2003. 111p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil).

SILVA, C.A. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Ordenamento Mineral: Estudo de Caso da Exploração de Rochas Ornamentais no Noroeste do Espírito Santo. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2011, Curitiba, PR, Brasil. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. 05 de maio de 2011, INPE p.3882

SILVA, H.V.; CASTRO, N.F. Ambientação Geológica e Características Tecnológicas de Granitos Comerciais Lavrados no Espírito Santo. **Anais da XX Jornada de Iniciação Científica – 2012**. Rio de Janeiro: CETEM. Disponível em: < <http://cetem.gov.br/308-serie-anais-da-xx-jornada-de-iniciacao-cientifica>>. Acesso em 25 jun. 2015.

VIDAL, F.W.H.; AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N.F. **Tecnologia de Rochas Ornamentais – Pesquisa, Lavra e Beneficiamento**. 1.ed. Rio de Janeiro, Brasil: CETEM/MCTI, 2013. 700p.