

# ARDÓSIAS DE MINAS GERAIS, BRASIL: CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, PETROGRÁFICAS E QUÍMICAS

Cid CHIODI FILHO<sup>1</sup>, Eleno de Paula RODRIGUES<sup>2</sup>, Antonio Carlos ARTUR<sup>3</sup>

(1) Kistemann & Chiodi Assessoria e Projetos Ltda. Rua Pernambuco, 488/602 - Funcionários. CEP 30130-150. Belo Horizonte, MG. Endereço eletrônico: cdchiodi@terra.com.br. (2) Laboratório de Geociências, Universidade de Guarulhos - UnG. Praça Tereza Cristina, 01 - Centro. CEP 07023-070. Guarulhos, SP. Endereço eletrônico: elenopr@uol.com.br. (3) Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP - Campus de Rio Claro. Av.24A, 1515 - Bela Vista. Caixa Postal 178, CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: acartur@rc.unesp.br.

Introdução  
Estratigrafia e Tectônica da "Província de Ardósia de Minas Gerais"  
Petrografia  
Geoquímica Inorgânica  
Propriedades Tecnológicas  
Aspectos Fisiográficos de Interesse para a Lavra  
Considerações Finais  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** - As ardósias constituem um recurso mineral mundialmente conhecido, de ampla utilização para revestimentos e com exploração noticiada desde o século X. A produção brasileira atinge cerca de 500.000 t/ano, equivalentes a 15% do total mundial. Em apenas 25 anos de atividade no setor de ardósia, o Brasil já se coloca como segundo maior produtor, segundo maior consumidor e terceiro maior exportador mundial. O Estado de Minas Gerais responde por 90% da produção brasileira, desdobrando 15 milhões de m<sup>2</sup>/ano, em chapas e lajotas, e processando a quase totalidade das exportações brasileiras. A Província de Ardósia de Minas Gerais abrange cerca de 7.000 km<sup>2</sup> da área de afloramento do Grupo Bambuí, encerrando os jazimentos comerciais. As ardósias da Província rivalizam em qualidade com os melhores produtos dos diversos jazimentos mundiais. A Província de Ardósia de Minas Gerais pode ser considerada o principal jazimento mundial, de alta qualidade e produtividade, atualmente conhecido e explorado.

**Palavras-chave:** Ardósia; rocha de revestimento; recurso mineral; mercado de rochas; Minas Gerais

**ABSTRACT** - C. Chiodi Filho; A.C. Artur; E. de P. Rodrigues – *Slates from Minas Gerais, Brazil: geological, petrographic and chemical.* Slates constitute a world-renowned mineral resource with wide applications as dimension stone. Brazilian production is in the order of 500,000 tonnes per year or 15% of the world production. In only 25 years of activity in the slate sector, Brazil is already placed as second producer, second consumer and third largest world exporter. The Minas Gerais State is responsible for 90% of the Brazilian production, processing 15 million square meters per year and almost all of the exports. The Minas Gerais Slate Province takes in nearly 7,000 square kilometers and encompasses the commercial deposits. The slates of the Province are true slates and rival the quality of the best products of any deposit world-wide. The Minas Gerais Slate Province has the most important high quality exploitable reserves world-wide.

**Keywords:** Slate; covering stone; mineral resource; rock market; Minas Gerais

## INTRODUÇÃO

Ardósias são rochas de derivação sedimentar e granulação fina, fracamente metamorfizadas, que desenvolvem planos preferenciais de partição (delaminação) correspondentes à denominada "clivagem ardosiana". Por esta última propriedade, blocos/placas de ardósia podem ser "abertos" em leitos muito finos (de poucos milímetros de espessura), de muitos decímetros quadrados (até metros quadrados) e com superfície plana contínua (Barbosa, 1974).

A clivagem ardosiana deriva de uma forte orientação planar preferencial de escamas de mica branca (sericita) e de clorita. Esta orientação preferencial é criada por pressão mecânica, por recristalização mineralógica ou por rotação dos cristais.

As propriedades físicas das ardósias (clivagem preferencial, dureza média, baixa porosidade, alta resistência mecânica, minerais constituintes resistentes ao intemperismo, etc.), permitem sua ampla utilização como revestimento. Ardósias constituem assim um

recurso mineral mundialmente conhecido e de largo emprego para edificações (como pisos e telhados, por exemplo), inclusive em países que aplicam rígidos padrões técnicos e ambientais na lavra e beneficiamento.

Além dos padrões cromáticos variados, proporcionados tanto por faces polidas quanto naturais, as ardósias se destacam em revestimentos internos pela grande afinidade estética com madeiras, metais e tapeçarias. Somam-se a tais atributos estéticos, a durabilidade dos revestimentos de ardósia e a facilidade de sua manutenção e limpeza, o que lhes assegura grande confiabilidade na construção civil.

A produção brasileira de ardósias atinge cerca de 20.000.000 de m<sup>2</sup>/ano de chapas e lajotas com espessura média de 1 cm, correspondentes a 500-550 mil toneladas (Chiodi Filho, 2004). Essa produção representa 15% do total mundial noticiado para 2002 (Montani, 2003), posicionando-se o Brasil como

segundo maior produtor, segundo maior consumidor e segundo maior exportador mundial. A lavra e a industrialização de ardósias no Brasil são efetuadas sobretudo em Minas Gerais, que se coloca como principal centro produtor (18 milhões m<sup>2</sup>/ano em chapas e lajotas). Os materiais extraídos são beneficiados e comercializados nos mercados interno e externo.

As exportações brasileiras de 2003 somaram cerca de 130.852,4 toneladas, com faturamento de US\$ 42,2 milhões, destacando-se o crescimento recente das transações com telhas para os mercados europeu e norte-americano. São registradas exportações para 63 países, mantendo-se com os EUA um dos principais fluxos comerciais mundiais de ardósias (Tabela 1).

**TABELA 1.** Exportações brasileiras de ardósia segundo os 25 principais países de destino (em US\$ mil) – NCM 6803 + 2514.

Fonte de consulta: Base ALICE (SECEX/MDIC, 2004).

| PAÍSES        | 1996            | 1997             | 1998             | 1999             | 2000             | 2001             | 2002             | 2003             | TOTAL             | %          |
|---------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------|
| USA           | 6.695,87        | 7.462,09         | 8.462,83         | 11.427,17        | 13.894,80        | 13.324,15        | 14.310,68        | 14.508,69        | <b>90.086,28</b>  | 46,2       |
| Bélgica       | 834,40          | 1.219,38         | 1.372,68         | 1.920,90         | 2.108,87         | 1.887,96         | 1.601,54         | 1.554,66         | <b>12.500,40</b>  | 6,5        |
| Alemanha      | 538,00          | 681,14           | 781,88           | 1.195,10         | 1.545,13         | 2.151,32         | 2.309,44         | 2.917,44         | <b>12.119,44</b>  | 6,3        |
| Reino Unido   | 123,20          | 288,76           | 618,16           | 1.219,34         | 2.194,70         | 3.043,42         | 4.008,59         | 7.386,02         | <b>18.882,19</b>  | 9,8        |
| Itália        | 159,94          | 472,40           | 612,10           | 791,50           | 871,15           | 997,40           | 1.802,87         | 2.492,88         | <b>8.200,24</b>   | 4,2        |
| Espanha       | 159,67          | 203,85           | 770,86           | 809,30           | 1.106,24         | 2.121,61         | 4.023,70         | 4.058,74         | <b>13.253,98</b>  | 6,8        |
| Canadá        | 286,55          | 402,42           | 412,82           | 786,50           | 764,33           | 633,78           | 804,67           | 1.066,07         | <b>5.157,14</b>   | 2,7        |
| Chile         | 151,62          | 439,06           | 411,13           | 324,38           | 628,22           | 664,49           | 788,54           | 774,32           | <b>4.181,76</b>   | 2,2        |
| Países Baixos | 150,98          | 167,39           | 345,37           | 576,60           | 1.182,65         | 1.450,15         | 1.824,76         | 2.078,49         | <b>7.776,38</b>   | 4,0        |
| Venezuela     | 102,02          | 186,56           | 208,94           | 249,09           | 253,83           | 268,36           | 150,05           | 51,42            | <b>1.470,27</b>   | 0,8        |
| Argentina     | 92,86           | 98,80            | 178,01           | 232,40           | 359,91           | 187,72           | 9,21             | 50,13            | <b>1.209,03</b>   | 0,6        |
| Japão         | 99,40           | 85,99            | 120,36           | 164,54           | 363,31           | 354,15           | 138,29           | 202,31           | <b>1.528,35</b>   | 0,8        |
| Singapura     | 41,61           | 369,04           | 18,90            | 29,32            | 37,00            | 7,35             | 20,76            | --               | <b>523,97</b>     | 0,3        |
| Colômbia      | 112,88          | 162,17           | 102,48           | 60,58            | 66,13            | 81,97            | 118,11           | 408,41           | <b>1.112,73</b>   | 0,6        |
| África do Sul | 7,40            | 15,85            | 9,72             | 370,39           | 531,61           | 421,76           | 384,46           | 492,30           | <b>2.233,50</b>   | 1,2        |
| Irlanda       | 0               | 0                | 18,30            | 202,82           | 536,32           | 226,60           | 138,76           | 458,04           | <b>1.580,83</b>   | 0,8        |
| França        | 17,44           | 10,38            | 21,73            | 166,21           | 405,54           | 75,55            | 156,19           | 189,03           | <b>1.042,07</b>   | 0,5        |
| Áustria       | 21,93           | 3,85             | 19,40            | 155,26           | 176,18           | 248,16           | 178,28           | 158,89           | <b>961,94</b>     | 0,5        |
| Uruguai       | 21,06           | 55,37            | 55,71            | 42,91            | 50,75            | 47,98            | 45,55            | 13,93            | <b>333,25</b>     | 0,2        |
| Suíça         | 10,20           | 0                | 9,80             | 110,85           | 140,58           | 450,58           | 428,28           | 557,36           | <b>1.707,64</b>   | 0,9        |
| Noruega       | 0               | 0                | 15,90            | 106,59           | 213,43           | 330,19           | 405,78           | 568,56           | <b>1.533,87</b>   | 0,8        |
| Austrália     | 39,55           | 18,96            | 11,81            | 19,24            | 13,70            | 64,38            | 31,08            | 189,23           | <b>387,95</b>     | 0,2        |
| Paraguai      | 12,63           | 15,11            | 33,96            | 13,64            | 16,68            | 22,73            | 14,73            | 15,38            | <b>144,86</b>     | 0,1        |
| México        | 0               | 9,10             | 19,92            | 26,33            | --               | 55,30            | 208,43           | 419,51           | <b>738,59</b>     | 0,4        |
| Taiwan        | 2,64            | 8,84             | 0                | 22,50            | 41,56            | 34,74            | 41,27            | 65,31            | <b>216,86</b>     | 0,1        |
| Outros        | 73,34           | 358,09           | 122,85           | 280,99           | 297,47           | 869,45           | 1.047,80         | 1.821,00         | <b>4.870,74</b>   | 2,5        |
| <b>Total</b>  | <b>9.775,19</b> | <b>12.734,60</b> | <b>14.755,62</b> | <b>21.304,45</b> | <b>27.800,09</b> | <b>30.021,25</b> | <b>34.991,78</b> | <b>42.216,27</b> | <b>193.599,26</b> | <b>100</b> |

Nota: Consulta à Base ALICE (SECEX/MDIC), realizada em 03/03/2004.

No período de janeiro-julho de 2004, as exportações de ardósia pelas posições 6803 e 2514 totalizaram US\$ 33,64 milhões, com incremento de 56,44% sobre igual período de 2003 e já representando 11,55% do total das exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento.

O mercado externo demanda produtos bem elaborados, esquadrejados e calibrados, em dimensões precisas. O aumento recente das exportações brasileiras, sobretudo de lajotas para pisos, tampos de bilhar, chapas polidas e telhas, constitui desdobramento

do contínuo aparelhamento tecnológico e profissionalização das empresas de Minas Gerais.

No presente trabalho, a base das informações geológicas, petrográficas e químicas, sobre as ardósias de Minas Gerais, é devida a Grossi-Sad et al. (1998). A região produtora enfocada, designada como “*Província de Ardósia de Minas Gerais*”, compreende uma área de aproximadamente 7.000 km<sup>2</sup> na região centro-sul do estado e tem limites bem definidos por balizas tectono-geológicas (Figura 1).

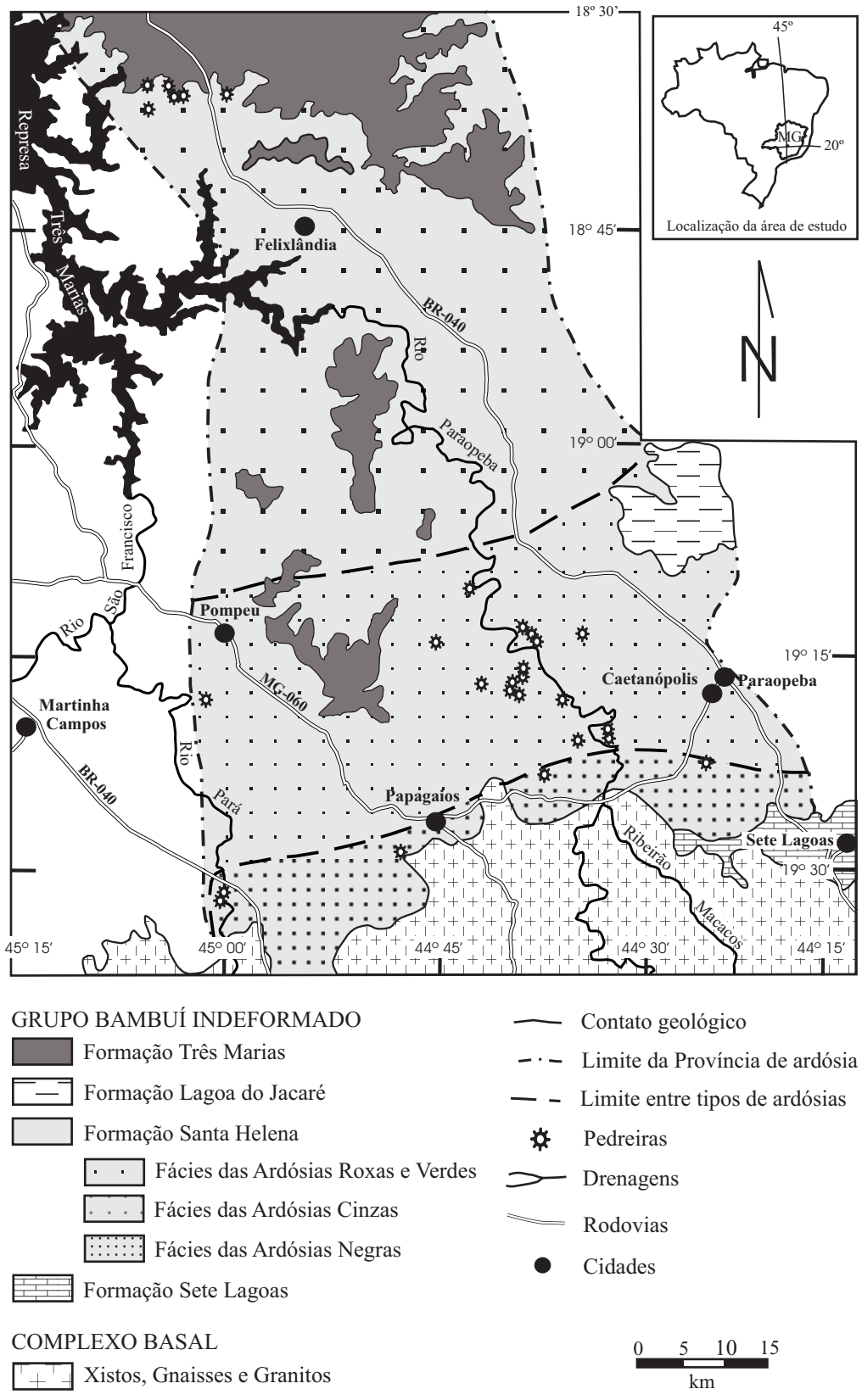


FIGURA 1. Mapa Geológico Esquemático da Província de Ardósia de Minas Gerais (Fonte: Grossi-Sad et al., 2004; modificado).

## ESTRATIGRAFIA E TECTÔNICA DA “PROVÍNCIA DE ARDÓSIA DE MINAS GERAIS”

A seqüência sedimentar anquimetamórfica do Grupo Bambuí, que contém as ardósias de Minas Gerais, é datada do Proterozóico Superior (600-500 milhões de anos), e tem desenvolvimento associado ao Ciclo Tectônico Brasileiro (Amaral & Kawashita, 1967; Thomaz Filho et al., 1998; Dardene, 2000). A seqüência estratigráfica referível ao Bambuí no âmbito da denominada *Província de Ardósia de Minas Gerais* (Figura 1), é representada, do topo para a base, pela Formação Três Marias, Subgrupo Paraopeba, constituído pelas Formações Lagoa do Jacaré e Santa Helena (principal responsável pelo fornecimento de ardósias), e Formação Sete Lagoas, assentada sobre o Complexo Basal (Grossi-Sad & Quade, 1985; Costa & Grossi-Sad, 1987; Grossi-Sad et al., 1998).

O Subgrupo Paraopeba é constituído predominantemente por ardósias (Formação Santa Helena) e metassiltitos-carbonáticos (Formação Lagoa do Jacaré). Capeando a seqüência de Santa Helena, em parte da área da Província, registram-se arenitos, arcósios e microconglomerados, fracamente metamorfizados, integrados à Formação Três Marias.

A Formação Santa Helena, na região de Felixlândia, foi subdividida por Parenti Couto (1980) em três unidades, denominadas de Unidade Inferior (ou Unidade A), Unidade Média (ou Unidade B) e Unidade Superior (ou Unidade C), referenciadas por Grossi-Sad et al. (1998), respectivamente, como membros Inferior, Médio e Superior.

O Membro Superior (Unidade C) aflora conspicuamente por toda a área da região do Paraopeba e é constituído, segundo Parenti Couto (1980), por pacote de cerca de 140 m de espessura, composto por siltitos argilosos e folhelhos silticos incipientemente metamorfizados, de cor acinzentada a esverdeada, caracteristicamente clivados segundo placas de espessura variável, contendo, ainda, níveis subordinados de materiais margosos. Esse Membro Superior é o responsável pela presença das ardósias comerciais de cores verde e cinza, com parte do material apresentando cor de ferrugem e cor roxa.

O Membro Médio (Unidade B), com cerca de 50 m de espessura, é constituído por margas e folhelhos cinzentos fracamente metamorfizados, observáveis, conforme descrito por Grossi-Sad et al. (1998), apenas em testemunhos de sondagem realizada na morraria

situada a 10 km ao norte da cidade de Felixlândia (Morro da Cabeça, Morro da Cachaça, Serra do Grotão, Serra dos Gerais e Serra do Boiadeiro).

O Membro Inferior (Unidade A), com espessura mínima conhecida ao redor de 90m, é constituído por rítmico siltico-argilosos incipientemente metamorfizados, cinza esverdeado - cinza escuro-negro, carbonatados.

Segundo considerações apresentadas por Grossi-Sad et al. (1998), as ardósias escuras dos tipos *grafite* ou *negra*, da porção sul da província, devem pertencer a esse membro.

Ainda segundo discussões acerca das ocorrências de ardósias comerciais no âmbito da Província, efetuadas por Grossi-Sad et al. (1998), as metamargas do Membro Médio, caso constituam material de aspecto agradável, poderão ser futuramente usadas para revestimento. A sua extração se daria em nível topográfico ao das ardósias do Campo Córrego das Pedras, Distrito do Rio Paraopeba, dependendo de condições morfológicas favoráveis à lavra.

O aspecto mais interessante da tectônica que afetou o Grupo Bambuí, no Ciclo Brasileiro, é o desenvolvimento da clivagem horizontal/subhorizontal e subparalela ao acamamento das rochas, na parte estável (não dobrada) da bacia sedimentar. Esforços tangenciais podem ter se propagado através da zona estável, a partir das faixas móveis pericratônicas (Faixa Brasília, a oeste, ou Faixa Espinhaço, a leste), determinando este arranjo peculiar da clivagem ardosiana (por cisalhamento ou deslizamento tangencial). Entretanto, uma explicação mais plausível para o paralelismo da clivagem com a estratificação, parece envolver perda de água, compactação e soterramento profundo de rochas sedimentares siltico-argilosas, ao invés de compressão tectônica e forças tangenciais.

Na prática, os modelos tectônicos e de sedimentação brasileiros originaram a Província de Ardósia de Minas Gerais, confinada à porção estável da bacia Bambuí. Os limites da Província, para leste e oeste, coincidem com o aparecimento das faixas deformadas por dobramento e falhamento. O limite norte é a Formação Três Marias e o limite sul o contato do Complexo Basal.

### PETROGRAFIA

Segundo Grossi-Sad et al. (1998), as ardósias Bambuí são rochas terrígenas de granulação fina (pelíticas), apresentando-se em cores verdes, roxas, cinza, grafite, negras e ferrugem. Mais de 50% dos

grãos constituintes têm tamanho superior a 0,06 mm, com 30% a 60% na dimensão de argila.

As ardósias verdes têm aspecto e textura siltica, com planos de estratificação um tanto sinuosos e planos

de partição por vezes escalavrados (rasgados). A clivagem ardósiana é definida por uma forte orientação preferencial da mica branca. A clorita é muito fina e juntamente com a mica branca forma a matriz da rocha. Grãos finos de feldspato intersticial são identificados e, conforme observado ao microscópio, essas ardósias verdes não reagem com ácido clorídrico (HCl). As ardósias verdes intercalam níveis de ardósias roxas; os estudos microscópicos sugerem que o mineral responsável por esta coloração é a clorita oxidada.

As ardósias cinzas exibem cor uniforme e os planos de estratificação podem ser vistos ao microscópio. A superfície dos planos de clivagem ardósiana é lisa a ligeiramente rugosa, não se podendo observar mesoscopicamente a orientação planar preferencial dos filossilicatos (minerais placóides). A matriz é constituída por uma massa de mica branca e clorita verde-clara. A estratificação é muito fina e perfeita. Concentrações

de “poeira” carbonosa são raras e a clivagem é definida por escamas alongadas de mica branca.

As ardósias negras e grafite exibem planos de partição geralmente lisos, podendo ocorrer superfícies rugosas e “rasgamento” na delaminação. A estratificação (acamamento) é marcada pela intercalação de cores (negra - mais rica em carbonatos - e cinza escura), em leitos com aproximadamente 0,3 mm de espessura. Os leitos mais claros (cinza-escuros) têm elevada proporção de quartzo em grãos fragmentados (cerca de 0,25 mm) e alongados paralelamente à estratificação, por vezes formando lenticularizações. A matriz filossilicática não é orientada e possui cor negra, devido à presença de poeira carbonosa.

A composição mineralógica modal (% em volume) das ardósias da Província encontra-se discriminada na Tabela 2.

**TABELA 2.** Composição mineralógica modal das ardósias da Província de Ardósia de Minas Gerais.

| MINERAIS (%)       | ARDÓSIA NEGRA | ARDÓSIA CINZA | ARDÓSIA VERDE |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|
| Quartzo            | 24-26         | 26-30         | 30-32         |
| Mica Branca        | 31-33         | 32-34         | 34-36         |
| Clorita            | 20-23         | 18-20         | 18-20         |
| Feldspato          | 12-15         | 12-15         | 14-15         |
| Carbonato          | 3-5           | 2-3           | 0.5-1         |
| Óxido de Ferro     | 2-3           | 2-3           | 2-3           |
| Material Carbonoso | 0.5-1         | 0.2-0.6       | < 0.1         |

A pirita é um mineral relativamente comum, e quando presente está sempre como acessório (<1%). Em ardósias negras e acinzentadas a pirita pode formar filmes esfarrapados ao longo dos leitos e planos de clivagem ardósiana. Em ardósias cinzas é muito característica a presença de películas de pirita, em arranjos circulares perfeitos, que mostram estrutura

interna fibrorradial. Esses arranjos dão origem a material ferruginoso hidratado, ocre a vermelho-escuro e negro, responsável pela geração das ardósias ferrugem ou multicor. Um terceiro tipo de pirita, mais raro, pode ser observado nas ardósias verdes, em cristais idiomórficos geralmente cúbicos, com dimensões até superiores a 1 cm.

## GEOQUÍMICA INORGÂNICA

A Tabela 3 mostra os dados químicos médios para algumas variedades comerciais de ardósias da Província. Segundo Grossi-Sad et al. (1998), essa composição química reflete muito bem a mineralogia das ardósias. As razões  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ , são similares entre as ardósias verdes, negras e cinzentas. As ardósias roxas são no entanto algo distintas: a razão  $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$  é de 0,67 (em outros tipos tal razão é maior que 1); e, o conteúdo de  $\text{K}_2\text{O}$  é muito alto (5,1%).

Em caráter geral, observa-se que a sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é o óxido dominante e está contida no quartzo, em filossilicatos (representados por sericita-illita-clorita) e no plagioclásio sódico. A alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) está contida

principalmente nos filossilicatos e, em menor proporção, no plagioclásio, da mesma forma que a soda ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e a potassa ( $\text{K}_2\text{O}$ ). Parte do potássio está presente como sericita;  $\text{MgO}$  e  $\text{FeO}$  compõem a clorita; parte do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ocorre como hematita e parte, juntamente com o  $\text{FeO}$ , como magnetita; enxofre (S) ocorre como pirita e  $\text{P}_2\text{O}_5$  ocorre como apatita (não observada ao microscópio). Os óxidos  $\text{CaO}$  e  $\text{CO}_3$  representam calcita. O óxido  $\text{TiO}_2$  deve ocorrer como rutilo e seus produtos hidratados (leucoxênio).

Não se acredita que a composição química da seqüência sedimentar tenha se modificado durante sua transformação metamórfica. O metamorfismo foi essencialmente isoquímico, com alguma perda de água

e redução parcial do ferro ( $\text{Fe}^{3+}$ - $\text{Fe}^{2+}$ ). Pode-se imaginar que a caulinita original dos folhelhos

**TABELA 3.** Composição química média (porcentagem em peso) das ardósias da Província de Ardósias de Minas Gerais.

|  | Ardósias |       |       |       |
|--|----------|-------|-------|-------|
|  | Preta    | Cinza | Verde | Roxa  |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>                             | 60,95    | 62,85 | 64,45 | 61,20 |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>                             | 0,74     | 0,79  | 0,85  | 0,84  |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>                 | 15,97    | 15,47 | 15,40 | 16,60 |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>                 | 1,80     | 1,86  | 2,30  | 4,50  |
| <b>FeO</b>   | 4,82     | 4,57  | 4,35  | 3,00  |
| <b>MnO</b>   | 0,10     | 0,11  | 0,12  | 0,12  |
| <b>MgO</b>   | 3,07     | 2,82  | 2,65  | 2,70  |
| <b>CaO</b>   | 1,62     | 1,16  | 0,35  | 0,37  |
| <b>Na<sub>2</sub>O</b>                             | 1,70     | 1,72  | 1,50  | 1,20  |
| <b>K<sub>2</sub>O</b>                              | 3,67     | 3,77  | 3,85  | 5,10  |
| <b>H<sub>2</sub>O<sup>+</sup></b>                  | 3,28     | 2,97  | 2,99  | 3,30  |
| <b>CO<sub>2</sub></b>                              | 1,27     | 0,91  | 0,27  | 0,29  |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>                  | 0,16     | 0,16  | 0,14  | 0,12  |
| <b>C</b>   | 0,47     | 0,28  | 0,07  | 0,11  |
| <b>Total (%)</b>                                   | 99,62    | 99,44 | 99,29 | 99,45 |
| <b>Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O</b>              | 0,46     | 0,46  | 0,39  | 0,23  |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O</b> | 9,39     | 8,99  | 10,27 | 13,83 |
| <b>FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>             | 2,68     | 2,46  | 1,89  | 0,67  |

Nota: ardósia preta (4 amostras); ardósia cinza (4 amostras); ardósia verde (2 amostras); ardósia roxa (2 amostras).

precusores, tenha sido utilizada para formar o plagioclásio sódico, assumindo-se que o sódio seria proveniente da água do mar.

A coloração das ardósias é fortemente controlada pela razão  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$  e independe do conteúdo total de ferro. O conteúdo de carbono orgânico é outro importante fator cromático, em parte independente do anterior (Potter et al., 1980). Para o caso das ardósias Bambuí, Grossi-Sad et al. (1998) caracterizaram duas séries cromáticas: uma roxa ® verde (baseada na razão  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ) e outra verde ® cinza ® negra (baseada no conteúdo de carbono).

Um zoneamento cromático das ardósias verdes, cinzas e escuras (negras e grafite) é observado no campo. A fácies de cor escura (negra e grafite) está representada na borda sul da bacia Bambuí, em zonas onde a sedimentação foi ligeiramente confinada e o ambiente anóxico, podendo estender-se mais para o norte, sob o pacote das ardósias cinza (Membro Superior). Fora da borda sul da bacia, para o norte, ocorrem ardósias cinzas com baixo conteúdo de carbono, onde não houve redução do ferro. Uma terceira zona ou fácies cromática ocorre ainda mais para o norte, na região de Felixlândia, com ardósias verdes e roxas de caráter siltico.

## PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

Como qualquer material natural utilizado para revestimentos, as ardósias devem apresentar certas propriedades físico-mecânicas (resistência ao fogo, impermeabilidade, baixa porosidade, inalterabilidade física e cromática e resistência mecânica à compressão e à flexão).

Na Tabela 4 são mostradas as propriedades de ardósias espanholas da Galícia e de ardósias brasileiras de Minas Gerais. Os dados das ardósias brasileiras não representam valores médios, mas são válidos para efeito de comparação.

É importante observar que as ardósias de Minas Gerais e da Galícia têm propriedades similares, e que estas propriedades e o conteúdo de carbonato variam em função do fator cromático. Conclui-se que as propriedades físico-mecânicas ou características tecnológicas, estão intimamente ligadas à composição química, constituição mineralógica e textura das ardósias.

Note-se ainda (Tabela 4) que para Minas Gerais, as ardósias negras sofrem mais desgaste abrasivo que as cinzas, mas as ardósias ferrugem e verdes mostram desgaste superior às negras e cinzas. Ardósias cinzas são mais resistentes na flexão que as ardósias negras e ferrugem; a menor resistência à flexão é das ardósias verdes. A trama (*fabric*) e a mineralogia, como já referido, justificam as diferenças de abrasão e flexão; da mesma forma explicam os coeficientes de absorção d'água.

referido, justificam as diferenças de abrasão e flexão; da mesma forma explicam os coeficientes de absorção d'água.

Informações disponíveis sobre padrões americanos de especificação, baseados na norma ASTM C406 (ASTM, 2000) para telhas de ardósia, apontam que variedades acinzentadas da Província são enquadradas na Classe 1 quanto à absorção d'água e resistência a ácidos, o que sugere durabilidade de 75 anos ou mais.

Um novo conjunto de informações tecnológicas, sobre as ardósias de Minas Gerais, consta do Catálogo das Rochas Ornamentais do Brasil (CETEM/ABIROCHAS, 2002). Essas informações, apresentadas na Tabela 5, são de maneira geral compatíveis àquelas mostradas na Tabela 4, demonstrando a boa qualidade das variedades comerciais exploradas na Província de Ardósia de Minas Gerais. As cinzas, mas as ardósias ferrugem e verdes mostram desgaste superior às negras e cinzas. Ardósias cinzas são mais resistentes na flexão que as ardósias negras e ferrugem; a menor resistência à flexão é das ardósias verdes. A trama (*fabric*) e a mineralogia, como já referido, justificam as diferenças de abrasão e flexão; da mesma forma explicam os coeficientes de absorção d'água.

**TABELA 4.** Algumas características tecnológicas das ardósias da Galícia (Espanha) e das ardósias da Província de Ardósias de Minas Gerais.

|   | Pedreira        | Cor      | Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | Coefficiente de Absorção (%) | Conteúdo carbonático (%) | Módulo de ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---|-----------------|----------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------|--|
| <b>Ardósias de Galícia, Espanha<sup>1</sup></b>     | Mondoñedo       | verde    | 2,80                           | 1,03                         | 0,7                      | 410-530                                  |
|   | Valdeorras      | marrom   | 2,84                           | 0,25                         | 0,2                      | 650                                      |
|   | Valdeorras      | cinza    | 2,80                           | 0,35                         | 0,5                      | 740                                      |
|   | Valdeorras      | rosa     | 2,80                           | 0,39                         | < 0,3                    | 500-600                                  |
|   | Lugo            | verde    | 2,80                           | 1,03                         | 0,7                      | 410-530                                  |
| <b>Ardósias de Minas Gerais, Brasil<sup>2</sup></b> | Serra Boa Vista | negra    | 2,74                           | 0,39                         | 3,4                      | 358                                      |
|   | Alto Pedras     | cinza    | 2,74                           | 0,21                         | 0,5                      | 746                                      |
|   | Alto Pedras     | ferrugem | 2,72                           | 0,49                         | 0,4                      | 307                                      |
|   | Felixlândia     | verde    | 2,72                           | 0,62                         | 0,4                      | 238                                      |

Nota: (1) Docampo & Grovas (1994); (2) testes realizados no Torino Polytechnic Laboratory, Itália, para Mineração Alto das Pedras.

**TABELA 5.** Características tecnológicas de referência para as variedades comerciais de ardósias da Província de Ardósia de Minas Gerais (Fonte: CETEM/ABIRROCHAS, 2002).

| Ensaio   | Ardósias |       |       |        |          |
|--|----------|-------|-------|--------|----------|
|  | Verde    | Roxa  | Cinza | Escura | Ferrugem |
| Massa Específica Aparente Seca <sup>(1)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )         | 2740     | 2753  | 2744  | 2746   | 2696     |
| Massa Específica Aparente Saturada <sup>(1)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )     | 2751     | 2764  | 2749  | 2753   | 2711     |
| Porosidade Aparente <sup>(1)</sup> (%)                                     | 1,12     | 1,10  | 0,52  | 0,70   | 1,43     |
| Absorção d'água <sup>(1)</sup> (%)   | 0,41     | 0,40  | 0,19  | 0,25   | 0,53     |
| Resistência à Flexão <sup>(2)</sup> - condição seca (MPa)                  | 46,11    | 42,91 | 47,61 | 42,57  | 24,47    |
| Resistência à Flexão <sup>(2)</sup> - condição seca (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 470,2    | 437,5 | 485,5 | 434,0  | 249,5    |
| Resistência ao Desgaste Abrasivo Amsler <sup>(3)</sup> (mm/500 m)          | 2,57     | 2,82  | 1,97  | 2,09   | 1,68     |
| Resistência ao Desgaste Abrasivo Amsler <sup>(3)</sup> (mm/1000 m)         | 5,17     | 5,55  | 4,20  | 3,50   | 3,42     |

Nota: <sup>(1)</sup> ABNT (1992a); <sup>(2)</sup> CETEM (1998); <sup>(3)</sup> ABNT (1992b).

## ASPECTOS FISIOGRAFICOS DE INTERESSE PARA LAVRA

Quando se examina a frequência de posicionamento topográfico (altitude) das jazidas da Província, em termos dos horizontes lavrados e comercializados, para um grupo de 30 pedreiras, observa-se que 65% delas posicionam-se entre 680 e

720 m, e que 20% posicionam-se entre 640 e 650 m.

O conjunto posicionado a 680-720 m corresponde à porção central e sul-sudeste da Província, abrangendo ardósias cinzas e grafite. O conjunto posicionado a 640-650 m refere-se à porção norte da Província, com

ardósias verdes e roxas. No extremo sudoeste, com ardósias negras, as jazidas da margem do rio Pará (rio Lambari) posicionam-se a 600 m, elevando-se a 740 m pouco mais a leste, na Serra da Boa Vista, por claro efeito de tectônica de falhamento.

A área da “*Província de Ardósia de Minas Gerais*” foi assim modelada por superfícies de erosão (aplainamento) regionais e tectônica de falhamento. As mais elevadas superfícies têm altitudes variando de 1.076 m (extremo sul) a 888 m (extremo norte), estando representadas por cristas topográficas e sendo capeadas por coberturas lateríticas com concreções

ferruginosas. A diferença das cotas dessa primeira superfície (cimeira), mais antiga, indica ligeiro mergulho regional da seqüência sedimentar, com caimento de sul para norte segundo gradiente de 1,2 m/km.

Observando-se a espessura total do manto de intemperismo (que soma entre 30 e 50 m) e o posicionamento topográfico preferencial do horizonte de ardósias comerciais (680-720 m), as pedreiras posicionadas em relevos com menos de 750 m de altitude podem ter menor espessura de material lavrável. Este aspecto constitui um bom critério auxiliar para definição de novas jazidas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No setor de rochas ornamentais, quase todos os materiais naturais de granulação fina e que podem ser partidos em finas lâminas ou chapas, com propriedades físico-mecânicas adequadas para revestimentos, têm sido designados como ardósia. Em termos gerais, qualquer rocha argilosa ou siltico-argilosa com uma tendência preferencial de partição é uma ardósia, incluindo-se aqueles materiais que se partem exatamente ao longo do acamamento. Alguns desses materiais são de fato rochas sedimentares com planos de acamamento paralelos e finamente espaçados, ao longo dos quais pode ocorrer partição/delaminação. Assim, a feição essencial das ardósias, que as distingue de outros materiais naturais de ornamentação e revestimento, é que elas partem-se facilmente segundo planos paralelos de clivagem.

Para todos os efeitos e finalidades, as ardósias Bambuí são portanto ardósias verdadeiras, pois elas partem-se em finas lâminas paralelas, de espessuras regra geral reprodutíveis, e os planos de partição seguem um *fabric* ou clivagem penetrativos, definidos pela iso-orientação dos minerais filossilicáticos (micas). Sua clivagem deriva do profundo soterramento de uma

seqüência sedimentar siltico-argilosa, pouco ou não deformada tectonicamente. Em função da perda de água, compactação e litificação dessa seqüência, processadas sob o aumento da pressão de carga, minerais argilosos e micas foram mecanicamente rotacionados e assumiram uma forte orientação preferencial. Tais minerais podem ter inclusive sofrido aquecimento suficiente para gerar, por recristalização, novas escamas de mica com a mesma orientação preferencial. A rocha assim formada é uma ardósia verdadeira, a despeito de não ter sofrido deformação tectônica por dobramento.

Deve-se finalmente destacar que todas as jazidas em lavra da Província são a céu aberto e permitem grande desenvolvimento horizontal. A horizontalidade dos planos de partição (clivagem) e a espessura dos pacotes lavráveis, permitem menores custos de produção e maior produtividade que outros centros mundiais de extração de ardósias.

As reservas da Província são assim praticamente inesgotáveis e consideradas o principal jazimento mundial de ardósias, de alta qualidade, atualmente conhecido e explorado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas para revestimento - Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água. NBR 12766.** Rio de Janeiro: 1992a, 2 p.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão. NBR 12042.** Rio de Janeiro: 1992b, 3 p.
3. AMARAL, G. & KAWASHITA, K. Determinação da idade do Grupo Bambuí pelo método Rb/Sr. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21, 1967, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 1967, p. 214-217.
4. ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTIG AND MATERIALS. **Test method for flexural strenght of dimension stone. ASTM C880.** 1998, 3 p.
5. ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTIG AND MATERIALS. **Standard specification for roofing slate. ASTM C406.** Annual Book of ASTM Standards, v. 04.07, 2000, 2 p.
6. BARBOSA, A. L. M. **Curso de Petrologia - I. Minerais petrográficos, II. Petrografia macroscópica.** Ouro Preto: Escola de Minas e Metalurgia - UFOP, 1974, 248 p.
7. CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL/ABIROCHAS-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Catálogo das rochas ornamentais do Brasil.** Rio de Janeiro: 2002 (versão em CD-ROM).
8. CHIODI FILHO, C. Panorama setorial das rochas ornamentais. **Brasil Mineral**, n. 229, p. 124-141, junho, 2004.



9. COSTA, M. T. DA & GROSSI-SAD, J. H. A Série Bambuí em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 5, 1987, Belo Horizonte. **Boletim...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo de Minas Gerais, 1985, n. 7, p. 1-10.
10. DARDENE, M.A. The Brasília Fold Belt. In: CORDANI, U.G; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A., CAMPOS, D.A. (Editores), **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31, 2000, p. 231-263.
11. DOCAMPO, B. & GROVAS, R. Geologia de la Pizarra. In: Galicia e su Pizarra, Bilbao (España), Roc Maquina, n. 32, setembro, 1994. **Especial Galicia**, p. 79-98.
12. GROSSI-SAD, J. H. & QUADE, H., 1985. Revisão estratigráfica do Grupo Bambuí (Bloco Oriental) em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 3, 1985, Belo Horizonte. **Boletim...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo de Minas Gerais, 1985, n. 5, p. 68-83.
13. GROSSI-SAD, J. H.; CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D.K. **Panorama do setor de ardósias do Estado de Minas Gerais, Brasil**. Belo Horizonte: Cia. Mineradora de Minas Gerais - COMIG, 1998. v. 2, (versão em CD-ROM, 2002).
14. MONTANI, C. **Stone 2003; repertorio economico mondiale**. Faenza (Itália), Faenza Editrice, 2003, 230 p.
15. PARENTI COUTO, J.G. Nota sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí na região de Felixlândia, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 10, n. 4, p. 292-296, 1980.
16. POTTER, P.E.; MAYNARD, J.B.; PRYOR, W.A. **Sedimentology of shale**. New York: Springer-Verlag, 1980, 306 p.
17. SECEX - SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR/ DECEX – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDUSTRIA E COMÉRCIO. Base Alice - exportações; consulta por mercadoria e países., 2004, Home Page: [www.aliceweb.gov.br](http://www.aliceweb.gov.br).
18. THOMAZ FILHO, A.; KAWASHITA, K.; CORDANI, U.G. A origem do Grupo Bambuí no contexto da evolução geotectônica e de idades radiométricas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, n. 3, p. 527-548, 1998.