

ANÁLISE DAS TENSÕES DE ALÍVIOS EM BLOCOS PARA ROCHAS ORNAMENTAIS: SÃO MARCOS E DOS PEGMATÓIDES GOLDEN, EXOTIC E CAPUCCINO

Alfredo César Vale de Araújo¹

Marcelo José Dias Vieira²

Evenildo Bezerra de Melo²

Felisbela Maria de Oliveira¹

Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros²

Resumo

Muitos corpos rochosos superficiais apresentam elevadas componentes horizontais de tensões naturais. A concentração destas tensões em decorrência da lavra de rochas ornamentais pode causar a propagação de fraturas em bancadas e pranchas, comprometendo a recuperação da reserva. Portanto esta análise é uma importante ferramenta a ser aplicada ao planejamento de lavra de rocha ornamental. O mapeamento das discontinuidades, as distribuições das tensões, os marcadores de deformação (Sigmóides, Boudins e fraturas de Riedel) devem ser considerados no estudo das fraturas ocasionadas na exploração de rochas ornamentais pelo alívio gerado, dependendo do estado do maciço: confinado ou aflorante. Este artigo estuda os marcadores de deformação, e das fraturas de alívio, nas jazidas de rochas ornamentais Preto São Marcos, Golden, Exotic, e Cappuccino localizadas, respectivamente nos municípios de Casserengue e Santo Antônio do Seridó, na Paraíba. Para a análise das tensões e deformações, conclui-se que na produção de rochas ornamentais é determinante que as frequências de fraturas sejam inferiores a 1/m para viabilizar a produção de blocos após o desmonte da prancha.

Palavras-chave: Maciços; Tensões; Aflorante; Confinado.

ANALYSIS OF STRESS RELIEF BLOCK FOR ORNAMENTAL ROCKS: SAN MARCOS AND GOLDEN PEGMATOID, EXOTIC AND CAPUCCINO

Abstract

Several superficial rocky massif present high horizontal components of natural strains. The concentration of these tensions as a result of the mining of ornamental rocks can cause the spread of fractures in the stands and boards, jeopardizing the recovery of the reserve. Therefore this analysis is an important tool to be applied to the planning of ornamental rock mining. Mapping of discontinuities, distribution of stress, deformation markers (sigmoid, Boudins and Riedel fractures) should be considered in the study of fractures caused in the exploration of ornamental rocks by the relief generated, depending on the rocky massif state: confined or outcropping. This paper studies the deformation and relief fractures markers in the deposits of ornamental rocks St. Mark Black, Golden, Exotic, and Cappuccino located respectively in the municipalities of Casserengue and Santo Antonio of Seridó, Paraíba. For the analysis of stresses and deformations, it is concluded that in the production of ornamental rocks it is determinant that the frequency of fractures are less than 1/m to facilitate the production of blocks after the dismantling of the board.

Keywords: Massif; Tension; Outcropping; Confined.

¹Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, PE, Brasil. E-mail: cesarvale_araujo@hotmail.com

²Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, PE, Brasil.



I INTRODUÇÃO

As várias forças atuantes no interior da crosta terrestre causam perturbações no maciço rochoso, fato observado no terreno onde as rochas originalmente formadas a grandes profundidades hoje afloram, mostrando terem sido deformadas através dos tempos geológicos. Nesses maciços devem ser buscados os marcadores de deformação característicos de estágio frágil, dúctil e rúptil [1]. A força externa atuante em um maciço rochoso resulta em marcadores de deformação tais como sigmóides preservados ou, às vezes, rompidos (*rods*), fraturas de alívio, de distensão ou de cisalhamento (par de *Riedel* - que pode evoluir para falhas) e *boudin*, elementos estruturais caracterizados por deformações ocorridas nos maciços e, portanto, marcadores do estágio alcançado pelo evento deformador. Os movimentos podem ter máxima componente horizontal, denominada direcional ou transcorrente, podendo ser sinistrógiros (anti-horários ou sinistros) ou levógiros (horários ou dextrais). As fraturas de *Riedel*, que constituem um par conjugado, formando ângulo de 60° , resultam de esforço compressivo atuante na bissetriz do ângulo agudo supracitado [2]. Podem ser transformadas em falhas e movimento de camadas, caracterizando o estágio rúptil da deformação. Muitas vezes, na Natureza, se observa esse par conjugado associado com superfícies de cisalhamento, nomeada C, e foliação da rocha, denominada de S. Exemplo mais acessível à observação são os experimentos em que se testam corpos de prova para determinação do limite de ruptura, oportunidade em que as fraturas, tipo par de *Riedel*, evoluem para falhas justamente quando o corpo de prova se rompe. O ângulo do referido par, exibe uma forma em V, o que facilita a sua distinção, inclusive quando associado com superfície de cisalhamento e com sigmóide como na Figura 1, ou quando não há sigmóide como apresentado na Figura 2. Observe-se que quando há sigmóide rompido, também conhecido como *Rod*, mostrado na Figura 1, ou quando há *boudin*, sua presença é mais frequente e melhor observada no segundo caso, pois melhor se caracteriza o estágio de deformação rúptil [2].

Boudin é a forma resultante do processo de *boudinage* pelo qual uma rocha ou mineral mais competente do que a encaixante adquire um formato lenticular, cujo alongamento se situa na bissetriz do ângulo obtuso, de cerca de 120° e, portanto, ortogonal ao esforço compressivo. Resulta que todo *boudin* pode expor as fraturas de *Riedel* como nas Figuras 3A, B, pois são marcadores do estágio rúptil de deformação. Oportuno esclarecer que material pétreo mais competente é mais rúptil enquanto o menos competente, ou incompetente, é mais dúctil. Do ponto de vista de composição mineral, o quartzo transmite maior competência enquanto as micas transmitem mais incompetência. Os feldspatos são menos competentes do que o quartzo e menos incompetentes do que as micas. Portanto, competência se vincula com falta de clivagem, enquanto incompetência se vincula com existência de clivagem perfeita. Explica-se: a clivagem faz com que a energia vibratória ganhe mais velocidade ao



Figura 1. Sigmóide.



Figura 2. Fraturas de Riedel.

longo de seu plano, como no caso das micas, reduzindo as chances de fragmentação ou ruptura. Analogamente, a foliação atua na rocha, como a clivagem atua no mineral, traduzindo pois a maior ou menor competência do material rochoso. Materiais orientados são menos competentes ou mais dúcteis e os mais isotrópicos são mais competentes, mais rúpteis [3].

O principal objetivo desse estudo é a análise das feições geométrico-estruturais identificadas nos maciços rochosos utilizados para produção das rochas ornamentais denominado comercialmente, Preto São Marcos e Cappuccino. Essas rochas são explotadas respectivamente pelas empresas Top Stone Mineração e Fuji S/A Mármore e Granitos, ambas na Paraíba, como mostra a Figura 4.

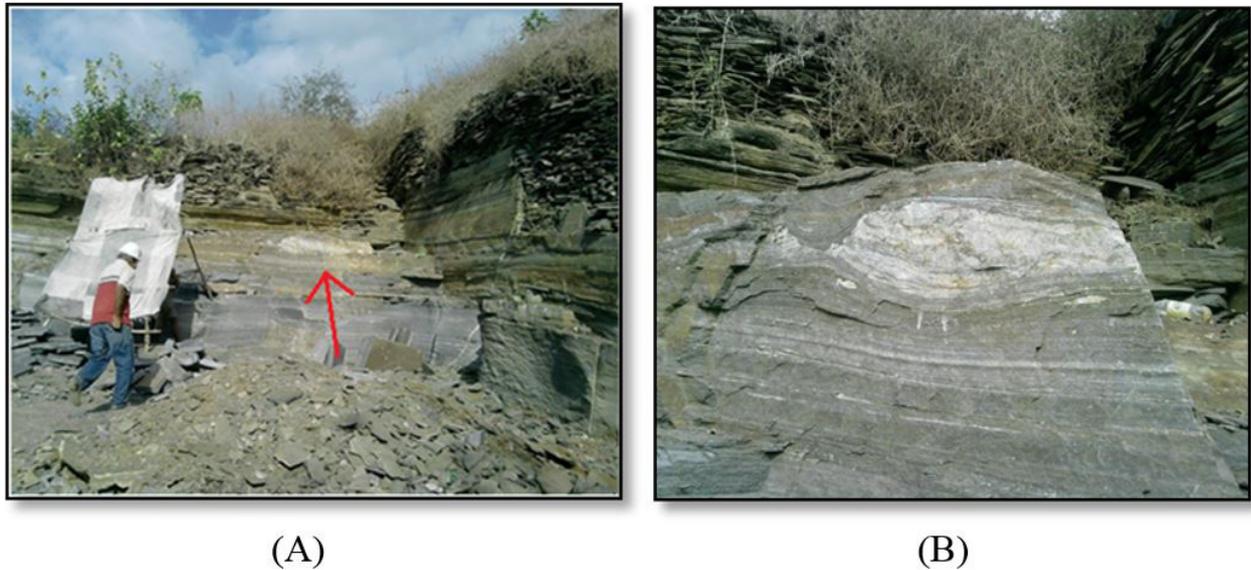


Figura 3. Boudin (A), explicitando o estágio rúptil de deformação, e sua imagem ampliada (B).

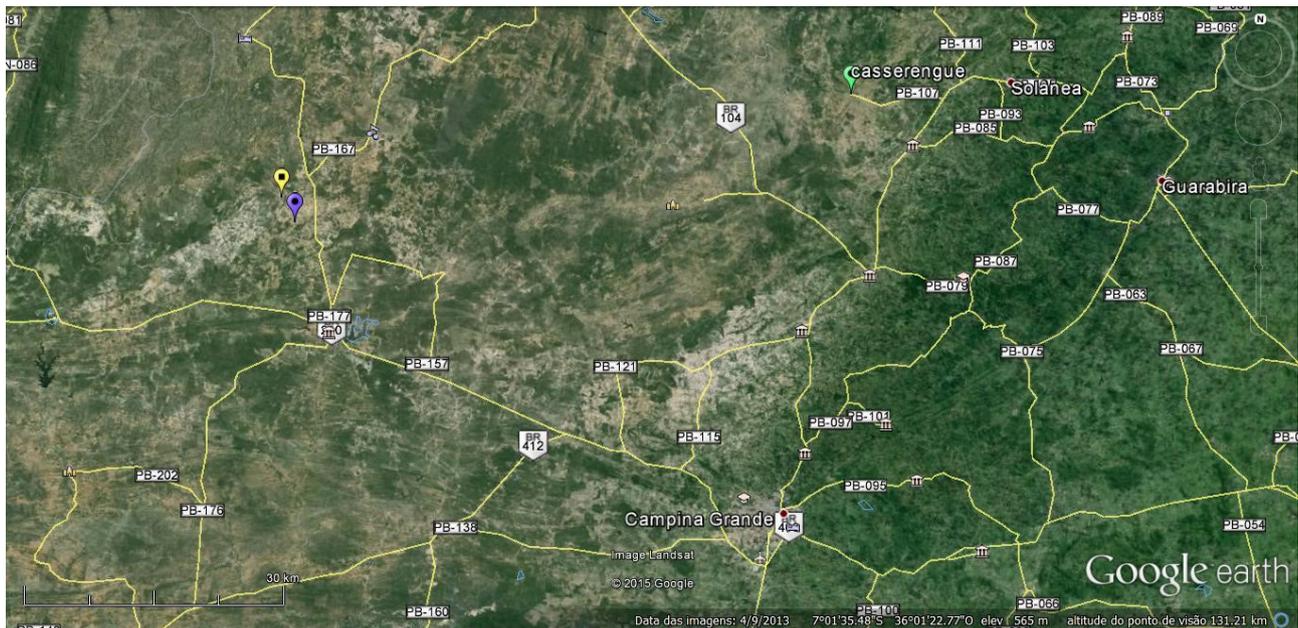


Figura 4. Mapa da localização das áreas de estudo. Fonte: Google Earth [4].

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo tem como ponto de partida duas pedreiras de rochas ornamentais distintas: Top Stone Mineração, com o gabro conhecido comercialmente como Preto São Marcos, localizada no município de Casserengue; e Fuji S/A com três produtos, Exotic e Golden, no ponto azul no mapa, e o Cappuccino, ponto em amarelo no mapa, ambos na Figura 4, no Estado da Paraíba.

O granito Preto São Marcos, ponto verde no mapa, está localizado acerca de 10 km do município de Casserengue e a 64 km da cidade de Campina Grande, na Paraíba. Na pedreira, a ocorrência do material se dá na forma de

matações e maciços. A área da lavra ocorre em um pluton gabróide que ocupa 6 km² de área. O Preto São Marcos, do ponto de vista geotectônico, corresponde a uma fração da suíte plutônica neoproterozóica ocupando parte dos terrenos São José do Campestre e Faixa Seridó, Rio Grande do Norte. Em afloramentos, o granitóide Preto São Marcos apresenta um aspecto quase homogêneo, tanto na cor como na textura, e pode ser descrito como uma rocha ígnea, de granulometria média a grossa e textura hipidiomorfa a porfírica com fenocristais de até mais de 1 (um) cm. Portanto trata-se de rocha gabróide, cuja granulação dos cristais varia deste supramilimétrica a centimétrica, desdobrando potencialidade de baixa alterabilidade, sobretudo beneficiada

pela presença do magnésio, dado que neutraliza ou diminui o potencial de oxidação, não raro estimulado pelo ferro. O granito pegmatóide Cappucino apresenta um domínio de plagioclásios sódicos sobre feldspatos potássicos, com porção de quartzo e lamelas de muscovita. Esses granitos pegmatóides são interpretados como pertencentes à última fase do Ciclo Brasileiro, estando associados às intrusões pegmatíticas da Província Pegmatítica da Borborema.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado a partir de observações de campo nas duas pedreiras tomadas como parâmetros de estudo. Consistiu em diagnóstico de campo onde foram selecionadas previamente duas áreas que apresentavam afloramento e confinamento. Uma das metodologias aplicada no trabalho foi proposta por Palmström (1982) [5], sugerindo que, quando não se dispõe de testemunhos de sondagem, mas os traços de descontinuidades são visíveis nas superfícies de exposição de um maciço rochoso, o IQR (Índice de Qualidade da Rocha) poderá ser estimado a partir do número de descontinuidades por unidade de volume, parâmetro que pode ser determinado pela adição das frequências (número de descontinuidades por metro) obtidas para cada conjunto individual de descontinuidades ao longo de linhas de varredura normais a cada conjunto. *In loco*, foram feitos registros fotográficos, correspondentes a essas linhas de varredura que se define como *scan face*. O Scan Face é um método utilizado para mapear, em detalhe, as descontinuidades presentes em maciços rochosos.

O espaçamento, ou frequência, das descontinuidades é determinado em termos da distância média entre as descontinuidades, sendo as distâncias tomadas geralmente ao longo de linhas de varredura complementados por macro análise dos maciços, como pode ser visto na Tabela I, sempre através de observação visual direta dos mesmos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho demonstrou o comportamento das tensões sobre maciços rochosos nos diferentes ambientes, seja confinado ou aflorante, em pedreiras de rochas ornamentais, ocorrentes em ambientes confinados (Granitóide Preto São Marcos) e aflorante (Golden, Exotic e Cappuccino). Análise feita em campo permitiu observar que as jazidas em ambiente confinado apresentaram tensões de alívio com frequência de fraturamento superior a 1/metro caracterizando o estágio de deformação do maciço rochoso como frágil/dúctil, ocasionando, todavia, dificuldades para se obter o bloco de partição, cujas dimensões devem ser compatíveis com aquelas do tear multi-lâminas ou multi-fios. Observa-se também a ocorrência das jazidas em baixo relevo; e como resultado, o confinamento original, ao ser removido, faz surgir fraturas de alívio após a abertura da face livre, como mostram as Figuras 5 e 6.

No caso de jazidas em ambiente aflorante foi diagnosticada a presença de fraturas de alívio com frequência inferior a 1/metro, conforme a Figura 7. Este fato favorece a uma otimização superior do bloco de partição; menos fraturas no maciço possibilita a extração de blocos maiores,

Tabela I. Dados coletados para visualização da linha de varredura contendo os principais parâmetros analisados no maciço

Ponto (m)	Fratura	Direção (Az)	Mergulho (Az)	Distância (cm)	Frequência	Estágio Reológico
0-30	1	73/253 Az	54/163 Az	≥ 5 cm	4/m	Frágil Rúptil
	2	75/257 Az	15/347 Az	≥ 20 cm	3/m	Frágil Dúctil
	3	40/220 Az	22/310 Az	≥ 10 cm	4/m	Frágil Rúptil
	4	160/340 Az	30/250 Az	≥ 15 cm	2/m	Frágil Dúctil
	5	35/215 Az	69/125 Az	≥ 5 cm	4/m	Frágil Rúptil
	6	10/190 Az	67/280 Az	≥ 20 cm	3/m	Frágil Dúctil
30-60	7	65/245 Az	50/155 Az	≥ 15 cm	2/m	Frágil Dúctil
	8	165/345 Az	70/255 Az	≥ 10 cm	4/m	Frágil Rúptil
	9	70/250 Az	50/160 Az	≥ 20 cm	3/m	Frágil Dúctil
	10	85/265 Az	50/175 Az	≥ 10 cm	6/m	Frágil Rúptil
	11	165/345 Az	70/255 Az	≥ 5 cm	4/m	Frágil Rúptil
	12	150/330 Az	30/240 Az	≥ 10 cm	4/m	Frágil Rúptil
	13	105/295 Az	25/205 Az	≥ 10 cm	5/m	Frágil Rúptil
	14	160/340 Az	73/70 Az	≥ 20 cm	3/m	Frágil Dúctil
	15	50/230 Az	59/320 Az	≥ 5 cm	4/m	Frágil Rúptil
	16	20/200 Az	84/290 Az	≥ 5 cm	4/m	Frágil Rúptil
60-72	17	60/240 Az	57/150 Az	≥ 10 cm	5/m	Frágil Rúptil
	18	65/245 Az	82/155 Az	≥ 10 cm	6/m	Frágil Rúptil
	19	155/335 Az	60/245 Az	≥ 10 cm	5/m	Frágil Rúptil
	20	180/360 Az	vertical	≥ 5 cm	7/m	Frágil Rúptil



Figura 5. Frente de Lavra Sul da Pedreira Top Stone, Preto São Marcos, município de Cassenregue-PB.



Figura 6. Indicação de fratura de alívio na frente de lavra, pedreira Fuji, Rocha ornamental tipo Cappuccino.

compatíveis com as dimensões dos teares, melhorando a produtividade das chapas.

Observa-se uma maior susceptibilidade de exposição das fraturas na face aberta com fio diamantado, devido ao alívio das tensões no maciço que ocorre de maneira instantânea, ao contrário do que ocorre nas faces abertas com a técnica da perfuração contínua ou pré-corte com massa expansiva,

onde teremos um tempo maior para o alívio das tensões no maciço, como mostra a Figura 8.

Observa-se também, uma zona de deformação composta por um arranjo de pequenas falhas. Estas são classificadas com base na atitude e sentido do deslocamento em relação à tendência geral da zona de falhas de rejeito direcional como mostra a Figura 9.



Figura 7. (A) indicação de fratura de cisalhamento; (B) indicação fratura de alívio. Frente de lavra sul na pedreira Top Stone.



Figura 8. Indicação de fratura de cisalhamento na frente de lavra sul na pedreira Top Stone.



Figura 9. Indicação de fraturas de cisalhamento tipo Riedel.

A lavra a céu aberto é um tipo de método aplicado à mineração quando há baixa relação estéril/minério, caracterizando-se, adicionalmente, por impulsionar a sua produtividade em áreas de afloramento do maciço rochoso [6]. No trabalho em pedreiras, que se relacionam com o método de lavra a céu aberto, destacam-se certos estudos como: **i.** orientação das bancadas da pedreira, ou de sua face livre concordante com a superfície alongante da rocha, para otimização da frente de lavra; **ii.** área a ser explorada para otimização da malha utilizada, para o desmonte de rocha com explosivos; **iii.** segurança traduzida pela acessibilidade dos transportes utilizados na pedreira e possíveis rotas de fuga em caso de acidentes; **iv.** estudo das propriedades geomecânicas da rocha, que terá influência direta na seleção do método de lavra apropriado na extração e na seleção dos equipamentos a serem utilizados, e na qualidade do produto extraído para fase de beneficiamento [7].

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na produção de rochas ornamentais é determinante que as frequências de fraturas sejam inferiores a 1/m para viabilizar a produção de blocos após o desmonte da prancha.

REFERÊNCIAS

- 1 Teixeira W, Fairchild TR, Toledo MCM, Taioli F. Decifrando a terra. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional; 2009. 623 p.
- 2 Fossen H. Geologia estrutural. São Paulo: Oficina de texto; 2012. vol. 1.

Entretanto no caso do Preto São Marcos, análise feita em campo permitiu observar que as jazidas em ambiente confinado apresentaram tensões de alívio com frequência de fraturamento superior a 1/metro caracterizando o estágio de deformação do maciço rochoso como frágil/dúctil, ocasionando, todavia, dificuldades para se obter o bloco de partição. É verdade, contudo, que há possibilidade da aplicação de técnica de resinamento de blocos o que melhora o beneficiamento das chapas, quando o material pétreo ornamental, apesar de apresentar comportamento frágil, tem grande aceitação no mercado Este é caso de materiais como os pegmatóides cuja textura atrai as atenções dos profissionais da área de Arquitetura e Design. Igualmente, a determinação do bloco de partição é indispensável para uma melhor exploração de cada frente. Por fim, a técnica de utilização do fio diamantado para abertura de face livre vem melhorando bastante durante a exploração da rocha ornamental, mas pode ser observada na documentação fotográfica apresentada, sua maior susceptibilidade para expor fraturas de alívio e de distensão [8].

- 3 Beer PF, Johnston ER Jr. Resistência dos materiais. 3. ed. São Paulo: Editora Pearson Makron Books; 1995. 1255 p.
- 4 Google Earth [página da internet]. 2015 [acesso em 9 ago. 2015]. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>
- 5 Araújo A. Marcadores de deformação e estágio de deformação com determinação do bloco de partição em pedreiras na região metropolitana do recife [dissertação de mestrado]. Recife: Centro de Tecnologia e Geociência, Universidade Federal de Pernambuco; 2014.
- 6 Fiori AP. Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes. 2. ed. Paraná: Editora UFPR; 2009. p. 438-439.
- 7 Matta PM. Prospecção e pesquisa de rochas ornamentais: uma contribuição à produção limpa. In: Anais do 4º Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste; 2003; Fortaleza, Brasil. Fortaleza: CETEM/SBG; 2003. p. 21-32.
- 8 Menezes GR. Curso de especialização em tecnologia e valorização em rochas ornamentais: tecnologias de lavras em maciços rochosos [monografia]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2005.

Recebido em: 5 Jan. 2016

Aceito em: 23 Maio 2016