

ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO DO SUDOESTE DO ESTADO DO MATO GROSSO

Jesué Antonio da SILVA ¹, Antonio Misson GODOY ²
Larissa Marques Barbosa de ARAÚJO ³

(1) Pós-Graduação, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro e Companhia Matogrossense de Mineração METAMAT. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: jesuesilva@yahoo.com.br

(2) Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: mgodoy@rc.unesp.br

(3) Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável - ICAD, Universidade Federal da Bahia/Campus Reitor Edgard Santos. Rua Prof. José Seabra, s/n – Centro. CEP 47805-100. Barreiras, BA. Endereço eletrônico: larissamarquesba@gmail.com

Introdução
Aspectos Geológicos
Caracterização Química
Caracterização Tecnológica
Caracterização ao Ataque Químico
Considerações Finais
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – Os estudos geológicos, petrográficos, geoquímicos e tecnológicos de rochas do sudoeste do Estado do Mato Grosso, encontram-se direcionados à qualificação e aplicação de materiais pétreos como material ornamental e de revestimento. Visa ampliar a oferta de novas variedades estéticas de rochas que apresentem padronização das características tecnológicas, adequada identificação e tipificação, além de apresentarem atributos mínimos quanto às suas propriedades tecnológicas, assegurando a correta especificação destas rochas frente aos usos pretendidos respeitando-se, além do efeito estético desejado, as características tecnológicas. São descritos 10 tipos rochas que demonstram viabilidade econômica de lavra, entre granitos, diabásio, gnaisses e anfíbolitos, agrupados na cores predominante vermelha, cinza e preta. Os resultados obtidos nos ensaios tecnológicos das variedades mostram que os parâmetros analisados situam-se dentro dos limites padrões estabelecidos pelas normas e obedecem satisfatoriamente os valores limites fixados para granitos utilizados como rocha ornamental e de revestimento em ambientes internos e externos.

Palavras-chave: Mato Grosso, Ensaios Tecnológicos, Rocha Ornamental.

ABSTRACT – *J.A. da Silva, A.M. Godoy, L.M.B. de Araújo - Dimension stone and covering of the south of the Mato Grosso State.* Geological, petrographical, chemicals and technological studies of rocks of the southwest region of Mato Grosso State, Brazil have the purpose of qualification and application of these rocks as dimension stones. The first objective is to enlarge the offering of new esthetic varieties that show a standardization of technologic patterns, adequate characterization and classification assuring the correct specification of the rocks in relation to the use as dimension stones. Ten rock types are recognized for dimension stones, including granites, diabases, gneisses and amphibolites grouped by its colors in red, grey and black types and showing economic potential of plowing. The results obtained in the technological essays show that the rock parameters are sited inside the standard limits established by technical rules and obey satisfactorily the limit values fixed for granites in internal and external covering uses.

Keywords: Mato Grosso, Technological Analysis, Dimension Stone.

INTRODUÇÃO

O setor de rochas ornamentais e de revestimento é, atualmente, uma área da mineração que apresenta um grande crescimento, devido principalmente a intensificação da aplicação de materiais pétreos como elemento de revestimento, especialmente em fachadas e pisos. O crescimento constante desse setor ao longo dos últimos anos tem sido marcado pela competitividade e pelo nível de exigência do mercado consumidor, fatores que requerem a intensificação de pesquisas

contemplando a oferta de rochas com novas variedades estéticas e que tenham atributos mínimos quanto às propriedades tecnológicas, assegurando a adequada aplicação da rocha.

A utilização crescente de rochas ornamentais em obras civis tem alertado os usuários para os problemas decorrentes de uma escolha inadequada desses materiais. A melhor medida preventiva para esses problemas é a divulgação de especificação adequada das rochas

aos usos pretendidos respeitando-se, além do efeito estético desejado, as características tecnológicas.

Atualmente, o Estado do Mato Grosso encontra-se entre os menores produtores nacionais na exploração de rochas ornamentais, apresentando como único trabalho abrangente o Catálogo de Rochas Ornamentais do Estado de Mato Grosso (DNPM, 1998) e recentemente em trabalhos de (Godoy et al., 2003, 2005a, b; Silva et al., 2007a, b, c; 2008). Ressalta-se também o trabalho de uma única empresa produtora, a “De Jorge Mineração Ltda.”, que nos anos de 1993 a 1995 beneficiou blocos oriundos do Granito São Vicente, com a denominação comercial de “Vermelho Pantanal”, e atualmente, no extremo noroeste de Mato Grosso no município de Rondolândia, onde situam-se as duas únicas jazidas de rochas ornamentais em atividade exploradas pela “Gramazon Ltda.” de Rondônia, constituídas pelo Granito Marrom, denominado de “Café da Amazônia” e o Granito Cinza Marrom, denominado de “Prata da Amazônia”.

O presente trabalho apresenta a caracterização dos aspectos geológicos, petrográficos, estruturais, químicos, tecnológicos (físico-mecânicos), de dez áreas localizadas na região sudoeste do Mato Grosso. Sendo selecionados dez tipos de rochas com padrões de ordem

estéticos variados e abrangendo uma ampla diversidade litológica, além da importância quanto a sua distribuição geológica e geográfica e exequibilidade de lavra a partir de aspectos geológicos e geomorfológicos favoráveis à extração mineral, tais como morros com cobertura delgada de solo e matacões de dimensões amplas.

A partir desta concepção espera-se agregar ao conhecimento geológico os parâmetros técnicos direcionados ao estudo das rochas ornamentais possibilitando a transformação econômica deste bem mineral e contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico do estado, com novas variedades de rochas e assim, contribuir para a implantação e desenvolvimento desta cadeia produtiva de transformação.

A caracterização técnica acima citada possibilitará o aproveitamento de rochas já aceitas no mercado consumidor, bem como resultará em novas contribuições com solicitações para suas utilizações, apoiadas em critérios técnicos e viabilidade de soluções arquitetônicas, estéticas e funcionais muito mais confiáveis na construção civil. Estas novas variedades necessitam de estudos adequados para cubagem de cada padrão estético identificado, ou mesmo ampliação dos estudos para demais fácies que nesta primeira avaliação não foram selecionadas como prioritárias.

ASPECTOS GEOLÓGICOS

A nomenclatura utilizada para as rochas ornamentais denominada de granitos e movimentados incluem neste trabalho as rochas ígneas constituídas por granitos e diabásios, e para as rochas metamórficas caracterizadas por gnaisses, migmatitos e anfíbolitos objetos. As rochas estudadas são do ponto de vista geológico relativamente conhecidas e parcialmente descritas no mapa geológico do estado (Lacerda Filho et al., 2004) e nos trabalhos geológicos regionais de (Ruiz, 2005; Ruiz et al., 2005) e trabalhos específicos por (Godoy et al., 2003; 2005a, b). Quanto aos aspectos geológicos regionais, as áreas pesquisadas situam-se no Cráton Amazônico e, na Figura 1, encontram-se indicadas a localização das áreas de exposição das unidades geológicas estudadas.

As principais características petrográficas dos 10 sub-tipos de rochas estudadas encontram-se sumarizadas na Tabela 1 e foram agrupados pela coloração dominante: os *Granitos e Movimentados Vermelhos* (1) Granito Sararé, (2) Granito Rio Branco, (3) Ortognaisse Fortuna, (4) Ortognaisse Indiavaí Vermelho; os *Granitos e Movimentados Cinzas* (5) Granito Nova Lacerda, (6) Ortognaisse Indiavaí Cinza, (7), Ortognaisse Cachoeirinha e os *Granitos e Movimentados Pretos* (8) Anfíbolito Indiavaí, (9) Anfíbolito Canaã, (10)

Diabásio Salto do Céu. Na Figura 2 encontram-se ilustradas as variedades a partir de placas polidas.

O *Granito Sararé* (1) situa-se na porção SW do Cráton Amazônico à cerca de 60 km de Pontes e Lacerda. Sua exposição é da ordem de aproximadamente 80 km² e forma alongada segundo a direção NE-SW. Segundo Araújo-Ruiz (2003) o granito é constituído por três fácies, a fácies biotita monzogranito, a fácies muscovita monzogranito que foi caracterizada neste estudo e a fácies monzogranito. A fácies muscovita monzogranito é a mais abundante, distribuindo-se por toda porção norte-central do corpo na forma de matacões, lajedos e suaves morros subarredondados do tipo meia-laranja. São rochas leucocráticas, róseas, isotrópicas podendo localmente, mostrar uma fraca anisotropia de origem cataclástica, inequigranulares médias com grãos variando de 4,0 mm a 1,3 cm.

O *Granito Rio Branco* (2) constitui na Suíte Intrusiva Ácida Rio Branco caracterizada no Domínio Cachoeirinha, sendo identificadas três fácies, a mais comum, de composição sienogranítica, seguida pela monzogranítica e mais raramente a de composição granodiorítica (Araújo, 2008). A fácies individualizada para este estudo corresponde a fácies de composição

TABELA 1. Principais características petrográficas das rochas da região sudoeste do Estado do Mato Grosso.

		TIPO VERMELHO				TIPO CINZA			TIPO PRETO			
		Sararé	Rio Branco	Fortuna	Indiavaí	Nova Lacerda	Indiavaí Cinza	Cachoeirinha	Indiavaí	Canaã	Salto do Céu	
% Mineral/Amostra		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	
Microclínio (Fk)		37	38	36	31	28	35	25	40	38	45	
Plagioclásio (Pl)		30	34	28	30	32	31	33	05	05	05	
Quartzo (Qz)		30	24	22	26	20	26	22	10	09	08	
Biotita		02	03	10	12	10	07	13	15	12	10	
Hornblenda		tr	-	3	-	05	-	tr	28	33	31	
Muscovita		01	-	tr	01	tr	tr	tr	-	-	-	
M. Acessórios	apatita	tr	tr	tr	-	tr	-	tr	tr	tr	tr	
	zircão	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	
	titanita	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	
	allanita	tr	-	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	
	rutilo	-	-	tr	-	tr	-	tr	tr	-	tr	
	minerais opacos	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	
M. Secundários	sericita	tr	tr	02	01	02	01	01	-	-	-	
	clorita	tr	tr	tr	-	tr	01	tr	01	01	01	
	epidoto	tr	-	-	tr	-	tr	tr	tr	tr	tr	
	carbonato	tr	-	-	-	tr	-	tr	tr	tr	-	
	argilo-minerais	-	-	-	tr	tr	tr	tr	tr	tr	-	
Estrutura	Isotrópico		Anisotrópico		Isotróp	Anisotrópico				Isotróp		
Textura	Inequ./Porfir.	Porfir.	Porfc		Inequ./Porfi	Porfir.	Porfir.	Equig.	Equig.	Porfir.		
Cor	Vermelho				Cinza			Preto				
Índice de cor	< 5	< 5	< 13	< 12	< 15	< 7	< 13	.> 40				
Granulação (mm)	Matriz	Me/Gr	Me	Me	Me	Me	Me	Me/Gr	Fina			
	Fenocristais	Composição	Fk/Pl	Fk/Pl/Qz	Fk/Pl	Fk/Pl/Qz	/FkPl	Fk	Fk/Pl	-	-	PL
		Cor	Vermelho		Róseo		Branco	Róseo		-	-	Branco
		Forma	Sub.	Sub./Ov.			Ane	Sub./Ov.	Ane	-	-	Sub./Ov.
		Tamanho Máx.	1 cm	2 cm	2 cm	3 cm	1 cm	1 cm	2 cm	-	-	10 cm
		Tamanho Méd.	<1 cm	1 cm	1 cm	1,5 cm	< 1 cm	< 1 cm	< 1 cm	-	-	3 cm
Porcentagem	< 4	< 15	< 10	< 20	< 1	< 5	< 2	-	-	20		
Classificação	Granito		Gnaiss		Granito	Gnaiss		Anfibólito		Diabásio		
COMPOSIÇÃO (QAP)	Monzo-Sieno granito	Sieno granito	Monzo-granito	Monzo-Sieno granito	Monzo-granito	Monzo-Sieno granito	Monzo-granito	Basalto	Basalto	Diabásio		

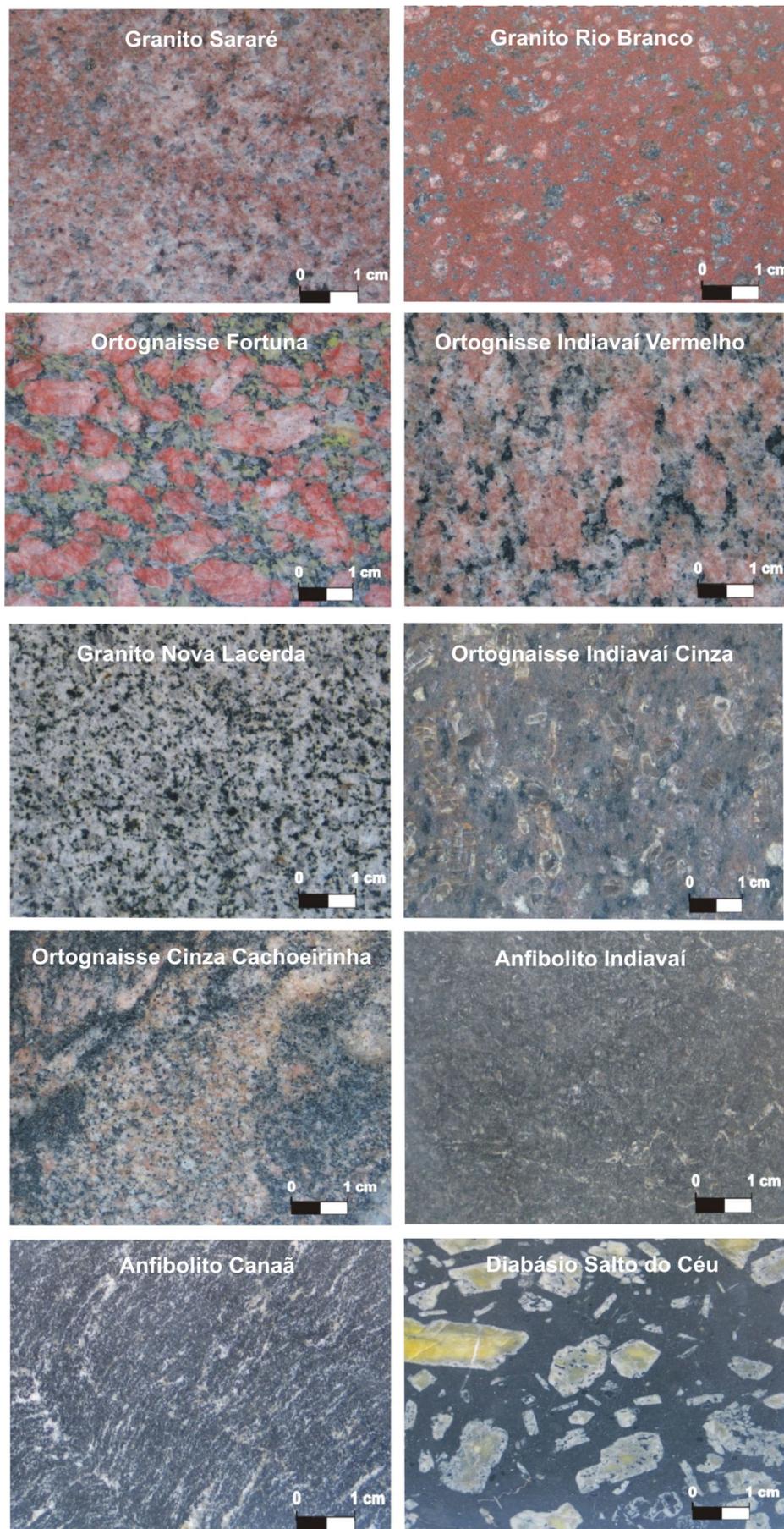


FIGURA 2. Aspectos macroscópicos em placa polida das rochas da região sudoeste do Estado do Mato Grosso.

porfirítico, anisotrópicos e granulação média a grossa de cores róseas a vermelhas. Os feldspatos apresentam como porfiroclastos exibindo intensa saussuritização (Ruiz, 2005; Ruiz et al., 2005).

O *Granito Nova Lacerda* (5) corresponde a um corpo irregular, levemente orientado segundo o *trend* regional NNW, alojado em rochas pertencentes ao Domínio Rio Novo (Ruiz, 2005 e Ruiz et al., 2005). Apresenta composição variando de monzogranítica a granodiorítica, maciças a levemente orientada, leucocráticas, inequigranulares, granulação média a grossa e cor cinza.

O *Ortognaisse Indiavaí Cinza* (6) encontra-se exposto às margens do Rio Jauru orientado segundo a direção norte-sul. É constituído por biotita-hornblenda gnaisses apresentando composições variando de sieno a monzogranitos leucocráticos, porfiríticos a porfiroclásticos e com fenocristais zonados de feldspatos potássico em matriz de granulação média a grossa.

O *Ortognaisse Cinza Cachoeirinha* (7) corresponde a um corpo de ortognaisse, localmente migmatítico, cinza escuro a cinza rosado, inequigranular, de granulação média a grossa, composição monzogranítica, apresentando um destacado bandejamento gnáissico definido pela alternância de leitos rosados dominado pela presença de feldspato potássico, plagioclásio e quartzo e leitos escuros lepdoblásticos.

O *Anfibolito Indiavaí* (8) ocorre na região de

Jauru e afloram sob a forma matacões ou como extensas faixas. São constituídas essencialmente por olivina gabros e gabro que exibem estruturas levemente foliadas, granulações médias a grossa e cor verde escura (Ruiz, 2005; Ruiz et al., 2005).

O *Anfibolito Canaã* (9) trata-se de um corpo intrusivo subcircular, composto por gabros metamorfisados, associado ao Complexo Metavulcano-Sedimentar Alto Jauru, situados no Domínio Jauru (Ruiz, 2005; Ruiz et al., 2005). Estas rochas são constituídas por hornblenda anfibolitos de granulação média a grossa, apresentando-se foliados a localmente bandados, definidos pelo destaque dado pela presença das bandas claras de plagioclásio. Às vezes estes bandeamentos gnáissicos mostram-se dobrados suavemente.

O *Diabásio Salto do Céu* (10) faz parte da Suíte Intrusiva Básica Rio Branco localizado na região do município de Rio Branco a 300 km de Cuiabá-MT. Esta unidade litológica encontra-se restrita no extremo nordeste do Granito Rio Branco. São rochas porfiríticas de matriz fina de coloração preta, apresentando fenocristais de labradorita/andesina com dimensões maiores ou iguais a 8 cm e uma fase de dimensões menores ao redor de 2 cm. Apresentam comumente formas tabulares subédricos ou ovalados e com tonalidades amarelo-esverdeadas devido a intensa epidotização (Araújo, 2008).

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

As análises geoquímicas foram realizadas no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia /IGCE/UNESP e serão discutidas quanto ao padrão de distribuição dos elementos maiores enumeradas na Tabela 2, e dispostas em gráficos na Figura 3.

Os teores de SiO₂ (Figura 3A) dos granitos e movimentados vermelhos mostram-se elevados, estão no intervalo de 70 a 75%, dos cinzas no intervalo entre 65 e 74% e dos pretos com características máficas no intervalo entre 47 e 50%. Os maiores teores de SiO₂ refletem diretamente na menor resistência ao desgaste abrasivo.

TABELA 2. Valores das análises geoquímicas de elementos maiores das rochas da região sudoeste do Estado do Mato Grosso.

ROCHAS	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
1. Granito Sararé	74,84	0,07	14,16	0,83	0,01	0,06	0,63	4,62	4,47	0,02
2. Granito Rio Branco	71,77	0,42	12,91	3,69	0,07	0,4	0,82	3,56	5,3	0,06
3. Ortognaisse Fortuna	70,64	0,45	14,06	2,72	0,03	0,6	1,64	3,04	5,79	0,17
4. Ort. Indiavaí Vermelho	72,76	0,32	13,46	2,73	0,03	0,29	1,32	3,41	5,28	0,06
5. Gr. Nova Lacerda	65,19	0,55	16,48	4,81	0,07	1,50	3,86	4,14	1,78	0,18
6. Ort. Indiavaí Cinza	73,63	0,31	12,89	2,68	0,03	0,29	1,14	3,06	5,44	0,05
7. Ort. Cinza Cachoeirinha	69,73	0,31	15,18	4,2	0,04	1,16	3,19	3,91	1,57	0,13
8. Anfibolito Indiavaí	50,22	1,12	14,22	10,91	0,09	8,75	10	3,17	0,18	0,09
9. Anfibolito Canaã	47,82	1,35	15,05	13,26	0,13	7,83	11,43	2,06	0,47	0,14
10. Diabásio Salto do Céu	47,64	2,7	18,7	10,77	0,11	3,49	6,52	3,39	3,22	0,57

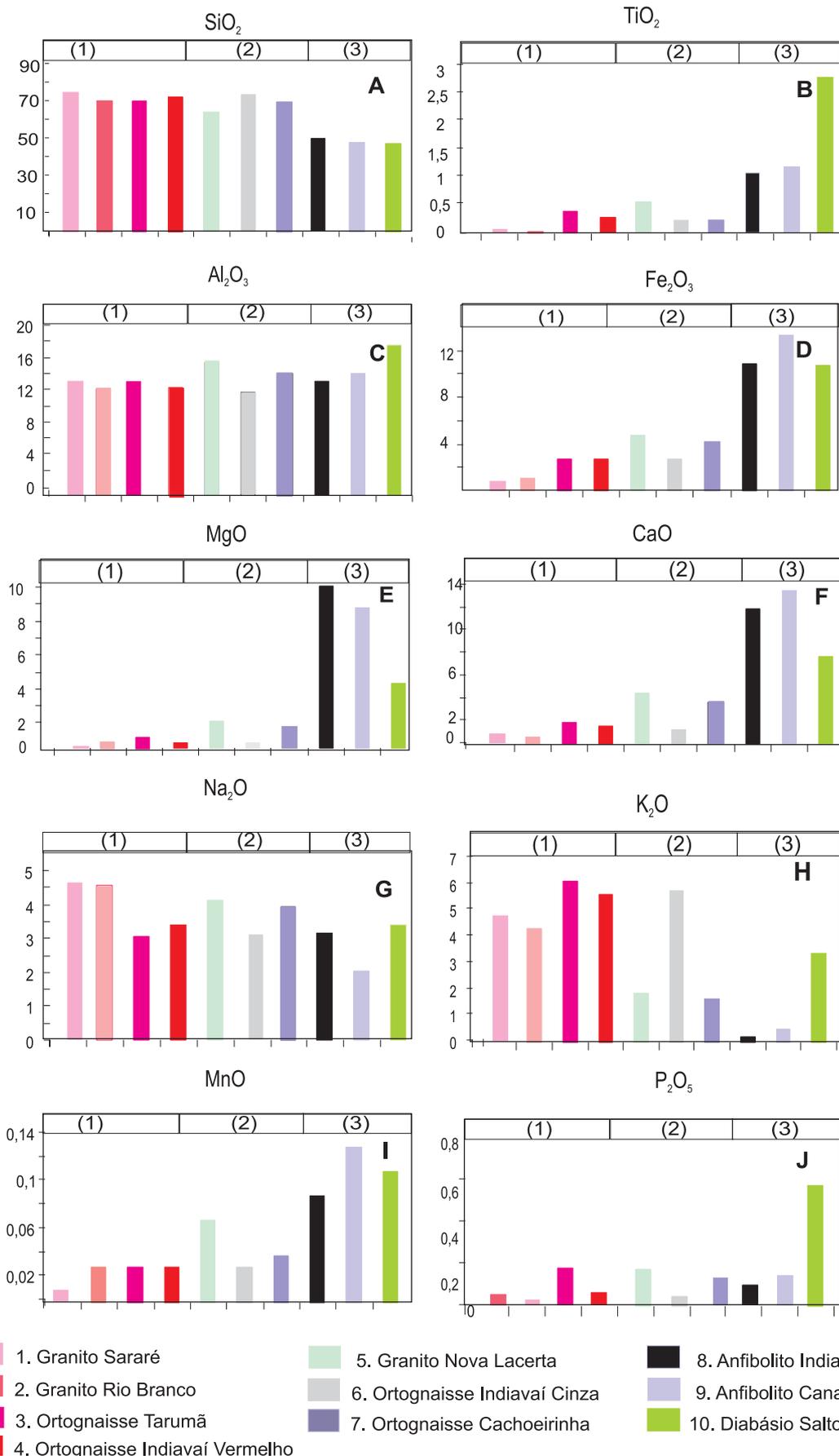


FIGURA 3. Diagramas de geoquímica para elementos maiores das rochas da região sudoeste do Estado Mato Grosso.

A porcentagem TiO_2 (Figura 3B) é variável, mas apresenta-se mais elevada, para os litotipos de composição ácida vermelhos e cinza, sendo que os valores no diabásio e anfibólito apresentam-se mais elevados devido às maiores quantidades de minerais acessórios, como titanita e rutilo. A presença destes minerais pode refletir no processo de alterabilidade freqüente destes minerais e, conseqüente manchamento avermelhado e pontual das placas de revestimento.

Os teores de Al_2O_3 (Figura 3C) apresentam pequenas diferenças entre as diversas variedades, sendo que as rochas do Granito Sararé mostram valores elevados, mesmos constituindo rocha pobre em biotita, mas apresentando na sua composição a muscovita. Os demais tipos vermelhos e cinza refletem seus elevados teores em função direta das porcentagens de biotitas. Os valores mais elevados nas rochas máficas encontram-se diretamente relacionados à maior porcentagem de hornblenda.

Os altos valores de alumínio refletem a presença de rochas mais enriquecidas em biotita e conseqüentemente na menor resistência e maior alterabilidade dos tipos estudados, especialmente se submetidos às substâncias com pH muito ácido ou muito básico.

Quanto ao Fe_2O_3 (Figura 3D) encontram-se correlacionados com a presença de minerais máficos (biotitas e/ou hornblendas) e de minerais opacos

(magnetita e ilmenita), conseqüentemente estes litotipos apresentam menor valor de resistência ao desgaste e maior efeito de alterabilidade que possibilitaria na maior facilidade de manchamento ao ataque de líquidos agressivos ou mesmo ao ataque intempérico. A relação de valores mais elevados de minerais de Fe, especialmente os minerais opacos, propicia a geração de hidróxidos de Fe, quando em ambientes úmidos, podendo ocorrer o aparecimento de manchas avermelhadas ou amareladas, fenômeno esse acompanhado de expansão volumétrica.

Os valores mais elevados de CaO e MgO (Figuras 3E e 3F) estão diretamente correlacionados com a presença de anfibólitos e minerais secundários como clorita e epidoto, resultando em maiores efeitos de menor resistência e maior alterabilidade.

Os teores de Na_2O (Figura 3G) e de K_2O (Figura 3H) para as rochas ácidas vermelhas e cinzas são altos, apresentando pequenas diferenças entre vários litotipos estudados e encontram-se diretamente correlacionados às rochas com elevados teores de SiO_2 e Al_2O_3 , portanto estes valores para as rochas básicas são baixos.

As variações de MnO (Figura 3I) apresentam valores pouco expressivos nas rochas analisadas não causando portanto grandes interferências nos ensaios físico-mecânicos.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Para a caracterização tecnológica das rochas foram realizados os principais ensaios para a determinação das propriedades físicas e mecânicas, obedecendo aos procedimentos normativos apresentados pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e ASTM (American Society for Testing and Materials). As análises foram realizadas no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP e encontram-se relacionadas na Tabela 3 e dispostas em gráficos na Figura 4. Para comparação dos dados obtidos em laboratório foram utilizados os valores limítrofes para as rochas graníticas estabelecidos pela norma C-615 da ASTM (1992) e os sugeridos (Frazão & Farjallat, 1995).

Os ensaios de índices físicos, de massa específica aparente, porosidade e absorção d'água aparente foram executados segundo a norma NBR 12766 (ABNT, 1992a). Os resultados dos ensaios tecnológicos de massa específica aparente seca (Figura 4A) e saturada (Figura 4B) apresentam-se bastante próximos entre os tipos graníticos, mas individualizam um crescimento das unidades mais silicosas e composicionalmente

homogêneas, tipos Sararé, Rio Branco e Nova Lacerda para as unidades gnáissicas vermelhas e foliadas cinzas, razão da maior presença de minerais máficos e densos. O acréscimo deste parâmetro é verificado nos tipos preto em função da mineralogia máfica dominante.

A absorção d'água (Figura 4C) e a porosidade aparente (Figura 4D) dos tipos analisados apresentam valores bastante variáveis, refletindo a forma, contatos dos minerais e a granulação, além da anisotropia de parte das amostras. Os tipos Sararé e Nova Lacerda ultrapassam os valores limites sugeridos por (Frazão & Farjallat, 1995); estes valores elevados refletem a granulação grossa, além da presença de argilo-minerais, necessitando, portanto de cuidados especiais, principalmente ao ataque de líquidos agressivos, que devido à alta absorção potencializam processos de alteração e manchamento, com redução estética da placa. Valores levemente superiores aos demais, mas dentro dos limites sugeridos, para a amostra do Anfibólito Canaã encontra-se diretamente vinculados à foliação gnáissica proeminente.

Os valores de resistência à compressão uniaxial simples (Figura 4E), obtidos segundo a norma NBR 12767 (ABNT, 1992b) apresentam índices superiores

ao sugeridos por (Frazão & Farjallat, 1995) para quase todo o grupo de rochas analisadas. O valor inferior ao sugerido para o tipo Indiavaí Cinza é razão do alto microfissuramento e granulação mais elevada e encontra-se diretamente correlacionado ao alto valor de porosidade e baixo de resistência à flexão. Os valores baixos obtidos para as rochas com textura porfirítica, a exemplo o Diabásio Salto do Céu encontram-se diretamente correlacionados à porcentagem, tamanhos e aos planos de clivagem dos fenocristais. De modo geral todas as rochas analisadas demonstram boa resistência mecânica, o que permite qualificá-las como adequadas para uso com funções estruturais.

Os valores de resistência à flexão 3 pontos foram efetuados segundo a norma NBR 12763 (ABNT, 1992c). Os valores de resistência à flexão três pontos (Figura 4F) apresentam resultados dentro do padrão desejado, mas não muito elevados, encontrando-se para algumas amostras valores inferiores ao limite sugerido por (Frazão & Farjallat, 1995) e para os limites estabelecidos pela norma ASTM C 615, ($>10,34$ MPa), como os obtidos para as amostras dos Ortognaisses vermelhos, Granito Nova Lacerda, Anfibolito Canaã e o Diabásio Salto do Céu. Estes valores baixos estão diretamente relacionados à intensidade da foliação presente e à heterogeneidade da granulação das amostras, a exemplo, o diabásio megaporfirítico.

Os valores dos ensaios de desgaste abrasivo *Amsler* (Figura 4G) realizados segundo a norma NBR 12042 (ABNT, 1992d) apresentam valores de des-

gastes próximos ao máximo sugerido por (Frazão & Farjallat, 1995), e apresentando para todas as amostras parâmetros bem semelhantes, em razão da composição rica em quartzo das amostras. A exceção ocorre no tipo Indiavaí Vermelho que acentua um pouco mais o desgaste em razão da presença da marcante foliação e da presença mais acentuada de máficos como biotita e hornblenda. Os maiores valores de desgaste para o Granito Nova Lacerda e os anfibolitos (Indiavaí e Canaã) refletem-se diretamente pela menor porcentagem de quartzo, e/ou a foliação mais acentuada e, finalmente, a maior presença de minerais máficos. O melhor parâmetro obtido entre as rochas pretas para o Diabásio Salto do Céu é atribuído à presença mais acentuada de plagioclásio como fenocristais.

Os valores da velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas (Figura 4H) obtidos com base na norma D2845 (ASTM, 1990) apresentam resultados iguais e acima do valor limítrofe mínimo estabelecido por (Frazão & Farjallat, 1995). Os menores valores de propagação estão diretamente relacionados, ou com a maior granulação da rocha ou com o maior grau de anisotropia do material rochoso.

As determinações do coeficiente de dilatação térmica linear (Figura 4I) mostram que os parâmetros analisados situam-se dentro dos limites frequentemente utilizados como referência e variam entre 5,3 e 6,2 (10^{-3} mm/m °C) e dessa forma apontam para um bom desempenho dessas rochas como material de revestimento.

TABELA 3. Resultados dos ensaios físico-mecânicos das rochas da região sudoeste do Estado Mato Grosso.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Massa específica saturada (Kg/m³)	2,60	2,61	2,67	2,69	2,68	2,65	2,68	3,12	2,91	2,87
Porosidade aparente (%)	1,25	0,77	0,84	0,68	1,55	0,33	0,42	0,27	0,59	0,45
Absorção d'água (%)	0,48	0,29	0,32	0,26	0,58	0,12	0,16	0,09	0,19	0,16
Massa específica seca (Kg/m³)	2,59	2,6	2,66	2,64	2,67	2,64	2,68	2,91	3,12	2,85
Desgaste <i>Amsler</i> (mm)	0,71	0,6	0,64	0,89	1,04	0,5	0,65	1,04	0,98	0,61
Modulo Ruptura 3 pto (MPa)	12,57	15,29	6,71	9,97	10,49	20,73	17,42	18,55	10,92	10,38
Compressão uniaxial (MPa)	154,71	158,46	143,31	142,9	170,75	229,04	166,84	152,94	164,91	125,47
VPO Uniaxial (m/s)	4900,85	5892,06	4520,66	4079,59	3568,99	5546,65	5077,76	6707,61	6090,67	6305,21
VPO Três pontos (m/s)	4066,85	5583,55	3872,91	4242,41	3568,99	5084,02	5007,72	6305,21	5855,4	6707,61
Dilat.Térmica 10⁻³mm/m. °C	5,3x10 ⁻³	6,2x10 ⁻³	5,3x10 ⁻³	6,0x10 ⁻³	5,0x10 ⁻³	6,0x10 ⁻³	6,8x10 ⁻³	4,9x10 ⁻³	4,4x10 ⁻³	4,8x10 ⁻³

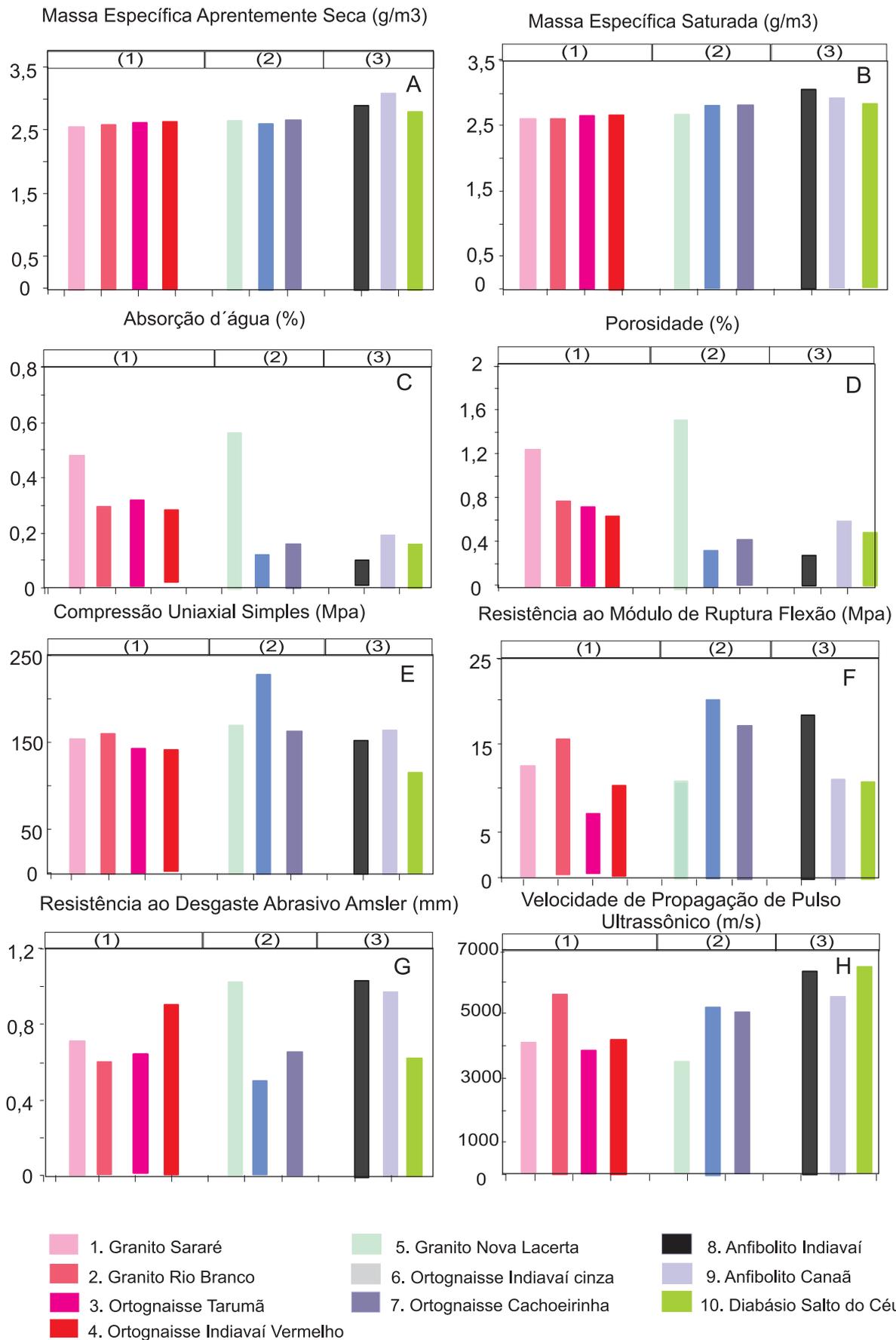


FIGURA 4. Diagramas de distribuições dos ensaios tecnológicos das rochas do sudoeste do Estado de Mato Grosso.

CARACTERIZAÇÃO AO ATAQUE QUÍMICO

Analisando-se o conjunto de dados observa-se que todas as soluções usadas no ataque químico a estas rochas, afetaram em maior ou menor grau o polimento das mesmas. Todavia, as substâncias que demonstraram maiores agressividades ao ataque foram o ácido clorídrico e o ácido cítrico (Quadro 1).

Quando comparados no Quadro 2 os efeitos do ácido clorídrico com os do ácido cítrico, é possível afirmar que o poder corrosivo do ácido clorídrico é bem maior, indicando cuidados quanto à utilização de

produtos que possuam esse ácido. Entretanto, diante dos resultados, recomenda-se que os cuidados quanto à limpeza e à manutenção devam ser realizados utilizando-se apenas um pano úmido com sabão neutro diluído. Ainda que os granitos estudados mostrem-se relativamente resistentes, todas as substâncias químicas empregadas nos testes (normalmente contidas nos produtos de limpeza de uso diário) apresentaram algum poder agressivo sobre estas rochas, principalmente no tocante aos ácidos e aos hidróxidos.

QUADRO 1. Classes de resistência ao ensaio ao ataque químico (modificado de Meyer, 2003).

Conjunto de alterações observadas (patologias)	Valores atribuídos	Perda brilho %	Resistência à corrosão	Classe de resistência química	Grau de recuperação das placas (patologias)
Perda de Brilho (PB)	0	< 10%	alta	A	I - Secar e polir
Eflorescência + PB	0	≤ 30%	alta a moderada	B	
Desbotamento + PB	1	≤ 50%	moderada a baixa	C	II - <i>Poulticing</i> - lixar
Desbotamento + eflorescência + PB	2	≤ 50%	baixa	C*	
Eflorescência + covas + PB	3	> 50%	baixa sem corrosão	D	III - Substituição
Desbotamento + covas + PB	4	> 50%	baixa e forte	S*	

QUADRO 2. Avaliação (classe de resistência), aos ataques dos reagentes, causadas pela ação das substâncias químicas, utilizadas no ensaio de envelhecimento acelerado, sobre as rochas do sudoeste do Estado de Mato Grosso.

Rochas	Reagentes	Classes				Rochas	Reagentes	Classe			
		A	B	C	C*			A	B	C	C*
Granito Sararé	C ₆ H ₈ O ₇					Ortognaisse Indiavaí Cinza	C ₆ H ₈ O ₇				
	HCl						HCl				
	NH ₄ Cl						NH ₄ Cl				
	KOH						KOH				
	NaClO						NaClO				
Granito Rio Branco	C ₆ H ₈ O ₇					Ortognaisse Cachoeirinha	C ₆ H ₈ O ₇				
	HCl						HCl				
	NH ₄ Cl						NH ₄ Cl				
	KOH						KOH				
	NaClO						NaClO				
Ortognaisse Fortuna	C ₆ H ₈ O ₇					Anfibolito Indiavaí	C ₆ H ₈ O ₇				
	HCl						HCl				
	NH ₄ Cl						NH ₄ Cl				
	KOH						KOH				
	NaClO						NaClO				
Ortognaisse Indiavaí Vermelho	C ₆ H ₈ O ₇					Anfibolito Canaã	C ₆ H ₈ O ₇				
	HCl						HCl				
	NH ₄ Cl						NH ₄ Cl				
	KOH						KOH				
	NaClO						NaClO				
Granito Nova Lacerda	C ₆ H ₈ O ₇					Diabásio Salto do Céu	C ₆ H ₈ O ₇				
	HCl						HCl				
	NH ₄ Cl						NH ₄ Cl				
	KOH						KOH				
	NaClO						NaClO				

Classe de resistência química= A, B, C, C*. D, S* não identificadas nas amostras.

CONSIDERAÇÕES

O comportamento dos aspectos petrográficos e químicos *versus* tecnológicos, exibido pelas rochas estudadas, permitem considerar que todos os materiais são indicados para utilização como rochas ornamentais e para revestimento em obras civis. Contudo, devido às feições petrográficas e comportamento físico-mecânico distintos das rochas em razão dos (aspectos mineralógicos, texturais e estruturais), esses materiais apresentam desempenho funcional distinto para uma mesma solicitação, devendo-se observar as recomendações identificadas.

Quanto aos aspectos mineralógicos as variedades graníticas compostas predominantemente por feldspato potássico, plagioclásio e quartzo representam rochas com baixa/moderada absorção d'água e porosidade, com boa resistência mecânica (compressão uniaxial e flexões 3 pontos) e alta de resistências ao desgaste abrasivo, fatos estes atribuídos às texturas média/grossa e à maior porcentagem em quartzo, o que permite a aplicação dessas rochas em ambientes de alto tráfego.

Para os gnaisses e principalmente para os anfíbolitos que apresentem valores mais elevados de porosidade e presença marcante de hornblenda é necessário cuidado especial principalmente no que se refere ao seu uso externo e ao ataque de líquidos agressivos que, devido à alta absorção, potencializam os processos de alteração e manchamento, com redução da qualidade estética da placa. A presença de minerais alteráveis (a ex., hornblenda) em condições ambientais naturais ou quimicamente sensíveis a produtos industriais de limpeza poderá afetar as características estéticas iniciais das pedras, bem como reduzir sua vida útil como revestimento, e propiciar maior capacidade de absorção d'água, com a conseqüente diminuição da resistência mecânica da rocha.

As rochas máficas, pelos baixos teores de quartzo, devem ser observadas com algumas restrições, como a utilização para pisos internos em ambientes de alto tráfego ou sujeitos à emissão de poeira, os tipos mais escuros, devem ser evitados nestas situações pela tendência que apresentam em realçar a perda de brilho, devido à baixa resistência ao desgaste.

As rochas que apresentam maiores teores de minerais máficos (biotitas e/ou hornblendas), minerais opacos (magnetita e ilmenita) e minerais acessórios (titanita e rutilo) podem refletir no processo de alterabilidade frequente destes minerais e, conseqüente manchamento avermelhado e amarelado pontual das placas de revestimento, geralmente seguido de expansão volumétrica.

As transformações pontuais de minerais máficos

e mais raramente dos feldspatos podem ocorrer ou intensificar quando da aplicação de algumas destas rochas em ambientes úmidos internos ou externos. Ressalta-se apenas a observação da presença ou não de cavidades provenientes de alteração nos tipos, e quando constatada, deve a rocha ser impermeabilizada com produtos adequados, disponíveis no mercado, valorizando o material.

Quanto aos aspectos texturais das variedades graníticas, a granulação predominantemente porfirítica, provoca, com ressalvas, o desgaste diferenciado em relação à resistência apresentada entre os feldspatos potássico e a matriz dos minerais da rocha. O desgaste apresenta-se mais acentuado nos tipos megaporfiríticos e com maiores porcentagens de fenocristais, merecendo, portanto, cuidados em áreas de alto tráfego e estudos de resistência mais acentuados na utilização como revestimento de fachadas, pois provoca uma diminuição nas propriedades físico-mecânicas da rocha.

Para os tipos porfiríticos e os de granulação heterogênea e que apresentam baixos valores de módulo de ruptura, é necessário o controle do possível aparecimento de porções onde a alteração e o desgaste mineral é mais intenso, para que medidas mitigadoras, como a impregnação com resina reduzam ou cessem a porosidade desses pontos, fator importante, mas que não chega a desqualificar o uso dessa rocha como material de revestimento. Saliencia-se também a importância para a realização de estudos adequados visando o dimensionamento das placas pétreas destinadas a essa finalidade, posto que as rochas ora analisadas, em função da textura porfirítica e heterogênea, apresentam baixos valores de módulo de ruptura. Outro fator importante para as rochas com grandes diferenças granulométricas, a ex. as megaporfiríticas, é poderem caracterizar diferentes graus de alterabilidade potencial diante de líquidos agressivos.

Os aspectos estruturais a anisotropia é um fator relevante na diversificação da resistência que a rocha oferece em diferentes planos de corte aos esforços a que é submetida. Essa diferença é marcante em rochas foliadas ou com planos estruturais bem definidos, condicionada pela orientação das estruturas internas ou pela presença de descontinuidades, tais como orientação preferencial de minerais e microfraturas ocasionando ressalvas na utilização em função da redução da resistência à flexão, o que leva a maiores cuidados quanto ao emprego dessa rocha em revestimentos verticais externos.

Os baixos valores de módulo de ruptura, comuns em rochas porfiríticas, se deve principalmente ao caráter grosseiro e inequigranular dessas rochas,

havendo influência significativa do microfissuramento e planos de clivagem dos fenocristais de feldspatos.

Uma solução tecnológica simples, mas não desejável, para um aumento da resistência do material ao esforço mecânico compressivo, é o aumento da espessura das placas e/ou outra solução adotada com

freqüência é a fixação de telas com resinas no *tardoz* das placas para garantir maior resistência mecânica. Dependendo do tipo de aplicação, garante a resistência mecânica sem exigir grandes alterações de projeto para o suporte das placas, visto pela massa específica das rochas analisadas.

CONCLUSÕES

As amostras estudadas apresentam ampla variação de litotipos, representando diferentes padrões estéticos, que incluem “granitos” (granitos e diabásios) e “movimentados” (gnaisses migmatíticos e anfíbolitos) vermelhos, cinzas e pretos oriundos de regiões distintas do sudoeste do Estado do Mato Grosso as quais apresentam aspectos composicionais, texturais e estéticos favoráveis à utilização como rochas ornamentais e para revestimento.

As características químicas dos tipos rochosos estudados estão dentro dos padrões normais, atuando no controle das propriedades físico-mecânicas das rochas em razão da mineralogia presente, possibilitando ainda correlacioná-las à distribuição dos minerais de transformação ou de alteração, permitindo assim a adequada identificação e tipificação das variedades

estudadas, evitando designações genéricas e muitas vezes incorretas.

Do ponto de vista tecnológico, os materiais graníticos analisados apresentam bons resultados, o que sugere as suas aplicações em ambientes internos e externos como elemento de revestimento de pisos ou fachadas, observando possíveis restrições recomendadas.

Os valores dos parâmetros mineralógicos, petrográficos e físico-mecânicos encontram-se próximos e às vezes superiores aos valores médios e obedecem satisfatoriamente aos padrões limítrofes fixados pela norma C615 (ASTM, 1992) e os sugeridos por (Frazão & Farjallat, 1995) para granitos utilizados em revestimento, quer para ambientes internos quer para externos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro do CNPq (Proc. 47.6258/2003-0) e METAMAT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Rochas para Revestimento. Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente.** (norma NBR 12766), 2 p., 1992 (a).
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Rochas para revestimento. Determinação da resistência à compressão uniaxial.** (norma NBR 12767), 2 p., 1992 (b).
3. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Rochas para Revestimento. Determinação da resistência à flexão.** (norma NBR 12763), 3 p., 1992 (c).
4. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão.** (norma NBR 12042), 3 p., 1992 (d).
5. ARAÚJO, L.M.B. DE. **Evolução do magmatismo pós-cinematismo do Domínio Cachoeirinha: Suítes Intrusivas Santa Cruz, Alvorada e Rio Branco – SW do Cráton Amazônico – MT.** Rio Claro, 2008. 158 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
6. ARAÚJO-RUIZ, L.M.B. DE. **Caracterização Petrográfica, Geoquímica e Geocronologia (U/Pb e Ar/Ar) do Maciço Sararé-MT.** Rio Claro, 2003. 89 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
7. ASTM – American Society For Testing And Materials -D 2845. **Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock.** Philadelphia, USA, 2 p., 1990.
8. ASTM – American Society For Testing And Materials. **Standard specification for granite dimension stone.** (standart ASTM C 615), 2 p., 1992.
9. DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Catálogo de rochas ornamentais do Estado do Mato Grosso.** In: A. Rajab (Coord.), Cuiabá: DNPM, 78 p., 1998.
10. FRAZÃO, E.B. & FARJALLAT, J.E.S. Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA PEDRA NATURA, 1, 1995, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 1995, p. 47-58.
11. GODOY, A.M.; QUADROS, A.P.; LEITE, J.A.D.; RUIZ, L.M.B.A. DE; RUIZ, A.S.; SOUSA, M.Z.A. DE; MATOS, J.B.; ARRAIS, J.C.P. DE. Caracterização Geológica, Geoquímica e Físico-Mecânica preliminar de granitos e movimentados vermelhos da região Sul/Sudoeste do Estado

- de Mato Grosso, como potencial para Rochas Ornamentais e de Revestimento. In: SIMPOSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, 2003, Recife. **Anais...** Recife, 2003, p. 106-117.
12. GODOY, A.M.; QUADROS, A.P.; LEITE, J.A.D.; ARAÚJO-RUIZ, L.M.B. DE; RUIZ, A.S.; SOUZA, M.Z.A. DE; MATOS, J.B. DE; ARRAIS, J.C.P. DE; TIN, S.T. Potencialidade para rochas ornamentais dos granitos e movimentados da região sul do estado do Mato Grosso. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2, 2005, Guarapari. **Anais...** Guarapari, 2005, p. 91 (a).
 13. GODOY, A.M.; QUADROS, A.P.; LEITE, J.; ARAÚJO-RUIZ, L.M.B. DE; RUIZ, A.S.; SOUZA, M.Z.A. DE; MATOS, J.B. DE; ARRAIS, J.C.P. DE. Potencialidade para Rochas Ornamentais dos Granitos e Movimentados da Região Sul do Estado do Mato Grosso. In: VIANA, R.R. & FERNANDES, C.J. (Eds.), **I Coletânea Geológica de Mato Grosso**. Cuiabá: UFMT, p. 48-64, 2005 (b).
 14. LACERDA FILHO, J.W.; ABREU FILHO, W.; VALENTE, C.R.; OLIVEIRA, C.C.; ALBUQUERQUE, M.C. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso**. Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados de Geologia do Brasil. Convênio CPRM/SICME-MT, MME, 235 p., 2004.
 15. MEYER, A.P.; ARTUR, A.C.; NAVARRO, F.C. Principais fatores condicionantes da resistência ao ataque químico em rochas de revestimento. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, 2003, Recife. **Anais...** Recife, p. 153-164, 2003.
 16. RUIZ, A.S. **Evolução Geológica do Sudoeste do Cráton Amazônico Região Limítrofe Brasil Bolívia-Mato Grosso**. Rio Claro, 2005. 289 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
 17. RUIZ, A.S.; MATOS, J.B.; SIMÕES, L.S.A.; ARAÚJO-RUIZ, L.M.B. DE; SOUSA, M.Z.A. DE; GODOY, A.M.; COSTA, P.C.C.; FERNANDES, C.J.; ALMEIDA, H.L. Arcabouço litoestratigráfico e tectônico do Cráton Amazônico no SW de Mato Grosso: revisão e atualização. In: VIANA, R.R. & FERNANDES, C.J. (Eds.), **I Coletânea Geológica de Mato Grosso**. Cuiabá: UFMT, p. 15-32, 2005.
 18. SILVA, J.A. DA; GODOY, A.M.; RUIZ, A.S.; ARAÚJO, L.M.B. DE. Padrão Tecnológico das Rochas Ornamentais e de Revestimento SW de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO OESTE, 10, 2007, Pirinópolis. **Anais...** Pirinópolis: Sociedade Brasileira de Geologia, 2007, CD-ROM (a).
 19. SILVA, J.A. DA; GODOY, A.M.; RUIZ, A.S.; ARAÚJO, L.M.B. DE. Padrões Estéticos e Tecnológicos das Rochas Ornamentais e de Revestimento SW de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 10, 2007, Porto Velho. **Anais...** Porto Velho: Sociedade Brasileira de Geologia, 2007, CD-ROM (b).
 20. SILVA, J.A. DA; GODOY, A.M.; RUIZ, A.S.; ARAÚJO, L.M.B. DE. Potencialidade e Padrão Tecnológico das Rochas Ornamentais e de Revestimento SW de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 22, 2007, Natal. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 2007, CD-ROM (c).
 21. SILVA, J.A. DA; GODOY, A.M.; RUIZ, A.S. Rochas Ornamentais e de Revestimento do SW de Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44, 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 2008, p. 237.

*Manuscrito Recebido em: 1 de setembro de 2009
Revisado e Aceito em: 6 de novembro de 2009*