Caracterização e prospecção de grafita do Complexo Jequitinhonha

Characterization and prospecting of graphite-gneisses of the Jequitinhonha Complex

Hermando Brito¹, Bruno Salaroli Piumbini², José Aurélio Medeiros da Luz¹, Eduardo Morato Dias Nascimento²

¹Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN), Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, Rua Dona Nancy de Vasconcelos Gomes, 352, ap. 301, bairro Horto, CEP 31030-072, Belo Horizonte, MG, BR (hermandobrito@yahoo.com.br; jaurelioluz@gmail.com)

²CBG Mineração S. A., Belo Horizonte, MG, BR (emoratodn@yahoo.com.br; brunopiumbini@gmail.com)

Recebido em 12 de abril de 2017; aceito em 21 de setembro de 2017

Resumo

O advento da tecnologia do grafeno vem destacando ainda mais a importância da grafita no panorama industrial moderno, tornando esse mineral estratégico. Os novos campos de sua utilização tornaram a exploração de grafita cristalina (*flake*) economicamente atrativa. Os gnaisses kinzigíticos do Complexo Jequitinhonha contêm mineralizações de grafita e têm sido objeto de estudos recentes. A compreensão do comportamento da mineralização por meio da caracterização permite o avanço nas técnicas para sua prospecção e exploração. Estabelecer a influência dos contaminantes do meio geológico e as características que esses conferem à mineralização é importante para a padronização dos procedimentos de prospecção e beneficiamento. Este estudo permitiu determinar o padrão resistivo/condutoivo da mineralização em função de seus contaminantes, estabelecendo as características inerentes à mineralização de grafita que permitem padronizar critérios de prospecção e posterior utilização industrial do minério.

Palavras-chave: Mineralização de grafita; Ciclo Brasileiro Pan-Africano; Eletroresistividade; Minerografia quantitativa; Orógeno Araçuai.

Abstract

The advent of graphene technology has highlighted the importance of graphite in the modern industrial landscape, making this mineral strategic. The new fields of its use have made the exploitation of flake graphite economically attractive. The kinzigitic gneisses of the Jequitinhonha Complex contain graphite mineralizations and have been the object of recent studies. Understanding the behavior of mineralization, through characterization, allows advancement in the techniques for its exploration and exploration. Establishing the influence of the contaminants from the geological environment and the features they impart to the mineralization is important in order to standardize prospecting and processing procedures. This study allowed determining the orebodies resistive/conductive patterns as a function of petrological contaminants, defining the inherent characteristics of the graphite mineralization that make possible the standardization of the prospecting criteria and later the industrial use of the ore.

Keywords: Graphite deposits; Pan African-Brazilian cycle; Electroresistivity; Quantitative minerography; Araçuai Orogen.

INTRODUÇÃO

A importância industrial da grafita tem aumentado nos últimos anos em função do aumento de sua demanda, sem o correspondente aumento de reservas conhecidas. Esse mineral industrial tornou-se estratégico e os preços dos concentrados de grafita em flocos (*flakes*) atingem mais de mil dólares por tonelada, dependendo do teor de carbono e do grau de sua cristalinidade. O advento da tecnologia do grafeno vem destacando ainda mais a importância estratégica da grafita.

No sul da Bahia, os gnaisses kinzigíticos do Complexo Jequitinhonha são muito deformados por processos tectônicos e migmatíticos, tendo permitido, em última análise, mineralizações economicamente relevantes de grafita cristalina (tipo *flake*, Figura 1).

Entretanto, a prospecção de grafita nessa região encontra dificuldades em função das características do minério local. Contaminantes como caulinita, goethita e magnetita causam interferência na prospecção geofísica por métodos elétricos, bem como nos ensaios analíticos para determinação do teor de carbono, dificultando a investigação e a modelagem dos corpos mineralizados. Via de regra, a minerografia volumétrica quantitativa fornece parâmetros para investigação geofísica e modelagem geológica. Este trabalho insere-se nesse contexto e trata-se de um estudo de caso levado a efeito na região supradescrita, contextualizando as dificuldades de quantificação de depósitos de grafita, mineral tido, hoje, como altamente estratégico no panorama mundial da próxima década.

Figura 1. Quartzo com inclusão de flocos (*flakes*) de grafita, oriundo do sul da Bahia, Brasil (escala em milímetros).

MATERIAIS E MÉTODOS

Geologia regional

A Província Gráfica Bahia-Minas situa-se no extremo nordeste do Orógeno Araçuaí (Figura 2), montanhas edificadas entre 630 e 500 Ma (Pedrosa-Soares et al., 2000; Pedrosa-Soares et al., 2001, 2006).

O Orógeno Araçuaí subdivide-se em dois grandes domínios tectônicos (Pedrosa-Soares et al., 2000): externo e interno. O primeiro — ocidental e extremo setentrional — é caracterizado como uma faixa de dobramentos e empurrões que bordejia o limite oriental do Cráton do São Francisco. Nessa faixa estão esculpidos segmentos da Serra do Espinhaço e chapadas do norte e nordeste de Minas Gerais.

O segundo domínio e seu núcleo metamórfico-anatéctico são ricos em rochas graníticas e rochas metamórficas de fácies anfibolito a granulito; neles ocorrem as rochas da Província Gráfica Bahia-Minas.

Os setores norte e nordeste do Orógeno Araçuaí apresentam uma saliência com concavidade voltada para sul. A saliência setentrional é o compartimento tectônico caracterizado pela grande curvatura do Orógeno Araçuaí, onde os traços estruturais infletem da direção norte-sul para leste. Nessa saliência, as condições de P (pressão) e T (temperatura) aumentam para sul, desde a fácies xisto-verde, na zona limítrofe com o Cráton São Francisco, até a fácies anfibolito alto, no núcleo metamórfico-anatéctico. O ramo oriental da saliência é caracterizado por zonas oblíquas a transcorrentes, sinistrais, de direção NW-SE, com componentes de empurrão para leste, zona de cisalhamento de Salto da Divisa. A província gráfica ocupa todo o ramo oriental dessa saliência (Pedrosa Soares et al., 2006).

Geologia local

Na porção nordeste da Província Gráfica Bahia-Minas observam-se os litotipos: biotita gnaisses, granada-biotita gnaisses, grafita-biotita gnaisses, grafita gnaisses, silimanita-grafita xisto, granitoides e pegmatitos produtos da migmatização, além das coberturas aluvionares. As rochas seguem um *trend* regional NNW-SSE, com mergulho para ENE com ângulo entre 30 e 60°. Há neossomas graníticos que dobram localmente o paleossoma gnáissico. Os depósitos gráficos ocorrem em sequência litológica e estrutural rítmica, paralelos entre si, ocupando uma faixa bem definida de direção NW-SE em Minas Gerais, que gradativamente sofre uma inflexão N-S em direção ao Estado da Bahia (Faria, 1997; Daconti et al., 2004), como é possível observar na Figura 2.

Visando a direcionar os trabalhos em campo, as rochas gnáissicas do Complexo Jequitinhonha foram agrupadas, neste trabalho, em dois litotipos básicos: biotita-gnaiss (estéril) e grafita-gnaiss (mineralizada). Além do quartzo e

o feldspato, inerentes ao gnaíse, foram identificados como minerais essenciais: biotita, grafita, silimanita, granada, muscovita e cordierita.

Complexo Jequitinhonha

Os gnaíses do Complexo Jequitinhonha têm geralmente cor cinza a branco, granulação média, ocorrendo bandamento como variação composicional com leucossoma predominantemente quartzo-feldspático e melanossoma com grafita e sillimanita ou biotita, granada, cordierita (Pedrosa-Soares et al., 2000). Observam-se dobras, migmatização em diversas intensidades, milonitização e superfícies de cisalhamento. A porção ígnea do gnaíse migmatito é constituída predominantemente por granitos e pegmatitos, produto da fusão parcial durante o metamorfismo, eventualmente apresentando grafita, principalmente nas bordas. Os corpos são irregulares, de dimensão métrica e, mais raramente, decamétrica. São geralmente concordantes com a foliação gnáissica, embora haja corpos discordantes, conforme Figura 3.

Grafita-gnaíse, biotita-gnaíse, granada-biotita-gnaíse, cordierita-granada-biotita-gnaíse e grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita-gnaíse foram identificados em campo como parcela dos gnaíses kinzigíticos, geralmente com sequenciamento litológico rítmico, de biotita gnaíse, gradando lateralmente para granada-sillimanita-biotita gnaíse com sillimanita fibrosa (fibrolita) na forma de concreções elípticas, gradando para grafita gnaíse rocha mineralizada, conforme mapa geológico da Figura 4.

As variações litológicas originam-se do ambiente de sedimentação, caracterizado como marinho raso, com deposição gradacional da fração areia para a fração argila (variação de energia e do potencial redox do sistema). A bacia sedimentar que favoreceu a ocorrência de grafita gnaíse provavelmente foi restrita (de baixa energia e potenciais eletroquímicos redutores), com fonte abundante em matéria orgânica de origem continental. O alto grau de metamorfismo durante a orogênese, aliado à intensa percolação de fluidos anatéticos, possibilitou o crescimento dos cristais de grafita do tipo *flake* (Faria, 1997; Reis e Pedrosa-Soares, 2000; Daconti et al., 2004; Belém, 2006).

Figura 2. Mapa geotectônico do Orógeno Araçuaí, com a localização da Província Gráfica Bahia-Minas (Pedrosa-Soares et al., 2006).

Grafita gnaissae

Rocha heterogênea; com feições migmatíticas; cor cinza; textura lepidoblástica a granular com porções ígneas de granulação média a pegmatítica; bandamento que ocorre como uma variação composicional; porção clara (neossoma) geralmente constituída por quartzo, feldspato, sillimanita e grafita; e porção escura (paleossoma) rica em grafita e sillimanita (Figuras 5 a 9).

Próximo às zonas de cisalhamento regionais o grafita gnaissae apresenta aspecto xistoso e ângulo de mergulho alto à medida que se afasta dessas zonas, e predominam as feições migmatíticas, com cristais de grafita de maior diâmetro.

A mineralização de grafita é do tipo *flake*, com diâmetros que variam de 0,5 a 5,0 mm, os teores em carbono variam entre 2 e 15%. No paleossoma a grafita ocorre disseminada e no neossoma concentra-se próxima ao contato com o paleossoma, ao longo de superfícies de cisalhamento, charneiras das dobras etc., como se observa na Figura 10.

Amostras

As amostras provenientes da província grafítica no sul do Estado da Bahia foram retiradas de furos de sondagem e trincheiras executados nos corpos mapeados, como relatado a seguir: saprólito de gnaissae da trincheira 1; saprólito de gnaissae da trincheira 2; saprólito de gnaissae de sonda rotativa; e grafita gnaissae de sonda rotativa (rocha sã).

Escavação de trincheira de pesquisa

O grafita gnaissae apresenta gradação composicional rítmica aproximadamente coincidente com a foliação gnaissica e mergulha com um ângulo de médio a elevado, favorecendo a definição da sua espessura pelo método de trincheiras. A obtenção de amostras e espessura dos corpos de grafita gnaissae de forma direta foi possível com a utilização de trincheiras, perpendiculares à foliação da rocha.

A escavação das trincheiras, com profundidade máxima de 4,00 m, era feita por retroescavadeira,

Fonte: modificado de Faria, 1997.

Figura 3. Porção NE da Província Grafítica Bahia-Minas; em verde (CJ) gnaisses do Complexo Jequitinhonha, rochas-alvo da pesquisa mineral (Modificado de Faria, 1997).

equipada com caçamba de 0,80 m de largura. As trincheiras tinham direção perpendicular à xistosidade do saprólito de grafita gnaiss (minério) ou perpendicular à espessura do corpo mineralizado, com extensão

suficiente para atravessar toda a potência (espessura) do corpo mineralizado.

A trincheira e os contatos geológicos ao longo do caminhamento eram medidos e descritos segundo a parede norte

Neoproterozoico

- **Grafita gnaiss:** gnaisses do Complexo Jequitinhonha - gnaisses kinzigíticos em variados estágios de migmatização; grafita gnaiss, biotita-grafita gnaiss, granada-biotita gnaiss, cordierita-granada-biotita-grafita gnaiss, sillimanita-cordierita-granada-biotita-grafita gnaiss.
- **Gnaiss:** gnaisses do Complexo Jequitinhonha - gnaisses kinzigíticos em variados estágios de migmatização.
- **Granito CJ:** rochas granitoides - anatexia de gnaisses do Complexo Jequitinhonha.
- **Grafita xisto:** xistos e filitos grafitosos.

Figura 4. Mapa geológico na escala 1:5.000 da região de estudo no município de Eunápolis com localização das trincheiras (TR), sondagens (SR) e perfis geofísicos (Perfil), CBG 2016.

da escavação, tomando-se registro fotográfico das operações. Amostravam-se perpendicularmente à foliação gnáissica, ao longo da extensão da trincheira.

Sondagem

As sondagens foram executadas conforme normas internacionais estabelecidas pela *Diamond Core Drill Manufacturers Association* (DCDMA), tendo-se optado pela perfuração no método *wire line*, no diâmetro mínimo (NQ).

Utilizaram-se sondas rotativas, modelo Mach 700, equipadas com torre de perfuração inclinável com 4,5 m, para obtenção dos testemunhos de sondagem. Bombas, modelo MT 100, foram empregadas para o recalque de lama de sondagem (água com bentonita).

Naturalmente, procurava-se a amostragem integral dos testemunhos de sondagem, sendo o suporte amostral mínimo de 0,400 kg, calculado pelo formalismo amostral de Gy (1982). Esse suporte era seguramente alcançado com 1/4 do testemunho de sondagem no intervalo

padrão de 1 m. As amostras de solo e saprólito eram segmentadas por espátulas, enquanto as de rochas frescas eram serradas em 1/4 do testemunho, com emprego de serra diamantada.

Caracterização

As amostras foram submetidas aos ensaios de flotação em bancada e segmentadas em três frações granulométricas diferentes, perfazendo um total de 12 unidades.

As amostras também foram utilizadas para classificação mineralógica, sob o ponto de vista das especificações tecnológicas, pelo método da minerografia volumétrica quantitativa aplicada a minério polimetálico. As amostras foram subdivididas em 5 faixas granulométricas: acima de 0,210 mm; entre 0,210 e 0,105 mm; entre 0,105 e 0,075 mm; entre 0,075 e 0,044 mm; e abaixo de 0,044 mm.

Procedeu-se, então, a classificação mineralógica e a contagem de partículas por faixa granulométrica, obtendo-se,

Figura 5. Suíte kinzigítica. (A) Gnaiss kinzigítico migmatizado; (B) gnaiss muito quartzoso; (C) concentrados de grafita em grafita gnaiss; (D) gnaiss altamente quartzoso a quartzito.

ao final, o volume total e a massa total por mineral ou agregado mineral identificados nas amostras segundo a metodologia de minerografia volumétrica quantitativa aplicada a minério polimetálico.

O imageamento das amostras (fotomicrografias) foi efetuado por microscópio óptico polarizado com capturador de imagem, em luz transmitida e refletida. As amostras foram preparadas em lâminas delgadas polidas de partículas.

Prospecção geofísica por eletrorresistividade

O método da eletrorresistividade consiste em injetar corrente contínua (ou de baixa frequência) em dois pontos do terreno (A e B) e medir a diferença de potencial entre dois outros pontos (M e N). O conhecimento da corrente injetada i , da diferença de potencial ΔV e das posições relativas dos pontos A, B, M e N permite calcular o valor da resistividade elétrica (ρ) dos materiais que se encontram abaixo da superfície do terreno (Telford et al., 1990). Esse valor, para um meio isotrópico e homogêneo, é dado pela Equação 1:

$$\rho = \frac{\Delta V}{i} \times \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{NA} + \frac{1}{BN}} \quad (1)$$

O ambiente geológico apresenta uma distribuição de resistividade com variação nos eixos vertical e horizontal. Devido à heterogeneidade do meio, os valores de resistividade obtidos não representam os valores de resistividade das camadas, embora estejam correlacionados. O que se obtém diretamente a partir das medidas são valores denominados resistividade aparente. Para corrigir tal divergência, faz-se o tratamento matemático denominado inversão, ou seja, sugere-se o melhor modelo com os dados obtidos e verifica-se, por comparação, o quanto o modelo sugerido (invertido) difere daquele obtido com os valores medidos em campo.

O arranjo dipolo-dipolo foi empregado nos caminhamentos elétricos na área em questão. Sua grande vantagem é a investigação lateral da resistividade em subsuperfície em vários níveis (n) de profundidade. Os espaçamentos AB e MN são iguais, sendo

Figura 6. Gnaisses migmatizados com diversas feições e intensidades.

que os centros dos dipolos se deslocam ao longo da linha do levantamento para que sejam investigados vários níveis de profundidade. Os perfis de caminhamento elétrico foram executados

na área de estudo e estão representados na Tabela 1, de forma a permitir a compreensão dos dados básicos dos espaçamentos dos eletrodos e o arranjo utilizado na aquisição em campo.

Figura 7. Gnaisses intemperizados, granitos e pegmatitos. (A) Contato de saprólito de gnaiss com granito intemperizado; (B) saprólito de gnaiss; (C) níveis graníticos em gnaiss; (D) pegmatito intemperizado.

Figura 8. Saprólito de grafita gnaiss, aspecto xistoso, afloramento encaixado em uma zona de cisalhamento.

Figura 9. Grafita gnaiss, rocha sã, afloramento intensamente migmatizado com minidobras e percolação de *melts* silicosos (*melts*, porções não foliadas separadas pelo tracejado).

Figura 10. Flakes de grafita grandes, que correm preferencialmente próximos à porção ígnea do gnaiss migmatítico — neste caso, no contato do paleossoma (à direita) com o neossoma (à esquerda).

Tabela 1. Perfis de caminhamento elétrico executados em campo.

Perfil	Espaço (metros)	Profundidade teórica (metros)	Comprimento (metros)
07	20	70	260
08	30	105	240
09	40	140	360
10	20	70	240

RESULTADOS

Caracterização

No que tange à caracterização mineralógica, as Tabelas 2, 3 e 4 resumem a contagem e a classificação mineralógica das partículas por faixa granulométrica, obtendo-se, ao final, o volume total e a massa total por mineral ou agregado mineral identificado.

Amostra saprólito de gnaiss da trincheira 1

O grau de liberação da grafita por faixa (Tabela 2), nesta amostra, acusou os seguintes valores: na fração acima de 0,210 mm, 55%; na fração entre 0,105 e 0,210 mm, 56 %; na fração entre 0,075 e 0,105 mm, 68 %; na fração entre 0,044 e 0,105 mm, 80 %; e na fração abaixo de 0,044 mm, 96%.

O grau de liberação da grafita por faixa (Tabela 3), nesta amostra, acusou os seguintes valores: na fração acima de 0,210 mm, 63%; na fração entre 0,105 e 0,210 mm, 74%; na fração entre 0,075 e 0,105 mm, 71%; na fração entre 0,044 e 0,105 mm, 85%; e na fração abaixo de 0,044 mm, 100%.

O grau de liberação da grafita por faixa (Tabela 4), nesta amostra, acusou os seguintes valores: na fração acima de 0,210 mm, 58%; na fração entre 0,105 e 0,210 mm, 62%; na fração entre 0,075 e 0,105 mm, 69%; na fração entre 0,044 e 0,105 mm, 82%; e na fração abaixo de 0,044 mm, 97%.

Tabela 2. Minerografia volumétrica quantitativa da amostra saprólito de gnaiss da trincheira 1 na fração abaixo de 0,5 mm.

Minerais	Volume por faixa granulométrica (%)					Distribuição por faixa em volume (%)					Volume total (%)
	> 0,210mm	> 0,105mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	
Grafita	30,10	22,42	24,96	29,98	35,69	15,43	6,90	1,92	1,15	2,29	27,69
Magnetita	0,19	0,16	0,17	0,00	0,00	0,10	0,05	0,01	0,00	0,00	0,16
Goethita	14,17	18,33	15,64	15,94	25,95	7,27	5,64	1,20	0,61	1,66	16,39
Agregado terroso	16,70	24,39	20,47	22,20	14,12	8,56	7,50	1,57	0,85	0,91	19,40
Quartzo	23,50	22,59	20,13	12,33	8,40	12,05	6,95	1,55	0,47	0,54	21,56
Outros	15,34	12,11	18,64	19,54	15,84	7,87	3,73	1,43	0,75	1,02	14,79

Tabela 3. Minerografia volumétrica quantitativa da amostra saprólito de gnaiss da trincheira 1 na fração inicialmente acima de 0,5 mm, moída abaixo de 0,5 mm.

Minerais	Volume por faixa granulométrica (%)					Distribuição por faixa em volume (%)					Volume total (%)
	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	
Grafita	23,77	17,32	16,78	6,51	9,71	9,01	8,08	1,96	0,09	0,23	19,37
Magnetita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Goethita	18,47	18,50	20,76	31,55	33,27	7,00	8,63	2,42	0,46	0,78	19,29
Agregado terroso	19,65	19,88	20,93	21,04	31,65	7,45	9,27	2,44	0,31	0,74	20,21
Quartzo	20,24	27,56	20,59	28,38	9,71	7,67	12,86	2,40	0,41	0,23	23,57
Outros	17,88	16,73	20,93	12,52	15,65	6,78	7,81	2,44	0,18	0,36	17,57

Fotomicrografias saprólito de gnaiss da trincheira 1

A Figura 11 mostra grafitas interdigitadas com caulinita (muito comum em minério saprólito da Província Gráfica Bahia) e presença de óxidos de ferro (principalmente goethita e magnetita). Isso pode gerar subestimação de teores de grafita nos processos analíticos, pois o ferro pode formar massa cerâmica fundida, englobando partículas de grafita e impedindo sua queima. A magnetita, ademais, pode afetar a estimação do teor de carbono pelo método gravimétrico, por poder incorporar oxigênio em sua oxidação.

Amostra saprólito de gnaiss da trincheira 2

O grau de liberação da grafita por faixa (Tabela 5), nesta amostra, acusou os seguintes valores: na fração acima de 0,210 mm, 65%; na fração entre 0,105 e 0,210 mm, 69%; na fração entre 0,075 e 0,105 mm, 72%; na fração entre 0,044 e 0,105 mm, 61%; e na fração abaixo de 0,044 mm, 92%.

O grau de liberação da grafita por faixa (Tabela 6), nesta amostra, acusou os seguintes valores: na fração acima de 0,210 mm, 48%; na fração entre 0,105 e 0,210 mm, 56%; na fração entre 0,075 e 0,105 mm, 79%; na fração entre 0,044 e 0,105 mm, 79%; e na fração abaixo de 0,044 mm, 95%.

O grau de liberação da grafita por faixa (Tabela 7), nesta amostra, acusou os seguintes valores: na fração acima de 0,210 mm, 58%; na fração entre 0,105 e 0,210 mm, 64%; na fração entre 0,075 e 0,105 mm, 75%; na fração entre 0,044 e 0,105 mm, 69%; e na fração abaixo de 0,044 mm, 93%.

*Fotomicrografia da amostra:
saprólito de gnaiss da trincheira 2*

Na amostra com a maior percentagem de partículas de grafita interdigitadas com caulinita observou-se o aumento dessa percentagem com a cominuição, enquanto para as demais amostras essa percentagem diminuiu ou se manteve constante.

Amostra saprólito de gnaiss de sonda rotativa 1

O grau de liberação da grafita por faixa (Tabela 8), nesta amostra, acusou os seguintes valores: na fração acima de 0,210 mm, 76%; na fração entre 0,105 e 0,210 mm, 87%; na fração entre 0,075 e 0,105 mm, 85%; na fração entre 0,044 e 0,105 mm, 90%; e na fração abaixo de 0,044 mm, 100%.

O grau de liberação da grafita por faixa (Tabela 9), nesta amostra, acusou os seguintes valores: na fração acima de 0,210 mm, 41%; na fração entre 0,105 e 0,210 mm, 77%; na fração entre 0,075 e 0,105 mm, 93%; na fração entre 0,044 e 0,105 mm, 80%; e na fração abaixo de 0,044 mm, 100%.

As amostras apresentam elevada percentagem de partículas de grafita interdigitadas com caulinita.

O grau de liberação da grafita por faixa (Tabela 10), nesta amostra, acusou os seguintes valores: na fração acima de 0,210 mm, 64%; na fração entre 0,105 e 0,210 mm, 84%; na fração entre 0,075 e 0,105 mm, 87%; na fração entre 0,044 e 0,105 mm, 89%; e na fração abaixo de 0,044 mm, 100%.

Amostra grafita gnaiss de sonda rotativa (rocha sã)

O grau de liberação da grafita por faixa (Tabela 11), nesta amostra, acusou os seguintes valores: na fração acima de 0,210 mm, 65%; na fração entre 0,105 e 0,210 mm, 79%; na fração entre 0,075 e 0,105 mm, 90%; na fração entre 0,044 e 0,105 mm, 99%; e na fração abaixo de 0,044 mm, 99%.

O grau de liberação da grafita por faixa (Tabela 12), nesta amostra, acusou os seguintes valores: na fração acima de 0,210 mm, 71%; na fração entre 0,105 e 0,210 mm, 88%; na fração entre 0,075 e 0,105 mm, 95%; na fração entre 0,044 e 0,105 mm, 98%; e na fração abaixo de 0,044 mm, 100%.

O grau de liberação da grafita por faixa (Tabela 13), nesta amostra, acusou os seguintes valores: na fração acima de 0,210 mm, 67%; na fração entre 0,105 e 0,210 mm, 83%; na fração entre 0,075 e 0,105 mm, 92%; na fração entre 0,044 e 0,105 mm, 99%; e na fração abaixo de 0,044 mm, 99%.

Tabela 4. Minerografia volumétrica quantitativa da amostra saprólito de gnaiss da trincheira 1 na fração inicialmente acima de 0,5 mm e moída abaixo de 0,5 mm.

Minerais	Volume por faixa granulométrica (%)					Distribuição por faixa em volume (%)					Volume total (%)
	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	
Grafita	26,28	20,11	20,69	17,28	20,79	11,83	7,68	1,98	0,47	0,94	22,90
Magnetita	0,09	0,09	0,08	0,00	0,00	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,08
Goethita	15,18	18,41	17,92	24,31	27,70	6,83	7,03	1,71	0,66	1,25	17,49
Agregado terroso	17,65	22,34	21,69	21,64	21,57	7,94	8,53	2,07	0,59	0,97	20,11
Quartzo	24,67	24,84	20,10	20,93	15,27	11,11	9,49	1,92	0,57	0,69	23,77
Outros	16,13	14,21	19,51	15,85	14,67	7,26	5,43	1,86	0,43	0,66	15,65

Figura 11. Imagem em luz refletida (A, B e C – comprimento do quadro: 0,470 mm; D, E e F – comprimento do quadro: 0,285 mm). (A) e (B): saprólito de gnaiss da trincheira 1; (C) e (D): saprólito de gnaiss da trincheira 2; (E) e (F): saprólito de gnaiss de sonda rotativa 1; (A): partícula mista de grafita com caulinita e goethita; (B): partículas de mica (biotita), mista de grafita com caulinita e goethita, e mista de agregado terroso com quartzo; (C): partículas liberadas de quartzo e mistas de grafita com caulinita. A caulinita cresceu entre planos de clivagem da grafita; (D): partículas mista de grafita com caulinita e mista de agregado terroso com grafita. A caulinita cresceu entre planos de clivagem da grafita; (E): partícula de grafita mista com caulinita. A caulinita cresceu entre planos de clivagem da grafita; (F): partícula de grafita mista com caulinita e mica branca, possivelmente moscovita. A caulinita cresceu entre planos de clivagem da grafita.

A amostra (rocha sã) apresenta baixa percentagem de partículas de grafita interdigitadas com caulinita. É recomendável considerar a possibilidade de o sulfeto de ferro obliterar os resultados nos teores de grafita e também em ensaios de concentração em bancada.

Para a etapa do trabalho de tratamento de minério, amostras representativas foram cominuídas inicialmente por impacto (moinho de martelos), seguida de moagem

em moinho de barras, visando a preservar o tamanho das plaquetas de grafita. Curiosamente, a britagem com britador de mandíbula ocasionou mais danos às plaquetas de grafita que a britagem em britador de martelos (impacto). Esse comportamento é explicado pelo provável destacamento das lamelas de grafita ocasionado por vibração e ondas de choque durante a dissipação da energia do impacto dos martelos metálicos com os fragmentos do

Tabela 5. Minerografia volumétrica quantitativa da amostra saprólito de gnaiss da trincheira 2 na fração < 0,5 mm.

Minerais	Volume por faixa granulométrica (%)					Distribuição por faixa em volume (%)					Volume total (%)
	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	
Grafita	34,85	28,27	22,43	12,66	10,76	9,68	9,81	5,71	0,94	0,50	26,64
Magnetita	0,79	1,95	0,79	0,54	0,00	0,22	0,68	0,20	0,04	0,00	1,14
Goethita	3,56	3,90	3,16	2,71	8,29	0,99	1,35	0,80	0,20	0,38	3,73
Agregado terroso	4,36	14,62	36,49	63,11	75,84	1,21	5,08	9,29	4,67	3,51	23,76
Quartzo	55,64	50,29	36,49	20,61	4,41	15,46	17,46	9,29	1,53	0,20	43,94
Outros	0,79	0,97	0,63	0,36	0,71	0,22	0,34	0,16	0,03	0,03	0,78

Tabela 6. Minerografia volumétrica quantitativa da amostra saprólito de gnaiss da trincheira 2 na fração inicialmente acima de 0,5 mm e moída abaixo de 0,5 mm.

Minerais	Volume por faixa granulométrica (%)					Distribuição por faixa em volume (%)					Volume total (%)
	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	
Grafita	21,58	17,21	15,65	8,22	8,20	7,93	4,22	2,87	0,67	1,00	16,69
Magnetita	0,19	0,58	0,61	0,35	0,20	0,07	0,14	0,11	0,03	0,02	0,38
Goethita	19,32	17,02	20,53	31,12	36,52	7,10	4,17	3,77	2,54	4,47	22,05
Agregado terroso	10,88	3,09	15,85	14,34	16,80	4,00	0,76	2,91	1,17	2,06	10,89
Quartzo	45,59	58,99	44,72	38,99	29,88	16,75	14,45	8,21	3,18	3,66	46,25
Outros	2,44	3,09	2,64	6,99	8,40	0,90	0,76	0,49	0,57	1,03	3,74

Tabela 7. Minerografia volumétrica quantitativa da amostra saprólito de gnaiss da trincheira 2 na Fração > 0,5 mm moída abaixo de 0,5 mm (< 0,5 mm).

Minerais	Volume por faixa granulométrica (%)					Distribuição por faixa em volume (%)					Volume total(%)
	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	
Grafita	28,03	22,08	23,68	10,40	9,58	9,26	8,51	3,69	0,67	0,62	22,74
Magnetita	0,48	1,23	0,86	0,44	0,09	0,16	0,47	0,13	0,03	0,01	0,80
Goethita	11,66	10,19	13,08	17,16	21,40	3,85	3,93	2,04	1,10	1,37	12,29
Agregado terroso	7,71	11,42	33,41	38,31	48,00	2,55	4,40	5,21	2,46	3,08	17,70
Quartzo	50,48	53,11	27,14	29,96	16,56	16,67	20,47	4,23	1,92	1,06	44,36
Outros	1,64	1,98	1,84	3,73	4,37	0,54	0,76	0,29	0,24	0,28	2,11

minério (com duração de milésimos de segundos). Já na britagem por compressão entre mandíbulas há flexionamento e consequente ruptura dessas lamelas, resultando flocos de menores dimensões.

Outra razão para a preconização da britagem por impacto, a qual é sugerida pelos resultados empíricos na britagem, é a fábrica apresentada entre o mineral-minério e a ganga filossilicática, segundo o evidenciado pelas micrografias das figuras anteriores.

A curva granulométrica típica do produto da britagem por impacto pode ser vista na Figura 12, em termos de fração passante acumulada (Y_p), com a equação de regressão segundo a distribuição de Rosin-Rammler-Sperling-Bennett seguinte (Equação 2):

$$Y_p = 1 - e^{-\ln\left(\frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{x}{x_{50}}\right)^n} \quad (2)$$

Em que:

Tabela 8. Minerografia volumétrica quantitativa da amostra saprólito de gnaiss de sonda rotativa 1 na fração < 0,5 mm.

Minerais	Volume por faixa granulométrica (%)					Distribuição por faixa em volume (%)					Volume total (%)
	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	
Grafita	28,01	17,34	15,38	12,90	21,96	10,10	5,68	3,53	0,63	0,72	20,67
Magnetita	0,00	0,35	0,82	2,04	1,43	0,00	0,11	0,19	0,10	0,05	0,45
Goethita	2,33	3,85	5,56	9,00	10,54	0,84	1,26	1,28	0,44	0,35	4,17
Agregado terroso	2,33	1,40	3,76	12,39	21,25	0,84	0,46	0,86	0,61	0,70	3,47
Quartzo	47,22	50,96	50,41	29,54	10,71	17,03	16,71	11,57	1,45	0,35	47,11
Outros	20,11	26,09	24,06	34,13	34,11	7,25	8,56	5,52	1,68	1,12	24,13

Tabela 9. Minerografia volumétrica quantitativa da amostra saprólito de gnaiss de sonda rotativa 1 na fração < 0,5 mm.

Minerais	Volume por faixa granulométrica (%)					Distribuição por faixa em volume (%)					Volume total (%)
	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	
Grafita	9,96	5,43	5,47	2,50	2,06	4,15	1,36	0,80	0,21	0,21	6,73
Magnetita	0,00	0,94	1,09	0,19	1,03	0,00	0,23	0,16	0,02	0,11	0,52
Goethita	6,64	6,74	6,20	16,35	26,80	2,77	1,69	0,90	1,36	2,79	9,51
Agregado terroso	3,14	2,81	6,93	12,31	12,03	1,31	0,70	1,01	1,03	1,25	5,30
Quartzo	62,73	73,22	71,17	64,04	51,37	26,14	18,31	10,38	5,34	5,35	65,51
Outros	17,53	10,86	9,12	4,62	6,70	7,30	2,72	1,33	0,38	0,70	12,43

Tabela 10. Minerografia volumétrica quantitativa da amostra saprólito de gnaiss de sonda rotativa 1 na fração > 0,5 mm moída abaixo de 0,5 mm (< 0,5 mm).

Minerais	Volume por faixa granulométrica (%)					Distribuição por faixa em volume (%)					Volume total (%)
	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	
Grafita	19,18	11,58	10,70	8,03	12,96	7,39	3,40	2,06	0,52	0,83	14,20
Magnetita	0,00	0,63	0,95	1,17	1,34	0,00	0,19	0,18	0,08	0,09	0,53
Goethita	4,45	5,25	5,87	12,45	20,63	1,72	1,54	1,13	0,80	1,33	6,51
Agregado terroso	2,73	2,08	5,26	12,36	18,14	1,05	0,61	1,01	0,79	1,16	4,63
Quartzo	54,82	61,72	60,22	45,67	24,86	21,12	18,12	11,60	2,93	1,60	55,37
Outros	18,82	18,73	17,00	20,31	22,07	7,25	5,50	3,27	1,30	1,42	18,75

x é o diâmetro da partícula na classe granulométrica [μm];
 x_{50} é o diâmetro mediano da distribuição granulométrica [μm]; e
 n é o coeficiente de agudez da distribuição [-].

Para a análise de regressão foi utilizado o pacote computacional *Easy Plot for Windows* (da *Spiral Software*).

Os valores regressionais dos parâmetros foram: $x_{50} = 699 \mu\text{m}$ e $n = 1,086$. O coeficiente de correlação foi igual a 99,75%.

A flotação foi usada para tratar as amostras de minério cominuídas. Célula de flotação de bancada tipo de Denver, de 2 L — resultando volume efetivo de 1,83 L —, foi empregada nos ensaios.

Tabela 11. Amostra grafita gnaiss de sonda rotativa (rocha sã) na fração < 0,5 mm.

Minerais	Volume por faixa granulométrica (%)					Distribuição por faixa em volume (%)					Volume total (%)
	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	
Grafita	17,53	17,61	15,86	25,55	25,27	5,26	8,81	2,11	1,28	0,42	17,88
Magnetita	0,35	0,75	1,08	0,34	0,90	0,10	0,37	0,14	0,02	0,01	0,65
Goethita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agregado terroso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Quartzo	67,36	67,46	74,23	57,65	28,85	20,21	33,73	9,90	2,88	0,48	67,20
Outros	14,76	14,18	8,83	16,47	44,98	4,43	7,09	1,18	0,82	0,75	14,27

Tabela 12. Amostra grafita gnaiss de sonda rotativa (rocha sã) na fração > 0,5 mm, posteriormente moída abaixo de 0,5 mm.

Minerais	Volume por faixa granulométrica (%)					Distribuição por faixa em volume (%)					Volume total (%)
	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	
Grafita	17,64	18,18	14,87	14,23	19,85	3,56	11,02	2,50	0,24	0,13	17,46
Magnetita	0,75	1,11	1,42	2,14	4,64	0,15	0,67	0,24	0,04	0,03	1,13
Goethita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agregado terroso	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Quartzo	67,73	64,38	63,61	50,89	41,74	13,68	39,02	10,71	0,86	0,28	64,55
Outros	13,70	16,33	20,09	32,74	33,77	2,77	9,89	3,38	0,55	0,23	16,82

Tabela 13. Amostra grafita gnaiss de sonda rotativa (rocha sã) na fração > 0,5 mm, posteriormente moída abaixo de 0,5 mm.

Minerais	Volume por faixa granulométrica (%)					Distribuição por faixa em volume (%)					Volume total (%)
	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	> 0,210 mm	> 0,105 mm	> 0,075 mm	> 0,044 mm	< 0,044 mm	
Grafita	17,58	17,87	15,45	20,05	23,16	3,98	8,34	3,50	0,99	0,72	17,53
Magnetita	0,54	0,91	0,51	1,30	2,80	0,12	0,42	0,12	0,06	0,09	0,81
Goethita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agregado terroso	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Quartzo	67,54	66,09	69,10	54,28	32,68	15,28	30,85	15,64	2,69	1,02	65,47
Outros	14,25	15,14	14,94	24,37	41,36	3,22	7,07	3,38	1,21	1,29	16,16

Foi decidido, em primeira instância, bitolar a alimentação da flotação na faixa de tamanho entre 0,420 e 0,053 mm, com o intuito de se preservar o tamanho dos flocos (evitando-se moagem excessiva). Entretanto, os resultados dos ensaios nessa faixa de tamanho não foram satisfatórios. Assim, o intervalo finalmente selecionado foi entre 0,208 e 0,053 mm. Vale ressaltar que o corte dos finos se deve ao fato de partículas menores que 0,053 mm acarretarem baixa seletividade na flotação mecânica, sendo mais adequadas à flotação colunar (correntemente empregada, por exemplo, no tratamento de grafita no Brasil pela empresa Nacional de Grafite Ltda.).

No que tange ao beneficiamento de minérios de grafita, Gautneb e Tveten (2000) estudaram o minério de grafita (grafita xisto) com assembleia típica incluindo: grafita, quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e piroxênio. Nos ensaios de flotação esses estudiosos usaram metil-isobutilcarbinol (MIBIC) como espumante e querosene e Flotol B como coletores. Os ensaios combinados compreenderam uma série de ensaios de flotação, incluindo vários estágios de limpeza e diferentes tempos de moagem. Usando uma amostra de cabeça com 17,40% de carbono, obteve-se um concentrado na etapa de desbaste de 59,06% de carbono. Após etapas de limpeza verificou-se teor de 88,61% de carbono (mescla de concentrados do segundo, terceiro e quarto estágios de limpeza), com recuperação metalúrgica de 81,91%. Tais resultados foram reputados como muito promissores.

No presente trabalho, os reagentes de flotação empregados com êxito foram óleo de pinho e óleo diesel em consórcio, no pH 8,0, bem como Flotanol D25 — espumante clássico em sistemas de flotação —, também no pH 8,0. A concentração mássica de sólidos na polpa foi de 30%. O consumo unitário foi de 80 g/t para os três reagentes utilizados (isoladamente ou em consórcio). Nessa fase do estudo, depressor de ganga — usualmente silicato de sódio — não foi empregado. O tempo de condicionamento foi de 3 minutos e o tempo de coleta, de 2,5 minutos. A velocidade angular do impelidor da célula foi

de 1.000 rpm, durante o condicionamento, e de 1.500 rpm, para a etapa de flotação (após o início da aeração).

Os experimentos mostraram resultados promissores para exploração futura dos corpos mineralizados, obtendo-se 70,0% de teor de carbono com o único estágio de moagem (incipiente) e uma só etapa de flotação, acenando para teores acima de 95,0% com o emprego subsequente de moagem, como usualmente se pratica em escala industrial (no Brasil e no exterior). Os resultados detalhados dos ensaios de caracterização tecnológica (cominuição e flotação) estão descritos e discutidos em outro trabalho (Luz e Ávila, 2012).

Ensaio posteriores mostraram que a atrição antes da flotação é promissora. O material atritado já acusa ganho de teor de carbono somente com peneiramento prévio à flotação, além de aumento do grau de liberação para a etapa de flotação. Após a atrição e o corte acima de 100 µm, a amostra de alimentação da flotação acusando 11,69% de grafita resultou em concentrado da etapa de limpeza com teor de 86,15%, valor compatível com os de Gautneb e Tveten (2000).

Em função do estudo mineralógico e da resposta do minério ao processo de beneficiamento, pôde-se estimar a seguinte distribuição (ou partição) de flocos, no caso de futuro processamento (englobando britagem, moagem de barras, atrição, flotação, remoagem e nova etapa de flotação), configurando-se uma distribuição logística de Hill (Equação 3):

$$Y_p = \frac{x^a}{(x^a + x_{50}^a)} \quad (3)$$

Em que:

Y_p é a partição de flocos (fração de flocos produzidos abaixo do tamanho dado) [-];

x é o diâmetro do floco produzido na usina de processamento [µm];

x_{50} = 212 é o diâmetro mediano da distribuição de flocos produzidos [µm]; e

a = 2,78 é o coeficiente de agudez da distribuição [-].

Geofísica: caminhamento elétrico

A presença de corpos grafitosos aflorantes, de baixo grau de cristalinidade, foi relatada por geólogos já em 1910, no distrito de Palamau por Holland e Fermor (1910) e Fermor (1925). A respeito desses jazimentos, Biswas e Sharma (2015) preconizam o método elétrico para medir o potencial espontâneo, aplicando-o com sucesso na quantificação de sua extensão abaixo da superfície.

Sato e Mooney (1960) examinaram detalhadamente as várias teorias dos autopotenciais de sulfeto e de grafita e chegaram à conclusão de que os autopotenciais não podem ser devidos à oxidação de um minério como tal, mas à diferença na capacidade de oxidação em águas próximas aos corpos

Figura 12. Granulometria do produto de britador de martelos (amostra saprolítica).

superior e inferior da superfície. A mineralização de grafita é um desses tipos de corpos.

As observações sobre os depósitos de grafita são, por vezes, conflitantes, mas a partir de descobertas recentes nesse campo é esperado, normalmente, um potencial negativo mesmo para os depósitos de grafita (Parasnis, 1966). Outro exemplo de prospecção geofísica por métodos elétricos exitosa é o reportado por Gautneb e Tveten (2000).

Os perfis executados no sul da Bahia foram cedidos pela empresa Geoativan – Geologia e Meio Ambiente S.A. A imagem de cada perfil corresponde ao modelo matemático (já invertido) obtido por meio do *software* RES2DINV (Geotomo) e contém a feição topográfica. A distribuição da resistividade com foco em minério de grafita foi particularmente nítida nos perfis descritos, dispensando a aplicação de filtros matemáticos mais específicos.

Segundo Telford et al. (1990), os xistos grafitosos apresentam resistividade variando de 10 a 100 ohm.m. Esse valor é tomado como referência para separação das zonas de possíveis ocorrências de rochas com presença de grafita.

Todos os perfis e suas respectivas imagens receberam a mesma escala de cor, que favorece uma interpretação igualitária em relação às anomalias para rochas grafitosas, com predominância da cor azul. Uma linha rosa/salmão foi utilizada para separar essa anomalia e facilitar sua visualização.

Perfil 7

A Figura 13 ilustra o levantamento eletroresistivo do perfil 7, mostrando que as ocorrências de rochas com resistividade que varia dentro do intervalo proposto para o grafita gnaisses podem alcançar profundidades bem maiores (6 – 8 m).

A Figura 14 mostra o perfil 8. Aparentemente ocorrem de forma lenticular na seção mostrada.

Na Figura 15 (perfil 9), além de formas lenticulares, ocorrem formas tabulares, como continuidade, a partir da posição 120 m até o final do perfil. Nessa última porção, as rochas grafitosas aparecem recobertas por rochas de resistividades mais altas, podendo significar diminuição do teor de grafita. Tal fato ocorre também nos perfis 7 e 8.

O imageamento geofísico do perfil 10 (Figura 16) mostra que ocorre continuidade das formas tabulares existentes a partir do perfil 9 (ou as formas poderiam ser lenticulares mais alongadas). Uma cobertura de rochas mais resistivas também ocorre nesse perfil, com significado idêntico ao já discutido no perfil 9.

CONCLUSÃO

A caracterização permitiu quantificar o percentual de grafita, em massa e volume, nas amostras sob estudo e identificar os principais contaminantes e paragéneses minerais com o objetivo de realizar análises laboratoriais, caracterização tecnológica, rotas de processo e investigações para prospecção mineral de grafita. A caracterização fornece subsídios para interpretações quanto a alterações supergênicas e condições oxirredutoras dos maciços estudados.

O método geofísico de caminhamento elétrico demonstra o comportamento da rocha em função da aplicação da carga, gerando padrões de comportamento refletidos nos perfis apresentados para grafita gnaisses.

O comportamento quanto à resistividade dos xistos grafitosos descritos por Telford et al. (1990) também se aplica a grafita gnaisses, conforme observado nos resultados de campo.

A identificação e proporções dos tipos de produtos que poderão ser obtidos do minério em questão, ajudou a entender o comportamento dos corpos mineralizados quanto à eletroresistividade — influenciada por contaminantes como caulinita.

Figura 13. Perfil 7 com arranjo a cada 20 m, profundidade de 70 m e comprimento de 260 m.

Figura 14. Perfil 8 com arranjo a cada 30 m, profundidade de 105 m e comprimento de 240 m.

Figura 15. Perfil 9 com arranjo a cada 40 m, profundidade de 140 m e comprimento de 360 m.

Figura 16. Perfil 10 com arranjo de 20 m, profundidade de 70 m e comprimento de 240 m.

A ação dos contaminantes, como os óxidos de ferro e as lamelas de caulinita descrita nas fotomicrografias, explica o padrão resistivo/condutoivo apresentado para a grafita (condutor) no ambiente geológico.

Ademais, como advertência final sobre esses contaminantes, acresce-se que os componentes ferríferos podem, inclusive, gerar o encapsulamento do carbono, levando a errôneas estimativas de teores no processo analítico (fenômeno de subestimação detectado na fase inicial de desenvolvimento de rota analítica para os teores de carbono grafíticos — tema não discutido neste trabalho por não estar presente em seu escopo).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Gorceix, na pessoa do Professor César Mendonça Ferreira, pelas micrografias e pela análise mineralógica. O autor José Aurélio Medeiros da Luz agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte sob forma de bolsa de produtividade em pesquisa.

REFERÊNCIAS

Belém, J. (2006). *Caracterização mineralógica, física e termobarométrica de minérios de grafita da Província Gráfica Bahia-Minas*. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

Biswas, A., Sharma, S. P. (2015). Can very low frequency electromagnetic survey detect graphite deposits in the subsurface? Initial results from Daltanganj, Jharkhand. *Journal of the Geological Society of India*, 86, 530-534.

Daconti, B. C., Pedrosa-Soares, A. C., Piuzeana, D., Pimentel, M. M., Gioia, S. (2004). Complexo Jequitinhonha e Granitogêneses do Orógeno Araçuaí na região de Almenara, MG. *XLII Congresso Brasileiro de Geologia*. Araxá: SBG-MG.

Faria, L. F. (1997). *Controle e tipologia de mineralizações de grafita flake do nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia: uma abordagem regional*. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

Fermor, L. L. (1925). *Records of the Geological Survey of India*, p. 124-125. Disponível em: <<https://archive.org/stream/in.ernet.dli.2015.28680/2015.28680.Records-Of-The-Geological-Survey-Of-India-Vol-Ivii-1925#page/n5/mode/2up>>. Acesso em: 6 out. 2017.

Gautneb, H., Tveten, E. (2000). The geology, exploration and characterisation of graphite deposits in the Jennestad area, Vesterålen, northern Norway. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin*, 436, 67-74. Disponível em: <http://www.ngu.no/filearchive/102/Bulletin436_7.pdf>. Acesso em: 6 out. 2017.

Gy, P. M. (1982). *Sampling of Particulate Materials: Theory and Practice*. 2. ed. Amsterdã: Elsevier.

Holland, T. H., Fermor, L.L. (1910). *Records of the Geological Survey of India*, (v. 39, p. 97-98). Disponível em: <<https://archive.org/stream/in.ernet.dli.2015.53143/2015.53143.Records-Of-The-Geological-Survey-Of-India-Vol39#page/n111/mode/2up>>. Acesso em: 6 out. 2017.

Luz, J. A. M., Ávila, C. J. V. (2012). Graphite processing in Brazil. *9th International Mineral Processing Conference*. Santiago: Procemin. CD-ROM.

Parasnis, D. S. (1966). *Mining Geophysics*. Amsterdã: Elsevier Publishing Company, p. 75-93.

Pedrosa-Soares, A. C., Castañeda, C., Queiroga, G., Gradim, C., Belém, J., Roncato, J., Novo, T., Dias, P., Gradim, D., Medeiros, S., Jacobsohn, T., Babinski, M., Vieira, V. (2006). Magmatismo e Tectônica do Orógeno Araçuaí no Extremo Leste de Minas Gerais e Norte do Espírito Santo. *Geonomos*, 14(2), 97-111.

Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., Wiedemann, C. M., Pinto, C. P. (2001). The Araçuaí-West-Congo orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly. *Precambrian Research*, 110, 307-323.

Pedrosa-Soares, A. C., Wiedmann-Leonardos, C. M. (2000). Evolution of the Araçuaí Belt and its connections to the Ribeira Belt. In: U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, D. A. Campos (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*, 1, 265-288. Boulder: Geological Society of America.

Reis, L. B., Pedrosa-Soares, A. C. (2000). Graphite deposits of the northern Minas-Bahia Province (Jacinto-Jordânia-Pouso Alegre region), eastern Brazil. *31st International Geological Congress*. Rio de Janeiro: Secretariat Bureau. CD-ROM.

Sato, M., Mooney, H. M. (1960). The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials. *Geophysics*, 25(1), 266-249.

Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., Keys, D. A. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press. 751p.