PROSPECÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS AUXILIADA POR SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEO-REFERENCIADA

JOSÉ CARLOS SÍCOLI SEOANE, LILIANASAYURI OSAKO, ADEJARDO FRANCISCO DA SILVA FILHO

Abstract *GIS-AIDED DIMENSION STONE EXPLORATION* Dimension Stones are an increasingly valuable commodity in Brazil, generating export revenues estimated to reach US\$ 355 million in 2002. The proposed federal government target is to increase this amount to over US\$ 600 million within four years. To this end, better exploration techniques will have to be applied in order to renew and replenish stocks. The use of GIS-based exploration techniques can improve target vectoring as well as speed up the discovery process. A three-phase approach was considered, consisting in *digital processing* (image generation, geometric corrections, mosaicing, filtering), *database generation* (scanning, database compilation, thematic map generation) and GIS-based *modeling and potential evaluation*, achieved through the implementation of the *economic-geological attractiveness index* (IAEG in the Portuguese acronym), which considers field, laboratory and market characterization of dimension stones. Landsat and aerogammaspectrometry are used to aid geological mapping, with an emphasis on rock discrimination, whereas radar imagery was used mainly to characterize structural trends, rock unit contacts and ductile to brittle lineaments. The most useful combinations of Landsat data were R4-G3-B1, R7-G4-B1, R5-G4-B3 and (R) 5-7 (G) 4-3 (B) 3-1. For gammaspectrometry data, the used algorithms included total gamma count, Thorium-equivalent, Uranium-equivalent, Thorium/Uranium ratio, K-Th-U ternary maps, and the ternary composition of K-K/U-K/Th. Data integration allowed the extrapolation of the IAEG towards the western portion of the area and the comparison of analog and digital implementation of the methodology, which highlights the advantages of the digital media. A good correlation was obtained between the generalization of known occurrences and deposits implemented with the IAEG and the areas selected by GIS integration and modeling of the data. Three priority levels for follow-up are established and five areas have been selected. Two areas are located between the localities of Ingá and Caiçara and Cachoeira and Maravilha are chosen as first priorities, one broad area between Bom Nome and Rio da Barra as a second priority, and two third rate areas are selected near the locality of Queimada Nova. All five priorities are previously unworked and lie in the Custódia region, thus opening new exploration grounds for dimension stones in the semi-arid Northeast Brazil. The area is particularly appropriate for such industry (good outcrops, roads and port infrastructure, few environmentally sensitive sites) and dearly needs job generation to increase living standards and curb rural exodus.

Keywords:

Resumo Rochas ornamentais são hoje no Brasil consideradas uma *commodity* com valor atrativo, gerando exportações estimadas em US\$ 355 milhões em 2002. Neste contexto, o Governo Federal tem por objetivo atingir a meta de US\$ 600 milhões exportados por ano em quatro anos. Para manter, repor e ampliar o estoque destes bens será necessária a aplicação de técnicas exploratórias e de prospecção avançadas. O uso de Sistema de informações Geo-referenciadas (SIG) pode auxiliar os processos de descoberta tanto diminuindo os prazos e custos quanto revelando novos relacionamentos entre dados previamente coletados e dados novos. Foi utilizado um processo constituído de três etapas: *processamento digital* (geração de imagens, correções geométricas, mosaicagem e filtrações), *geração de banco de dados* (digitalização, compilação de dados e geração de mapas temáticos) e modelagem e avaliação do potencial com auxílio de SIG. Foi implementado o Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG), que leva em consideração aspectos de campo, características de testes de laboratório e de mercado das rochas ornamentais. A cartografia geológica foi auxiliada pela utilização de imagem Landsat TM-5 e aerogamaespectrometria, excelentes ferramentas para discriminação de diferentes litologias, enquanto que imagens de radar foram utilizadas principalmente para caracterizar os domínios estruturais, contatos litológicos e lineamentos correspondentes a estruturas rúpteis e dúcteis. As combinações de bandas que melhor discriminam estes aspectos são R4-G3-B1, R7-G4-B1, R5-G4-B3 e (R) 5-7 (G) 4-3 (B) 3-1. Quanto à gamaespectrometria, foram utilizados *contagem total, equivalente Tório, equivalente Urânio, razão Tório-Urânio, mapa ternário K-Th-U e composição ternária K-K/U-K/Th*. A integração dos dados permitiu a extrapolção do IAEG à porção oeste da área e a comparação das implementações analógica e digital da metodologia, destacando as vantagens do meio digital. Boa correlação foi obtida entre a generalização de ocorrências e depósitos conhecidos implementada com o uso do IAEG e as áreas selecionadas pela integração e modelagem de dados em SIG. Foram estabelecidos três níveis de prioridade para verificação de campo de cinco anomalias selecionadas. Duas áreas entre as localidades de Ingá e Caiçara e Cachoeira e Maravilha foram escolhidas como de primeira prioridade; uma anomalia regional entre Bom Nome e Rio da Barra constituem a segunda prioridade para trabalhos posteriores de campo e duas áreas de menor importância próximas à localidade de Queimada Nova formam a terceira prioridade. Estas cinco áreas, na região de Custódia, não possuem trabalhos prévios, abrindo portanto novas perspectivas para a exploração de rochas ornamentais nos terrenos semi-áridos do Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil.

Palavras-chaves:

1 - Departamento de Geologia, IGEO-CCMN-UFRJ - Av. Brigadeiro Trompowski, s/n - Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro/RJ, Brasil - CEP: 21.940-940 - e-mail: cainho@geologia.ufrj.br

2 - Departamento de Geologia, CTG-UFPE - Av Acadêmico Hélio Ramos, s/n, sexto andar - Cidade Universitária, Recife, Pernambuco, Brasil - CEP: 50.740-530 - e-mail: lilianaso@zipmail.com.br; afsf@npd.ufpe.br

INTRODUÇÃO O Brasil exportou em 2000 cerca de US\$ 271 milhões em rochas ornamentais, aos quais se associam uma venda interna da ordem de quase US\$ 1,8 bilhões. O setor brasileiro de rochas ornamentais, quando incluídas comercialização de maquinário movimenta cerca de US\$ 2,1 bilhões/ano (Marble Connection World 2002a). Em 2001 foram exportados cerca de US\$ 280 milhões, uma alta de 3% em relação ao ano anterior (Chiodi Filho 2002). O quadro é otimista e estimativas indicam que as exportações do setor devem alcançar US\$ 355 milhões em 2002, o que representaria crescimento de 27% sobre o ano anterior. A expectativa é de que as vendas externas cresçam a US\$ 618 milhões até 2006 (Agência Estado 2002), próximo da meta estabelecida pelo Governo Federal de alcançar US\$ 600 milhões em exportações por ano (Marble Connection World 2002b).

O estado de Pernambuco conta com nove indústrias, sendo que apenas quatro estão em plena atividade. Já no setor de beneficiamento, existem 20 teares ativos (Marble Connection World 2002c). O levantamento mais atualizado do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) indica a existência de 60 tipos de granito em Pernambuco. O trabalho foi realizado em 40 municípios do Agreste Meridional do estado, na região de Arcoverde-Garanhuns (Marble Connection World 2002b, Fig. 1). Trabalhos anteriores incluem o mapeamento realizado em 1982-1986 pela Minérios de Pernambuco S.A.. Este objetivou a identificação de granitóides com possibilidades de utilização como rocha ornamental, alavancando a produção do estado ao identificar 55 corpos passíveis de serem explorados, sendo 15 destes no Agreste Meridional. A avaliação conjunta da Agência de Desenvolvimento de Pernambuco S.A. (AD-DIPER) e do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) considera extraordinário o potencial desta região, embora ainda não suficientemente bem conhecido (Holanda *et al.* 1987).

O Agreste Meridional conta com um pólo produtor de rochas ornamentais onde atualmente são extraídas oito variedades de granitos e migmatitos. Sete empresas estão instaladas neste pólo, gerando cerca de 250 empregos diretos e faturando anualmente cerca de US\$ 10 milhões, número ainda tímido se comparado a outros estados e ao potencial de Pernambuco. Entre os fatores que tornam a região favorável à indústria de rochas ornamentais incluem-se a geologia, com extensa área constituída por granitóides e migmatitos diversos, e a infra-estrutura adequada, com acessos asfaltados, ramais ferroviários, eletrificação e distância máxima de 250 km dos portos de Recife e Suape. O crescimento do setor no estado tem portanto o potencial de gerar novos empregos e mesmo baixar o custo final de obras civis, sendo ainda perfeitamente adaptado às características fisiográficas da região, ao depender muito pouco de água.

Este trabalho discute a aplicação dos Sistemas de Informação Geo-referenciada (SIG) na integração e avaliação da grande quantidade de informações e dados produzidos pela prospecção ora em andamento, encurtando e barateando as tradicionais etapas para descoberta de um jazimento mineral, ao descrever e analisar relações, para fazer previsões mediante o uso de modelos. Tais sistemas levam em consideração a topologia dos dados, isto é, as suas características e relações espaciais descritas matematicamente, independente de escala, tornando exequível a produção de novos planos de informação resultantes do cruzamento de dados espaciais de origens diversas, tais como mapeamento geológico, coleta e análise de amostras, imagens orbitais, etc.

OBJETIVO Identificar na área de estudo o potencial para novas ocorrências de granitos e migmatitos utilizáveis como rocha orna-

mental, mediante a prospecção (cartografia geológica, sensoriamento remoto, análise estrutural) e caracterização tecnológica qualitativa e quantitativa das rochas prospectadas. Entre as tarefas realizadas destacam-se a entrada, edição e correção geométrica dos dados, a avaliação da base de dados e quantificação do potencial de áreas selecionadas.

DADOS UTILIZADOS E MÉTODOS Toda área está recoberta por cartas topográficas na escala de 1:100.000, imagem de satélite Landsat 5 TM (cena 215-66, de dezembro de 1998), de radar do Projeto Radambrasil (mosaico das cartas SC24XA e SC24XB do Radam, de 1976, em escala 1:250.000, escanizadas pelo convênio ADIMB-DNPM) e radiometria do Projeto Cariris Velhos (CPRM 1977), com linhas espaçadas de 2Km (Fig. 1).

Utilizou-se fotointerpretação geológica na escala 1:60.000 e mapa com a geologia e o índice de atratividade econômico-geológico da Folha de Garanhuns 1:250.000 foi disponibilizado pela CPRM (Mendes *et al.* 2002). A estes se soma mapa geológico em escala 1:250.000 produzido pela Divisão de Geologia da SUDENE, intitulado *Geologia da Folha Arcoverde* (Santos, inédito, Fig. 1).

O trabalho foi desenvolvido em três etapas (Seoane *et al.* 2002a). Na etapa inicial, de processamento digital, após as necessárias correções geométricas e radiométricas foi feito o mosaico das imagens de radar da região estudada. A seguir foram executados realces, filtragens e combinações de bandas na imagem Landsat, de modo a ressaltar as características espectrais previamente estabelecidas para alvos passíveis de aproveitamento como rocha ornamental. Os dados geofísicos foram transformados em arquivos de tabelas a partir dos arquivos de pontos fornecidos pela CPRM no formato *ascii*, e posteriormente foram geradas superfícies contínuas, na forma de imagens geradas para os canais de Urânio, Tório e Potássio. A imagem de radar foi utilizada para análise de lineamentos, visando à compreensão da compartimentação estrutural da área e a densidade de fraturamento dos alvos de pesquisa. Estas fontes de informação foram combinadas de diversas maneiras (*e.g.*, mapas ternários dos dados geofísicos, fusão dos dados de geofísica com imagem de radar, etc.), permitindo a melhor compreensão da distribuição de tipos litológicos da região. Os mapas temáticos gerados serviram para alimentar o banco de dados.

A segunda etapa (Fig. 2) inclui a geração do banco de dados, que visa reunir em ambiente SIG os dados espaciais de diversas origens, como imagens e suas interpretações, mapas temáticos de estruturas e geologia, bem como informações tabulares sobre os pontos amostrados, petrografia, e ensaios de caracterização, com recobrimento diferenciado e não uniforme da região em diversas escalas (desde 1:250.000, na escala inicial do trabalho a até 1:25.000, em porções selecionadas para detalhamento). Dados em formato analógico foram digitalizados através do uso combinado de *scanner* de grande porte (A0), para minimizar distorções e necessidade de mosaicos, e vetorização na tela do microcomputador (*heads-up*).

Na etapa de quantificação do potencial de áreas selecionadas, foram realizadas operações com os dados gerados no projeto, para caracterizar os aspectos geológicos e logísticos de alvos promissores. Foram atribuídos pontos aos granitóides identificados, levando em conta elementos de prospecção anotados para cada ponto amostrado quando do reconhecimento de campo, bem como para os dados dos ensaios realizados nestas amostras (inclusive cor, textura, estrutura, desgaste por abrasão, porosidade, resistência, peso específico e alterabilidade, entre outros). As amostras, de caráter pontual, foram regionalizadas em unidades

Figura 1 - Localização da área e base de dados utilizados. Entre as principais litologias consideradas prospectáveis destacam-se o embasamento metamórfico (1 – Paleoproterozóico, 2 – Mesoproterozóico) e as rochas plutônicas ácidas e intermediárias (3 – Paleoproterozóicas, 4 – Mesoproterozóicas, 5 – Neoproterozóicas). Baseado no GIS do Mapa Geológico do Brasil 1:5.000.000 (CPRM, 2001). Toda área está recoberta por cartas topográficas 1:100.000 e imagens de satélite, radar e geofísica. Em preto, linha fina: área recoberta por fotointerpretação geológica 1:100.000. Em cinza, linha fina: geologia e índice de atratividade (Mendes et al., 2002) 1:250.000. Em preto, linha grossa: mapa geológico (Santos, inédito) 1:250.000.

Figura 2 - Fluxograma das etapas de SIG: Dados (A) capturados no sistema (eventualmente são necessários arquivos intermediários), convertidos, editados e acrescentada a topologia (B, com produtos intermediários). A seguir no pré-tratamento (C) são geradas novas relações entre os dados originais.

de características uniformes, mediante a análise dos mapas geológicos. Também considerou-se fatores limitantes obtidos em campo e laboratório (densidade de enclaves e veios, anisotropia de susceptibilidade magnética), assim como durante a interpretação de imagens (expressão areal dos corpos, densidade de lineamentos, uniformidade textural). Cada um destes temas constitui um plano de informações.

A interação entre profissionais envolvidos nas diversas etapas, desde a cartografia geológica até os ensaios tecnológicos, foi essencial na fase de quantificação, quando, pela implementação em ambiente SIG, a pontuação tecnológica foi estabelecida.

RESULTADOS Interpretação de imagens de sensoriamento remoto orbital, radar e gamaespectrometria aeroportados

A análise da densidade e padrão de fotolineamentos da região estudada foi efetuada conjugando a imagem Radam sobre o Modelo Digital do Terreno (MDT) (Fig. 3). Por outro lado, a imagem Landsat foi utilizada para delimitar contatos geológicos regionais, inicialmente na região de Garanhuns (Osako et al., 2002), e, posteriormente, de novos corpos no extremo Oeste da região (Folha Arcoverde e com características semelhantes aos conhecidos na Folha Garanhuns. Para tanto empregou-se composições R4-G3-B1, e R7-G4-B1 sobre MDT, como ilustra a figura 4, na qual se observa a altimetria da Folha Venturosa (IBGE, escala 1:100.000). Osako et al., (2002) destacam a eficiência da combinação de bandas R5-G4-B3 e a subtração de bandas (R) 5-7 (G) 4-3 (B) 3-1 para realçar feições associadas a argilominerais, vegetação e óxido-hidróxidos de ferro, respectivamente. Contudo, devido a escala de trabalho, não foi, *a priori*, possível identificar assinaturas espectrais dos granitóides já explorados comercialmente, ou de reconhecido potencial.

De modo análogo, os canais de Urânio, Tório e Potássio auxiliam no mapeamento de litologias, em que pese o espaçamento de 2 Km entre linhas (Seoane et al., 2002a; Osako et al., 2002). Este espaçamento limita a utilização dos dados na análise regional, já que diversos corpos menores embora ainda prospectáveis poderiam se encontrar entre duas linhas, não sendo representadas. Ainda assim, estes dados são valiosos no mapeamento da tendência de ocorrência de litotipos em extensões de áreas onde são conhecidos. Foram experimentadas diversas combinações e razões entre os elementos, e contagem total gama, Th-equivalente,

Figura 3 - Combinação de imagem de Radar e MDT mostrando a densidade e o padrão de lineamentos.

U-equivalente, razão Th/U, mapa ternário K-Th-U e composição ternária K-K/U-K/Th (Duval 1993, Galbraith & Saunders 1983, Harris *et al.* 1994, Dickson & Scott 1997, Reeves *et al.* 1997), foram particularmente úteis na caracterização das rochas prospectáveis. O padrão geral de distribuição destes elementos consta da figura 5, posteriormente utilizada na modelagem em ambiente SIG.

Quantificação do potencial da área: Índice de Atratividade Econômico-Geológica

Uma vez que a ocorrência de rochas ornamentais é condicionada por fatores litológicos, a primeira dificuldade na regionalização de amostras consiste em extrapolar seu caráter pontual para unidades de características uniformes, o que é realizado mediante a análise e integração dos mapas geológicos. No presente trabalho, as rochas foram classificadas, com base em critérios de mercado, em (i) materiais nobres passíveis de exportação e (ii) tipos comuns, com amplas possibilidades de negociação na forma de blocos brutos ou de material beneficiado no mercado interno de chapas e padronizados. Em consequência, as ocorrências e demais jazidas cadastradas foram agrupadas em função do critério de mercado e correlacionadas ao arcabouço geológico, com o intuito de mostrar em planta os tipos de rochas passíveis de serem detectados na região. A seguir, usou-se uma caracterização dos aspectos geológicos e logísticos de alvos promissores pelo estabelecimento de um *Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG)*, com a atribuição de pontos aos granitóides identificados.

Foram computados, segundo a metodologia proposta pela CPRM (Mendes *et al.* 2002), tanto fatores advindos do reconhecimento de campo, tais como modo de ocorrência, e dados de infra-estru-

tura (água, luz, telecomunicações, acesso, mão de obra), de ensaios tecnológicos tais como cor, textura, homogeneidade, estrutura, fraturamento, dureza, nobreza (posicionamento da rocha no mercado). Cada fator, resumido na Tabela 1, constitui um dos planos de informação, sobre os quais são efetuadas operações lógicas algébricas (soma, razões) e booleanas (simultaneidade, negativa). Valores numéricos são ajustados empiricamente de maneira a estabelecer uma lista de prioridades. Valores mais elevados coincidem com os tipos rochosos passíveis de negociação no mercado externo, fator importante para a seleção de corpos, indicando oportunidades de detalhamento de pesquisa direcionada ao aproveitamento das rochas para fins ornamentais. O resultado, aplicado à Folha de Garanhuns por Seoane *et al.* (2002b) é apresentado na figura 5, para pontos amostrados sobre o mapa ternário de gamaespectrometria, e, na figura 6, para estes pontos e os polígonos de litologias, sobrepostos a imagem Landsat. Podem ser observados quatro conjuntos de ocorrência de rochas ornamentais com alta pontuação, que correspondem ao sienito de Toritama (AEG= 85), ortognaisse de Garanhuns (80), migmatito de Caetés (80-79) e migmatito rosa de Sertânia (77). Além destes, também há ocorrências isoladas, como o migmatito de Pesqueira, na porção central da Folha.

O mapa geológico da Folha Arcoverde, já em meio digital, foi comparado ao mapa da Folha de Garanhuns (ver Fig. 6) e as informações da área em comum, correspondente às folhas 1:100.000 de Sertânia e Buíque, foram utilizadas para validar e extrapolar a aplicação do método do IAEG ao mapa da Folha de Arcoverde (Fig. 7), onde a densidade de pontos de controle de campo é mais baixa. O resultado consta da figura 8.

Figura 4 - Composição R4-G3-B1 sobre Modelo Digital do Terreno (MDT), gerado a partir da altimetria da Folha Venturosa IBGE, em escala 1:100.000. No alto, à direita, vista em planta da mesma área, com indicação do sentido de visada, acrescida das litologias fotointerpretadas.

Figura 5 - Mapa ternário R K – G U – B Th sobre mosaico de radar. Aerogamaespectrometria do Projeto Cariris Velhos - CPRM, 1977. Imagens de Radar do Projeto Radambrasil, 1976 (digitalizado pelo convênio ADIMB / DNPM 1999). Geologia: Folha Arcoverde 1:250.000 (Santos, inédito) e Folha Garanhuns 1:250.000 (Mendes et al. 2002).

Tabela 1 - Quantificação do potencial da área através do Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG). Os atributos dos pontos de campo com dados correspondentes às amostras coletadas e características dos afloramentos (esquerda), que são associados aos fatores de atratividade (direita), para obter a classificação dos pontos e posteriormente integra-los, tendo por base o mapa geológico de Mendes et al.(2002).

Fator de Nobreza		Valores do FN
Exportação, em blocos e chapas		20
Mercado interno, em blocos		18
Exportação / Mercado interno, em chapas ou padronizados		15 a 14
Mercado interno, chapas e padronizados		12 a 10
Mercado interno apenas de chapas		5
Mercado interno de padronizados		0
Fator Cor (predominante)		Valores do FC
Azul		17
Branca e amarela		14
Verde ou marrom		14
Vermelha ou rosa movimentadas		10
Salmão		7
Vermelha		6
Rosa		6
Fator Densidade do Fraturamento		Valores do FF
Baixa (extração de blocos p/ teares)		10
Média (extração de blocos p/ talha bloco)		8
Alta		5
Muito alta		4
Altíssima		0
Fator Textura (Predominante)		Valores do FT
Equigranular e porfíritica		
Porfíritica serial a equigranular e lamelar		0 a 10
Fator Homogeneidade		Valores do FH
(Densidade de Veios, Xenólitos e Oxidações)		
Alta, Média, Baixa		0 a 10
Fator Estrutura – FE		Valores do FE
Dobradas ou movimentadas		10
Orientada		5
Maciça		0
Fator Modo de Ocorrência		Valores do FM
Maciço + matacões		8
Maciço		6
Matacões grandes		5
Matacões menores		4
Fator Infra-Estrutura - FI		Valores do FI
< 10 km, infra-estrutura completa		8
Entre 10 e 20 km		6
Distância maior do que 20 km		5
Fator Dureza – FD		Valores do FD
Mármore (dureza baixa)		7
Sienitóide (dureza média)		6
Granitóide (dureza alta)		5
Quartzito (dureza muito alta)		2
IAEG	Muito Alto	80 a 100
	Alto	70 a 80
	Médio	60 a 70
	Baixo	40 a 60

DISCUSSÃO Comparação entre IAEG e modelagem dos dados por gamaespectrometria, lineamentos de radar e sensor TM A comparação em meio digital da base de dados permite observar a baixa correlação entre os dados individuais de sensoriamento remoto, aerogamaespectrometria e imagem de radar com áreas de maior pontuação IAEG, como por exemplo os sienitos da região de Toritama (Fig. 9). A ausência de padrão diagnóstico distinto deve ser creditada ao grande espaçamento entre linhas, que não permite o mapeamento individualizado de pequenos corpos ígneos.

A comparação entre ambas regiões estudadas permite observar as diferenças de implementação entre a avaliação analógica da base de dados (Folha de Garanhuns) e digital (Folha Arcoverde) para a aplicação de uma mesma metodologia – no caso o IAEG –, onde se destacam a razoável correlação da modelagem em SIG com a interpretação analógica dos mesmos fatores. No entanto, a interpretação analógica é mais limitada devido à dificuldade de se reatribuir pesos aos diversos fatores analisados. É também mais sujeita a erros de geoposicionamento, já que o meio digital expõe inconsistências entre o mapa de pontos e a base geológica 1:250.000 da CPRM (Mendes *et al.* 2002), embora, simultaneamente, facilite a correção e atualização desta base de dados.

A combinação de diversos planos de informação para obter modelo explicativo é conhecida como modelamento. Aqui, trata-se de, a partir do cadastro de ocorrência de rochas ornamentais, buscar novas áreas de ocorrência passíveis de serem exploradas, utilizando todos os planos de informação disponíveis, ou seja, diversos mapeamentos geológicos, interpretação dos dados de gamaespectrometria, sensoriamento remoto, fotografias aéreas, topografia e lineamentos na imagem de radar, nas áreas de ocorrências conhecidas (alto IAEG), para selecionar *trends*.

Como critérios de seleção (cumulativos), foram pesquisadas as seguintes simultaneidades:

- Radar: áreas com baixa densidade de fotolineamentos retíneos, representando estruturas rúpteis.
- Gamaespectrometria: valores intermediários de Th e U, classes em tons azulados no mapa ternário.
- Geologia: litologias semelhantes às das ocorrências conhecidas, em locais onde predominam processos dúcties.
- Geomorfologia / MDT: relevo não arrasado, que facilita a exploração. Na área, em geral, ocorre associado à proximidade de cristas de quartzito.

CONCLUSÕES As principais anomalias selecionadas na Folha Arcoverde estão apresentadas na Figura 10, com três níveis de prioridade, onde se observa a boa correlação com as áreas selecionadas pelo IAEG estabelecido por comparação das rochas desta com a Folha Garanhuns.

A primeira área selecionada corresponde a uma porção de parte do complexo gnáissico-migmatítico Alto Moxotó, na sequência de tipo Sertânia, entre as localidades de Ingá e Caiçara, constitui-

Figura 7 - Folha Garanhuns 1:250.000, (Mendes et al., 2002, em preto), com litologias classificadas com alto IAEG, representadas esquematicamente por estrelas, como ponto de partida. A seguir é feita a comparação e uniformização de dados com Folha Arcoverde (1:250.000, Santos, inédita, em cinza), utilizando-se a área em comum (hachurada), para seleção de trends anômalos, prospectáveis para rochas ornamentais (elipse).

Figura 8 - Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG) aplicado ao mapa de geologia da Folha de Garanhuns (Mendes et al., 2002), ao qual se sobrepõe parcialmente – vide Fig. 5.

Figura 9 - Pontos com IEAG entre 85 (círculos pretos, em destaque) e 67 (círculo cinza claro) recaem sobre litologias com IEAG estimado 84 por Mendes et al. (2002), enquanto que ponto com IEAG 58 (círculo cinza claro) cai sobre litologias com IEAG estimado 77. Os dados, da região de Toritama, uma das principais produtoras de rochas ornamentais, estão apresentados sobre mapa de Tório (gerado a partir dos levantamentos Cariris Velhos, CPRM, 1977). Notar ausência de padrão diagnóstico nesta localidade.

da por biotita gnaisses com almandina e ocasionalmente com sillimanita, leptinitos, anfíbolitos, talcoxistos e rara concentração de grafita (PCA2Gn2, 1ª prioridade no modelamento SIG, com IEAG estimado em 70). A segunda área selecionada corresponde a outra porção do complexo do Alto Moxotó, na sequência de tipo São Caetano, entre as localidades de Cachoeira e Maravilha, constituídos por: biotita-muscovita gnaisses, muscovita gnaisses, biotita gnaisses, leptinitos e muscovita xistos (PCA2Gn1, 1ª prioridade no modelamento SIG, com IEAG baixo, estimado em 45). Como segunda prioridade temos nova porção mapeada como sequência de tipo Sertânia, entre as localidades de Bom Nome e Rio da Barra (PCA2Gn2, com IEAG também estimado em 70). Finalmente, duas áreas são consideradas como de 3ª prioridade, composta por migmatitos no núcleo do maciço de Jabitacá, próximo à localidade de Queimada Nova, com dominância de migmatitos granitóides (PCmig1, com IEAG baixo, estimado em 40).

Novas áreas foram demarcadas como prospectáveis para rochas ornamentais, em especial na porção oeste da Folha Garanhuns, região de Custódia, o que abre a possibilidade de alavancar a produção no estado de Pernambuco, ao caracterizar a geologia da Região de Arcoverde como favorável para estes bens minerais e indicar à iniciativa privada prioridades de pesquisa na região.

Agradecimentos À CPRM pelos dados de campo, por vezes inéditos, e em especial a Adelson Wanderley, Vanildo Mendes e Ivo Pessato pelas discussões sobre classificação de rochas ornamentais. Ao Prof. Edilton Santos pelas discussões sobre a geologia da região e permissão do uso de mapa inédito de sua autoria. JCSS obteve bolsa de pesquisa de DCR do CNPq (Proc. 300328/2000-1), executada no Grupo de Geotectônica e Geoquímica Aplicadas (GEG-Dgeo-UFPE), a quem agradece pela acolhida e convivência. LSO é bolsista de doutorado do CNPq. O projeto conta com financiamento do FINEP/PADCT (88.98.0745.00) e CNPq. Aos revisores da RBG pelas sugestões ao manuscrito. À RootsRock,

na pessoa de seu diretor Franciscus Jacobus Baars, pela cobertura dos custos de parte das figuras coloridas.

References

- ADIMB - DNPM. 1999. Projeto Mosaicos de Radar em Formato Digital. <http://www.adimb.com.br/radam.htm>. Acesso verificado em 11/03/2003.
- Agência Estado, Cadernos Setoriais, Mineração e Metalurgia. 2002. Rochas Ornamentais. <http://www.aesetorial.com.br/ext/cadernos/mineracao/tecnologia3.htm>. Acesso verificado em 11/03/2003.
- Chiodi Filho C. 2002. Exportações brasileiras capixabas do setor. http://www.revistapedras.com.br/edicao_06/artigo.htm. Acesso verificado em 05/10/2002.
- CPRM. 1977. Projeto Cariris Velhos. <http://www.cprm.gov.br/aero/1000/aero1000.htm>. Acesso verificado em 11/03/2003.
- CPRM. 2001. GIS do Mapa geológico do Brasil 1:5.000.000. CD.
- Dickson B.L. & Scott K.M. 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveys adding the geochemical factors. *AGSO J. Austral. Geol. Geoph.*, **17**:187-200.
- Duval J.S. 1983. Composite color images of aerial gamma-ray spectrometric data. *Geophysics*, **48**:722-735.
- Galbraith J.H. & Saunders D.F. 1983. Rock classification by characteristics of aerial gamma-ray measurements. *J. Geoch. Explor.*, **18**:49-73.
- Harris J.R., Bowie C., Rencz A.N., Graham D. 1984. Computer enhancement techniques for the integration of remotely sensed, geophysical and thematic data for the geosciences. *Can. J. Rem. Sensing*, **20**:210-221.
- Holanda C.J.N., Cunha A.C., Silva F.A.F. 1987. *Catálogo dos Granitos de Pernambuco – Rochas para Revestimento*. Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Indústria Comércio e Minas. Minérios de Pernambuco S. A. Recife, 115p.
- Marble Connection World. 2002a. Caracterização Comercial das Rochas Ornamentais no mercado internacional. <http://www.marble.com.br/article/view/77>. Data de publicação: 23.08.2002 11:00. Acesso verificado em 11/03/2003.
- Marble Connection World 2002b. Estado de Pernambuco tem 60 tipos de granito. <http://www.marble.com.br/article/view/147>. Data de publicação: 05.09.2002 17:39. Acesso verificado em 11/03/2003.
- Marble Connection World 2002c. Sindicatos avaliam o setor de rochas ornamentais. <http://www.marble.com.br/article/view/174>. Data de publicação: 23.09.2002 16:37. Acesso verificado em 11/03/2003.
- Mendes V.A., Paiva I.P., Silva Filho A.F., Seoane J.C.S., Santos E.J., Guimarães I.P., Siqueira D.V., Brasil E. 2002. Condicionamento geológico das ocorrências de rochas ornamentais das Folhas Garanhuns e Belém do São Francisco, escala 1:250.000. In: Simp. Rochas Ornamentais do Nordeste, 3, Recife, *Anais*, 99-112.
- Osako L.S., Silva Filho A.F., Castro N.C. 2002. Informações Landsat 5/TM e aerogamaespectrométricas aplicadas ao mapeamento geológico a oeste de Garanhuns (PE), Maciço PE-AL, Província Borborema. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 31, João Pessoa, *Anais*, 165.
- Reeves C.V., Redford S.W., Milligan P.R. 1997. Airborne geophysics: old methods, new images. In: Exploration 97: Decennial Intern. Conf. Mineral Exploration, 3, Toronto, Canada, *Proceedings*, 13-30.
- Santos E.J. 1970. *Mapa Geológico da Folha de Arcoverde*. Ministério do Interior. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Departamento de Recursos Naturais. Divisão de Geologia. Recife, inédito.
- Seoane J.C.S., Osako L.S., Silva Filho A.F., Santos E.J., Mendes V.A. 2002a. Prospecção de granitos e migmatitos através do uso de Sistema de Informação Geo-referenciada. In: Simp. Rochas Ornamentais

Figura 10 - Alto da página: composição ternária utilizando potássio – potássio/urânio – potássio/tório ($r = \%K$, $g = \%K/eU$, $b = \%K/eTh$), acrescida dos contatos litológicos das Folhas Garanhus e Arcoverde, em branco, sobre imagem de radar. Notar que ocorrências conhecidas e anomalias selecionadas pelo modelamento em SIG tem boa correlação com áreas selecionadas pelo IAEG (Figura 8). Região anômala conhecida em verde, anomalias a pesquisar gradando de vermelho (primeira prioridade) a amarelo (terceira prioridade), segundo somatório dos critérios adotados. Abaixo, à esquerda: Mapa de distribuição de tório, com contatos litológicos em branco. Vários pontos tem padrão similar às ocorrências conhecidas, distribuídos ao longo de trends. Abaixo, à direita: Mapa de distribuição de urânio. Como no caso do tório, vários pontos tem padrão similar às ocorrências conhecidas ao longo de trends, embora com valores mais altos. Área apresentada corresponde à porção norte da Folha Arcoverde.

do Nordeste, 3, Recife, *Anais*, 124-131.

Seoane J.C.S., Osako L.S., Silva Filho A.F., Santos E.J., Mendes V.A. 2002b. Integração e Avaliação de Base de Dados de Prospecção de Granitos e Migmatitos em Sistema de Informação Geo-referenciada. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 41, João Pessoa, *Anais*, 171-172.

Manuscrito SR-10

Recebido em 17 de novembro de 2002

Revisão dos autores em 12 de março de 2003

Revisão aceita em 21 de abril de 2003