

## Exploração de rochas metacarbonáticas na região centro-sul do estado do Rio de Janeiro

*Target carbonaceous rock exploration in the central South region of Rio de Janeiro State*

Marcelo Lyra Parente<sup>1</sup>, Cícera Neysi de Almeida<sup>2</sup>, Rodrigo Peternel Machado Nunes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro – DRM-RJ, Rua Marechal Deodoro, 351, Centro, CEP 24030-060, Niterói, RJ, BR (mlyraparente@gmail.com)

<sup>2</sup>Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ (neysi@geologia.ufrj.br)

<sup>3</sup>Departamento de Geologia Regional e Tectônica, Faculdade de Geologia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro – UERJ (rpeternel@gmail.com)

Recebido em 22 de setembro de 2016; aceito em 27 de setembro de 2017

### Resumo

A atividade mineral no estado do Rio de Janeiro tem, essencialmente, importância local, pois, de maneira geral, não produz bens minerais que sejam cotados em bolsas de valores como *commodities* (excluindo os hidrocarbonetos). De tal modo, o presente artigo teve por objetivo avaliar se ainda existe potencial para o aproveitamento econômico das rochas metacarbonáticas no centro-sul do estado do Rio de Janeiro. Para tanto, a metodologia utilizada para o desenvolvimento do presente estudo incluiu revisão bibliográfica; compilação de dados inventariados juntamente com os dados dos trabalhos de campo, das análises químicas e mineralógicas; e confecção de um mapa temático, cujo principal objetivo foi indicar áreas potenciais para pesquisas geológicas. O resultado desta pesquisa indicou uma anomalia bastante moderada para a ocorrência de mármore impuro no centro-sul do Rio de Janeiro. No entanto, as características dos corpos, no que diz respeito às suas dimensões e enquadramento geológico, não são favoráveis para a existência de um grande depósito de rocha metacarbonática na área de estudo.

**Palavras-chave:** Exploração; Geologia; Minerais; Rochas.

### Abstract

The mining activity in the State of Rio de Janeiro has essentially regional importance, because, in general, does not produce mineral commodities goods that are quoted on stock exchanges and as commodities (excluding oilthe hydrocarbons). Therefore, this article is wasintended to evaluate if there is still potential for economic exploitation of the carbonate rocks in the center-south of the sState of Rio de Janeiro. Therefore, the methodology used for the development of this study included literature review, and compilation of the inventory data, along with and the data from field studies, the chemical and mineralogical analysis, producing a thematic map, whose main purpose is to indicate potential areas for geological research. The result of this research indicated a moderate anomaly for the occurrence of impure marbles in the center-south of Rio de Janeiro. However, the characteristics of the bodies, with respect toconcerning their size and geological framework, preclude the existence of a large deposit of carbonate rock in the study area.

**Keywords:** Exploration; Geology; Minerals; Rocks.

## INTRODUÇÃO

No estado do Rio de Janeiro não são produzidas *commodities* minerais (com exceção dos hidrocarbonetos, óleos fósseis). A importância da mineração no território fluminense é local. Entretanto, tal constatação não deve ser encarada como uma deficiência, posto que, do ponto de vista prático, o estado do Rio de Janeiro ocupa a segunda posição na produção de bens minerais do grupo dos agregados para a construção civil (DRM-RJ, 2014).

No estado do Rio de Janeiro ocorrem importantes reservas de rochas metacarbonáticas, como os mármores calcíticos da região de Cantagalo, no centro-norte do estado, um dos polos nacionais de produção de cimento. Os mapas geológicos do estado confirmam a continuidade da ocorrência de tais mármores na direção nordeste. No entanto, a ausência de estudos geológicos orientativos também pode ter contribuído para que as reservas fossem consideradas exauridas na região centro-sul fluminense. Muitas vezes as continuidades desses corpos são interrompidas por estruturas geológicas, como *boudinage*, transcorrência e até por adelgaçamento de camadas durante dobramentos.

O presente artigo teve por objetivo apresentar uma avaliação sobre o potencial para o aproveitamento econômico das rochas metacarbonáticas no centro-sul do estado do Rio de Janeiro — haja vista há muito se questiona a provável exaustão de suas reservas (DRM-RJ, 2012), com exceção da região mais a norte, próximo ao município de Cantagalo, onde a exploração desse recurso é ainda economicamente viável. Para tal, foram definidas as associações de campo incluindo, quando possível, as espessuras e a extensão dos corpos estudados, as características petrográficas e químicas dessas rochas, os condicionantes geomorfológicos e estruturais — possibilitando, assim, a compreensão da disposição espacial desses corpos dentro da poligonal do estudo —, e o seu potencial econômico apresentados na forma de um mapa temático na escala de 1:400.000, intitulado “Modelo de Ponderação de Decisões aplicado à ocorrência de rochas metacarbonáticas na região centro-sul do estado do Rio de Janeiro”, cujo propósito é servir como base de dados para pesquisas futuras.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado um levantamento bibliográfico dispondo um inventário preliminar das ocorrências de rochas metacarbonáticas no centro-sul do estado proveniente de diferentes fontes de dados. Nesse sentido, destacamos o Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro 1:400.000 do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (1998); o Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro – DRM-RJ (1983); o Programa Geologia do Brasil – Projeto Rio de Janeiro (Folhas Barra do Pirai,

Santa Rita do Jacutinga, Três Rios e Volta Redonda, todos na escala 1:100.000); o banco de dados do Registro Mineral do DRM-RJ (Certificado Mineral); o Cadastro Mineiro do DNPM (SIGMINE); entre outros. Foi executado um programa de visitas de campo que se dividiu em seis etapas, com início em 2013 e término em 2016, com objetivos de reconhecimento dos afloramentos/pontos de interesse e coletas de amostras para estudos petrográficos e químicos.

Também foram selecionados pontos para análises geoquímicas de rocha total. As análises químicas foram obtidas pelo método de fluorescência de raios X no laboratório do Centro de Tecnologia Mineral do Ministério da Ciência e Tecnologia (CETEM/MCT), tendo por base a análise dos elementos maiores (O, Si, Al, Fe, K, Na, Ca e Mg), como também a perda por calcinação (PPC), sendo este um índice diretamente relacionado ao grau de pureza em carbonato da rocha.

O Modelo de Ponderação de Decisões baseia-se no conceito de Modelo Numérico de Terreno (MNT), que consiste em uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, informações geológicas, levantamentos de profundidade do mar ou de um rio, informações meteorológicas, dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MNT (Felgueiras e Câmara, 2001).

De acordo com Felgueiras e Câmara (2001), a criação de um MNT corresponde a uma nova maneira de enfocar o problema da elaboração e da implantação de projetos. O processo de geração de um MNT pode ser dividido em três etapas distintas: amostragem, modelagem e aplicações. A amostragem compreende a aquisição de um conjunto de amostras representativas do fenômeno de interesse. Essas amostras estão geralmente representadas por curvas de isovalores e pontos tridimensionais. A modelagem envolve a criação de estrutura de dados e a definição de superfícies de ajuste com o objetivo de se obter uma representação contínua do fenômeno a partir das amostras. Essas estruturas são definidas de forma a possibilitar uma manipulação conveniente e eficiente dos modelos pelos algoritmos de análise contidos no Sistema de Informação Geográfica (SIG). E as aplicações são procedimentos de análise executados sobre os modelos digitais, podendo ser qualitativas, como a visualização do modelo por meio de projeções geométricas planares, ou quantitativas, como cálculos de volumes e geração de mapas temáticos.

Neste trabalho a amostragem compreendeu a aquisição de um conjunto de amostras que representariam a variação de um fenômeno espacial de interesse — neste caso, as rochas metacarbonáticas —, modelado em ambiente SIG e aplicado para fornecer suporte para a decisão de empresas que desejem investir tanto na lavra como na utilização das rochas metacarbonáticas em processos industriais. Teve, portanto, como foco principal o estudo e o diagnóstico de geologia exploratória das ocorrências e dos depósitos minerais dessas rochas, com vista

à definição do contexto geológico dos jazimentos minerais — em escala regional e local —, bem como à caracterização da atual situação em que esses depósitos se encontram.

## GEOLOGIA REGIONAL E CONTEXTO GEOTECTÔNICO

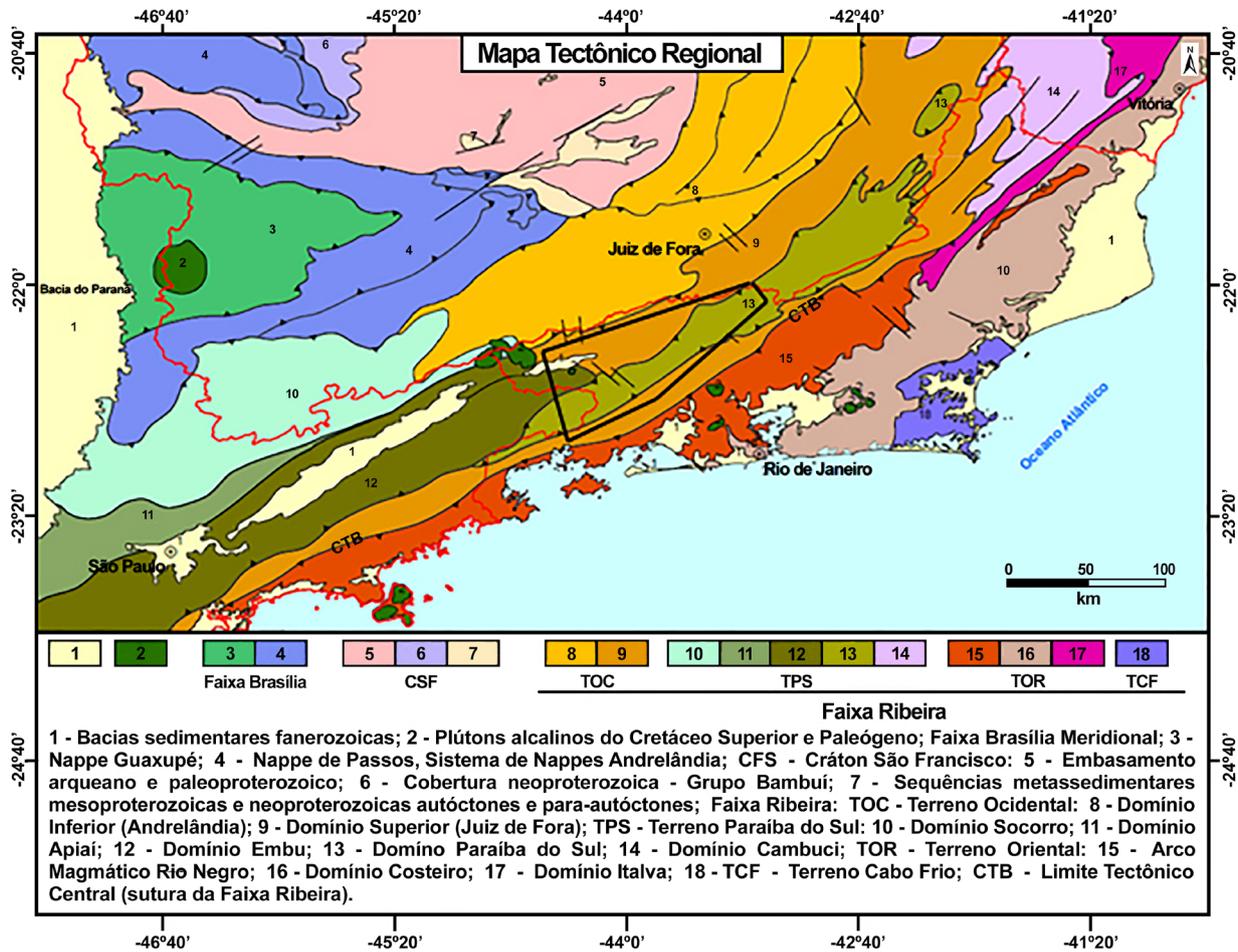
A área estudada está inserida no Orógeno Ribeira, que, com outros orógenos (Araçuaí, Dom Feliciano, São Gabriel e zona de interferência entre as Faixas Ribeira e Brasília), faz parte da Província/Sistema Orogênico Mantiqueira, cuja história evolutiva está associada à Orogênese Brasileira/Pan-Africana (Almeida et al., 1981; Heilbron et al., 2004; Hackspacher et al., 2004).

A compartimentação tectônica da Faixa Ribeira estabelecida no seu setor central compreende quatro terrenos tectonoestratigráficos: Ocidental, Oriental, Paraíba do Sul/Embu e Cabo Frio (Heilbron et al., 2000, 2004; Trouw et al., 2000; Machado et al., 1996; Heilbron e Machado, 2003; Schmitt et al., 2004). Nesse setor, os dois primeiros

terrenos são separados por uma zona de cisalhamento complexamente dobrada (Limite Tectônico Central – LTC) com mergulhos subverticais a moderados para NW na porção centro-sul do estado, e mergulhos para SE nas porções noroeste e extremo sul. O limite basal do Terreno Paraíba do Sul/Embu está dobrado, com atitudes subverticais no contato frontal na divisa entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, e com mergulhos moderados para NW na região da Serra do Mar (Almeida et al., 1973, 1977, 1981).

Esses contatos frontais, próximo à Bacia de Resende, são truncados por zonas de cisalhamento mais tardias. Já o limite basal do Terreno Cabo Frio é representado por uma zona de cisalhamento de baixo ângulo, com mergulho para SE. Os três primeiros terrenos foram amalgamados entre c.a. 600 e 570 Ma (Heilbron e Machado, 2003), enquanto o Terreno Cabo Frio foi acrecionado ao final da colagem orogênica, em c.a. 530 – 510 Ma (Schmitt et al., 2004).

Nessa estruturação encontram-se dois domínios com aloctonia completa representados pelas *klippen* Paraíba do Sul e Italva, que possuem posicionamento paleogeográfico



Fonte: Heilbron et al. (1995).

**Figura 1.** Compartimentação estrutural da Faixa Ribeira.

ainda incerto (Tupinambá et al., 2007). As rochas carbonáticas, ora estudadas, inserem-se nesses domínios (Figura 1).

A *klippe* de Italva (terreno oriental) representa um compartimento estrutural superior ao terreno oriental, tanto na região central como no noroeste fluminense (Tupinambá et al., 2007), ocorrendo como uma *klippe* sinformal sobre o Domínio Costeiro. Consiste de dioritos, gabros e tonalitos do Complexo Rio Negro, sendo o restante do pacote ocupado por rochas do Domínio Italva do terreno oriental (Peixoto e Heilbron, 2010). Esse domínio inclui sillimanita-granada-biotita gnaiss, hornblenda-biotita gnaiss bandedo intercalado com biotita gnaiss e mármores predominantemente calcíticos (Menezes, 1975) com intercalação de anfibolito (Machado Filho et al., 1983; Sad et al., 1980; Peixoto, 2008; Peixoto e Heilbron, 2010).

As rochas pesquisadas estão incluídas na *Klippe*/Terreno/Grupo Paraíba do Sul, que compreende uma megaestrutura sinclinal. Seu embasamento constituído pelo Complexo Quirino, de idade pré-1,7 Ga, é representado por ortognaisses. Para o topo da megaestrutura, grandes dobras reclinadas, com flancos invertidos, intercalam ortognaisses do Complexo Quirino com rochas metassedimentares do Grupo Paraíba do Sul (Valladares et al., 2002; Tupinambá et al., 2003a, 2003b). A sequência supracrustal consiste de uma sucessão de rochas metapsamíticas e metapelíticas intercaladas a rochas calciossilicáticas, gnditos, quartzitos, mármores e anfibolitos. Mármore é a unidade característica dessa unidade, distinguindo-a dos domínios Andrelândia e Juiz de Fora, que incluem

quartzitos e, mais raramente, calciossilicáticas (Heilbron e Machado, 2003).

## RESULTADOS

O diagnóstico sobre a potencialidade econômica das ocorrências de rochas metacarbonáticas na região centro-sul do estado do Rio de Janeiro apoia-se no esquema formado pelo trinômio preconizado para exploração geológica e prospecção de superfície:

1. fase 1: reconhecimento de grandes regiões;
2. fase 2: detalhamento das áreas selecionadas;
3. fase 3: avaliação do depósito.

Ainda conforme apresentado na metodologia, a área estudada foi dividida em cinco subáreas com seus distritos (Figura 2), de acordo com a importância de ocorrências de rochas metacarbonáticas em que se empregaram o esquema supracitado.

### Área Rio Claro, Distrito Lídice

Rio Claro é um município brasileiro do estado do Rio de Janeiro localizado na região do Médio Paraíba, a uma altitude de 446 metros e a 128 km da cidade do Rio de Janeiro, enquanto Lídice é um distrito desse município situado nos arredores do quilômetro 25 da RJ-155 e da ferrovia que liga Angra dos Reis ao sul do estado de Minas Gerais (Figura 3).

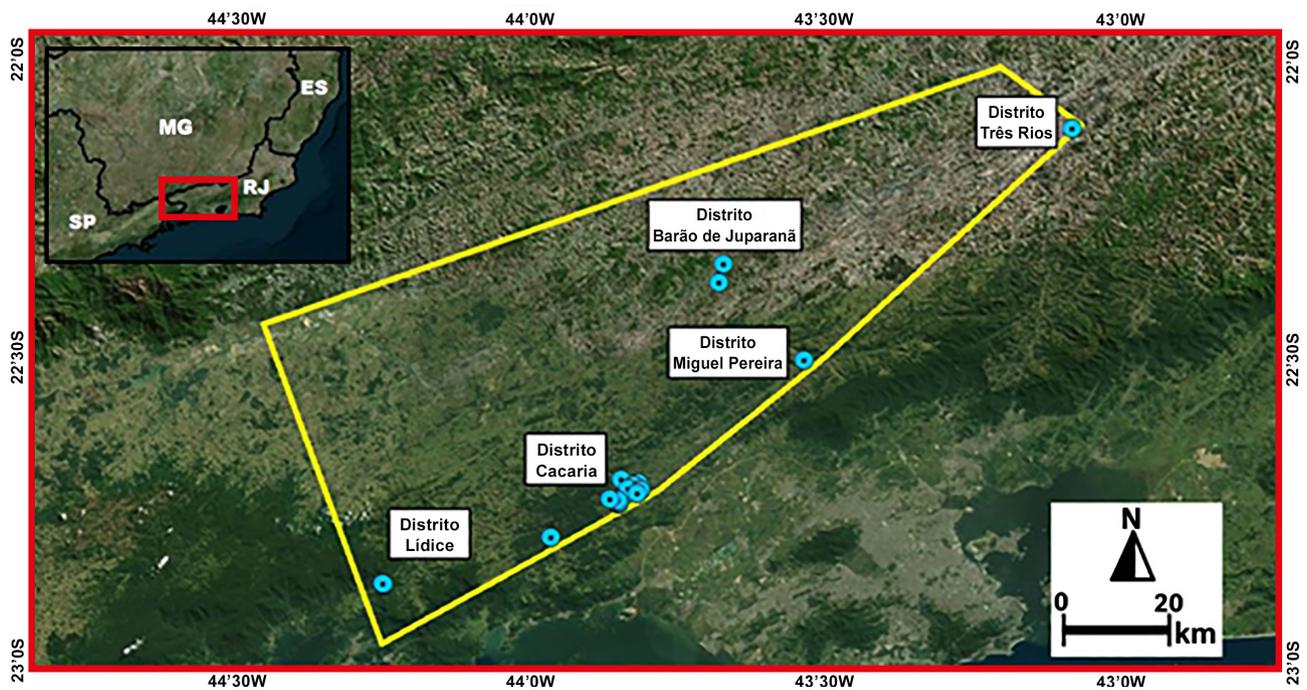
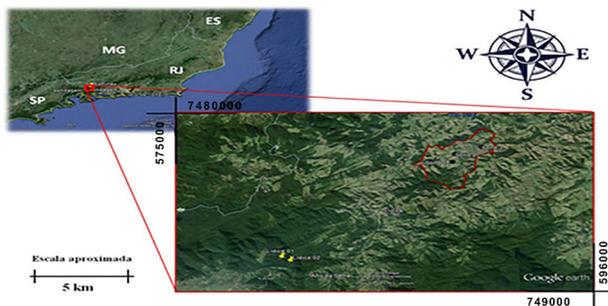


Figura 2. Área de estudo envolta por polígono externo (amarelo) e as cinco subáreas, denominadas "Distritos".

Os estudos foram conduzidos em dois afloramentos situados na BR-494 (Rodovia Saturnino Braga; coordenadas UTM 576745E/ 7470568S Lídice 01 e 576740E/ 7470563S Lídice 02; Figura 4).

Apesar da indicação em trabalhos pretéritos, como no Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ, 1983), verificou-se que as rochas metacarbonáticas ou são ausentes ou de pequena expressão nesses pontos. Os raros corpos observados não possuem geometria definida, apresentando-se como faixas descontínuas de espessura centimétrica inseridas em rochas calciossilicáticas. As relações de contato entre o embasamento gnáissico e os litotipos contíguos — entre eles as rochas calciossilicáticas — são de natureza tectônica, com a foliação marcada pela orientação de micas e piroxênio com atitude N60E e mergulhos moderados a fortes para NW.

A rocha calciossilicática é equigranular fina a média, exibindo cor verde-escura a negro esverdeada, muitas vezes



**Figura 3.** Localização da área Rio Claro-Lídice. Destaque para os pontos Lídice 01 (576745E/ 7470568S) e Lídice 02 (576740E/ 7470563S) e para a poligonal do processo DNPM 3906/1939.



**Figura 4.** Afloramento de rocha calciossilicática na BR-494 (Rodovia Saturnino Braga) com coordenadas 576745E/ 7470568S (Lídice 02).

observando-se as duas cores na mesma amostra. Apresenta foliação incipiente e aspecto semelhante a vítreo. Exibe textura lepidoblástica, com estiramento de cristais de quartzo. As proporções de plagioclásio, quartzo e minerais máficos, representados por biotita e piroxênio (augita e diopsídio, em geral 35%), variam mesmo em escala de afloramento, embora plagioclásio seja sempre o mineral mais abundante. Titanita e biotita ocorrem como minerais acessórios.

Os dados químicos (Tabela 1 e Figura 5) permitem classificar as rochas analisadas como calciossilicáticas a silicáticas, não tendo sido analisadas as rochas carbonáticas dessa ocorrência em razão da ausência de representatividade desse litotipo. Os elevados teores em  $\text{SiO}_2$  e os baixos teores em  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$  indicam que as rochas dessa subárea têm alta abrasividade e alta resistência à britagem e à moagem do minério (em comparação ao desempenho dos circuitos de britagem e moagem para rochas carbonáticas, como calcários e mármore calcíficos). O resultado do carbonato de cálcio precipitado – PPC (1,71%) confirma essa conclusão, ou seja, a calcinação da amostra foi muito baixa, indicando pouco ou nenhum  $\text{CaCO}_3$ . Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  comprometem a alvura do minério e podem produzir argila como mineral deletério.

### Distrito Valença-Barão de Juparanã

O município de Valença está situado no sul do estado do Rio de Janeiro, a 560 m em relação ao nível do mar. Barão de Juparanã é um distrito desse município (Figura 6).

As ocorrências de rochas metacarbonáticas da região de Barão de Juparanã foram descobertas em função da necessidade de a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) consumir carbonatos em seu processo siderúrgico. A antiga mina da CSN compreende os pontos BJ-CSN 01 e BJ-CSN 02 (ver descrição abaixo). Atualmente a mina de calcário da CSN está localizada em Arcos, Minas Gerais, e é responsável pelo suprimento de calcário calcítico e calcário dolomítico, fundentes consumidos pela siderúrgica para a produção de aço na Usina Presidente Vargas, em Volta Redonda, Rio de Janeiro (CSN, 2016).

O ponto BJ-CSN 01 encontra-se, atualmente, como uma lavra abandonada. Entretanto, na área, o espaço ocupado pela antiga mina permanece com a mesma configuração de 40 anos atrás (Figura 7). A ocorrência BJ-CSN 02 também constitui uma lavra abandonada e foi integrada ao planejamento urbano de Barão de Juparanã, sendo incluída entre as edificações que ali se encontram: uma escola, um galpão comercial e uma metalúrgica apoiada pela Agência Estadual de Fomento – AgeRio (Figura 7).

As rochas metacarbonáticas de Barão de Juparanã são mármore calcíficos e dolomíticos, de cor branca, homogêneos e com textura granoblástica, ocorrendo na forma de lentes de espessuras variadas, alcançando até algumas

dezenas de metros intercaladas em sillimanita-granada-muscovita-biotita gnaiss bandado e biotita gnaiss, todo o conjunto pertencente ao Grupo Paraíba do Sul (Heilbron et al., 2004). Além do carbonato, esses mármores são compostos de tremolita e diopsídio, podendo conter quartzo, mica branca ou olivina.

Dados do ponto BJ-CSN 01 permitiram a caracterização química e industrial da rocha carbonática. Os dados químicos (Tabela 1) indicam alto teor de  $\text{SiO}_2$ , entretanto os dados de CaO e MgO indicam a natureza dolomítica desse mármore. Embora carbonatos com valores maiores que 2% de  $\text{SiO}_2$

não sejam recomendados para fins metalúrgicos e químicos, a CSN utilizou esse minério como insumo. Além dessas características e do resultado químico desfavorável para a obtenção de PCC para o aproveitamento econômico do minério na indústria de alto desempenho, tais minas estão supostamente exauridas.

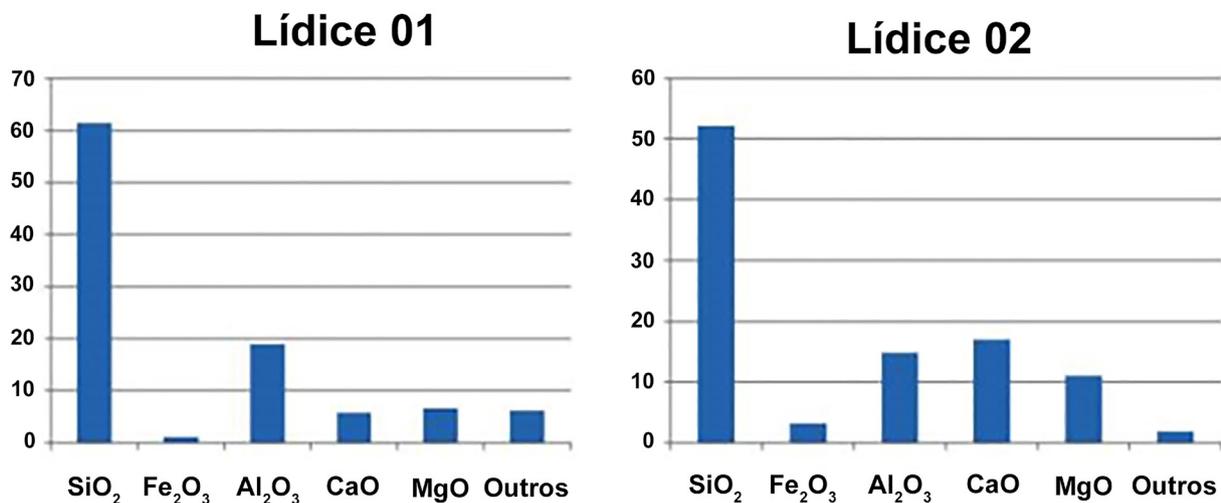
### Distrito de Pirai

Pirai é um município da Mesorregião do Sul Fluminense a 387 metros de altitude e distando 84 km da capital Rio

**Tabela 1.** Dados químicos obtidos por meio das análises das rochas selecionadas para amostragem como pontos representativos do conjunto dos pontos inventariados na pesquisa.

Número da amostra	Categoria	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	Outros	PPC	Substância mineral
Lídice 01	Ocorrência	61,42	1,08	18,96	5,76	6,53	6,25	1,71	Calciossilicática
Lídice 02	Ocorrência	52,16	3,16	14,78	17,00	11,02	1,88	1,12	Calciossilicática
BJ-CSN 01	Antiga lavra	5,80	0,27	0,43	29,93	18,92	-	46,00	Mármore
BJ-CSN 02	Antiga lavra	9,81	0,28	1,08	29,50	15,17	-	45,10	Mármore
CCR 01	Antiga lavra	1,80	0,37	0,21	28,00	24,20	1,20	45,20	Mármore
CCR 02	Ocorrência	29,20	0,80	2,40	13,50	31,70	1,11	21,00	Calciossilicática
CCR 03	Ocorrência	47,70	3,20	13,10	20,90	10,40	1,52	2,70	Calciossilicática
CCR 04	Ocorrência	41,10	2,70	9,90	25,90	1,70	5,18	13,30	Calciossilicática
CCR 05	Ocorrência	66,20	0,83	16,90	2,30	2,10	2,60	0,90	Calciossilicática
CCR 06	Ocorrência	45,90	3,10	10,30	23,90	10,70	4,40	22,10	Calciossilicática
CCR 07	Ocorrência	25,90	2,10	7,00	37,50	0,97	4,25	4,40	Calciossilicática
CCR 08	Antiga lavra	6,80	0,36	0,21	28,00	23,50	0,10	40,90	Mármore
MP 01	Antiga lavra	2,70	0,48	0,73	29,90	22,70	0,14	43,20	Mármore
TR-LA	Antiga lavra	2,91	0,10	1,04	30,00	21,40	0,45	44,00	Mármore

PPC: perda por calcinação.



**Figura 5.** Composição química das rochas amostradas na região de Lídice, distrito de Rio Claro, Rio de Janeiro.

de Janeiro. As ocorrências de rochas metacarbonáticas em Piraí estão situadas de forma dispersa, e por esse aspecto destacamos afloramentos, lavras abandonadas e blocos rolados inseridos em duas áreas: Vila Monumento e Estrada da Cacaria (Figura 8).

Nesse distrito afloramentos autóctones são somente observados nos pontos CCR001 e CCR008, nos quais as rochas estudadas ocorrem sob a forma de lentes com espessuras entre 1,0 e 2,0 m intercalados nos paragnais-ses do Grupo Paraíba do Sul. Nos demais pontos as rochas

metacarbonáticas ocorrem sob a forma de blocos soltos com diâmetros diversos.

O ponto CCR001 consiste em uma lavra pretérita, atribuída a um ciclo econômico de rochas carbonáticas que afetou o estado do Rio de Janeiro nos anos de 1970, que deixou impressões negativas na população local. Atualmente, os empreendimentos nessa região são voltados à construção de condomínios para um público interessado em turismo contemplativo.

Considerando que as rochas dessa região apresentam grande variação composicional nas proporções entre



**Figura 6.** Localização dos pontos BJ-CSN-01 (UTM 635792 E / 7525737) e BJ-CSN-02 (UTM 636487E/7529017S), ambos inseridos no território do Distrito de Barão de Juparanã (pertencente ao município de Valença, Rio de Janeiro).



**Figura 7.** Visão atual dos pontos BJ-CSN 01 e BJ-CSN 02, situados nos arredores e dentro do Distrito de Barão de Juparanã-Valença-RJ, respectivamente. Ambos os afloramentos são lavras abandonadas da Companhia Siderúrgica Nacional, que explorou minério para a siderurgia nos anos de 1970.

carbonatos e silicatos, é possível agrupar os pontos que apresentam predominância ou elevado teor de carbonatos, pontos com moderado conteúdo de carbonatos e os pontos com predominância de silicatos, em que o conteúdo de carbonato é baixo.

CCR 1 e CCR 8 são mármores compostos essencialmente por dolomita, com textura granoblástica média (Figura 9A). Augita e epidoto ocorrem como minerais acessórios. CCR 4 e CCR 6 exibem moderado conteúdo de dolomita (cerca de 50%) e plagioclásio e textura granoblástica fina (Figura 9B). Em CCR 4 ocorre elevado conteúdo de olivina e muscovita como mineral acessório. Na amostra CCR 6 não há a presença de olivina e o clinopiroxênio é o diopsídio. CCR 2, CCR 3, CCR 5 e CCR 7 têm cerca de 30% ou menos de dolomita que tende a ocorrer de forma intersticial, entre cristais de augita (Figura 9C). Eventualmente, observa-se bandamento composicional definido pela intercalação de níveis, ora mais ricos em dolomita, ora mais ricos em silicatos ferromagnesianos. O conteúdo de plagioclásio é variável e muscovita ocorre pontualmente. Quartzo não é comum, estando presente em pequena quantidade apenas na amostra CCR 3. As rochas, em geral, apresentam de moderado a elevado grau de alteração. CCR 2 destaca-se pelo elevado conteúdo de talco, com remanescentes de augita sofrendo reação/alteração.

Os dados químicos (Figura 10) apontam os elevados teores de  $\text{SiO}_2$  para as amostras dos pontos CCR002 a CCR007, classificando-as como calciossilicáticas. Somente as amostras dos pontos CCR001 e CCR008 têm baixos teores de

$\text{SiO}_2$  com moderados valores de CaO (28%) e MgO (23,5 a 24%), o que permite designá-las como dolomitos, segundo a classificação de Pettijohn (1957). Os teores de FeO relativamente baixos nessas amostras não comprometem o seu uso industrial, conferindo a essas rochas um potencial aproveitamento econômico com possíveis usos, como fluxantes ou fundentes, aglutinantes de impurezas em processos siderúrgicos, corretivos de solos, materiais para agregados para a construção civil, ingredientes para processos químicos, entre outros.

### Distrito de Miguel Pereira

O município de Miguel Pereira está localizado na microrregião Centro-Sul Fluminense, a 618 m do nível do mar. A ocorrência de rocha metacarbonática estudada (MP 01) está localizada na Fazenda Santo Antônio, a cerca de 8 km na direção sudoeste da sede municipal, nas coordenadas UTM 650515.00 m E e 7511183.00 m S (Figura 11). Nessa ocorrência, as rochas metacarbonáticas ocorrem como corpos lenticulares intercaladas nos ortognaisses do Complexo Quirino, embasamento das supracrustais do Grupo Paraíba do Sul (Figura 12). Apresentam textura equigranular média em fábrica poligonal, sendo composta por 95% de minerais carbonáticos, com predominância da dolomita. Clinopiroxênio anédrico e submilimétrico ocorre como mineral acessório.

Os dados químicos da dolomita apontam baixos teores de  $\text{SiO}_2$ , teores moderados de CaO e teores de MgO que permitem designá-la como dolomito, segundo a classificação

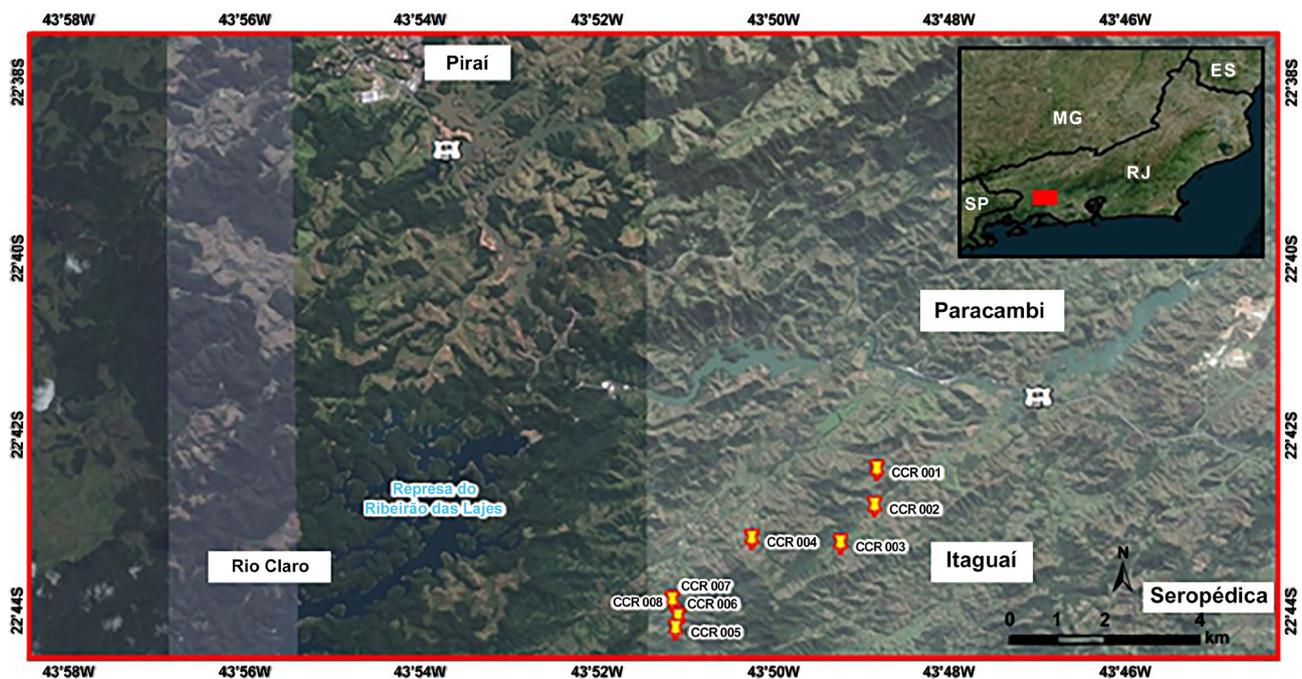
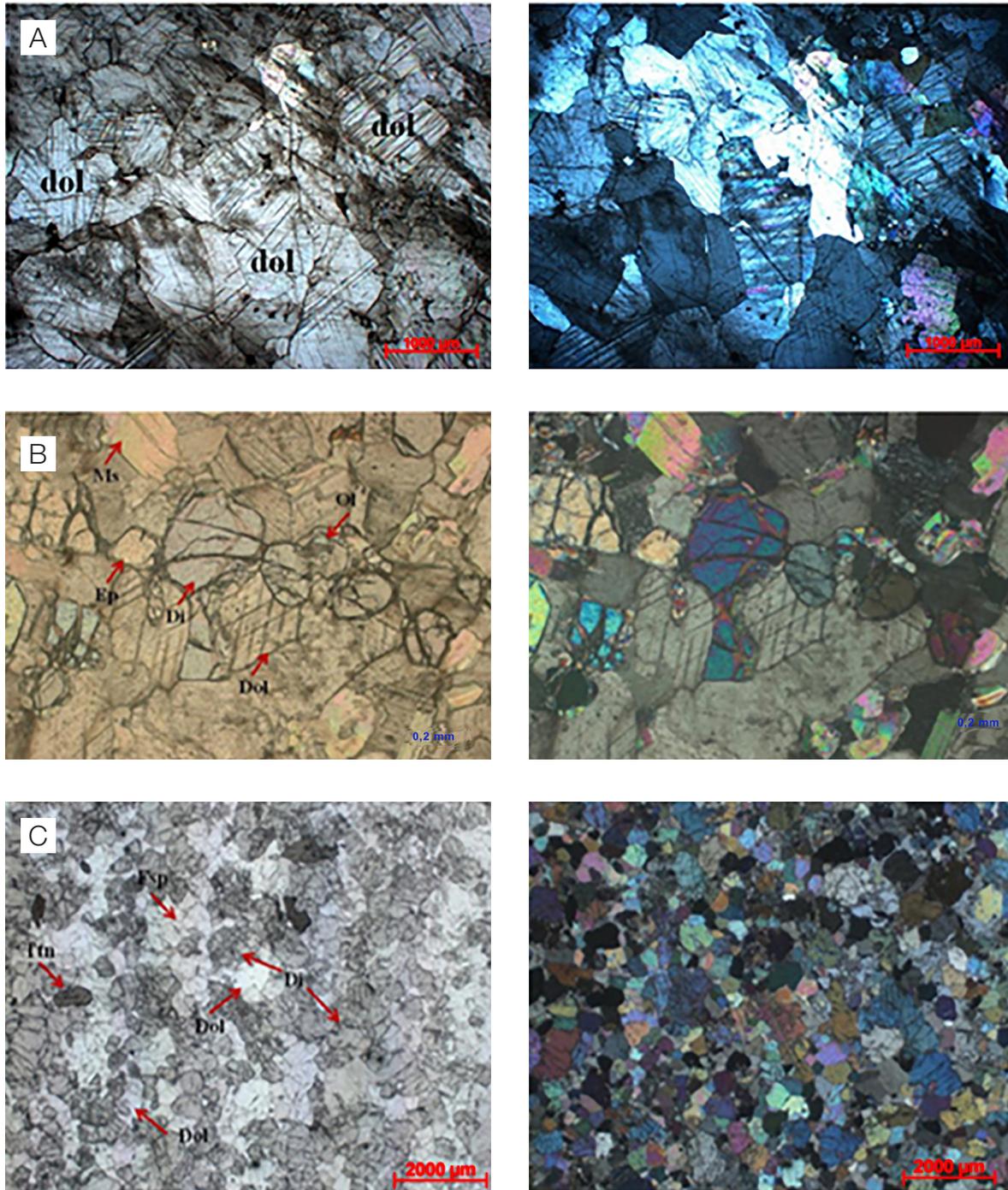


Figura 8. Localização do município de Pirai com a distribuição dos afloramentos de rochas metacarbonáticas.

de Pettijohn (1957). Os baixos teores de FeO e elevado PPC indicam o seu grau de pureza (Figura 13). Apesar de um resultado químico favorável para aproveitamento econômico, o mármore dolomítico da Fazenda Santo Antônio encontra-se praticamente exaurido na superfície do terreno.

Esse local foi objeto de lavra mineral nos anos de 1970, e é provável que o minério tenha sido totalmente explorado. Embora a qualidade do material ofereça poucos impeditivos para seu aproveitamento industrial, a indústria dos minerais carbonáticos de alto desempenho industrial necessita de



**Figura 9.** Fotomicrografias das rochas metacarbonáticas do Distrito de Pirai. (A) predominância de dolomitas na amostra CCR 08; (B) e (C) aumento gradual dos minerais calciossilicáticos nas amostras CCR 06 e CCR 03, caracterizando-as como calciossilicáticas.

uma rocha muito pura em calcita, pois o principal insumo do setor é o conhecido PCC, ou seja, imprescindível para a cadeia produtiva vinculada a essa substância. Nesse sentido, o minério de Miguel Pereira não atende às características físicas no que concerne à composição química — 2,7% de

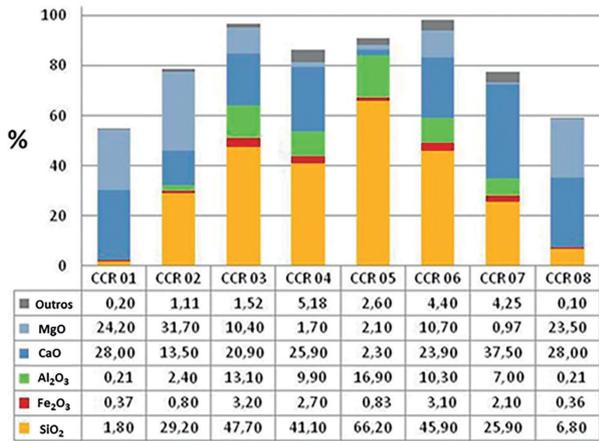
SiO<sub>2</sub>, maior do que os 2,0% exigidos pela indústria —, e não atende ao quesito de ser uma jazida de alta homogeneidade, sem variações químicas.

### DISTRITO TRÊS RIOS

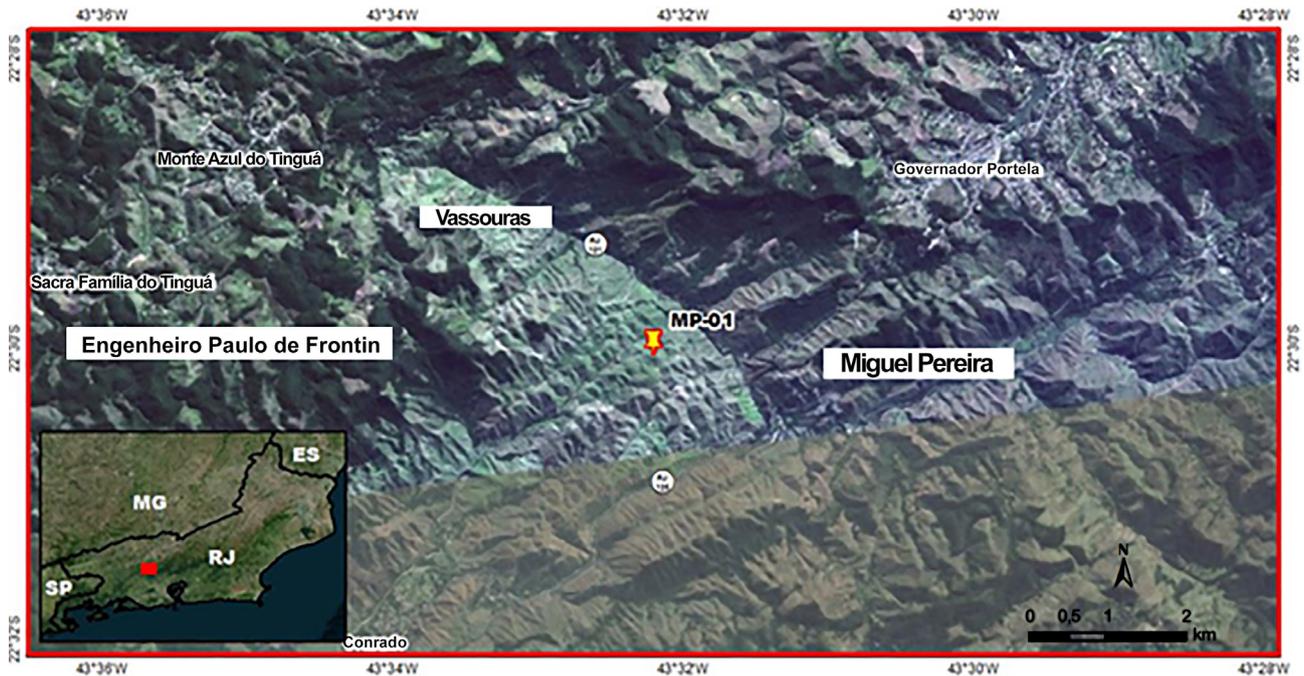
O município de Três Rios está situado na região centro-sul fluminense, a uma altitude média de 275 m. As rochas metacarbonáticas desse distrito, à semelhança das rochas de Miguel Pereira, ocorrem como lentes intercaladas no Complexo Quirino, que se encontram fortemente alinhadas à direção geral NE-SW da Zona de Cisalhamento Paraíba do Sul (Figura 14).

A ocorrência no ponto TR-LA (Figura 15) consiste em uma mega *boudin* de espessura média de 50 m e extensão na ordem de 100 m exposta por uma lavra abandonada. A rocha exibe textura granoblástica média a grossa composta por 96% de minerais carbonáticos, com predominância da dolomita sobre a calcita. Olivina e diopsídio ocorrem como minerais acessórios, inclusos ou intersticiais aos carbonatos.

Possui baixos teores de SiO<sub>2</sub> e FeO e moderados teores de CaO e MgO, sendo designada dolomito, segundo a classificação de Pettijohn (1957) (Figura 16). Em termos potenciais, considerando a boa qualidade do minério, considera-se que a quantidade de sílica pode se tornar um impeditivo para a obtenção do PCC (que admite um máximo de 2% de sílica), muito embora os experimentos realizados tenham



**Figura 10.** Resultados químicos obtidos para os pontos do Distrito de Pirai, no qual podemos verificar que as amostras de CCR 02 a CCR 07 têm grande quantidade de SiO<sub>2</sub>, fator que as torna muito abrasivas para o processo de moagem de minério. CCR 01 e CCR 08 são mármore dolomíticos, sendo que somente a primeira se adéqua, grosso modo, a utilizações mais nobres do uso de carbonatos na indústria.



**Figura 11.** Localização do ponto MP-01 (650515E/7511183S) na Fazenda Santo Antônio, zona rural do município de Miguel Pereira, Rio de Janeiro.

atingido valores elevados (44%). Outros produtos poderiam ser indicados, como blocos para a indústria da construção, material para agregados, cal, matéria-prima para a indústria de vidro, indústria siderúrgica, corretivo de solos e ingredientes para produtos químicos. Entretanto, para fins objetivos de lavra, deve-se levar em consideração que a jazida foi exaurida e que suas reservas não eram muito expressivas, tendo sido cubada num volume de cerca de 183.000 t de minério (DNPM, 1998).

### Modelo de Ponderação de Decisões

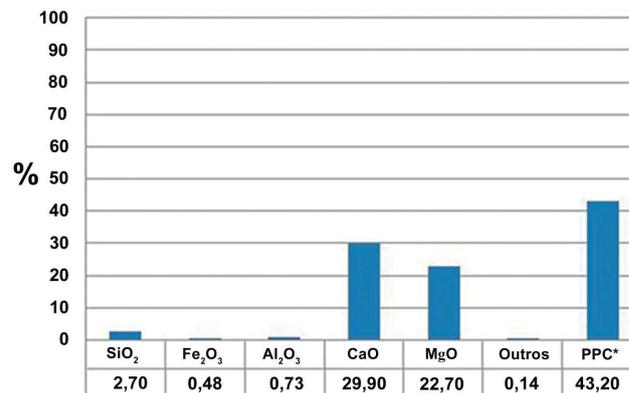
Este trabalho propôs um modelo apresentado em formato de mapa temático, para apoio à tomada de decisão. Admite-se a situação na qual uma mineradora deva decidir sobre bloquear ou não uma área para um projeto de pesquisa mineral para rochas carbonáticas. Procurou-se tanto quanto possível alertar sobre características e qualidade dos minérios para fins industriais específicos ao longo do texto da presente dissertação.

É importante destacar que os recursos financeiros alocados em projetos de mineração são irreversíveis, isto é, seja com relação ao investimento ou com relação à existência de reserva economicamente viável, os montantes aplicados não mais poderão ser totalmente recuperados. Por isso, a proposta do presente modelo foi afastar áreas cujos potenciais geológicos, minerais e químicos não sejam potenciais reservas minerais, ao passo que corrobora com a ideia há muito tempo difundida de que os corpos de rochas carbonáticas da região centro-sul fluminense oferecem pouco potencial para aproveitamento econômico pelo setor industrial.

O modelo é suportado pelos seguintes dados: classificação petrográfica, composição mineralógica, topografia e cálculos de reservas, quando este era disponível. A ideia inicial era aproveitar todos os pontos com coordenadas

geográficas para distribuí-los em ambiente SIG no interior da poligonal que se definiu como a área de estudo deste projeto (Figura 17). Cabe ressaltar que os métodos de geoposicionamento utilizados para a localização dessas ocorrências nas várias fontes pesquisadas diferem entre si (coordenadas GPS, carta topográfica, toponímia, centroide etc.). Esses dados foram então considerados como preliminares e agrupados em uma base de dados georreferenciada que serviu para a etapa de campo, assim como para abastecer o modelo de ponderação para tomada de decisão.

A partir do lançamento dos pontos em ambiente SIG, partiu-se para sucessivos ensaios de tentativa e erro — René Descartes desenvolveu o método em 1600, resumando em etapas os processos de evidenciar o problema, dividi-lo em partes e deduzi-lo — para melhorar a qualidade da informação. Nesse ponto tornou-se útil a aquisição de imagem de radar orbital da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), um Modelo Digital de Elevação (MDE), pois foi



PPC: perda por calcinação.

**Figura 13.** Composição química média da amostra coletada no ponto MP 001.



**Figura 12.** Visão da ocorrência de rochas carbonáticas do Distrito de Miguel Pereira (MP 01). Trata-se de um mármore dolomítico, porém as condições do entorno sugerem que esse minério tenha sido exaurido por lavra pretérita.

verificado que os pontos de interesse estariam todos situados entre as cotas 100 e 600 m, ou seja, abaixo da cota 100 não ocorreriam rochas carbonáticas neoproterozoicas, assim como acima da cota dos 600 m, no âmbito da região de estudo (Figura 18A).

A partir de então, passou-se à etapa da qualificação/validação dos dados, reunindo no modelo apenas os pontos que tivessem algum atributo vinculado a coordenadas geográficas. Nesse sentido, quando auditamos os pontos, percebemos que muitos deles estavam vinculados a toponímias genéricas, com apenas o nome do município como localização da amostra, sendo este o caso da publicação do DNPM intitulada “Análise de Calcários (II)”, de 1965. Buscou-se, por meio de contatos institucionais do DRM-RJ com o DNPM (1º Distrito, Brasília), o mapa geológico que serviu para essa publicação, entretanto a busca não obteve êxito. Tomou-se conhecimento tratar-se de um mapa geológico do Brasil 1:1.000.000 do ano de 1960.

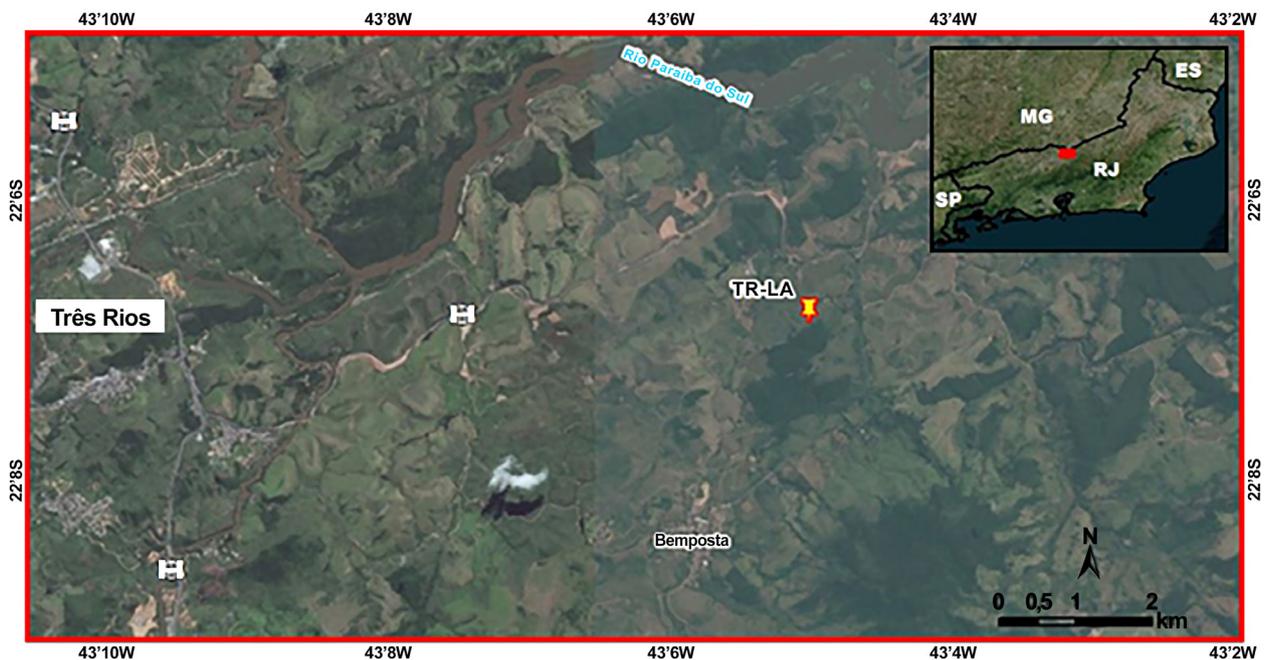
As características preconizadas pela indústria se adequam perfeitamente à questão classificatória proposta pela SCMR-IUGS, pois ambas analisam, principalmente, a correlação entre  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{CaO}$ . Esse é um aspecto duplamente indicativo da natureza da rocha, pois em termos de rochas carbonáticas de intensa pureza em minerais carbonáticos — critério SCRM (*Subcommission on Systematics of Metamorphic Rocks*) —, considera-se o teor de 95% de  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  e  $(\text{Ca,Mg})\text{CO}_3$  em variáveis proporções, sendo que, para a indústria, a melhor rocha carbonática para

a produção industrial é aquela que tenha 98% de  $\text{CaCO}_3$ , ou seja, um calcário calcítico, adequado para a produção do PCC, insumo base para a cadeia produtiva industrial de alto desempenho das rochas carbonáticas (indústria de transformação mineral).

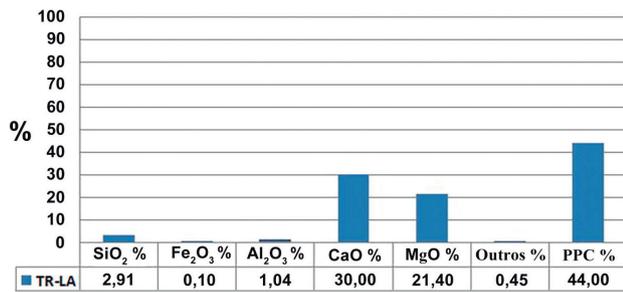
Nos pontos que possuíam algum dado químico, também foi realizada uma análise geoestatística. A geração das curvas



**Figura 15.** Aspectos de campo da lavra abandonada do ponto TR-LA (697672E/7553387S), exibindo as dimensões decamétricas do corpo de mármore, além da amostra de mão coletada para confecção de lâmina petrográfica e análise química.



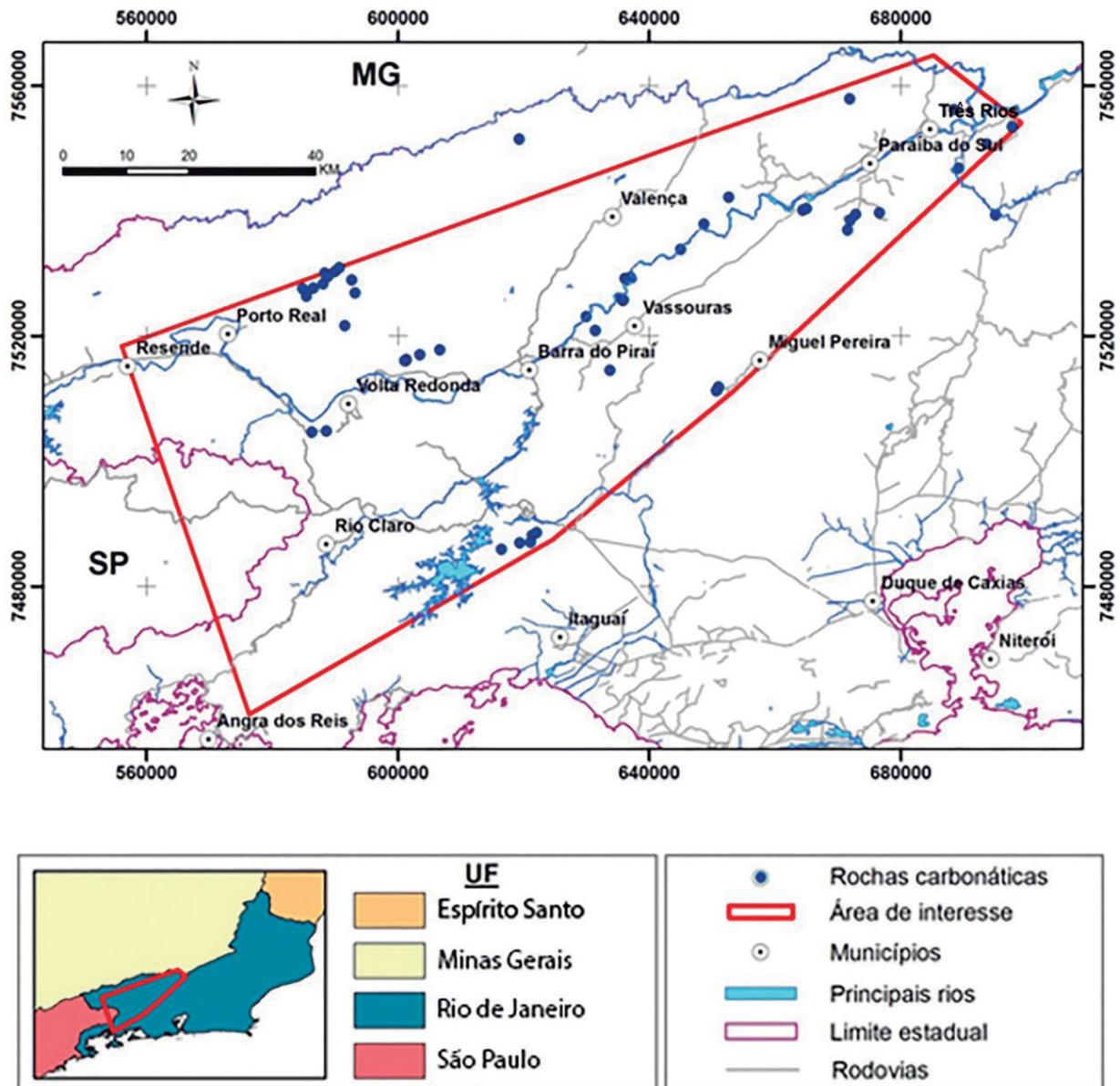
**Figura 14.** Localização das ocorrências de rochas metacarbonáticas do Distrito Três Rios: TR-LA (697672E/7553387S). Nessa área é possível diagnosticar o forte controle estrutural da área produzido pela Zona de Cisalhamento Paraíba do Sul, com *trend* regional NE/SW.



PPC: perda por calcinação.

**Figura 16.** Gráfico em barra apresentando os resultados das análises de rocha total para a amostra TR-LA.

de tendências químicas deu-se por meio do *Geostatistical Analyst*, uma ferramenta do ARCGIS 9.3 para interpolação de dados (criação de novos dados e/ou dados selecionados para revelar o fenômeno de interesse) para geração de isolinhas, que consiste em um modelo digital criado a partir dos dados de química da amostra, permitindo gerar superfícies ideais a partir de amostras de dados e avaliar as previsões para uma melhor tomada de decisão (Figura 18B). Essa ferramenta procura tendências sistemáticas nos dados — análise de tendências. Nem sempre é possível ou prático prever e modelar os fenômenos espaciais por meio de observações do mundo real. Esse tipo de modelagem de superfícies é especialmente



**Figura 17.** Mapa com a dispersão dos pontos inventariados neste estudo.

útil para a análise de dados atmosféricos, de exploração de petróleo e mineração, de análises ambientais e de agricultura de precisão. Dessa forma, foi modulada uma condição de contorno dos pontos inventariados pela pesquisa em função de seus teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{CaO}$ , aferidos pelo critério de classificação da *International Union of Geological Sciences* (IUGS)-SCMR, de acordo com os seguintes parâmetros de minerais carbonáticos contidos na rocha:

- Mármore puro  $\rightarrow$  minerais carbonáticos  $> 95\%$
- Mármore impuro  $\rightarrow 50\% <$  minerais carbonáticos  $< 95\%$
- Rocha calciossilicática  $\rightarrow 5\% <$  minerais carbonáticos  $< 50\%$
- Rocha silicática  $\rightarrow$  minerais carbonáticos  $< 5\%$

O uso de SIG pode auxiliar os processos de descoberta, tanto diminuindo os prazos e os custos quanto revelando novos relacionamentos entre dados previamente coletados e dados novos.

Em suma, a geração do Modelo de Ponderação de Decisões, aplicado na indicação de áreas potenciais para serem bloqueadas para a pesquisa de rochas carbonáticas na região centro-sul do estado do Rio de Janeiro, baseou-se em instrumentos basilares do SIG, quais sejam:

1. Processamento digital: geração de imagens.
2. Geração de uma base de dados (no sentido de ser uma coleção de informações selecionadas, relacionáveis entre si, de acordo com o modelo processado no ambiente SIG).
3. Modelagem e avaliação do potencial com o auxílio do modelo feito no SIG.

Muitas vezes o conhecimento adquirido por meio da experiência indica um caminho a ser seguido em uma pesquisa.

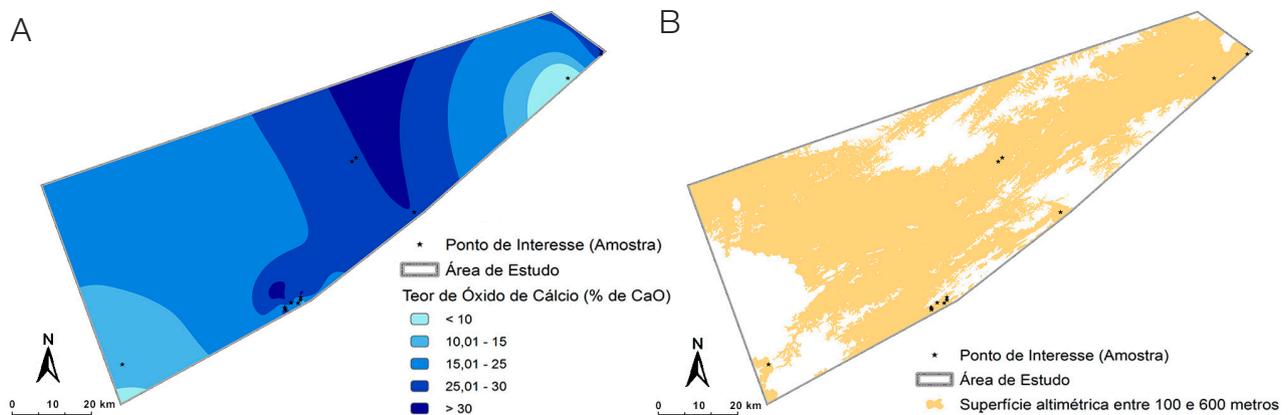
Por isso, apresenta-se uma informação relacionada à dispersão dos elementos ( $\text{CaO} + \text{MgO}$ , calcita e dolomita) e de  $\text{SiO}_2$  (especialmente os minerais calciossilicáticos) no modelo na forma de regiões com maiores concentrações desses elementos, assim como na de menores. O que se buscou, de fato, foi a obtenção de um *trend* para a orientação desses corpos carbonáticos no interior da área de estudo. Nessas regiões do mapa estão incluídos de forma diferenciada os pontos amostrados para a caracterização dos distritos atribuídos a cada uma das áreas visitadas.

Para justificar o nome do modelo (Modelo de Ponderação) ora apresentado, reforçamos que os mapas temáticos se destacam como expressão gráfica para uso de profissionais encarregados de processos de tomada de decisão. A criação de um mapa temático nasce da necessidade do planejador de se obter resposta a partir da associação de informações conhecidas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O abastecimento de matérias-primas é, sem dúvida, um desafio que preocupa os governos, particularmente os dos países em desenvolvimento, nos quais o crescimento demográfico será superior ao dos países já desenvolvidos. Esse abastecimento exige conhecimento dos próprios recursos minerais; estratégias para sua exploração e exploração; e mecanismos para que o valor agregado de sua extração não seja apropriado pelos países ricos — os que geralmente dispõem de capital e tecnologia —, e sim pelos países produtores, aumentando, assim, a qualidade de vida e os níveis de emprego de seus habitantes.

Com o objetivo de inventariar os corpos carbonáticos da região centro-sul do estado do Rio de Janeiro, propôs-se um



**Figura 18.** Ensaio para a elaboração do Modelo de Ponderação de Decisão aplicado à exploração de rochas carbonáticas na região centro-sul do estado do Rio de Janeiro. Em (A) estão representadas as áreas com dispersão de  $\text{CaO}$ , de acordo com os dados inventariados na pesquisa; em (B) estão representados os pontos amostrados na pesquisa dentro das superfícies altimétricas contidas entre as cotas 100 e 600 m. As duas figuras constituem processos de iteração para a confecção do mapa temático objeto da pesquisa.

modelo de exploração geológica consolidado em um mapa temático intitulado Modelo de Ponderação de Decisão. O inventário foi realizado no sentido de listar ou catalogar os dados reunidos na pesquisa, como também relacioná-los entre si para melhor compreensão da distribuição das rochas metacarbonáticas na área de estudo.

Foram feitas caracterizações mineralógicas e químicas dos pontos selecionados para a pesquisa. Utilizou-se como fonte da classificação litológica a proposta de classificação de rochas metacarbonáticas e rochas relacionadas da IUGS-SCMR. Nessa classificação utiliza-se o critério estabelecido para Cinturões Orogênicos Regionais, considerando a imensa variedade de rochas com conteúdo de minerais carbonáticos.

A definição dos controles geológicos para as mineralizações não ocorre de forma direta — os corpos carbonáticos ou foram lavrados ou são de pequenas dimensões. De maneira geral, é possível indicar dois tipos de ocorrências para essas rochas. Uma delas é na forma de lentes, relacionada às rochas calciossilicáticas e, por extensão ao modelo da SCMR, a uma alternância de mármore impuros rodeados, em sua maioria, por rochas calciossilicáticas. O outro tipo de ocorrência é na forma de mega *boudins* encaixados em biotita gnaisses componentes do Complexo Paraíba do Sul. Esses corpos são de maior magnitude e com química mineral que os colocam no campo dos mármore impuros, por não conterem minerais carbonáticos em proporções maiores que 95%.

A partir do estudo foi possível indicar a orientação preferencial desses corpos carbonáticos. As duas principais estruturas geológicas indicadas para a Faixa Ribeira no território fluminense exercem controle estrutural sobre essas rochas, quais sejam: o megalineamento da Zona de Cisalhamento Paraíba do Sul (NE-SW) e os planos de fratura associados à abertura do Oceano Atlântico, com orientação NW-SE. Os corpos de Miguel Pereira e de Barão de Juparanã têm seus arredores afetados por essa última descontinuidade geológica.

Com base no desenvolvimento desta pesquisa, os resultados obtidos permitiram concluir que foi atingido o objetivo de gerar, organizar e armazenar em uma base de dados informações espaciais e não espaciais da região centro-sul fluminense, contribuindo para a formação de uma base cartográfica com vários tipos de mapas temáticos, na escala 1:100.000, que possa contribuir para o estabelecimento de formas adequadas das atividades minerais.

Considerando a finalidade de avaliar a qualidade e dar uma ideia de valor de mercado para um determinado tipo de rocha, criou-se o conceito de Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG). Este índice baseia-se, de maneira geral, na soma dos pesos considerados para cada um dos seguintes fatores: cor da rocha, textura, homogeneidade, dureza, pureza, estrutura,

modo de ocorrência do prospecto e infraestrutura local. Dessa forma, quanto maior o IAEG, mais atraente será a rocha para o mercado.

Analogamente ao que esses autores pensaram em relação às rochas ornamentais, o presente trabalho adaptou o IAEG à realidade do potencial econômico das rochas metacarbonáticas da região centro-sul do estado do Rio de Janeiro, concluindo que tais corpos não são reservas potenciais para aproveitamento econômico para fins industriais. De acordo com os resultados obtidos, uma moderada anomalia de rochas metacarbonáticas foi identificada no interior da área limitada pelos Distritos de Pirai, Miguel Pereira e Barão de Juparanã. Entretanto, tal constatação não deve ser encarada como impeditivo para futuras pesquisas, posto que, do ponto de vista prático, novas pesquisas lançam novos olhares sempre que os dados gerados e organizados são revisitados e reinterpretados.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M. de, Amaral, G., Cordani, H. G., Kawashita, K. (1973). The Precambrian evolution of South American cratonic margin, South of Amazon River. In: A. E. M. Nairs; F. G. Stehli (Eds.), *The ocean basins and margins*, 1, 411-446.
- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito-Neves, B. B., Fuck, R. A. (1977). Províncias estruturais brasileiras. *VIII Simpósio de Geologia do Nordeste*, Atas, 363-391. Campina Grande: SBG.
- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R. A. (1981). Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth Science Review*, 17, 1-19.
- Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). (2016). *Institucional*. Disponível em: <[http://www.csn.com.br/conteudo\\_pti.asp?idioma=0&conta=45&tipo=60023](http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&conta=45&tipo=60023)>. Acesso em: 15 dez. 2017.
- Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ) – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços. (1983). *Panorama Mineral do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro.
- Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ) – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços. (2012). *Panorama Mineral do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro.
- Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ) – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços. (2014). *Panorama Mineral do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro.

- Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). (1998). Divisão de Geologia e Pesquisa Mineral. *Mapa geológico do estado do Rio de Janeiro*. Mapa, color. 00 cm x 00 cm. Escala 1:400.000. Rio de Janeiro: DNPM.
- Felgueiras, C. A., Câmara, G. (2001). Modelagem numérica de terreno. In: G. Câmara, C. Davis, A. M. V. Monteiro, *Introdução à Ciência da Geoinformação*, 7, 1-36. São Paulo: INPE.
- Hackspacher, P. C., Ribeiro, L. F. B., Ribeiro, M. C. S., Fetter, A. H., Hadler Neto, J. C., Tello, C. E. S., Dantas, E. L. (2004). Consolidation and Break-up of the South American Platform in Southeastern Brazil: Tectonothermal and Denudation Histories. *Gondwana Research*, 7(1), 91-101.
- Heilbron, M., Valeriano, C. M., Valladares, C. S., Machado, N. (1995). A orogênese brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4), 249-266.
- Heilbron, M., Mohriak, W. U., Valeriano, C. M., Milani, E. J., Almeida, J., Tupinambá, M. (2000). From collision to extension: The roots of the Southeastern Continental Margin of Brazil. In: W. U. Mohriak, M. Talwani (Eds.), *Atlantic Rifts and continental margins. American Geophysical Union, Geophysical Monograph* 115, 1-32.
- Heilbron, M., Machado, N. (2003). Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, 125, 87-112.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A. C., Campos Neto, M. C., Silva, L. C., Trouw, R. A. J., Janasi V. A. (2004). Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. Dal Ré Carneiro, B. B. Brito Neves (Orgs.) *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca. p. 203-235.
- Machado Filho, L., Ribeiro, M. W., Gonzalez, S. R., Schemini, C. A., Santos Neto, A. S., Palmeira, R. C. B., Pires, J. L., Teixeira, W., Castro, H. E. F. (1983). *Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro e Vitória*: Geologia, 32. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL.
- Machado, N., Valladares, C., Heilbron, M., Valeriano, C. (1996). U-Pb geochronology of the central Ribeira belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny. *Precambrian Research*, 79, 347-361.
- Menezes, S. O. (1975). As rochas carbonáticas de Cantagalo - RJ. *Mineração e Metalurgia*, 39, 26-29.
- Peixoto, C. A. (2008). *Mapeamento Geológico da Klippe Italva na região entre Cantagalo e Itaocara, Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: UERJ. 45 p.
- Peixoto, C., Heilbron, M. (2010). Geologia da Klippe Italva na região entre Cantagalo e Itaocara, nordeste do Estado do Rio de Janeiro. *Geociências*, 29(3), 277-289. São Paulo: UNESP.
- Pettijohn, F. J. (1957). *Sedimentary Rocks*. 2 ed. New York: Harper and Brothers. 718 p.
- Sad, J. H. G., Donadello, M. M., Figueiras, R. R., Arantes, D. (1980). *Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro. Escala 1:50.000*. Folha Santa Maria Madalena (SF-23-X-D-VI-4). GEOSOL LTDA, DRM-RJ.
- Schmitt, R. S., Trouw, R. A. J., Van Schmus, W. R., Pimentel, M. M. (2004). Late amalgamation in the central part of West Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collision orogeny in the Ribeira belt (SE Brazil). *Precambrian Research*, 133, 29-61.
- Trouw, R. A. J., Heilbron, M., Ribeiro, A., Paciullo, F. V. P., Valeriano, C. M., Almeida, J. C. H., Tupinambá, M., Andreis, R. R. (2000). The central segment of the Ribeira Belt. In: U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, D. A. Campos (Eds.), *Tectonic Evolution of South America. XXXI International Geological Congress*, 287-310. Rio de Janeiro: SBG.
- Tupinambá, M., Duarte, B. P., Eirado, L. G., Nogueira, J. R., Heilbron, M., Almeida, C. G. (2003a). Geologia das Folhas Leopoldina e Pirapetinga. In: A. C. Pedrosa Soares, C. M. Noce, R. Trouw, M. Heilbron (Coord.), *Projeto Sul de Minas*. 2, 320-404. Belo Horizonte: COMIG/SEME.
- Tupinambá, M., Duarte, B., Eirado, L. G., Nogueira, J. R., Heilbron, M., Guia, C. (2003b). Geologia da região entre Leopoldina e Além Paraíba, MG. *XII Simpósio Geologia de Minas Gerais*, 105. Ouro Preto: SBG.
- Tupinambá, M., Heilbron, M., Duarte, B. P., Nogueira, J., Valladares, C., Almeida, J., Silva, L. G. E., Medeiros, S. R., Almeida, C. G., Miranda, A., Ragatky, C. D., Mendes, J., Ludka, I. (2007). Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. *Geonomos*, 15(1), 67-79.
- Valladares, C. S., Souza, S. F. M., Ragatky, D. (2002). The Quirino Complex: a Transamazonian Magmatic Arc of the Central Segment of the Brasiliano/Pan-African Ribeira Belt, SE Brazil. *Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra*, 21(1), 49-61.