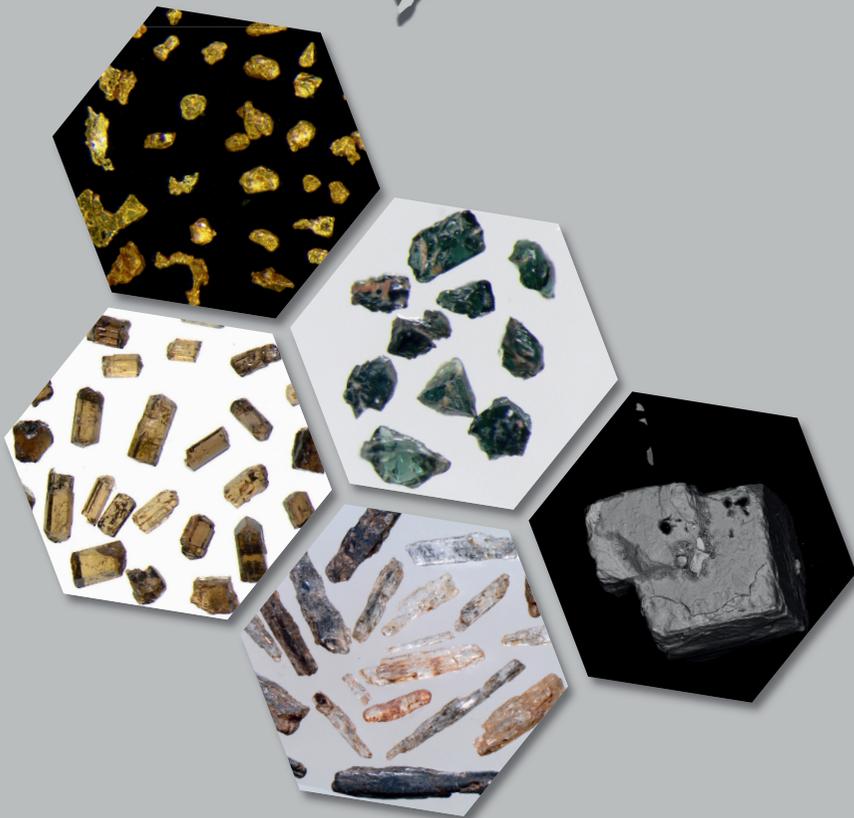




QUADRILÁTERO FERRÍFERO E SEU ENTORNO, MG

ATLAS geoquímico

Minerais Pesados de Origem Aluvionar



ATLAS GEOQUÍMICO

**MINERAIS PESADOS
DE ORIGEM ALUVIONAR
DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO
E SEU ENTORNO, MG**

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretária Substituta de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Ana Paula Lima Vieira Bittencourt

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - SGB

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Inácio Cavalcante Melo Neto

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Francisco Valdir Silveira

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretora de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Sabrina Soares de Araújo Góis

Diretor de Administração e Finanças

Rodrigo de Melo Teixeira

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Recursos Minerais

Maisa Bastos Abram

Chefe do Departamento de Geologia

Marcelo Esteves Almeida

Chefe da Divisão de Geoquímica

Daliane Bandeira Eberhardt

Chefe da Divisão de Geodinâmica

Joseneusa Brilhante Rodrigues

Chefe da Divisão de Geologia Econômica

Guilherme Ferreira da Silva

Chefe da Divisão de Geologia Básica

Patrick Araújo dos Santos

Chefe da Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica

Iago Sousa Lima Costa

Chefe do Departamento de Informações Institucionais

Ney Ferreira dos Santos

Chefe da Divisão de Geoprocessamento

Hiran Silva Dias

Chefe da Divisão de Cartografia

Fábio Silva da Costa

Chefe da Divisão de Documentação Técnica

Roberta Pereira da Silva de Paula

Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação

Andrea Sander

Chefe do Núcleo de Comunicação

Heber Vieira de Oliveira

Chefe da Divisão de Editoração Geral

Hemilton Moraes Cunha

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE

Superintendente

Marlon Marques Coutinho

Gerência de Geologia e Recursos Minerais

Júlio César Lombello

Supervisores da Gerência de Geologia e Recursos Minerais

Joana Reis Magalhães

Joanna Chaves Souto Araújo

Responsável Técnico

Cassiano Costa e Castro

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB/CPRM)
DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS
I PROGRAMA MINERAÇÃO SEGURA E SUSTENTÁVEL I

Geologia para Mineração e Desenvolvimento Sustentável

ATLAS GEOQUÍMICO

MINERAIS PESADOS DE ORIGEM ALUVIONAR DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO E SEU ENTORNO, MG

ORGANIZADOR
Cassiano Costa e Castro



BELO HORIZONTE
2025

REALIZAÇÃO

Superintendência de Belo Horizonte

ORGANIZAÇÃO

Cassiano Costa e Castro

CRÉDITOS TÉCNICOS

Apoio Técnico de Campo - Geólogos

João Henrique Larizzatti

Eduardo Duarte Marques

Francisco Valdir Silveira

Lídia Ribeiro Leite

Marcelo Cotta Rost

Técnicos de Geologia e Mineração

Maurício Vieira Rios

Júlio Velasques

Deli Moreira

Valter Araújo

Motoristas

João Leão

Waldyr Moreira

Renato Chaves

Reginaldo Lima

Auxiliares Operacionais

Osvaldo Pereira

Leonardo Perdigão

Ludevino Gonçalves

Drevisson Moreira

Elaboração dos Textos e Mapas

Cassiano Costa e Castro

Elaboração de Ilustrações

Reinaldo Rodrigues da Gama

Estagiários

Arthur Lima Eugênio

Artur Sander Mourão

Artur Ferreira Portes

Projeto Gráfico / Diagramação

Andréia Continentino

Revisão do projeto

Cassiano Costa e Castro

Revisão do texto

Irinéia Barbosa da Silva

Normalização Bibliográfica

Claudia Maria Coutinho Lopes

SEUS@SGB.GOV.BR

WWW.SGB.GOV.BR

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

A881 Atlas geoquímico : minerais pesados de origem aluvionar do
Quadrilátero Ferrífero e seu entorno, MG / Organizador
Cassiano Costa e Castro. – Belo Horizonte : CPRM, 2025.
1 recurso eletrônico : PDF. – (Série Atlas Geoquímico).

Geologia para mineração e desenvolvimento sustentável.
ISBN 978-65-5664-624-4

1. Geoquímica – Brasil – Minas Gerais. I. Castro, Cassiano
Costa e (org.). II. Título. III. Série.

CDD 551.9098151

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB / 7 5662

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil - SGB

É permitida a reprodução desta publicação, desde que mencionada a fonte.

APRESENTAÇÃO

O **SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB)**, instituição vinculada à Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM) do Ministério de Minas e Energia, tem a satisfação de disponibilizar à sociedade, especialmente à comunidade técnico-científica, um produto inédito: o **Atlas de Minerais Pesados de Origem Aluvionar do Quadrilátero Ferrífero e seu Entorno**. Este trabalho é resultado da **Ação Geologia para Mineração e Desenvolvimento Sustentável**, vinculada ao **Programa Mineração Segura e Sustentável** do governo federal. O projeto foi executado pela Gerência de Geologia e Recursos Minerais da Superintendência Regional de Belo Horizonte, sob a coordenação geral do Departamento de Recursos Minerais (DEREM).

O atlas apresenta um acervo de fotografias e fotomicrografias, além de fornecer as principais características diagnósticas para a identificação de minerais pesados, identificados através do levantamento geoquímico por concentrado de bateia. Para sua elaboração, foram utilizadas amostras de concentrados de minerais pesados coletadas pelo Projeto de Mapeamento Geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e seu Entorno, abrangendo uma área de aproximadamente 45.000 km² na região centro-sul do estado de Minas Gerais.

Além disso, o atlas inclui mapas de distribuição e de interpolação dos valores semiquantitativos dos minerais pesados, bem como um texto sinótico elucidando os dados de distribuição em relação à base geológica. Esses dados permitem identificar claramente a forte influência do substrato rochoso em algumas concentrações aluvionares. Destaca-se a abundância de minerais provenientes de uma alteração intempérica bem desenvolvida, como a goethita e a limonita, na parte central do Quadrilátero Ferrífero, e a presença significativa de cianita e sillimanita associadas a rochas paraderivadas dos complexos Mantiqueira e Juiz de Fora, no extremo leste da área de estudo, além do ouro como principal mineral de interesse econômico.

Espera-se que este trabalho contribua para a continuidade da prática de exploração geoquímica por meio de minerais pesados, mesmo diante do surgimento de técnicas prospectivas altamente tecnológicas. A eficácia dessa abordagem na busca por depósitos minerais, estudos de proveniência, investigações forenses, geoarqueologia, geocronologia e outras áreas da geologia ressalta sua importância duradoura.

Inácio Cavalcante Melo Neto
Diretor-Presidente

Francisco Valdir Silveira
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

RESUMO

O QUADRILÁTERO FERRÍFERO, com cerca de 7.000 km² no extremo sul do Cráton São Francisco, é amplamente reconhecido por seus vastos depósitos de minério de ferro e minas de ouro de classe mundial, consolidando-se como uma das maiores províncias minerais do mundo. Este atlas inédito oferece uma análise detalhada dos principais minerais pesados de origem aluvionar da região e áreas adjacentes, incluindo fotografias, fotomicrofotografias, mapas de distribuição e descrições diagnósticas de 30 minerais. A amostragem foi realizada em ambientes secundários, exclusivamente nos leitos dos rios, coletando-se de 20 litros de cascalho por estação em locais favoráveis à deposição e à concentração de minerais pesados. No laboratório, as frações granulométricas mais finas, como argila e silte, foram removidas por meio do processo de elutriação. Em seguida, as amostras foram peneiradas e submetidas à separação densimétrica com bromofórmio ($d = 2,89 \text{ g/ml}$) e à separação magnética da fração de minerais pesados com o separador isodinâmico de Frantz. Em todas as amostras, foram realizadas contagens de pintas de ouro e exames com a lâmpada ultravioleta (mineralight) nas frações não magnéticas.

As análises mineralométricas foram relatadas de forma semiquantitativa, utilizando os seguintes intervalos: < 1%, 1 – 5%, 5 – 25%, 25 – 50%, 50 – 75% e > 75%. Minerais como anfibólios, cianita, granada, hematita, magnetita, ilmenita e limonita se destacam, atingindo concentrações entre 75% e 100% em algumas amostras. O ouro, principal mineral de interesse econômico, foi identificado em 287 pontos de amostragem. Em 42% desses pontos, o ouro foi detectado em apenas um grão por estação. No entanto, três delas, localizadas no Greenstone Belt de Pitangui, concentraram-se 383 grãos, correspondendo a 21% do total. Concentrações adicionais de ouro foram observadas ao longo do Lineamento Congonhas-Itaverava e na porção leste da região.

O estudo também destaca a abundância de minerais metamórficos, como cianita e sillimanita, que caracterizam as sequências de rochas metassedimentares nas porções leste e sudeste da área estudada. Este atlas visa ser uma ferramenta essencial para aprofundar a exploração geoquímica, reforçando a relevância dos minerais pesados na geologia e na prospecção mineral, tanto no Quadrilátero Ferrífero quanto em outras regiões.

ABSTRACT

THE QUADRILÁTERO FERRÍFERO, covering approximately 7,000 km² in the southernmost part of the São Francisco Craton, is widely recognized for its vast iron ore deposits and world-class gold mines, establishing it as one of the largest mineral provinces in the world. This unprecedented atlas presents a detailed analysis of the major alluvial heavy minerals in the region and adjacent areas, providing photographs, photomicrographs, images, and distribution maps, along with diagnostic descriptions of 30 minerals. Sampling was conducted in the secondary environment, exclusively in riverbeds, where 20 liters of gravel were collected per station in locations deemed favorable for the deposition and subsequent concentration of heavy minerals. In the laboratory, finer granulometric fractions, such as clay and silt, were removed through elutriation. The samples were then screened and subjected to density separation using bromoform ($d = 2.89$ g/ml), and finally, magnetic separation of the heavy mineral fraction was performed using the Frantz isodynamic separator. In all samples, gold speck counts and ultraviolet light (mineralight) examinations were conducted on the non-magnetic fractions. Mineralometric analyses were reported semi-quantitatively using the following intervals: < 1%, 1–5%, 5–25%, 25–50%, 50–75%, and > 75%. Minerals such as amphiboles, kyanite, garnet, hematite, magnetite, ilmenite, and limonite were prominent, reaching concentrations between 75% and 100% in some specific samples. Gold, the primary economically valuable mineral, was identified at 287 sampling sites. In 42% of these sampling stations, gold was detected as a single grain, while three stations, located in the Pitangui Greenstone Belt, yielded 383 grains, accounting for 21% of the total. Additional gold concentrations were observed along the Congonhas-Itaverava lineament and in the eastern portion of the region. The study also highlights the abundance of metamorphic minerals such as kyanite and sillimanite, which are markers of metasedimentary rock sequences in the eastern and southeastern parts of the study area. This atlas aims to be an essential tool for advancing geochemical exploration, reinforcing the relevance of heavy minerals in geology and mineral prospecting, both in the Quadrilátero Ferrífero and other regions.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13	5.10	Grupo das Granadas (Almandina).....	42
2	MINERAIS PESADOS.....	14	5.11	Hematita (Es specularita).....	44
3	MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS NO ESTUDO DE MINERAIS PESADOS.....	16	5.12	Ilmenita.....	46
	3.1 Campo.....	16	5.13	Leucoxênio.....	48
	3.2 Laboratório.....	17	5.14	Limonita.....	50
4	RESULTADOS MINERALOMÉTRICOS.....	24	5.15	Magnetita.....	52
5	MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO, ASPECTOS DIAGNÓSTICOS E IMAGENS DOS MINERAIS.....	23	5.16	Micas.....	54
	5.1 Anatásio.....	24	5.17	Monazita.....	56
	5.2 Grupo dos Anfibólios (Hornblenda).....	26	5.18	Ouro.....	58
	5.3 Cassiterita.....	28	5.19	Pirita (Pirita-Limonita).....	60
	5.4 Cianita.....	30	5.20	Piroxênios.....	62
	5.5 Coríndon.....	32	5.21	Rutilo.....	64
	5.6 Epidoto.....	34	5.22	Scheelita.....	66
	5.7 Grupo dos Espinélios (gahnita).....	36	5.23	Sillimanita.....	68
	5.8 Estauroлита.....	38	5.24	Turmalina.....	70
	5.9 Goethita.....	40	5.25	Xenotímio.....	72
			5.26	Zircão.....	74
				REFERÊNCIAS.....	76

1. INTRODUÇÃO

O ATLAS DE MINERAIS PESADOS de Origem Aluvionar do Quadrilátero Ferrífero e seu Entorno, vinculado ao Projeto Estratigrafia, Arquitetura Crustal e Recursos Minerais do Quadrilátero Ferrífero, foi desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e executado pela Superintendência Regional de Belo Horizonte (Sureg-BH), por meio da Gerência de Geologia e Recursos Minerais (Geremi).

A confecção do atlas baseou-se na coleta e análise de amostras de concentrados de minerais pesados realizadas pelo Projeto de Mapeamento Geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e seu Entorno, entre 2007 e 2009, e pelo Projeto Estratigrafia, Arquitetura Crustal e Recursos Minerais do Quadrilátero

Ferrífero, em 2021. Este estudo abrangeu a Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero (PMQF) e regiões adjacentes, incluindo o Cráton do São Francisco e a Província Geotectônica Mantiqueira.

A área do projeto compreende quinze folhas cartográficas na escala de 1:100.000 (SE.23-Z-C-IV – Pará de Minas, SE.23-Z-C-V – Contagem, SE.23-Z-C-VI – Belo Horizonte, SE.23-Z-D-IV – Itabira, SE.23-Z-D-V – Coronel Fabriciano e SF.23-X-A-I – Divinópolis, SF.23-X-A-II – Igarapé, SF.23-X-A-III – Ouro Preto, SF.23-X-B-I – Mariana, SF.23-X-B-II – Ponte Nova, SF.23-X-A-IV – Oliveira, SF.23-X-A-V – Entre Rios de Minas, SF.23-X-A-VI – Conselheiro Lafaiete, SF.23-X-B-IV – Rio Espera, SF.23-X-B-V – Folha Viçosa; Figura 1), perfazendo uma área total de aproximadamente 45.000 km², localizada entre as coordenadas geográficas 19°30'S/21°00'S e 42°30'W/45°00'W.

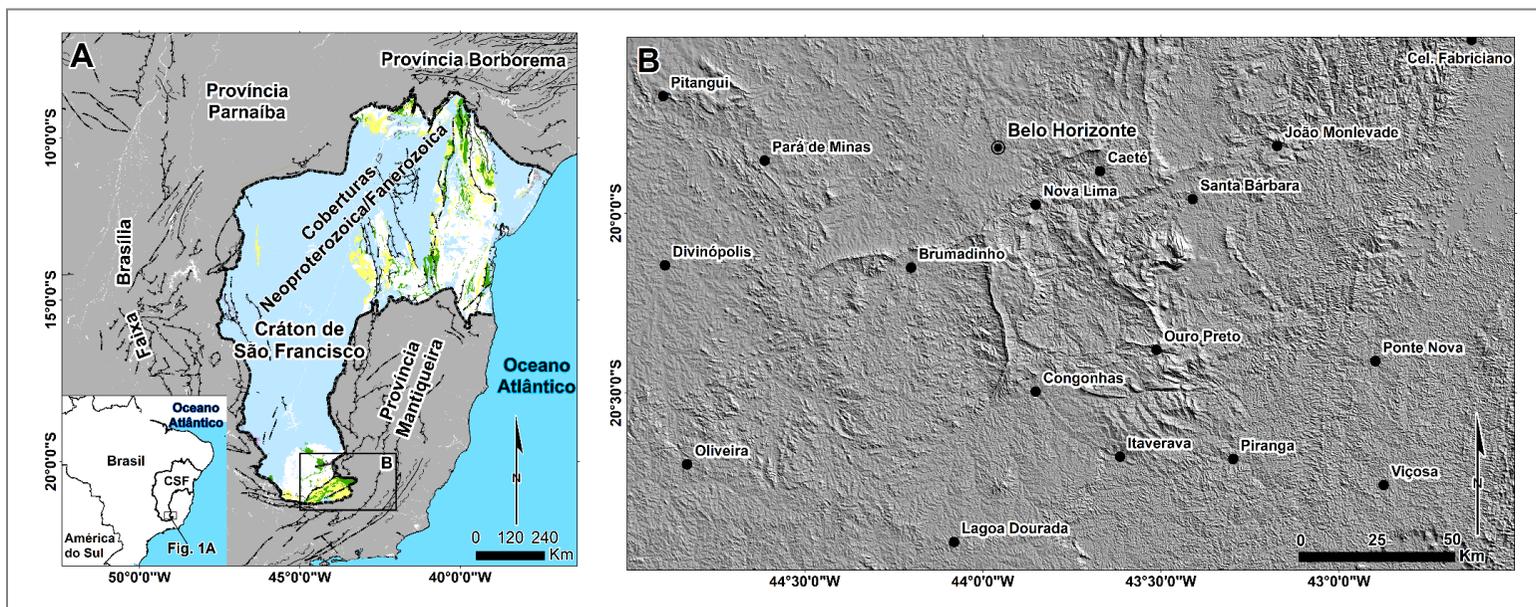


Figura 1: A) Cráton do São Francisco e seus cinturões marginais neoproterozoicos, destacando a localização do Quadrilátero Ferrífero e do Cinturão Mineiro em sua borda sul, delimitados pelo quadrado preto, ampliado na figura B (modificado de Bizzi *et al.*, 2003).

B) Localização da área do Projeto de Mapeamento Geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e seu Entorno (Larizzatti; Marques; Silveira, 2014).

O objetivo deste trabalho é, além de proporcionar conhecimento sobre a ocorrência e distribuição dos principais minerais pesados no ambiente secundário, fornecer informações detalhadas e consolidadas sobre as características diagnósticas desses minerais para a sua correta identificação. As características diagnósticas foram elaboradas com base em um compêndio que utiliza os seguintes autores: Parfenoff, Pomerol e Tourenq (1970), Broche, Casanova e Loup (1977), Devismes (1978), Dana e Franco (1981), Klein e Hurlbut Jr. (1993), Pereira, Ávila e Lima (2005), Mange e Wright (2009) e Addad (2010). Essas informações são apresentadas de maneira ilustrada por meio de fotografias, fotomicrografias e imagens obtidas com Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Além disso, o atlas apresenta mapas de pontos graduados indicando quantidades e concentrações para 26 minerais pesados, com base na geologia do Mapa do Estado de Minas Gerais (Silva *et al.*, 2020) integrada ao Modelo Digital de Terreno (MDT) e em mapas previsionais gerados pelo método do Inverso da Distância Ponderada (IDW). Esses mapas foram criados a partir da integração de resultados da análise semiquantitativa de 1.196 amostras de concentrados de bateia, abrangendo os seguintes minerais: anatásio, grupo dos anfibólios (hornblenda), cassiterita, cianita, coríndon, epídoto, grupo dos espinélios (ganhita), estauroлита, goethita, grupo das granadas (almandina), hematita (especularita), ilmenita, leucoxênio, limonita, magnetita, micas, monazita, pirita (pirita limontizada), piroxênios, rutilo, scheelita, sillimanita, turmalina, xenotímio e zircão, além da análise quantitativa para ouro.

Informações complementares sobre clima, geomorfologia, solo, hidrografia, vegetação e uso da terra estão disponíveis no relatório intitulado Mapeamento Geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e Seu Entorno, de Larizzatti, Marques e Silveira (2014), que oferece um compêndio detalhado da mesma área abordada pelo atlas.

2. MINERAIS PESADOS

MINERAIS PESADOS SÃO CONSIDERADOS minerais “acessórios” e possuem densidades específicas superiores aos dois principais componentes dos sedimentos siliciclásticos: quartzo ($2,65 \text{ g/cm}^3$) e feldspato ($2,54\text{-}2,76 \text{ g/cm}^3$). Na prática, classificam-se como minerais pesados aqueles com pesos específicos superiores a $2,85 \text{ g/cm}^3$ (Folk, 1974), enquanto os minerais com pesos específicos inferiores a $2,85 \text{ g/cm}^3$ são denominados minerais leves. Embora os sedimentos contenham uma grande variedade de minerais pesados, totalizando mais de 100 tipos diferentes, esses minerais representam apenas entre 0,1 a 0,5% da fração terrígena dos sedimentos (Addad, 2010).

Os minerais encontrados em depósitos aluviais são aqueles que resistiram tanto à destruição física quanto à química. Eles geralmente apresentam uma alta dureza (como o quartzo, predominante nos depósitos aluviais, que possui dureza 7), são densos e quimicamente estáveis (Broche; Casanova; Loup, 1977).

Os minerais pesados possuem grande importância mineralógica devido à sua diversidade de aplicações comerciais. São utilizados na indústria de joalheria como gemas (diamante, rubi, safira, topázio e turmalina) e metais nobres (ouro, prata, platina e paládio), na indústria de base e construção civil (hematita, magnetita, cassiterita, columbita-tantalita e wolframita), e como matérias-primas, insumos ou aditivos em processos industriais (granada, diamante e apatita). Além disso, alguns desses minerais, como o ouro, são usados como reservas cambiais de países.

Os minerais pesados possuem ampla aplicação científica e são usados em diversos ramos além da exploração mineral, como em estudos de proveniência, correlação estratigráfica e geocronológica, além da geologia forense (Broche; Casanova; Loup, 1977; Mange; Wright, 2009).

A presença e abundância de minerais pesados em sedimentos ativos são influenciadas por cinco variáveis complexas: a litologia da área de origem, a estabilidade diferencial dos minerais durante a intemperização (Tabela 1), a durabilidade dos minerais contra abrasão prolongada, o fator hidráulico e o fator de sobrevivência pós-deposicional.

Tabela 1: Classificação de alguns minerais pesados quanto a estabilidade física e química (modificado de Pettijohn; Potter; Siever, 1972).

Ultraestáveis	Rutilo, zircão, turmalina, anatásio, cassiterita e topázio
Estáveis	Apatita, granadas (pobre em ferro*), estauroлита, monazita, biotita, ilmenita, magnetita
Moderadamente estáveis	Epidoto, cianita, granadas (rica em ferro**), sillimanita, titanita, zoisita
Instáveis	Hornblenda, actinolita, augita, diopsídio, hiperstênio, andaluzita
Muito instáveis	Olivina e cromo- diopsídio

* piropo, espessartita, grossulária e uvarovita ** almandina e andradita

Os minerais pesados comuns apresentam densidade entre 3 e 5 g/cm³. Devido ao seu peso, eles geralmente encontram-se associados ao quartzo, cujo tamanho médio varia de 0,5 a 1,0φ. Essa diferença é conhecida como “relação hidráulica ou equivalente hidráulico” (Rittenhouse, 1943), variando para cada espécie mineral. Embora esse valor seja principalmente influenciado pela densidade, ele também é afetado, em certa medida, pela forma e pelo tamanho original dos grãos minerais da rocha-mãe (Folk, 1974). Além da densidade, os hábitos dos minerais pesados influenciam a forma predominante de seu transporte e deposição subaquáticos (Figura 2), assim como sua “facilidade” de deposição (Figura 3).

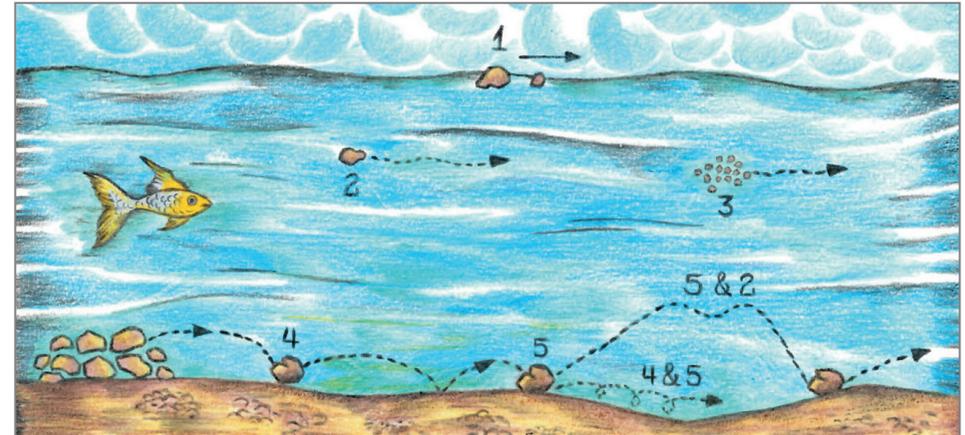


Figura 2: Mecanismos de transporte e deposição dos minerais pesados. 1 – Flotação. 2 – Suspensão. 3 – Dissolução. 4 & 5 – Arrastamento: deslizamento e rolamento. 5 & 2 – Saltação com suspensão forçada. Fonte: Modificado de Pereira (2012).

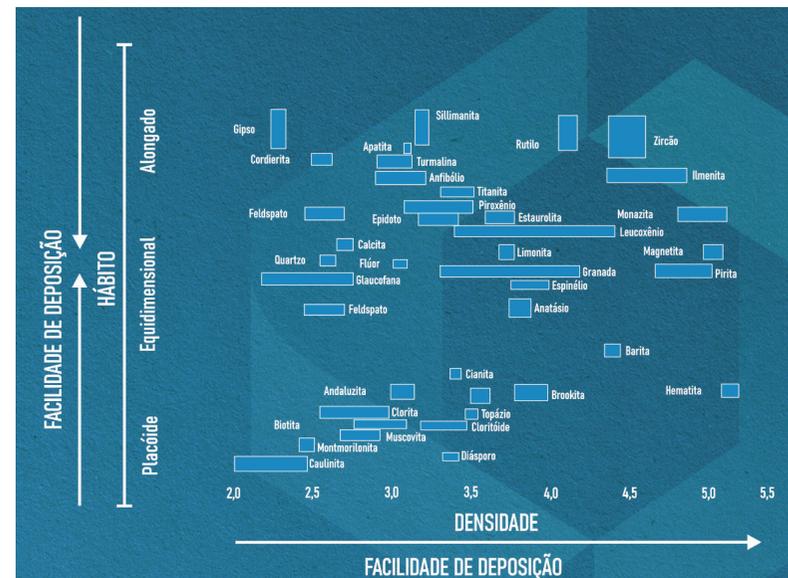


Figura 3: O gráfico ilustra a relação entre a facilidade de deposição de minerais, considerando sua densidade e hábito. Fonte: Notas de aula (Prof. Gianini & Ana Góis - USP).

3. MATERIAIS E MÉTODOS NORMALMENTE UTILIZADOS NO ESTUDO DE MINERIAS PESADOS

3.1. CAMPO

As concentrações aluvionares de minerais pesados são influenciadas por diversas características do leito de um rio, como a morfologia do canal, a presença de junções com tributários, poços, barreiras rochosas, entre outros. Essas concentrações se desenvolvem preferencialmente na mudança de declive, onde a velocidade da água diminui abruptamente, favorecendo a deposição dos minerais pesados.

Essas variáveis, juntamente com as propriedades específicas de cada mineral, tornam a amostragem de minerais pesados um processo complexo. Embora possa parecer um método rudimentar de pesquisa, essa complexidade exige experiência e treinamento especializado para evitar vieses e problemas na amostragem. Ademais, há um conjunto de variáveis que precisa ser cuidadosamente estabelecido e controlado. Entre essas variáveis, destacam-se a padronização dos equipamentos de amostragem (Figura 4), o volume da amostra a ser coletada, o tipo de peneiramento a ser executado, os cuidados para evitar contaminação do material e do ambiente de coleta, e, por fim, o tempo adequado de bateamento.

A seguir, apresentamos de forma resumida os principais ambientes de coleta de minerais pesados em drenagens. O primeiro e mais comumente amostrado são as zonas de cascalho depositadas nos bancos internos das curvas de meandro (Figura 5). Também podem ser coletados materiais em bancos insulares ou longitudinais. Contudo, é sempre importante observar a presença de tributários menores próximos a esses bancos, pois o de fluxo de água e sedimentos desses tributários pode alterar a dinâmica de deposição desses minerais.

Em trechos mais retilíneos de drenagens, é necessário encontrar locais onde a quebra de energia favoreça a deposição e, conseqüentemente, a concentração de minerais pesados. Nesse sentido, os blocos de rocha maiores,

conhecidos como “matações”, são excelentes concentradores (Figura 6). A coleta deve ser realizada imediatamente à frente ou atrás do bloco, e é recomendável que o amostrador verifique em qual dessas posições o cascalho é mais abundante.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) realiza campanhas exploratórias com amostragem de concentrados de minerais pesados.

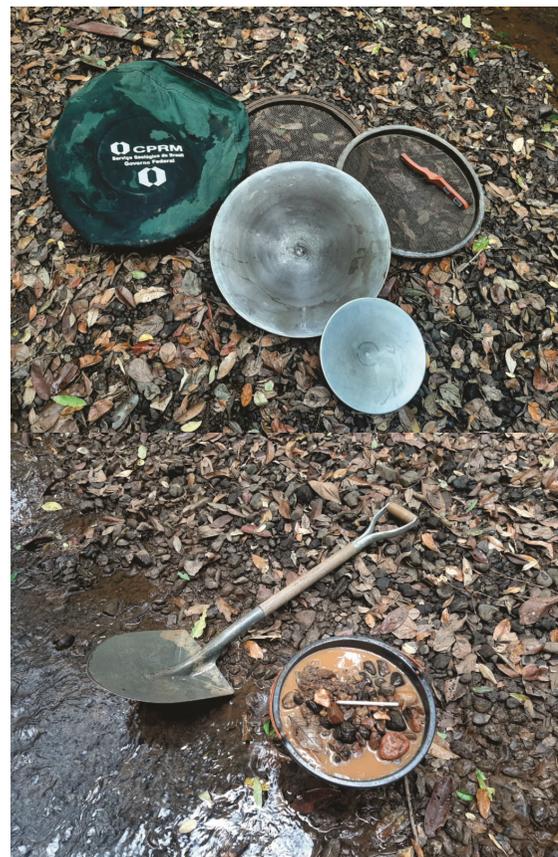


Figura 4: Equipamentos necessários para a amostragem de concentrados de bateia em aluvião. No SGB-CPRM estes equipamentos foram padronizados em âmbito nacional com o objetivo de diminuir o viés de amostragem. Foto: Cassiano Costa e Castro.

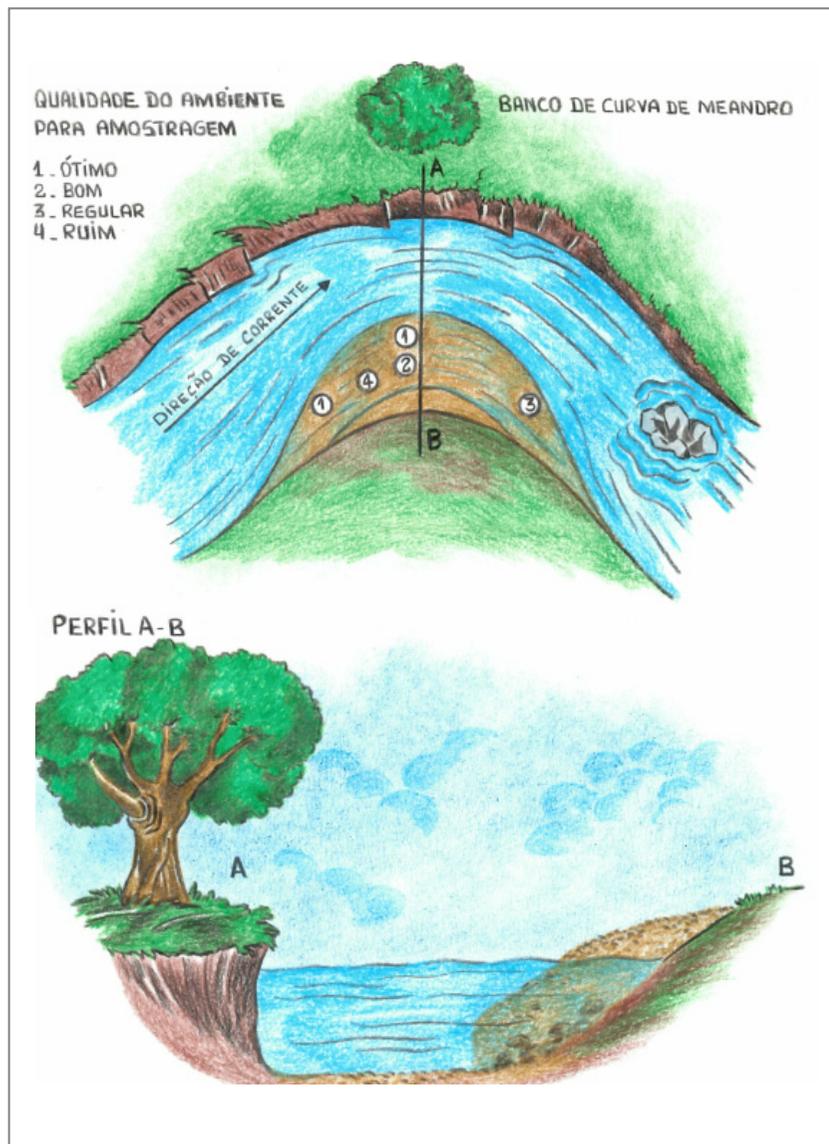


Figura 5: Banco de curva de meandro em planta e perfil, com os locais indicando a qualidade do ambiente de amostragem. Ilustração: Reinaldo Rodrigues da Gama.

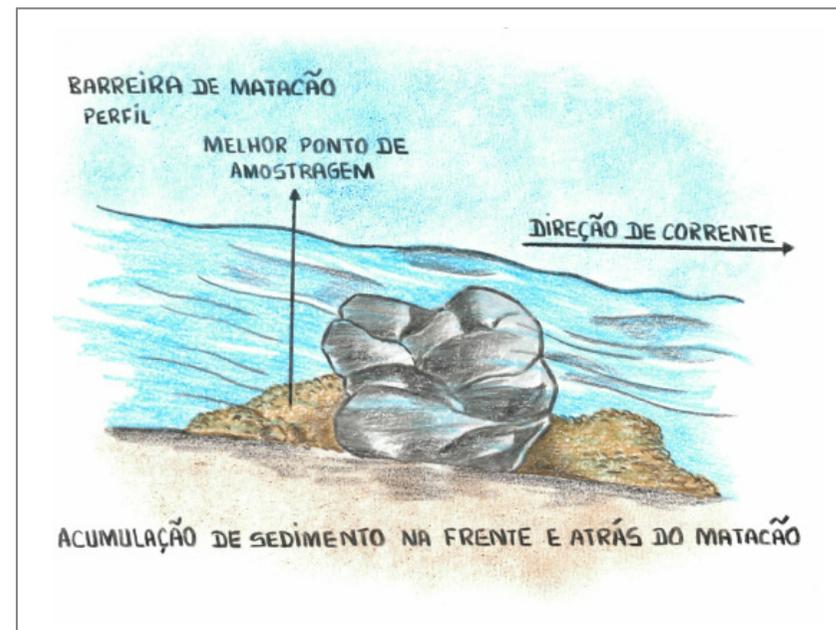


Figura 6: Barreira de matação em perfil, com os locais indicando a qualidade do ambiente de amostragem. Ilustração: Reinaldo Rodrigues da Gama.

3.2. LABORATÓRIO

A preparação das amostras de minerais pesados em laboratório, assim como as etapas realizadas em campo, deve seguir uma rotina preestabelecida, levando em consideração os objetivos do projeto ou estudo. A seguir, abordamos os principais passos e técnicas empregadas para concentração de minerais pesados em laboratório.

Recomenda-se iniciar a preparação das amostras removendo as frações mais finas, como argila e silte, que ainda possam estar presentes. Para isso, utiliza-se o processo de elutriação (Figura 7), um método eficaz de deslameagem da amostra.

Embora os concentrados de bateia geralmente possuam grãos muito finos, com tamanhos abaixo de 1 mm, recomenda-se realizar um peneiramento

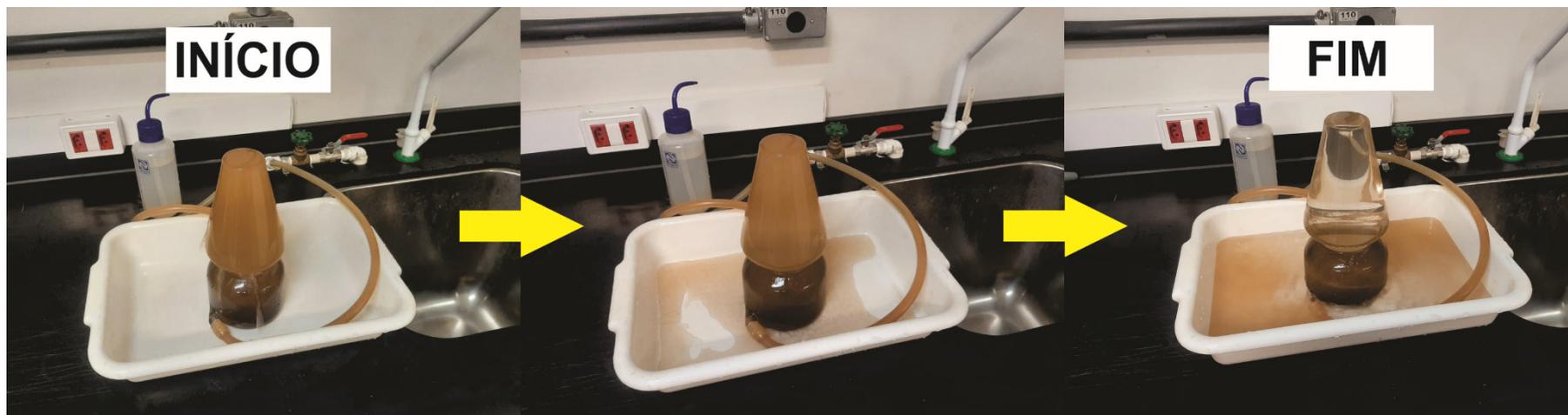


Figura 7: Processo de elutriação de amostra de minerais pesados.

A água é introduzida pela base do elutriador, gerando um fluxo ascendente que remove de forma eficiente os materiais mais finos, como argila e silte. Observar a diferença significativa na cor da água entre o início e o final do processo. Foto montagem: Cassiano Costa e Castro.

de 1 mm após a remoção das frações silte e argila, para garantir a homogeneização adequada da granulometria da amostra. Esse passo é essencial, pois o funil de entrada de amostra do separador isodinâmico Frantz requer amostras com granulometria inferior a 1 mm, um fator crucial para o dimensionamento granulométrico da amostra e para facilitar futuras separações. O peneiramento pode ser feito a seco ou úmido, conforme os procedimentos consolidados pelo laboratório.

Para amostras de grande volume, com peso inicial superior a 250 gramas, recomenda-se realizar o quarteamento até que a alíquota não exceda esse peso. No entanto, o quarteamento de grandes volumes pode resultar em subdimensionamento nas análises mineralógicas quantitativas, como ouro e minerais satélites do diamante. Nesses casos recomenda-se utilizar um quarteador circular de pequeno porte em vez de quarteadores do tipo *Jones*, devido ao menor erro associado a este método. É fundamental equilibrar o volume amostrado e a amostra efetivamente analisada para maximizar a relação custo-benefício.

Com a amostra dentro do peso ideal, inicia-se a separação densimétrica utilizando líquidos densos, que permitem a separação dos minerais conforme as densidades. Minerais menos densos que o líquido flutuam, enquanto os mais densos afundam. Devido à alta toxicidade, o uso de líquidos densos deve ocorrer obrigatoriamente em capela para gases (Figura 8). Dois líquidos comumente utilizados são o bromofórmio e o iodeto de metileno, com densidades de $2,89 \text{ g/cm}^3$ e $3,33 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. Na preparação das amostras deste projeto, utilizou-se apenas o bromofórmio.

Além da alta toxicidade, os altos custos desses líquidos densos frequentemente tornam o processo de preparação de amostras extremamente oneroso e dispendioso. Para minimizar os efeitos adversos do uso desses líquidos, o SGB-CPRM desenvolveu um método de microbateamento das amostras de concentrado de bateia (Figura 9). Esse método visa reduzir a massa inicial da amostra através da eliminação da fração leve, majoritariamente composta por quartzo.

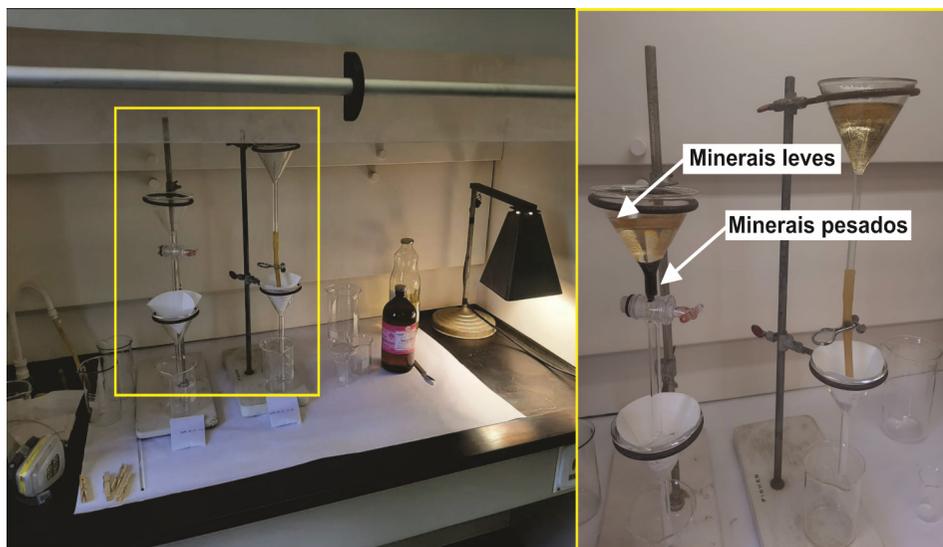


Figura 8: Estrutura montada para a separação por líquidos densos em capela, destacando a separação dos minerais “leves” e “pesados” em meio ao bromofórmio. Foto montagem: Cassiano Costa e Castro.

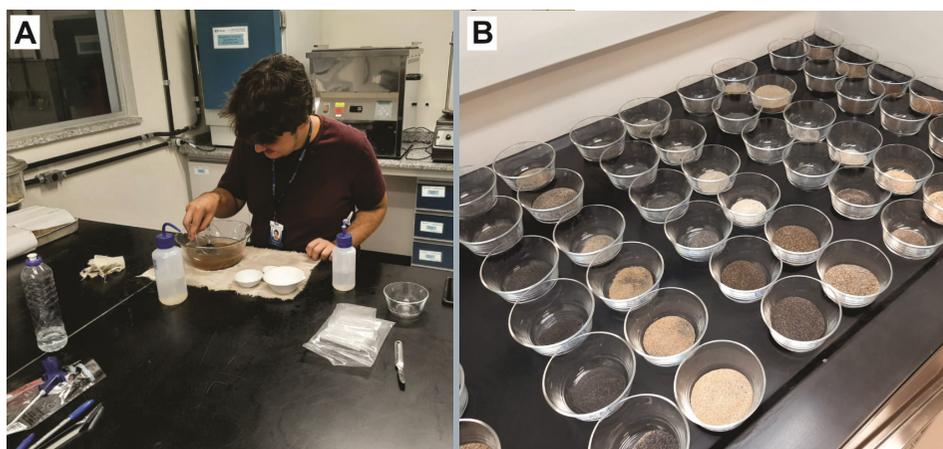


Figura 9: A) Processo de microbateamento em laboratório. B) Amostras após o microbateamento, onde as frações mais escuras representam os minerais “pesados” e as frações mais claras representam os minerais “leves”. Foto montagem: Cassiano Costa e Castro.

Após o microbateamento ou a passagem da amostra em líquidos densos, inicia-se a etapa de separação magnética na alíquota de minerais pesados. Dependendo do objetivo da pesquisa, essa separação pode ser realizada de diversas maneiras, desde o uso de ímãs embuchados (Figura 10) até a passagem das amostras em diversas amperagens no separador isodinâmico de Frantz (Figura 11). Independentemente do método escolhido, a separação magnética sempre começa com a passagem de um ímã de mão para remover a fração magnética, geralmente composta por magnetita. Essa remoção é essencial para evitar interferência nas etapas subsequentes de separação com ímãs embuchados ou para prevenir o entupimento da régua do separador isodinâmico de Frantz.

O uso do separador isodinâmico Frantz é fundamental quando se trabalha com uma suíte mineralógica diversificada, pois cada mineral possui um campo de suscetibilidade eletromagnética específica, permitindo uma separação eficaz. Recomenda-se configurar o equipamento com uma inclinação transversal de 15° e uma inclinação longitudinal de 20° para otimizar a separação das diferentes frações.

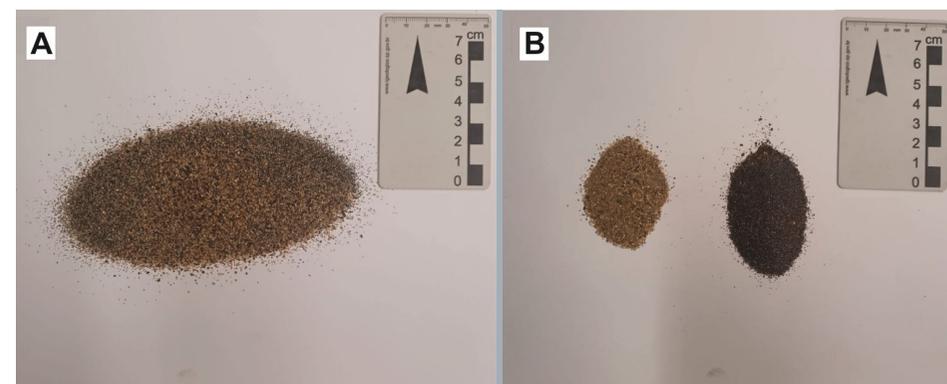


Figura 10: A) Amostra antes do processo de separação magnética utilizando-se ímã embuchado. B) Amostra após o processo de separação magnética, em que a fração mais escura corresponde aos minerais magnéticos, enquanto a fração clara representa os minerais não magnéticos. Foto montagem: Cassiano Costa e Castro.



Figura 11: Processo de separação magnética realizado no separador isodinâmico de Frantz.
Foto montagem: Cassiano Costa e Castro.

4. RESULTADOS MINERALOMÉTRICOS

AS EQUIPES DE AMOSTRAGEM DO SGB-CPRM coletaram concentrados de minerais pesados em 1.138 estações no Projeto de Mapeamento Geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e seu Entorno, entre 2007 e 2009. Em 2021, uma nova campanha foi conduzida pelo Projeto Estratigrafia, Arquitetura Crustal e Recursos Minerais do Quadrilátero Ferrífero, com o objetivo de coletar amostras em 57 estações na região noroeste da área de estudo (Figura 12).

Ao todo, foram amostradas 1.195 estações, resultando em uma densidade de amostragem de aproximadamente uma amostra a cada 40 km² (Figura 13). Embora tenham sido aplicadas as mesmas densidades amostrais e técnicas de coleta, é necessário considerar a possível existência de vieses de amostragem e análises, devido ao grande intervalo temporal entre as duas campanhas, especialmente nas análises quantitativas de ouro.

Os concentrados de bateia foram coletados nos leitos ativos das drenagens, lavando-se 20 litros de material em cada amostra. Utilizou-se um conjunto de peneiras com 8 mm, 2 mm, 1 mm e 0,5 mm de abertura, e foram coletadas a fração retida em 0,5mm e o concentrado de bateia, ambos acondicionados em um único saco plástico devidamente identificado.

As amostras de concentrado de bateia foram enviadas para preparação no laboratório da SGS Geosol Laboratórios Ltda em Vespasiano-MG e para análise semiquantitativa no laboratório de mineralogia em Brasília, também da SGS Geosol Laboratórios Ltda. Em todas as amostras, foram realizadas contagens de pintas de ouro e exames com a lâmpada ultravioleta (*mineralight*) nas frações não atraíveis. As análises mineralométricas foram relatadas de forma semiquantitativa, utilizando os seguintes intervalos: < 1%, 1 – 5%, 5 – 25%, 25 – 50%, 50 – 75% e > 75%.

No total, foram identificados e reportados quarenta e três minerais, incluindo: ouro, pirita, pirita limonitizada, magnetita, hematita, specularita, ilmenita, limonita, cassiterita, columbita, rutilo, cromita, anatásio, coríndon, espinélio, leucocênio, scheelita, carbonatos, barita, monazita, xenotímio, apatita, piromorfita, zircão, topázio, granadas, piroxênios, anfibólios, turmalina, cianita, estauroлита, sillimanita, epídoto, esfênio (titanita), olivina, micas,



Figura 12: Bateamento de amostras aluvionares durante o desenvolvimento de projetos do SGB-CPRM no Quadrilátero Ferrífero. Fotos: Cassiano Costa e Castro.

goethita, gahnita, hornblenda, granada piropo e picroilmenita (ilmenita magnesiana), além de agregados minerais e fragmentos de rocha. Os resultados analíticos dos concentrados de bateia estão disponíveis no Sistema de Informações Geográficas (SIG) que acompanha este atlas e podem ser baixados no GeoSGB (<https://geosgb.sgb.gov.br/>).

Dentre os minerais identificados, 13 não serão incluídos neste atlas. Quatro deles – columbita, carbonatos, piromorfita e topázio – foram excluídos devido à sua baixa concentração (geralmente menor que 1%) e à ocorrência muito restrita, limitando-se a uma única estação de amostragem. Além disso, barita, apatita, esfênio (titanita), olivina, granada piropo, picroilmenita (ilmenita magnesiana), cromita, agregados minerais e fragmentos de rocha também não serão apresentados. Embora estes tenham uma abundância relativa significativa e tenham sido reportados em pelo menos seis estações de amostragem, não foi possível identificá-los de maneira conclusiva.

Portanto, este atlas é composto por 30 minerais: anatásio, grupo dos anfibólios (hornblenda), cassiterita, cianita, coríndon, epídoto, grupo dos espinélios (gahnita), estauroлита, goethita, granada, hematita (especularita), ilmenita, leucoxênio, limonita, magnetita, micas, monazita, ouro, pirita (pirita limonitizada), piroxênio, rutilo, scheelita, sillimanita, turmalina, xenotímio e zircão.

As concentrações máximas de cada mineral variam significativamente. Anfibólio, cianita, granada, hematita, magnetita, ilmenita e limonita apresentam valores superiores a 75%. Já estauroлита, monazita, piroxênio e zircão variam entre 50% e 75%. Epídoto, leucoxênio e a turmalina estão entre 25 e 50%. Nas micas, rutilo, sillimanita e pirita limonitizada, as concentrações máximas variam entre 5% e 20%, enquanto anatásio, espinélio, pirita, scheelita e xenotímio registram valores entre 1% e 5%. Por fim, cassiterita, coríndon, goethita, specularita, gahnita e hornblenda ocorrem em abundância inferior a 1% na composição do concentrado.

Para simplificar a representação, oito minerais foram agregados em pares: pirita e pirita limonitizada, hematita e specularita, espinélios e gahnita e anfibólios e hornblenda. Apresentamos o mapa da pirita limonitizada junto

ao da pirita, com características diagnósticas do mineral em sua forma não alterada, acompanhadas de fotos de ambos os exemplares. Em contraste, devido à baixa concentração, especularita, gahnita e hornblenda foram representadas em um único mapa de distribuição com seus respectivos grupos — hematita, espinelios e anfibólios. Com exceção da hematita, apenas suas características diagnósticas foram destacadas, devido à complexidade dos grupos dos espinelios e anfibólios.

As imagens dos grãos dos minerais foram capturadas em diferentes locais e com equipamentos variados. Na sede do SGB-CPRM, em Brasília, usou-se

um estereomicroscópio Olympus modelo SZX7, com sistema de captura de imagem acoplado. Já na Superintendência Regional de Belo Horizonte, foram obtidas imagens com o microscópio Olympus modelo BX51. Além disso, no Laboratório de Microscopia e Microanálises (LMic) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), foram realizadas imagens morfológicas no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) da marca Jeol, modelo JSM 6510,. Essas imagens foram geradas utilizando sensores de elétrons secundários (SE - *Secondary Electrons*) e elétrons retroespalhados (BSE - *Backscattered Electrons*), bem como uma composição das imagens SE e BSE por meio de fusão.

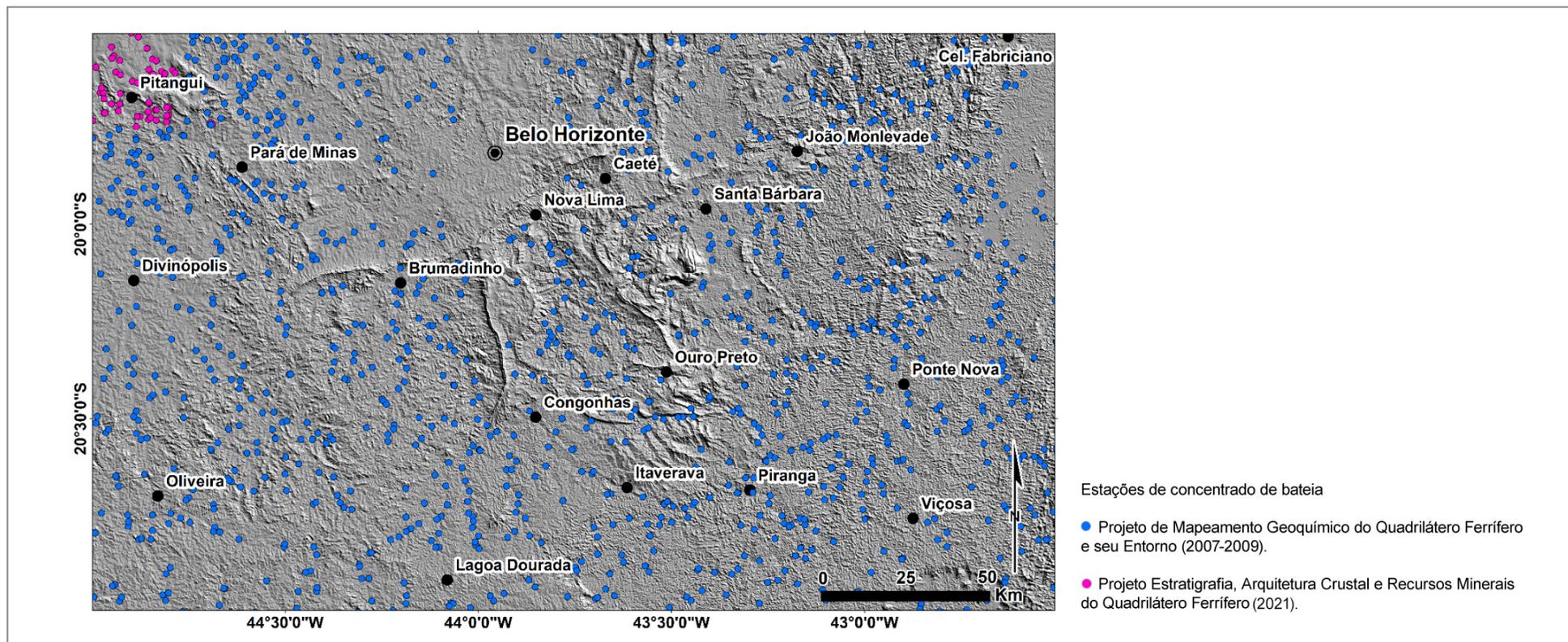
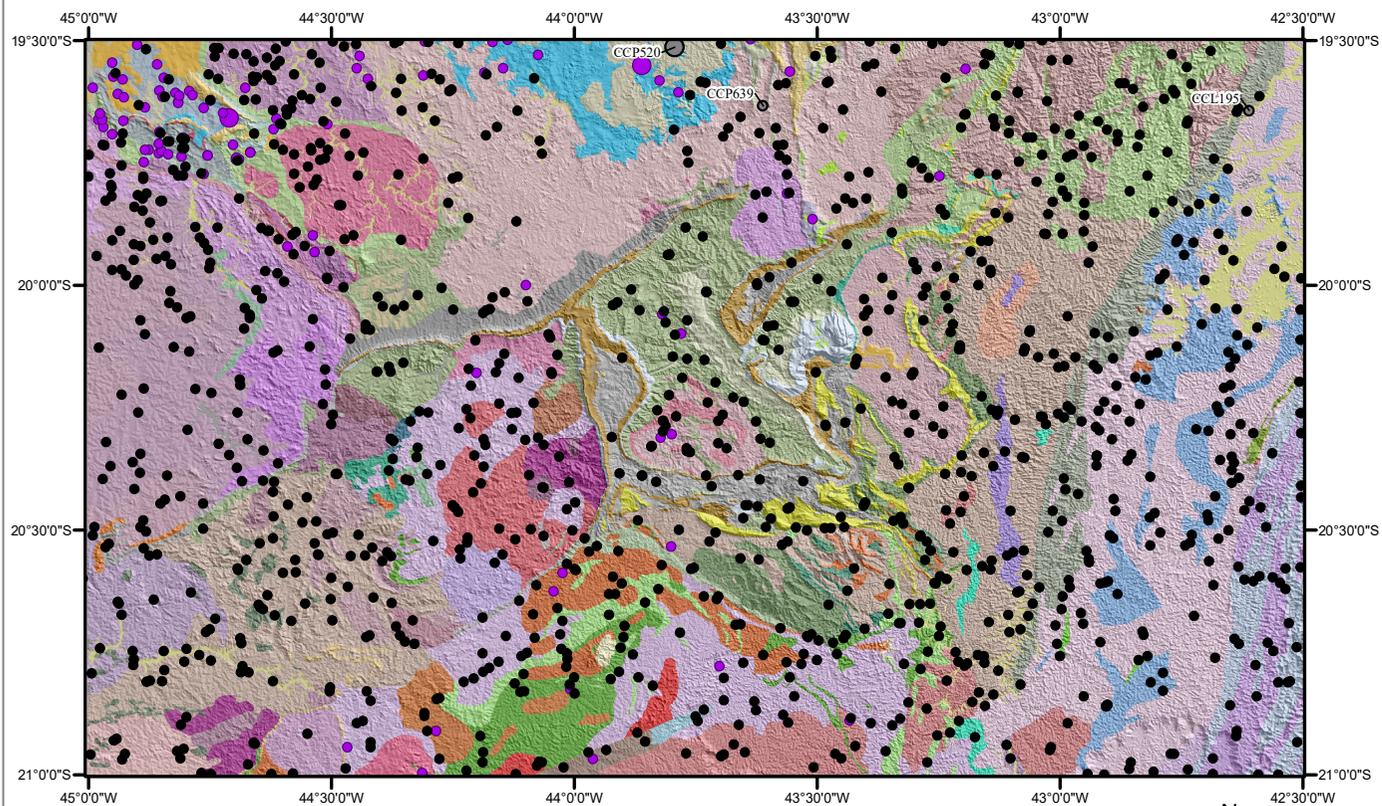


Figura 13: Mapa que mostra a localização das estações de amostragem de concentrados de minerais pesados (Cassiano Costa e Castro).

5. MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO, ASPECTOS DIAGNÓSTICOS E FOTOGRAFIAS DOS MINERAIS

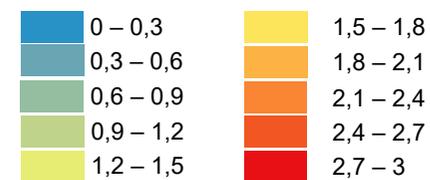
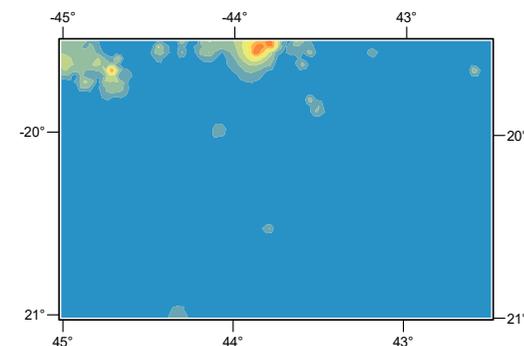
ANATÁSIO



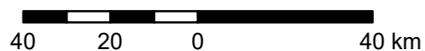
LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- 1 - 5%
- N Lab
- Estação com fotos

Mapa previsional Inverso da distância ponderada (IDW)



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



Datum: SIRGAS 2000

Modo de distribuição

O anatásio está presente em 93 amostras na área de estudo, ocorrendo normalmente em quantidades menores que 1% e sendo detectado nesta concentração em 90 estações. Em apenas 3 estações de amostragem, o anatásio atinge o valor máximo de 1 a 5%. Destaca-se o grande número de estações com presença de anatásio no noroeste da área de estudo associado às rochas do *Greenstone Belt* Pitangui.



TiO₂**Principais Características Diagnósticas:**

Sistema Cristalino: Tetragonal.

Cor: Frequentemente, ocorre nas cores azul, amarela, cinza, preta e marrom. De transparente a translúcido, ou até mesmo quase opaco.

Dureza: 5,5 a 6.

Densidade: 3,82 a 3,97 g/cm³.

Brilho: De adamantino a resinoso, ocasionalmente exibindo um brilho metálico nas faces dos cristais escuros.

Clivagem: Visível nos octaedros na forma de finas estrias transversais, para a clivagem (001).

Fratura: Irregular ou subconchooidal.

Suscetibilidade magnética: Não atraível ao separador eletromagnético Frantz.

Relevo: Positivo altíssimo.

Índice de Refração: n_ω: 2,561
n_ε: 2,488

Pleocroísmo: Ausente a fraco.

Birrefringência (δ): Comumente, grãos basais (100) apresentam cores de interferência amarelas, cinza-escuro, azuis ou marrons, ou podem ser não birrefringentes. Em contraste, seções não basais exibem forte birrefringência, com cores de interferência de quarta ordem em branco, cinza e rosa.

Extinção: Possui extinção reta.

Caráter ótico: Uniaxial negativo.

Figura de interferência: Boas figuras de interferência são observadas apenas em cortes basais.

Elongação: Negativa (-).

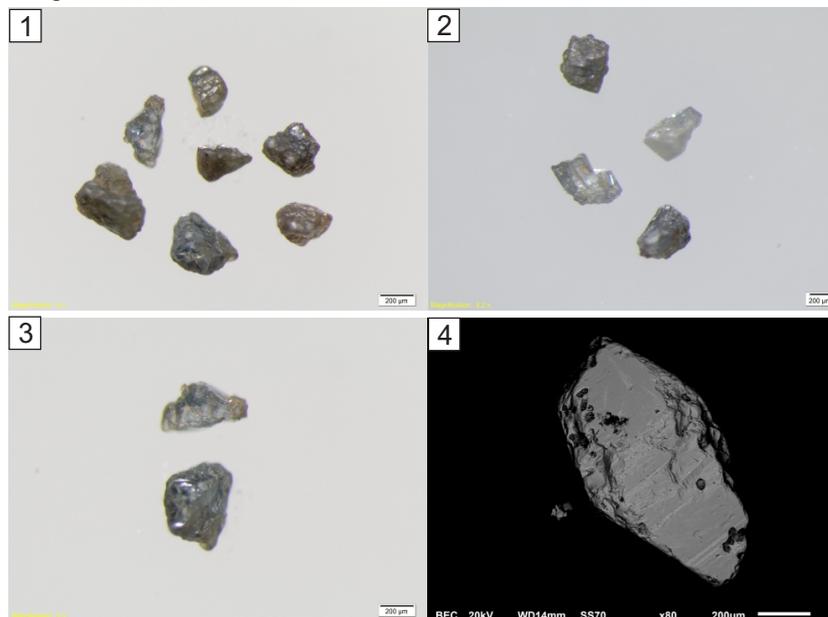
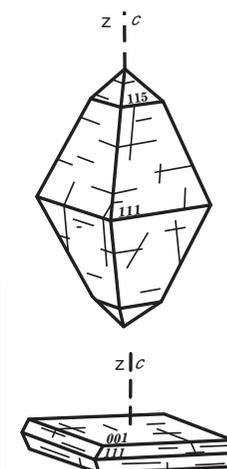
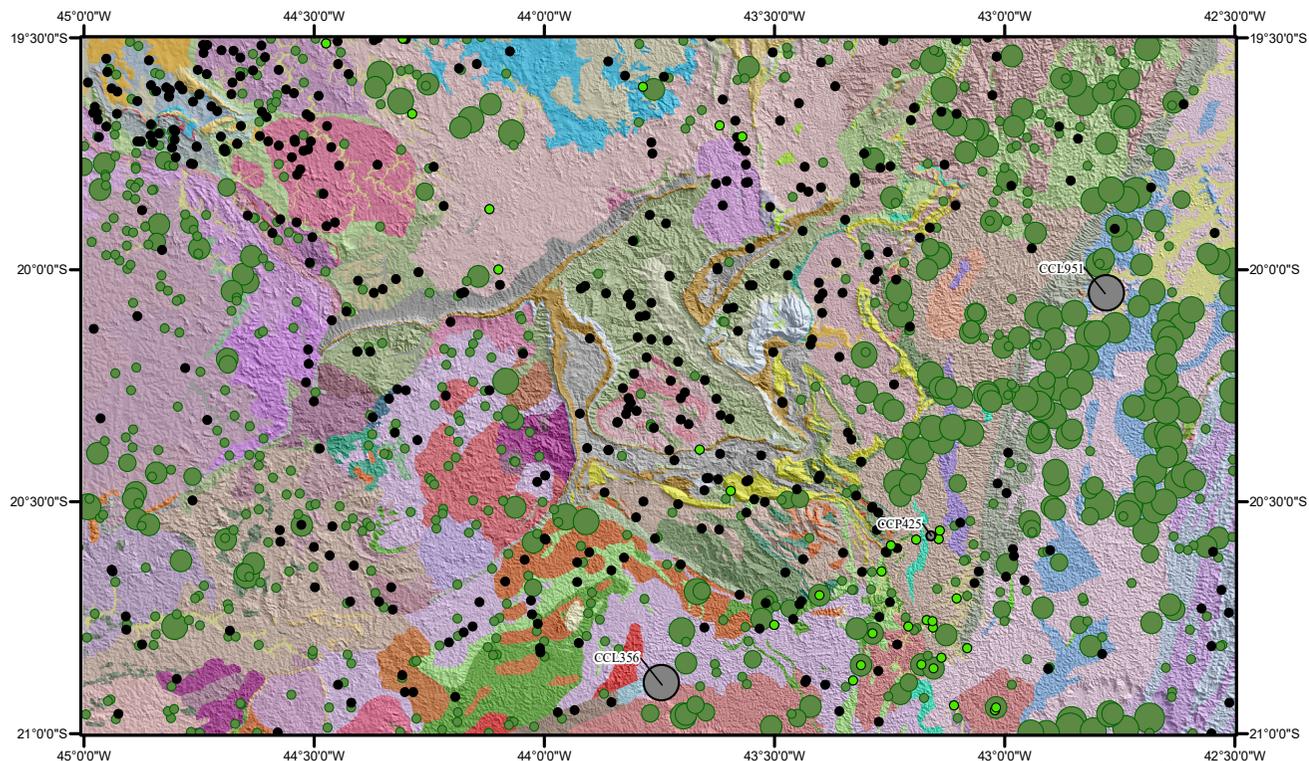
Fotografias

Imagem 1. Grãos de anatásio da estação CCL195, município de Marliéria. Imagem 2. Grãos de anatásio da estação CCP520, município de Jaboticatubas. Imagem 3. Detalhe dos grãos de anatásio da mesma estação da imagem 1. Imagem 4. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de grão de anatásio da estação CCP639, município de Taquaraçu de Minas.

Sistema Cristalino

ANFIBÓLIOS



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno

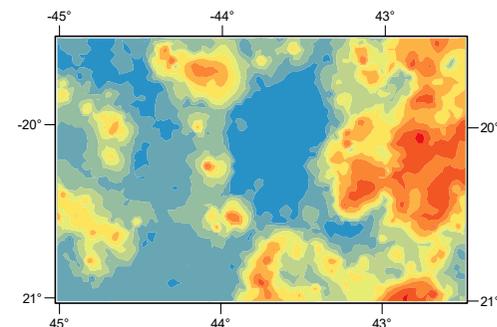


Datum: SIRGAS 2000

LEGENDA:

- Estação de coleta
 - N Lab ● Estação com fotos
- | Anfibólios | Hornblenda |
|-------------|------------|
| ● <1 | ● <1 |
| ● 1 - 5% | |
| ● 5 - 25% | |
| ● 25 - 50% | |
| ● 50 - 75% | |
| ● 75 - 100% | |

Mapa previsional - Anfibólios Inverso da distância ponderada (IDW)



- | | |
|---------------|-----------------|
| ● 0 - 0,37 | ● 6,45 - 11,01 |
| ● 0,37 - 0,99 | ● 11,01 - 18,53 |
| ● 0,99 - 2,01 | ● 18,53 - 30,92 |
| ● 2,01 - 3,69 | ● 30,92 - 51,34 |
| ● 3,69 - 6,45 | ● 51,34 - 85 |

Modo de distribuição

Os anfibólios estão presentes em 788 amostras, distribuídas pela área de estudo. O grupo também apresenta uma ampla variação de concentração, que pode variar de menos 1% a mais de 75%. Em 528 estações de amostragem, a concentração dos anfibólios ficou com menos de 1%, em 40 estações, ficou entre 1 e 5%, em 116, ficou entre 5 e 25%, em 88, ficou entre 25 e 50%, em 14, ficou entre 50 e 75% e em 2 pontos atingiu um máximo de 75 a 100%. As maiores concentrações de grãos de anfibólios encontram-se associadas principalmente ao Grupo Barbacena na região sul, ao Complexo Mantiqueira na porção leste, e a Formação Serra Negra de Guanhães à nordeste do mapa.





Hornblenda $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg,Fe}^{2+})_4(\text{Al,Fe}^{3+},\text{Ti})_3\text{SiO}_{22}(\text{OH,O})_2$

Principais Características Diagnósticas:

Sistema Cristalino: Monoclínico.

Cor: Verde-escuro ao negro. Podendo ser translúcida ou transparente.

Dureza: 5 a 6.

Densidade: 3 a 3,5 g/cm³.

Brilho: Vítreo, podendo ser resinoso nas variedades escuras.

Clivagem: Perfeita em (110) e (110). Nas seções perpendiculares ao eixo do prisma, as clivagens formam um ângulo de 124°.

Fratura: Irregular, "dentada" (segundo os ângulos de clivagem).

Suscetibilidade magnética: Atraível entre 0,5A e 0,8A no separador eletromagnético Frantz.

Relevo: Positivo médio.

Índice de Refração: n_α: 1,687-1,694
n_β: 1,700-1,707
n_γ: 1,701-1,712

Pleocroísmo: Forte, principalmente em vários tons de verde e marrom.

Birrefringência (δ): Moderada a forte (0,015 - 0,026). Contudo, dependem em grande parte da espessura e da cor do mineral. As tonalidades variam entre a primeira e a terceira ordem inferior, sendo muitas vezes obscurecidas pela cor intrínseca forte do mineral.

Extinção: Normalmente, possui extinção inclinada com ângulos variando entre 12° e 25°; contudo, em grãos sobre basais (100), a extinção pode ser quase reta.

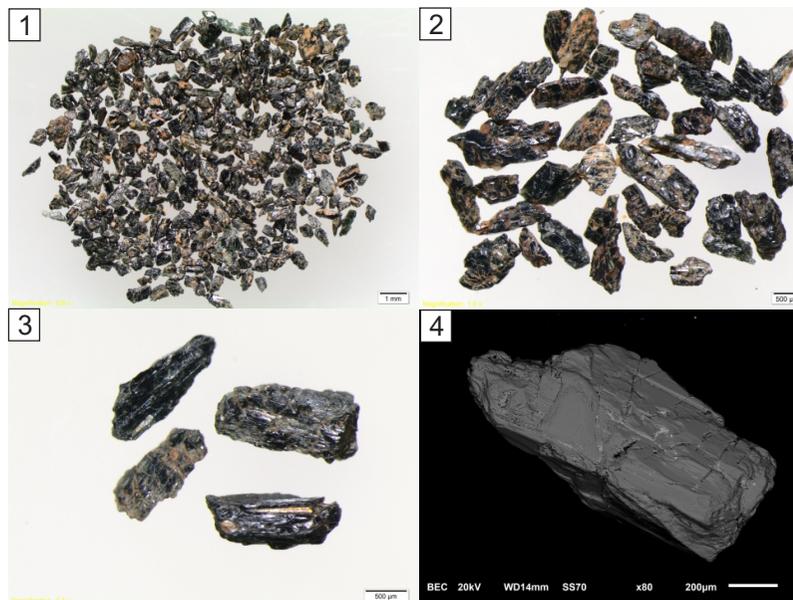
Caráter ótico: Biaxial negativo.

Figura de interferência: Os grãos geralmente produzem figuras de bissetriz de qualidade inferior e altamente excêntricas. Algumas seções basais exibem figuras de bissetriz aguda bem centradas ou ligeiramente descentradas.

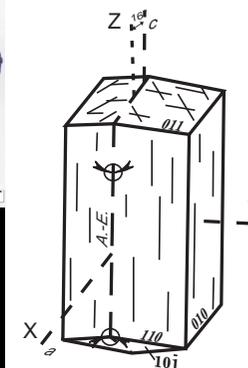
Elongação: Positiva (+).

Imagem 1. Amostra com background mineralógico abundante em hornblenda, estação CCP425, município de Porto Firme. Imagens 2 e 3. Detalhe dos grãos de anfibólio, estações CCL951 e CCL356, localizadas nos municípios de Sem-Peixe e Caranaíba, respectivamente. Imagem 4. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de grão de anfibólio, da mesma estação da Imagem 3. Imagens 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de hornblenda da estação CCL951 (fotos 2 e 3). Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

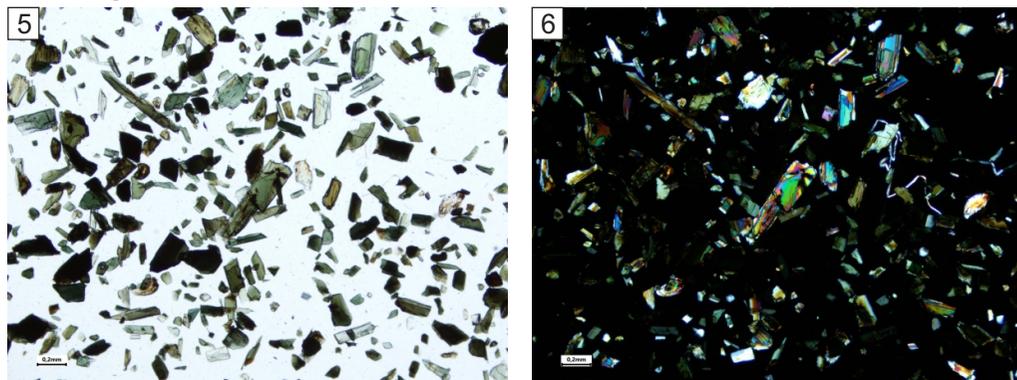
Fotografias



Sistema Cristalino



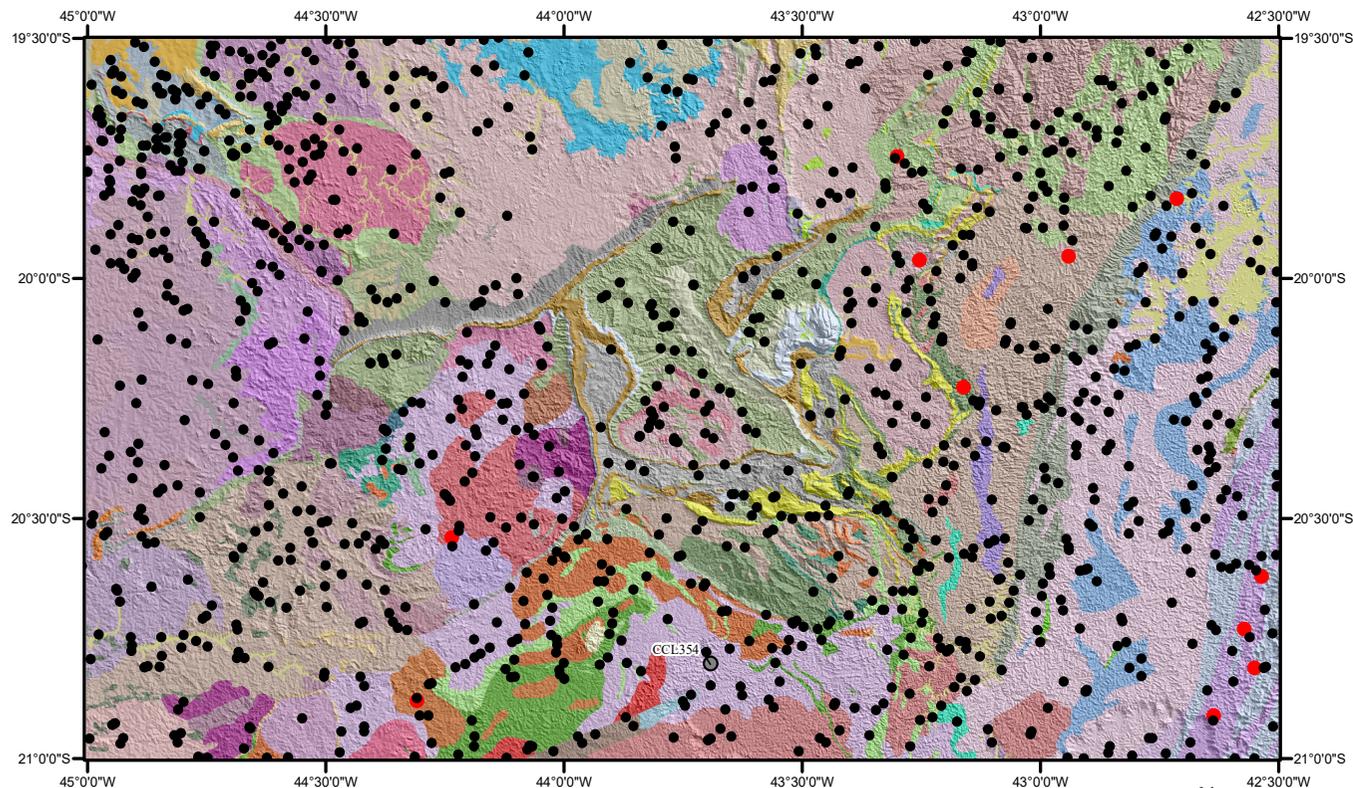
Fotomicrografias



Aumento: 4x, LN

Aumento: 4x, LP

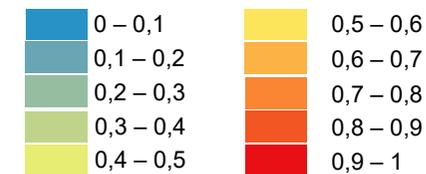
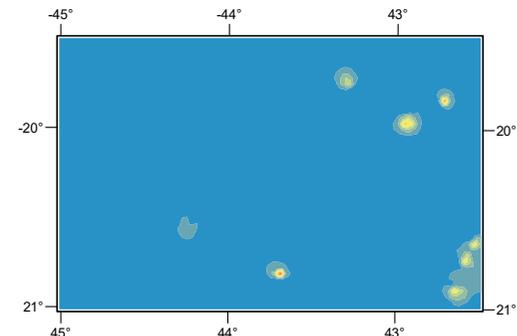
CASSITERITA



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- N Lab ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



Datum: SIRGAS 2000



Modo de distribuição

A cassiterita foi encontrada em apenas 12 amostras em toda a área de estudo, sendo detectada em quantidades inferiores que 1%. É importante destacar que um terço das estações onde a cassiterita está presente encontra-se associado ao sillimanita-granada-biotita gnaiss da Unidade Conservatória e ao ortognaiss do Complexo Juiz de Fora, no extremo sudeste da área de estudo.

SnO₂

Principais Características Diagnósticas:

Sistema Cristalino: Tetragonal.

Cor: A coloração varia muito dependendo das impurezas. Normalmente encontrada em tons castanhos ou pretos, é comum também a variedade bicolor em preto e vermelho. Raramente, pode ser amarela, branca ou até mesmo incolor, com transparência variando de transparente a opaca.

Dureza: 6 a 7.

Densidade: 6,8 a 7,1 g/cm³.

Brilho: Comumente, apresenta brilho adamantino, mas também pode exibir brilho metálico ou submetálico, ou ainda fosco na superfície dos cristais e resinoso nas áreas de fratura.

Clivagem: Imperfeita (010), de difícil reconhecimento.

Fratura: Conchoidal.

Suscetibilidade magnética: Não atraível ao separador eletromagnético Frantz. Contudo, as cassiteritas escuras (ricas em ferro) são às vezes eletromagnéticas.

Relevo: Positivo altíssimo.

Índice de Refração: n_w: 1,990 - 2,010
n_e: 2,091 - 2,100

Pleocroísmo: Raramente apresentam pleocroísmo; quando presente, ele pode variar de muito fraco a forte, exibindo cores que vão de incolor a vermelho profundo.

Birrefringência (δ): Muito forte (0,096-0,098). As cores de interferência são extremamente intensas e brilhantes, mas podem ser mascaradas pelas igualmente intensas cores do mineral.

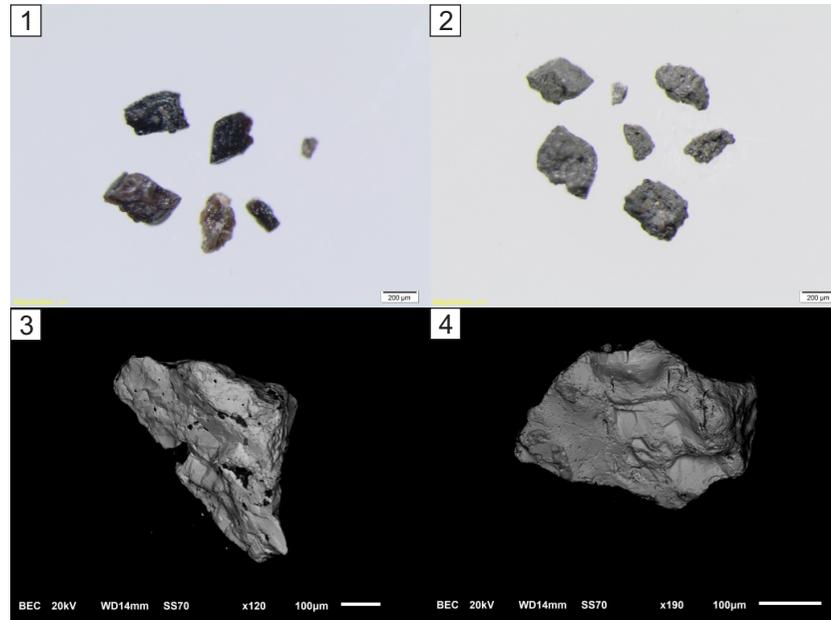
Extinção: Grãos euédricos e fragmentos prismáticos apresentam extinção reta.

Caráter óptico: Uniaxial positivo.

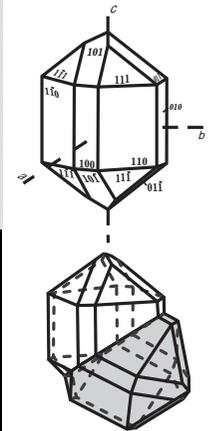
Figura de interferência: Grãos que exibem cores de interferência mais fracas apresentam uma figura uniaxial deslocada do centro. Normalmente, a determinação do sinal óptico é difícil.

Imagem 1. Grãos de cassiterita da estação CCL354, município de Santana dos Montes. Imagem 2. Os mesmos grãos da Imagem 1, contudo, com a película prateada recobrendo os grãos devido ao processo de estanhagem. Imagens 3 e 4. Imagens MEV (fusão do SE e BSE) de grãos de cassiterita também da estação CCL354. Imagem 5 e 6. Fotomicrografias dos grãos da mesma estação da Imagem 1. Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

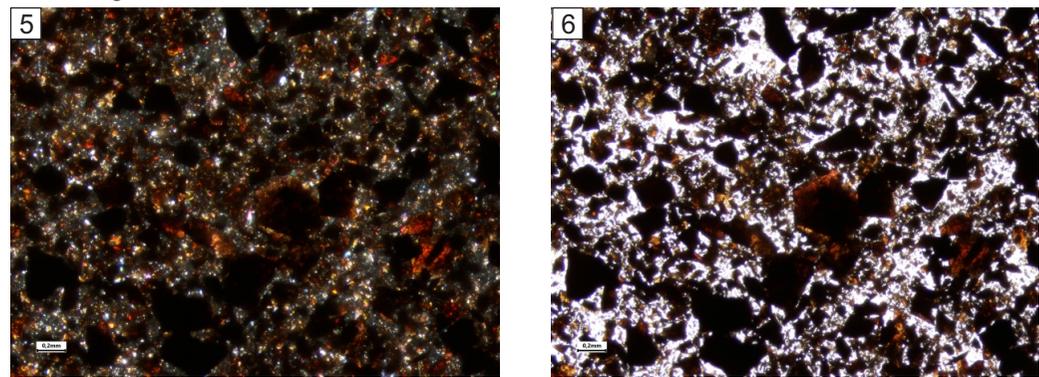
Fotografias



Sistema Cristalino



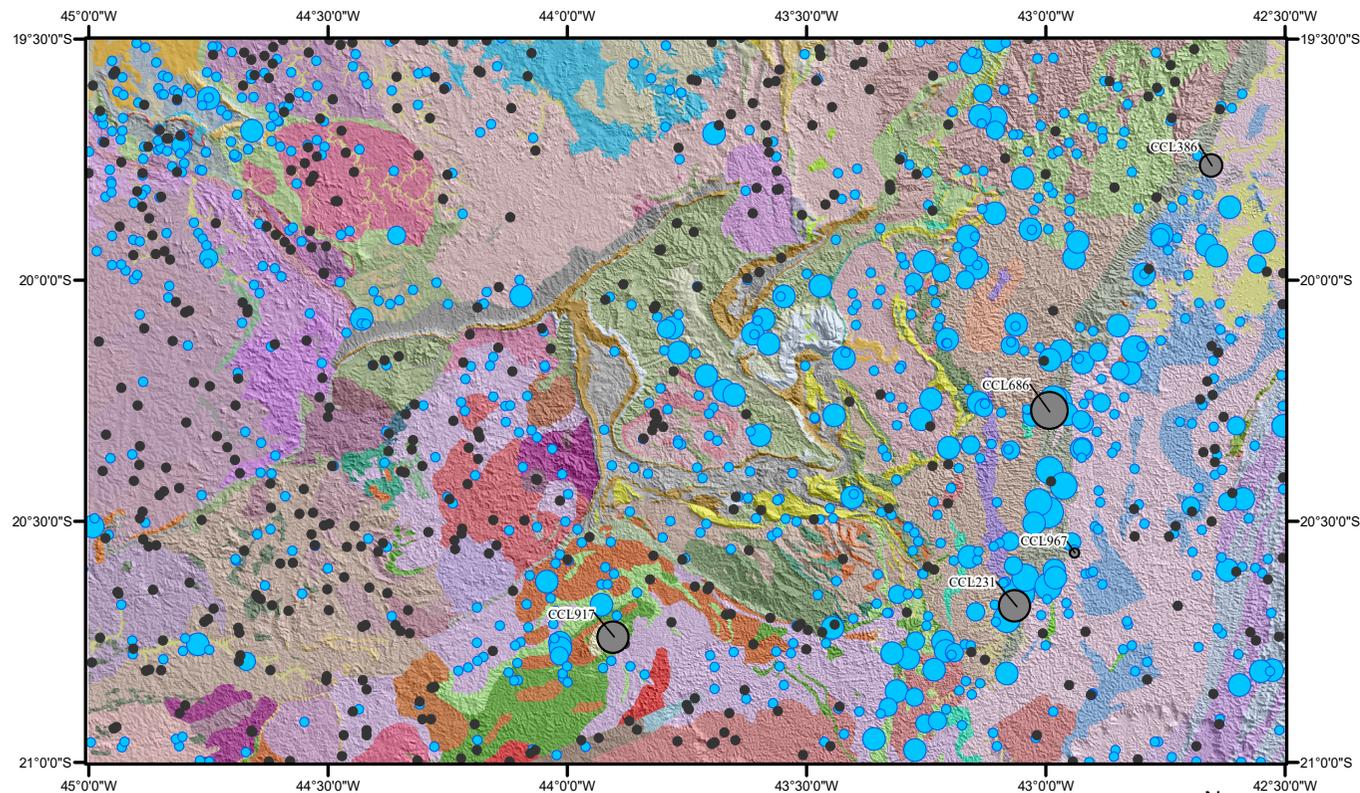
Fotomicrografias



Aumento: 4x, LN

Aumento: 4x, LP

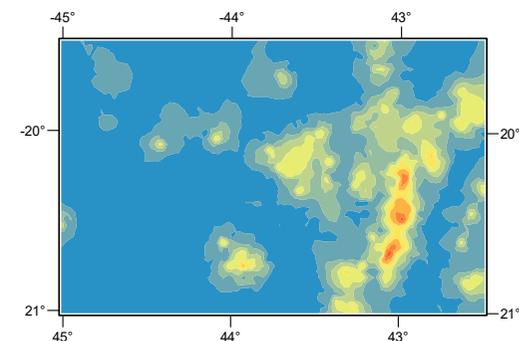
CIANITA



LEGENDA:

- Estação de coleta
 - <1
 - 1 - 5%
 - 5 - 25%
 - 25 - 50%
 - 50 - 75%
 - 75 - 100%
- N Lab ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



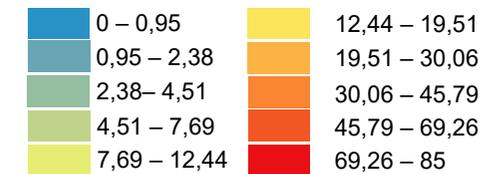
Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



N
Datum: SIRGAS 2000

Modo de distribuição

A cianita está presente em 770 amostras distribuídas pela área de estudo, apresentando uma ampla variação de concentração, que pode variar de menos de 1% a mais de 75%. Em 639 estações de amostragem, a cianita ocorre em concentrações menores do que 1%, em 40 estações, entre 1 e 5%, em 77, entre 5 e 25%, em 8, ficou entre 25 e 50%, em 5, ficou entre 50 e 75% e, em apenas uma estação, atingiu um máximo de 75 a 100%. As maiores concentrações de grãos de cianita encontram-se nas proximidades do contato do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga com o Grupo Dom Silvério, na porção leste da área de estudo.



Al_2SiO_5 **Principais Características Diagnósticas:**

Sistema Cristalino: Triclínico.

Cor: Frequentemente azul, muitas vezes apresentando uma tonalidade mais escura em direção ao centro do mineral. Também pode ocorrer nas cores branca, cinza ou verde. A coloração pode aparecer em traços ou manchas irregulares.

Dureza: 4 a 5, paralelamente ao comprimento dos cristais (100), e 7, em ângulos retos a essa direção (010).

Densidade: 3,55 a 3,66 g/cm³.

Brilho: Vítreo a nacarado.

Clivagem: Clivagem muito fácil (100); clivagens (010) e (001) perpendiculares, com aspecto de fraturas, bem visíveis nas faces dos grãos.

Fratura: Irregular, em degraus tipo "escada".

Suscetibilidade magnética: Não atraível ao separador eletromagnético Frantz.

Relevo: Positivo alto.

Índice de Refração: nw: 1,712 - 1,718
ne: 1,721 - 1,723
ny: 1,727 - 1,734

Pleocroísmo: Ausente. Contudo, em espécimes de cor azul apresentam pleocroísmo fraco.

Birrefringência (δ): Normalmente, apresentam cores de interferência de primeira ordem (0,012-0,016), em tons de cinza e amarelo. Em grãos mais espessos, essas cores podem evoluir para interferência de segunda ordem, exibindo tonalidades laranja, roxo e azul. A variação na espessura dos grãos, com uma forma irregular em degraus, frequentemente resulta em uma disposição espetacular das cores de interferência: bordas mais finas apresentam um cinza-pálido, enquanto as partes mais espessas exibem roxo-profundo ou azul-intenso.

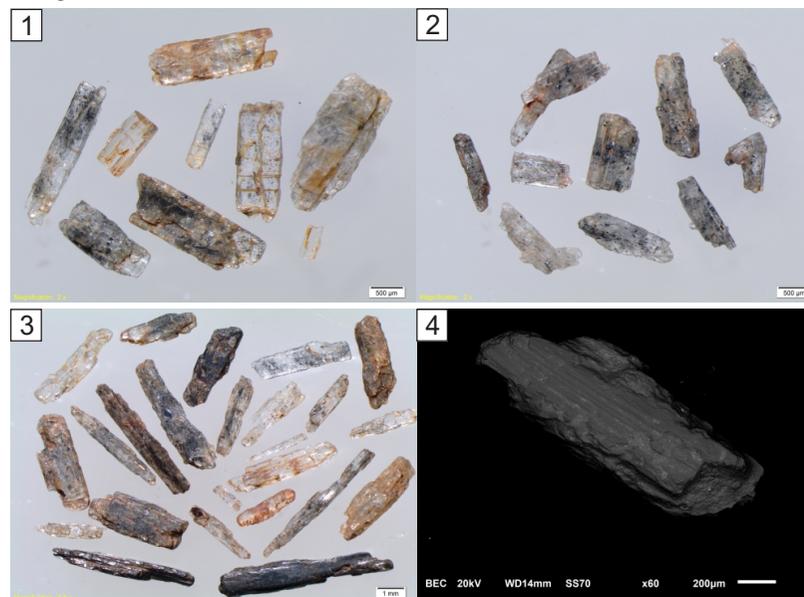
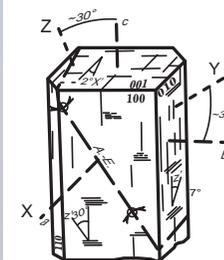
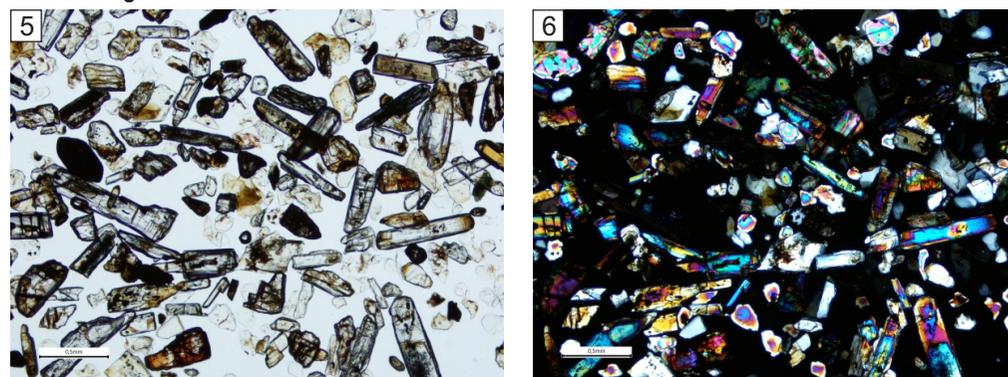
Extinção: O ângulo de extinção medido em (100) é grande, em torno de 30 graus. Em contraste, os grãos dispostos em (010) apresentam uma extinção quase reta, com um ângulo de aproximadamente 5 graus.

Caráter ótico: Biaxial negativo.

Figura de interferência: Secções (100) fornecem figuras de interferência bem centradas ou quase centradas com um grande ângulo 2V:82°.

Elongação: Positiva (+).

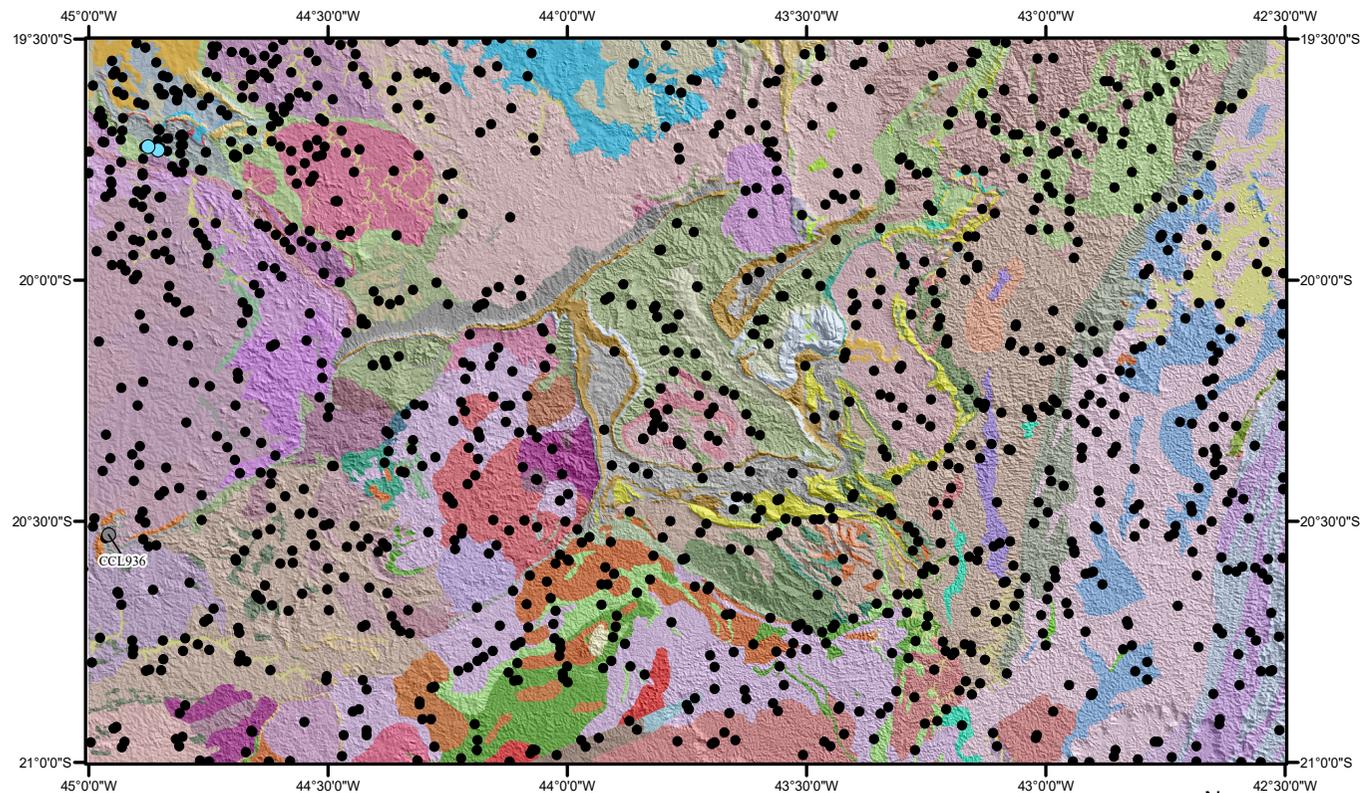
Imagem 1. Grãos de cianita da estação CCL386, município de Marliéria. Imagem 2. Grãos de cianita da estação CCL967, município de Guaraciaba. Imagem 3. Grãos de cianita da estação CCL686, município de Barra Longa. Imagem 4. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de grão de cianita da estação CCL917, município de Queluzito. Imagens 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de cianita da estação CCL231. Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

Fotografias**Sistema Cristalino****Fotomicrografias**

Aumento: 4x, LN

Aumento: 4x, LP

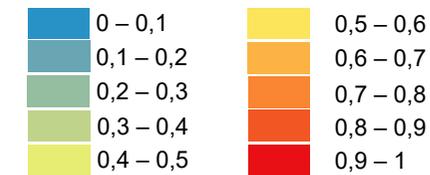
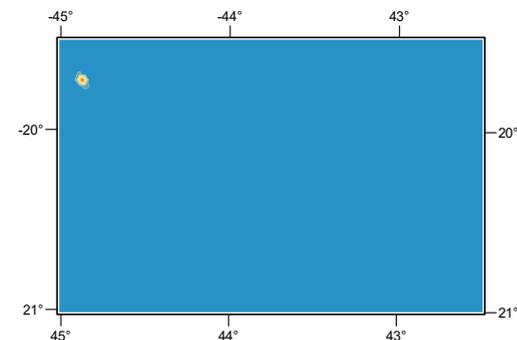
CÓRINDON



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- N Lab ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



Datum: SIRGAS 2000

Modo de distribuição

O coríndon foi encontrado em apenas três amostras em toda a área de estudo, todas com quantidades inferiores a 1%. Vale destacar que essas estações são contíguas e drenam o Biotita Granito Casquilho, localizado no extremo noroeste da área de estudo, em associação com rochas do *Greenstone Belt* Pitangui.



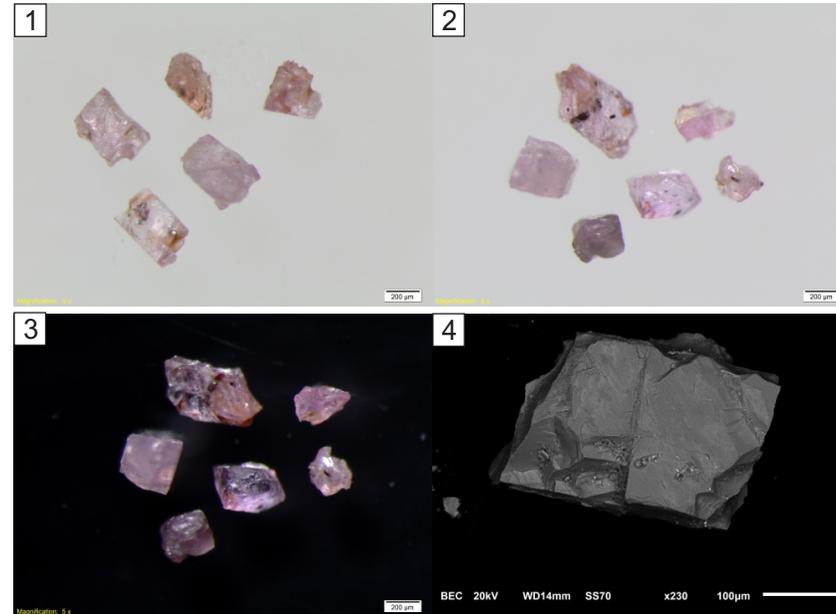
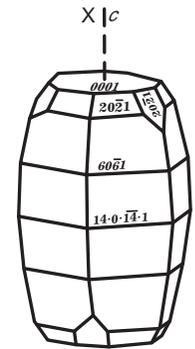
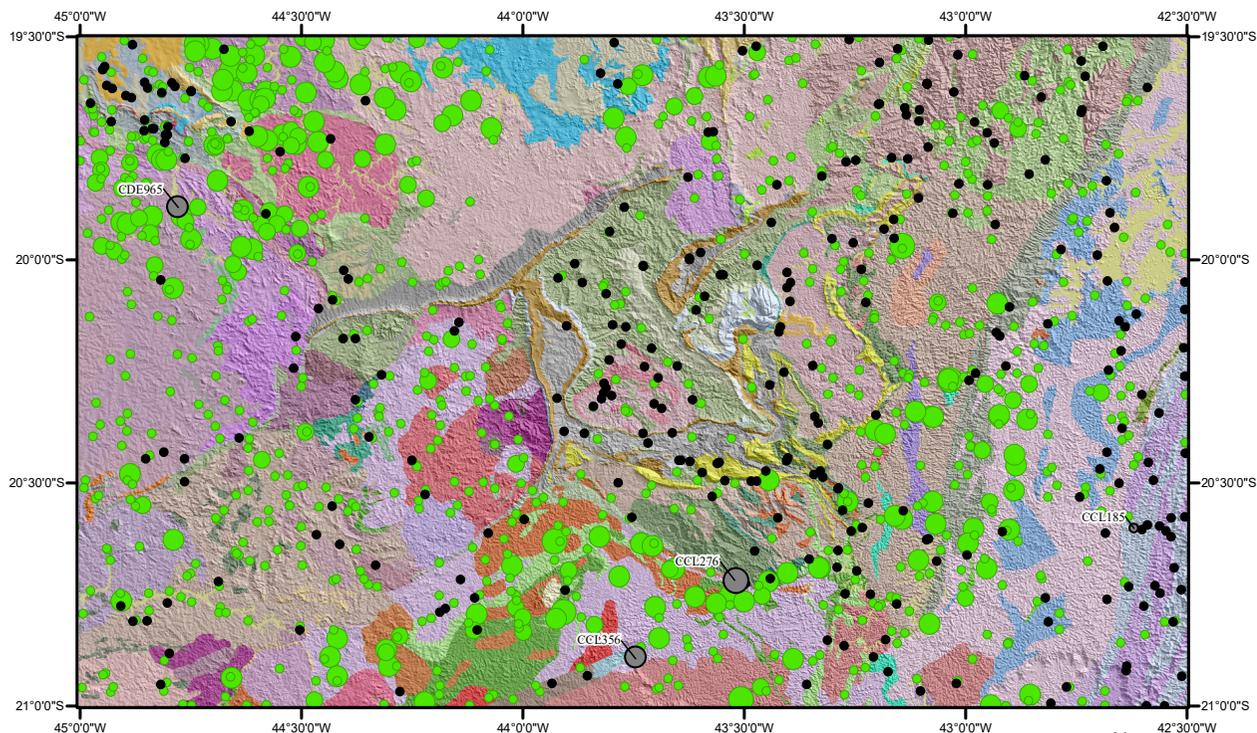
**Principais Características Diagnósticas:****Sistema Cristalino:** Hexagonal.**Cor:** A coloração é variável, sendo comumente castanho, rosa ou azul. Também pode ser branco, cinza, verde, vermelho-rubi ou azul-safira. Podendo ser transparente a opaco.**Dureza:** 9.**Densidade:** 3,98 a 4,02 g/cm³.**Brilho:** Adamantino a vítreo.**Clivagem:** Partição em (0001) e (10 $\bar{1}$ 1), normalmente não visível/ausente.**Fatura:** Irregular ou finamente conchoidal.**Suscetibilidade magnética:** Não atraível ao separador eletromagnético Frantz.**Relevo:** Positivo muito alto.**Índice de Refração:** n_w: 1,767 - 1,772
n_e: 1,760 - 1,763**Pleocroísmo:** A intensidade do pleocroísmo varia de fraca a muito forte.**Birrefringência (δ):** Fraca (0,008 - 0,009), porém, grãos muito finos exibem cores de interferência anormalmente altas de terceira ordem. Além disso, a cor mineral, que pode ser intensa, pode mascarar os tons de interferência.**Extinção:** Grãos alongados apresentam extinção reta.**Caráter ótico:** Uniaxial negativo.**Figura de interferência:** Boas figuras de interferência são observadas apenas em cortes basais.**Fotografias**

Imagem 1, 2 e 3. Grãos de coríndon da estação CCL936, município de Carmo da Mata. Imagem 4. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de grão de coríndon também da estação CCL936 (Imagens 1, 2 e 3).

Sistema Cristalino

EPÍDOTO



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno

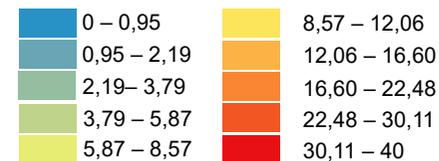
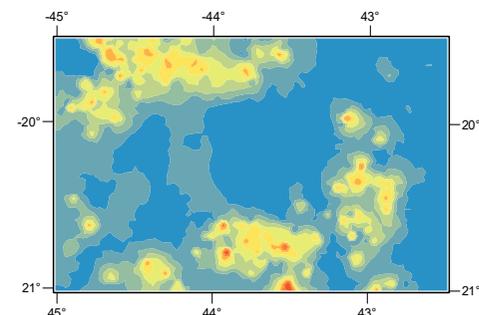
Modo de distribuição

O epidoto está presente em 903 amostras distribuídas pela área de estudo. Em 708 dessas amostras, ele ocorre normalmente em quantidades menores que 1%. Já em 69 pontos, a concentração de epidoto varia entre 1% e 5%, enquanto em 119 pontos, essa concentração está entre 5% e 25%. Em apenas 7 pontos, o epidoto atinge uma concentração máxima de 25% a 50%. As maiores concentrações de grãos de epidoto se encontram na porção noroeste da área de estudo, associadas às rochas do *Greenstone Belt* Pitangui e granitos que o circundam; a sul, relacionadas ao Cinturão Mineiro; e, ao sudeste, associada aos Complexos Mantiqueira e Santo Antônio do Pirapetinga.

LEGENDA:

- Estação de coleta
 - <1
 - 1 - 5%
 - 5 - 25%
 - 25 -50%
- N Lab. ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



N
Datum: SIRGAS 2000





Principais Características Diagnósticas:

Sistema Cristalino: Monoclínico.

Cor: Verde-amarelado a verde-escuro, não raramente, cinza ou preto. Transparente a translúcido.

Dureza: 6 a 7.

Densidade: 3,25 a 3,45 g/cm³.

Brilho: Vítreo ou resinoso.

Clivagem: Paralela ao alongamento do grão, sendo perfeita (001) e imperfeita (100).

Fratura: Irregular, em degraus tipo "escada".

Suscetibilidade magnética: A faixa de atração principal no separador eletromagnético Frantz é de 0,5A, contudo pode ocorrer entre 0,5A a 0,8A.

Relevo: Positivo alto.

Índice de Refração: n_x: 1,715 - 1,751
n_β: 1,725 - 1,784
n_y: 1,734 - 1,797

Pleocroísmo: Pode ser fraco ou distinto. Normalmente, nas cores amarelo-pálido, verde-pálido, amarelo-esverdeado ou verde-amarelado.

Birrefringência (δ): Moderada (0,015 - 0,049), mas aumenta para forte com o aumento do teor de Fe³⁺. As cores de interferência são brilhantes, variando entre tons de segunda e terceira ordens, com o verde predominando. Grãos grossos aparecem uniformemente verdes ou esverdeados sob polarizadores cruzados. Variedades pálidas podem exibir cores de polarização amarelas, laranja pálido e azuis.

Extinção: Grãos prismáticos apresentam extinção reta, paralela à clivagem, ou anômala, com ângulos de até 14°.

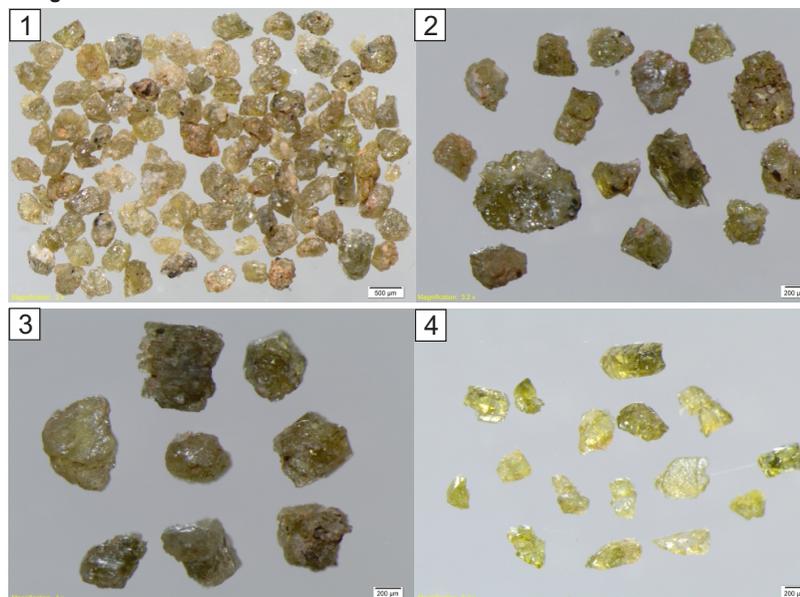
Caráter ótico: Biaxial negativo.

Figura de interferência: Comumente, apresenta figuras de eixo óptico com uma isógira quase reta, rodeada por numerosas curvas isocromáticas.

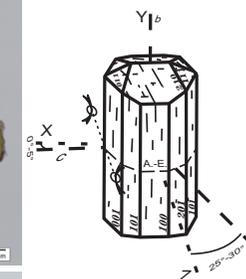
Elongação: Seções longitudinais apresentam alongação negativa (-) ou, ocasionalmente, positiva (+).

Imagem 1. Grãos de epidoto da estação CCL276, município de Catas Altas da Noruega. Imagem 2. Grãos de epidoto da estação CCL356, município de Caranaíba. Imagem 3. Grãos de epidoto da estação CCL185, município de Canaã. Imagem 4. Grãos de epidoto da estação CDE965, município de Igaratinga. Imagens 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de epidoto da estação CCL276. Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

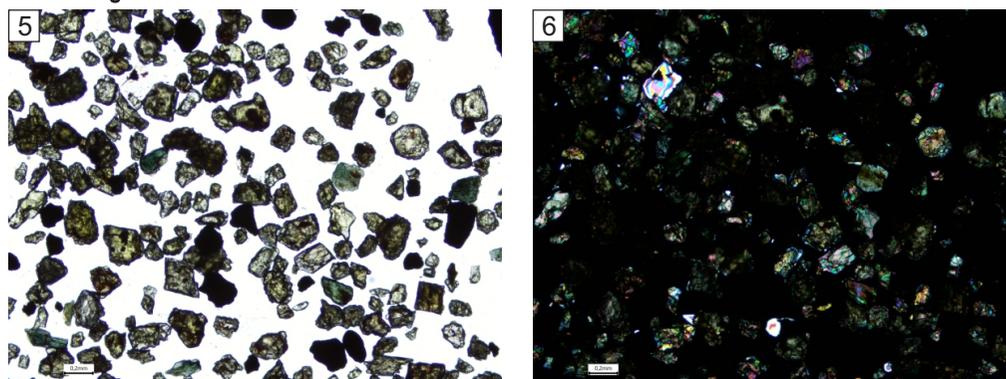
Fotografias



Sistema Cristalino



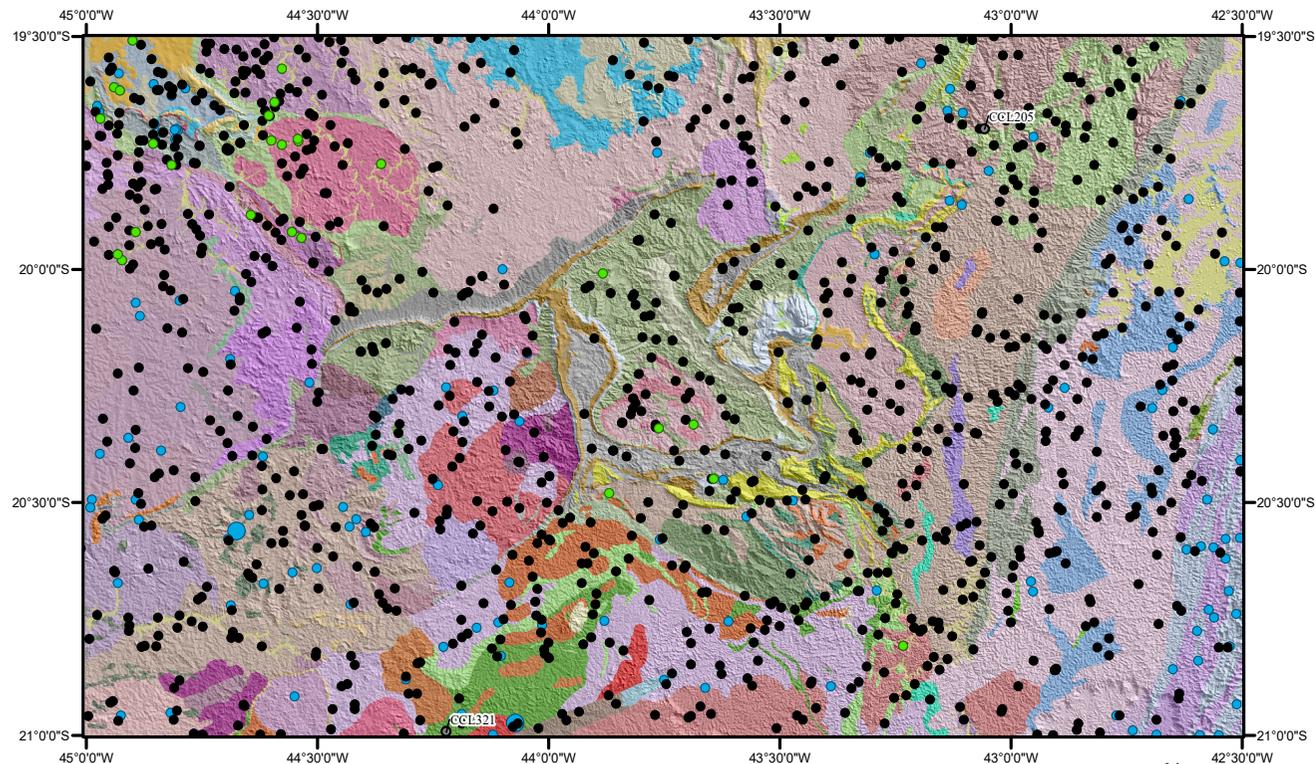
Fotomicrografias



Aumento: 4x, LN

Aumento: 4x, LP

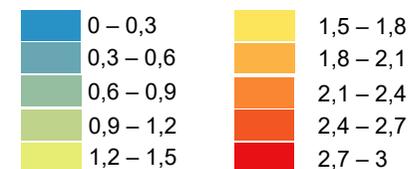
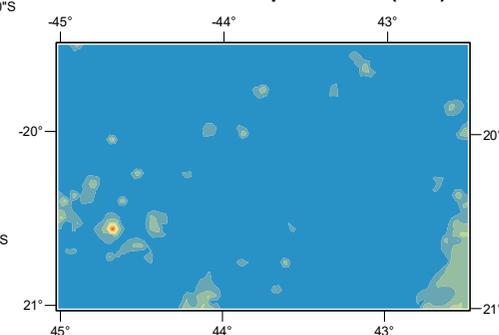
ESPINÉLIO



LEGENDA:

- Estação de coleta
 - N Lab
 - Estação com fotos
- | | |
|------------------|----------------|
| Espinélio | Gahnita |
| ● <1 | ● <1 |
| ● 1 - 5% | |

Mapa previewal - Espinélio Inverso da distância ponderada (IDW)



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno

Modo de distribuição

O espinélio está presente em 124 amostras distribuídas pela área de estudo, ocorrendo normalmente em quantidades menores que 1% e sendo detectado nesta concentração em 122 estações. Em apenas duas estações de amostragem, o espinélio atinge o valor máximo de 1 a 5%. As regiões que se destacam com maior presença de espinélio são: o extremo sudeste da área de estudo, associado ao sillimanita-granada-biotita gnaisses da unidade Conservatória e ao ortognaisse do Complexo Juiz de Fora; e a porção noroeste e oeste, relacionado ao *Greentone Belt* Pitangui e ao embasamento granito-gnáissico que o circunda. Já a gahnita está presente em apenas 26 amostras na área de estudo, sendo detectada em todas elas em quantidades menores que 1%.



Datum: SIRGAS 2000





A= Fe, Zn, Mn ou Mg e B=Al, Fe ou Cr

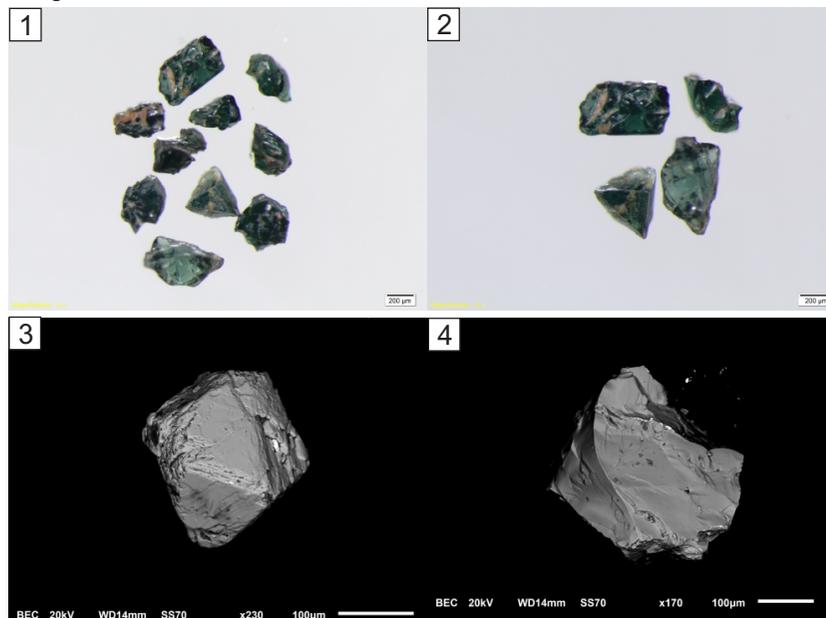
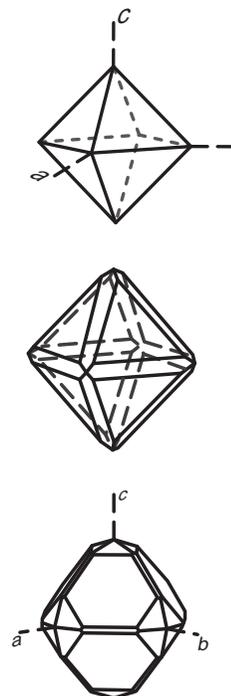
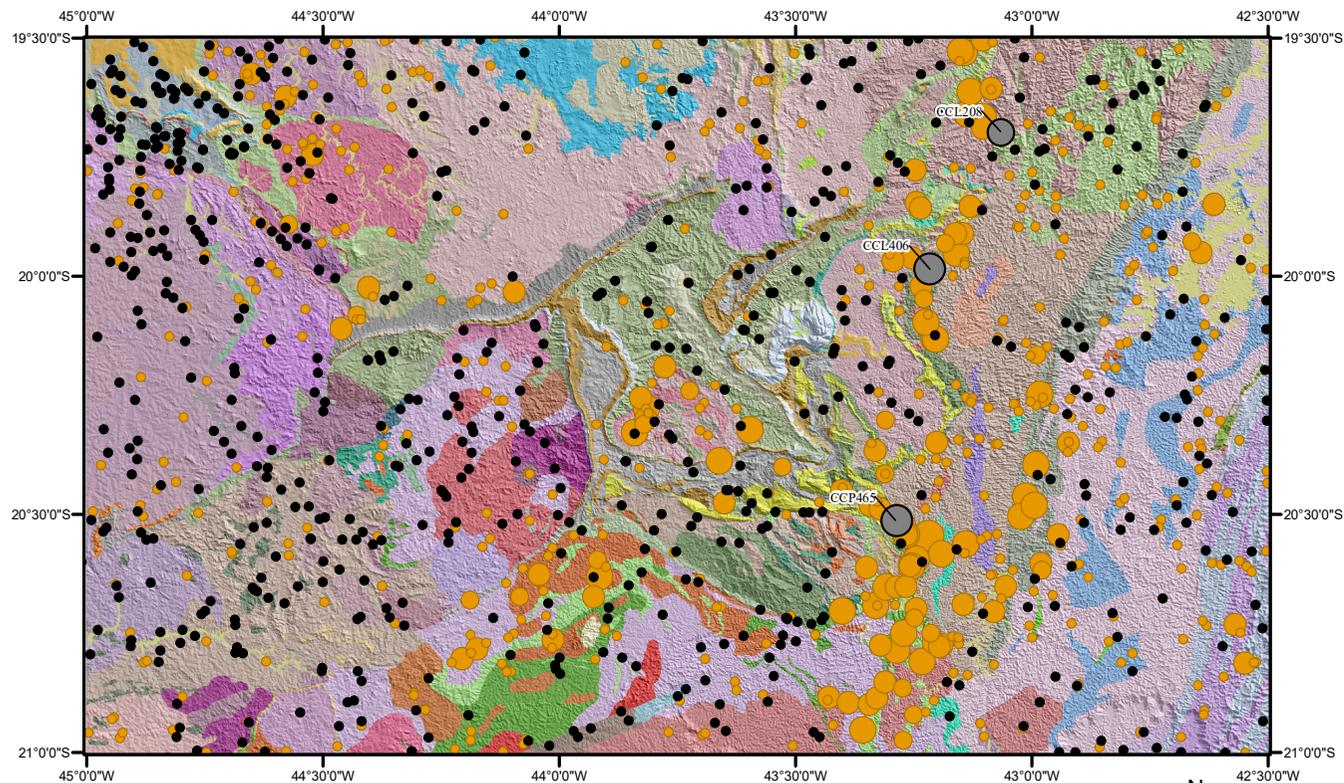
Gahnita $ZnAl_2O_4$ **Principais Características Diagnósticas:****Sistema Cristalino:** Cúbico.**Cor:** Ocorre em uma grande variedade de cores: branco, vermelho, azul, verde, castanho e preto. Usualmente translúcido podendo ser claro e transparente.**Dureza:** 8.**Densidade:** 3,5 a 4,1g/cm³.**Brilho:** Vítreo a gorduroso.**Clivagem:** Inexistente.**Fratura:** Irregular a Conchoidal.**Suscetibilidade magnética:** o espinélio ocorre a partir de 0,5A, até a fração não atraída no separador eletromagnético Frantz.**Relevo:** Positivo muito alto.**Índice de Refração:** 1,72 - 1,88**Pleocroísmo:** Normalmente, não possuem pleocroísmo.**Birrefringência (δ):** isótropo.**Extinção:** isótropo.**Caráter ótico:** isótropo.**Figura de interferência:** isótropo.**Elongação:** isótropo.**Fotografias**

Imagem 1. Grãos de gahnita da estação CCL205, município de Nova Era. Imagem 2. Detalhe dos grãos de gahnita da estação CCL205 (Imagem 1). Imagem 3. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de cristal de gahnita da estação CCL321, município de Coronel Xavier Chaves. Imagem 4. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de grão de gahnita também da estação CCL205 (Imagens 1 e 2).

Sistema Cristalino

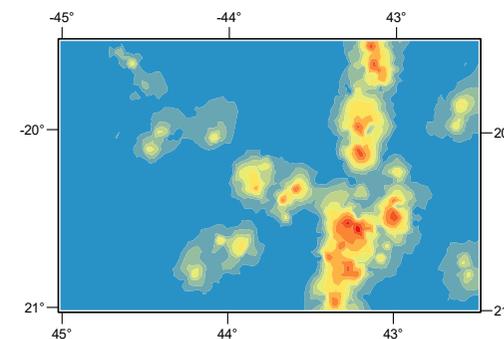
ESTAUROLITA



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- 1 - 5%
- 5 - 25%
- 25 - 50%
- 50 - 75%
- N Lab ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



- | | |
|--------------|---------------|
| 0 - 0,98 | 10,87 - 16,25 |
| 0,98 - 2,36 | 16,25 - 23,82 |
| 2,36 - 4,31 | 23,82 - 34,44 |
| 4,31 - 7,04 | 34,44 - 49,37 |
| 7,04 - 10,87 | 49,37 - 60 |

Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



Modo de distribuição

A estaurolita está presente em 568 amostras distribuídas pela área de estudo, exibindo uma significativa variação de concentração, que vai de menos de 1% até 50-75%. Em 454 estações de amostragem, a estaurolita ocorre em concentrações menores do que 1%, em 20 estações, entre 1 e 5%, em 57, entre 5 e 25%, em 33, ficou entre 25 e 50% e, em apenas 4 estações, atingiu um máximo de 50 a 75%. As maiores concentrações de grãos de estaurolita estão localizadas próximo ao limite leste do Quadrilátero Ferrífero, formando um *trend* N-S e associadas às estações que drenam principalmente rochas do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga e do Grupo Barbacena.





Principais Características Diagnósticas:

Sistema Cristalino: Monoclínico, pseudo-ortorrômbico.

Cor: Castanho-vermelho a preta-acastanhado. Sendo transparente a translúcida.

Dureza: 7 a 7,5.

Densidade: 3,65 a 3,83 g/cm³.

Brilho: Resinoso a vítreo, muitas vezes opaco a terroso quando alterado ou impuro.

Clivagem: Raramente visíveis.

Fratura: Subconchoidal, as vezes em forma de dentes de serra "dentada".

Suscetibilidade magnética: Atraída de 0,5A a 0,6A no separador eletromagnético Frantz.

Relevo: Positivo muito alto.

Índice de Refração: n_α: 1,739 - 1,747
n_β: 1,745 - 1,753
n_γ: 1,752 - 1,761

Pleocroísmo: A intensidade do pleocroísmo é influenciada pela espessura dos grãos, mas mesmo fragmentos finos e de cor clara apresentam pleocroísmo pouco intenso, contido claro e notável. α: incolor, β: amarelo-pálido e γ: amarelo-dourado.

Birrefringência (δ): Moderada, as cores de interferência variam de primeira a segunda ordem, passando de cinza ou amarelo para laranja, vermelho e verde-azulado em grãos mais espessos.

Extinção: Grãos euédricos mostram extinção reta.

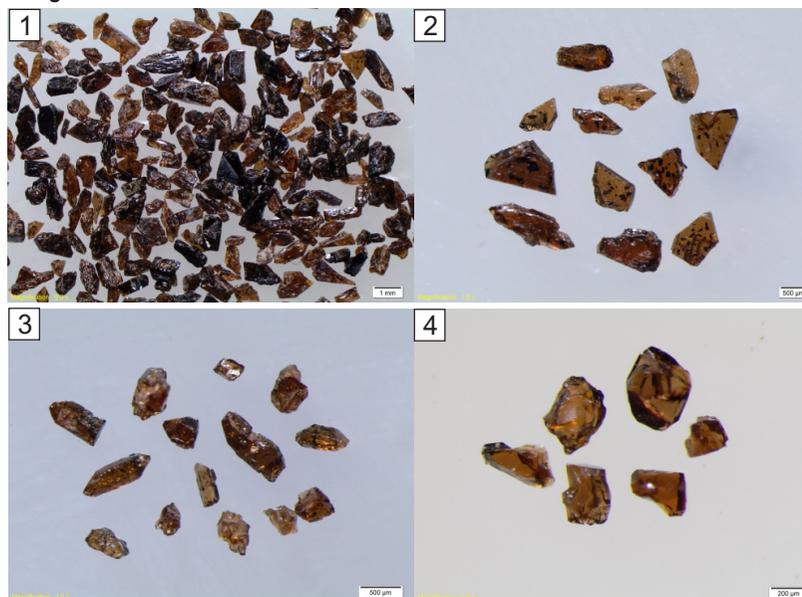
Caráter ótico: Biaxial positivo.

Figura de interferência: As seções basais produzem uma figura de bisetritz aguda deslocada do centro, embora o sinal seja difícil de discernir. Outras formas geram figuras pouco nítidas.

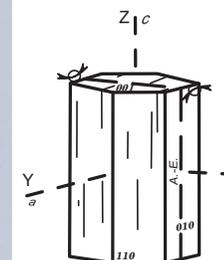
Elongação: Positiva (+).

Imagem 1. Grãos de estaurilita da estação CCP465, município de Piranga. Imagem 2. Detalhe dos grãos de estaurilita da estação CCP465 (foto1) mostrando a abundância de inclusões. Imagem 3. Grãos de estaurilita da estação CCL406, município de Rio Piracaba. Imagem 4. Grãos de estaurilita da estação CCL208, município de Nova Era. Imagens 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de estaurilita da estação CCL406 (foto 3). Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

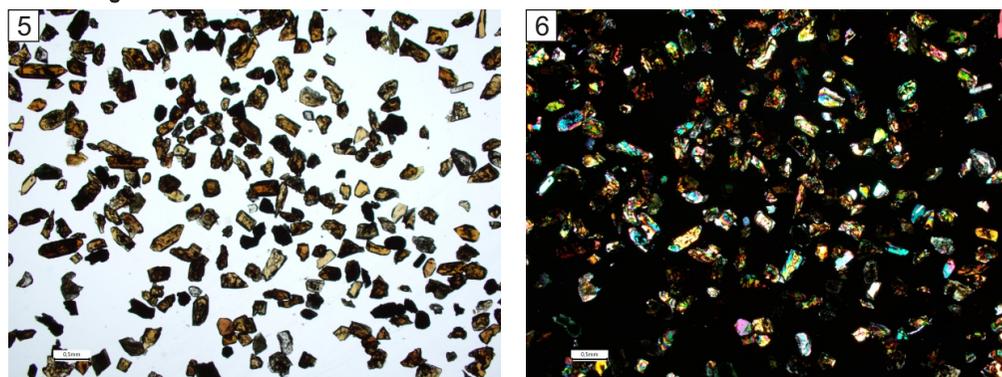
Fotografias



Sistema Cristalino



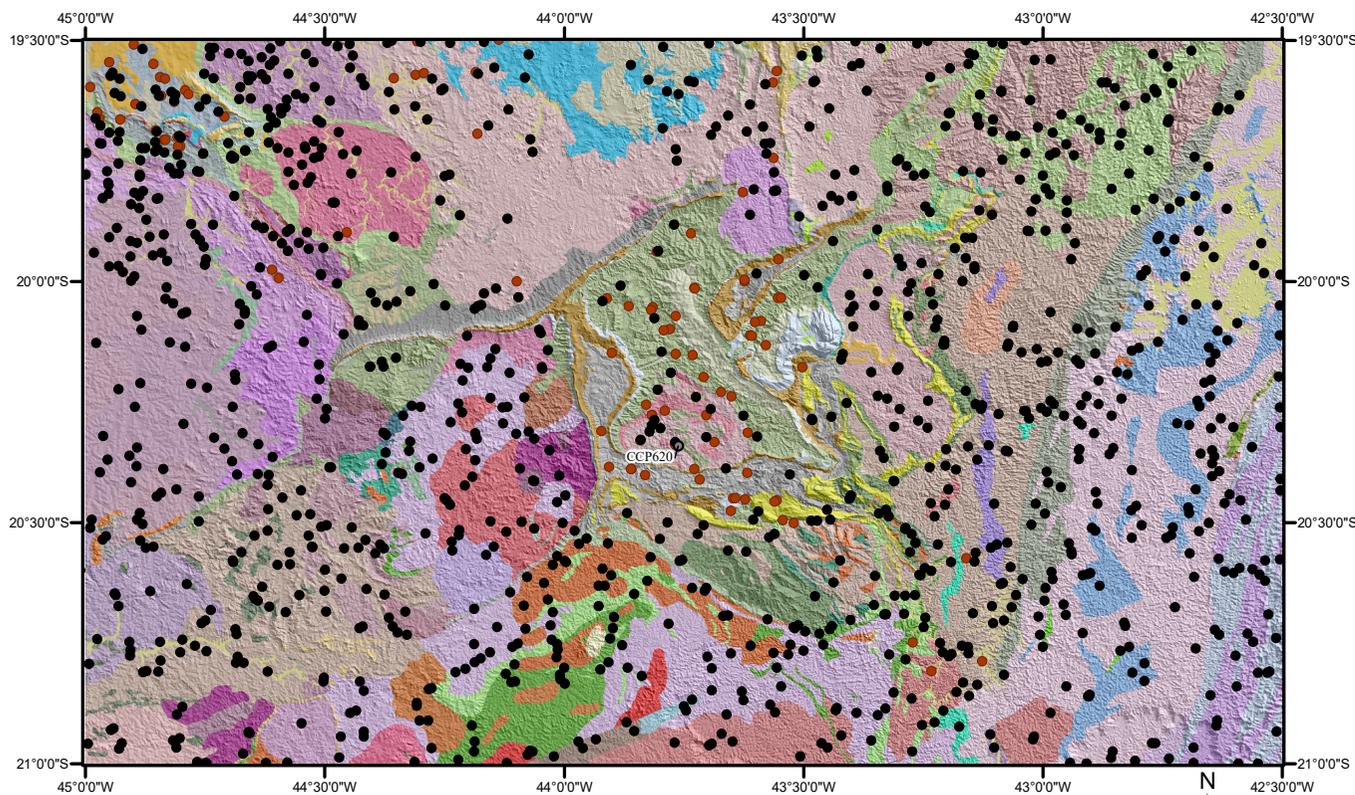
Fotomicrografias



Aumento: 2x, LN

Aumento: 2x, LP

GOETHITA



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno

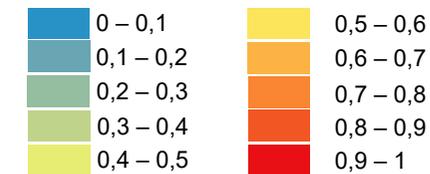
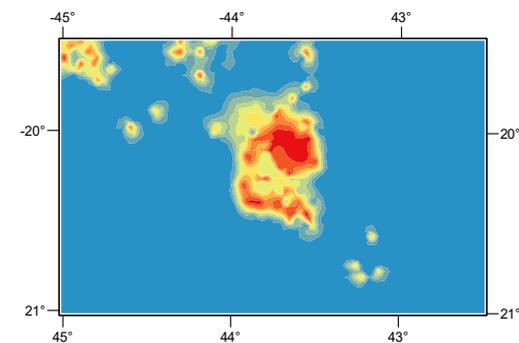


Datum: SIRGAS 2000

LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- N Lab ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



Modo de distribuição

A goethita está presente em 96 amostras na área de estudo, sendo detectada em quantidades menores que 1%. A maior concentração de estações com goethita ocorre na porção central da área, associada às rochas do Grupo Nova Lima, no Quadrilátero Ferrífero.



Fe³⁺O(OH)

Principais Características Diagnósticas:

Sistema Cristalino: Ortorrômbico.

Cor: Castanho-amarelado a castanho-escuro.

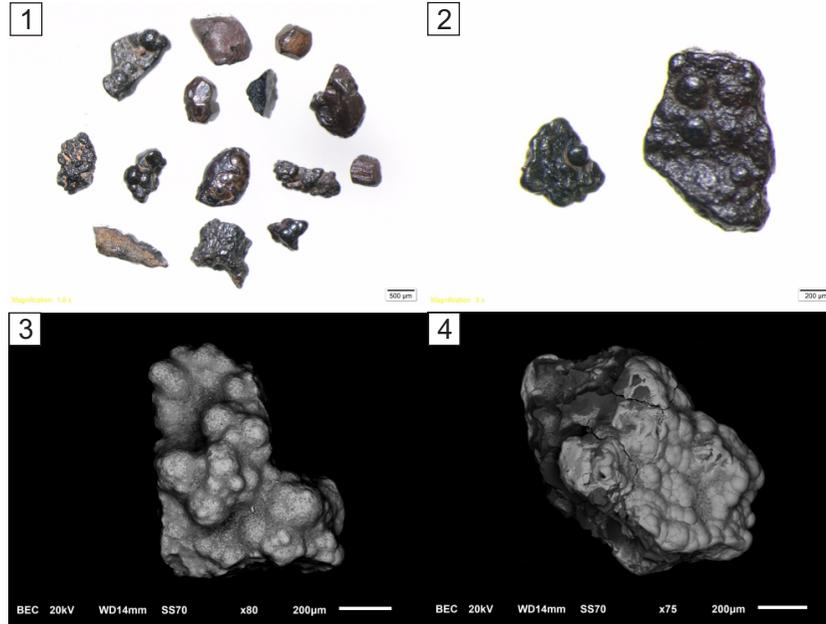
Dureza: 5 a 5,5.

Densidade: 4,37 g/cm³.

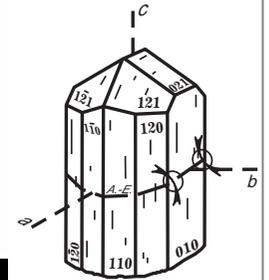
Brilho: Adamantino a opaco, sedoso em certas variedades finamente escamosas ou fibrosas.

Suscetibilidade magnética: a goethita é atraída entre 0,4A e 0,5A no separador eletromagnético Frantz.

Fotografias

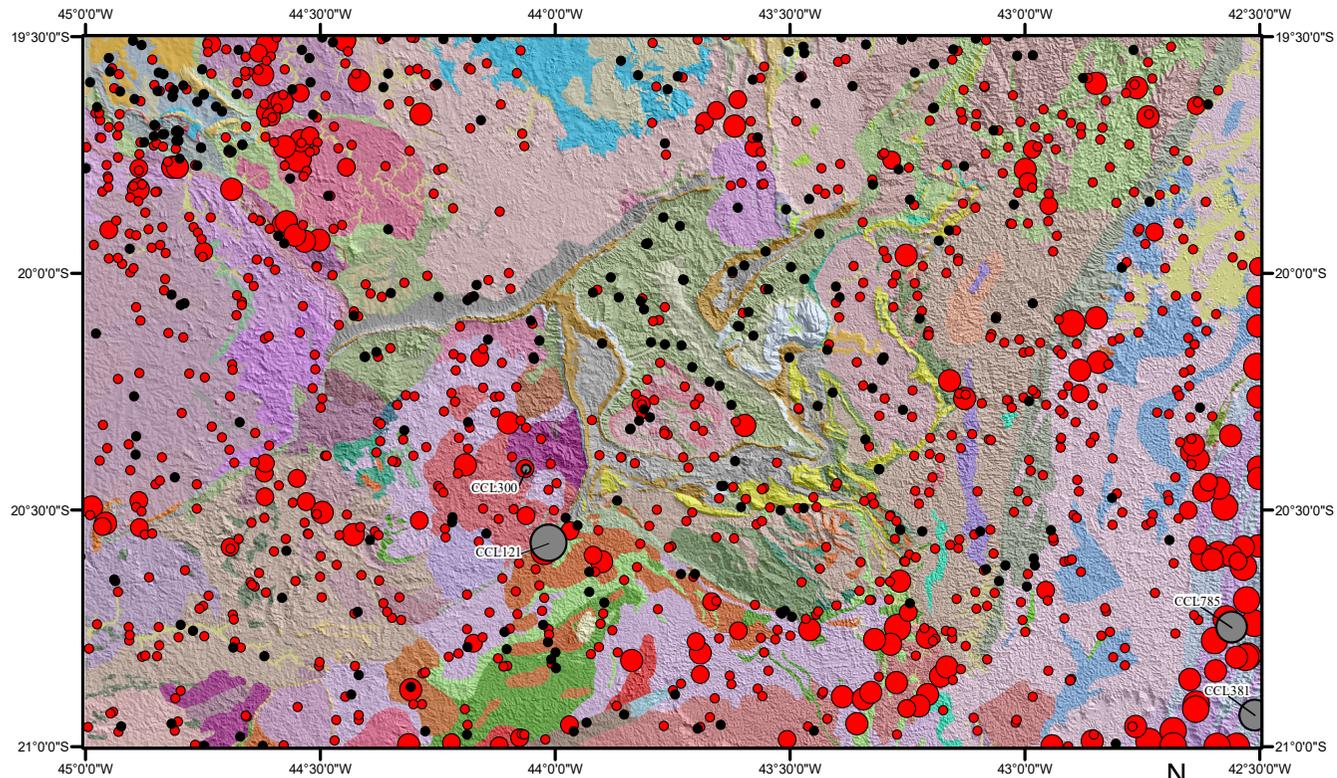


Sistema Cristalino



Imagens 1 e 2. Grãos de goethita da estação CCP620, município de Ouro Preto. Imagens 3 e 4. Imagens MEV (fusão do SE e BSE) de grãos de goethita também da estação CCP620 (imagens 1 e 2).

GRANADA



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno

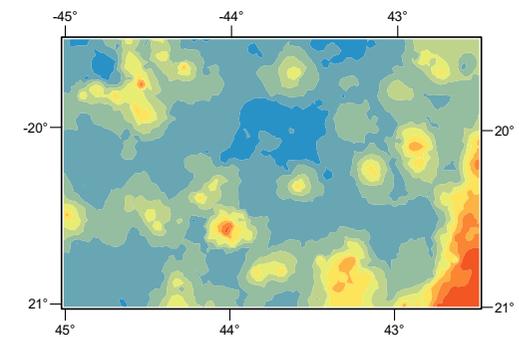
Modo de distribuição

A granada está presente em 948 amostras distribuídas pela área de estudo, apresentando uma ampla variação de concentração, que pode variar de menos de 1% a mais de 75%. Em 792 estações de amostragem, a granada ocorre em concentrações menores do que 1%, em 54 estações, entre 1 e 5%, em 77, entre 5 e 25%, em 22, ficou entre 25 e 50%, em 2, ficou entre 50 e 75% e em 1 estação, com um máximo de 75 a 100%. As maiores concentrações de grãos de granada estão associadas às estações que drenam a região do sillimanita-granada-biotita gnaiss da unidade Conservatória e do ortognaiss do Complexo Juiz de Fora, no extremo sudeste da área de estudo.

LEGENDA:

- Estação de coleta
 - <1
 - 1 - 5%
 - 5 - 25%
 - 25 - 50%
 - 50 - 75%
 - 75 - 100%
- N Lab ● Estação com fotos

Mapa previsional Inverso da distância ponderada (IDW)



- | | |
|-------------|---------------|
| 0 - 0,37 | 6,45 - 11,01 |
| 0,37 - 0,99 | 11,01 - 18,53 |
| 0,99 - 2,01 | 18,53 - 30,92 |
| 2,01 - 3,69 | 30,92 - 51,34 |
| 3,69 - 6,45 | 51,34 - 85 |



Datum: SIRGAS 2000





Principais Características Diagnósticas:

Sistema Cristalino: Cúbico.

Cor: Variável. A Almandina é translúcida e possui cor vermelha-acastanhada e a piropo possui uma coloração vermelha intensa, quase preta.

Dureza: 6,5 a 7,5.

Densidade: 3,5 a 4,3 g/cm³.

Brilho: Vítreo a resinoso.

Clivagem: Ausente ou fraca em (110).

Fatura: Subconchoidal.

Suscetibilidade magnética: Almandina é separada entre 0,3A e 0,4A e a piropo a 0,6A no separador eletromagnético Frantz.

Relevo: Muito alto.

Índice de Refração*: 1,714 - 1,887

Pleocroísmo: Não pleocróico.

Birrefringência (δ): Isótropo.

Extinção: isótropo.

Caráter ótico: isótropo.

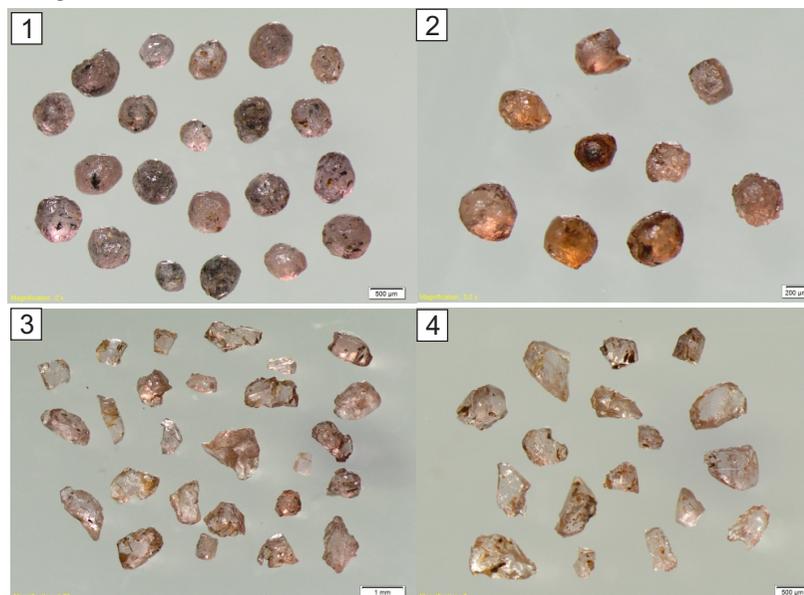
Figura de interferência: isótropo.

Elongação: isótropo.

*Índices mínimo e máximo correspondentes ao grupo das granadas.

Imagem 1. Grãos de granada da estação CCL121, município de Jeceaba. Imagem 2. Grãos de granada da estação CCL300, município de Belo Vale. Foto 3. Imagem de granada da estação CCL381, município de Muriaé. Imagem 4. Grãos de granada da estação CCL785, município de Araçuaia. Imagens 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de granada também da estação CCL121 (foto 1). Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

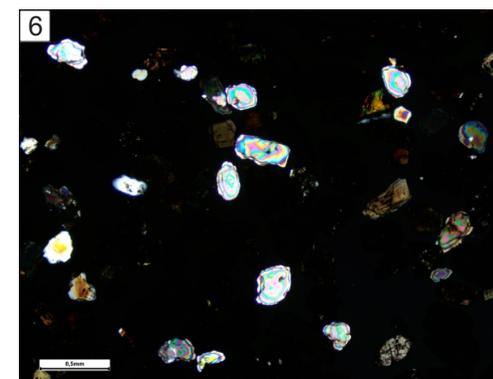
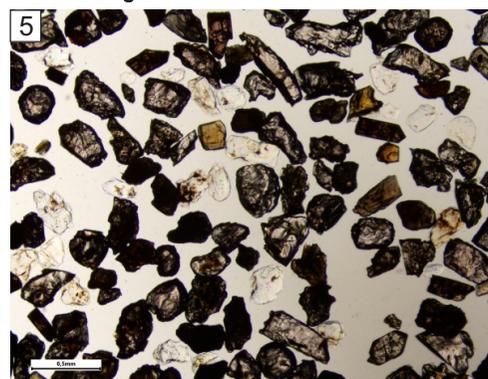
Fotografias



Sistema Cristalino



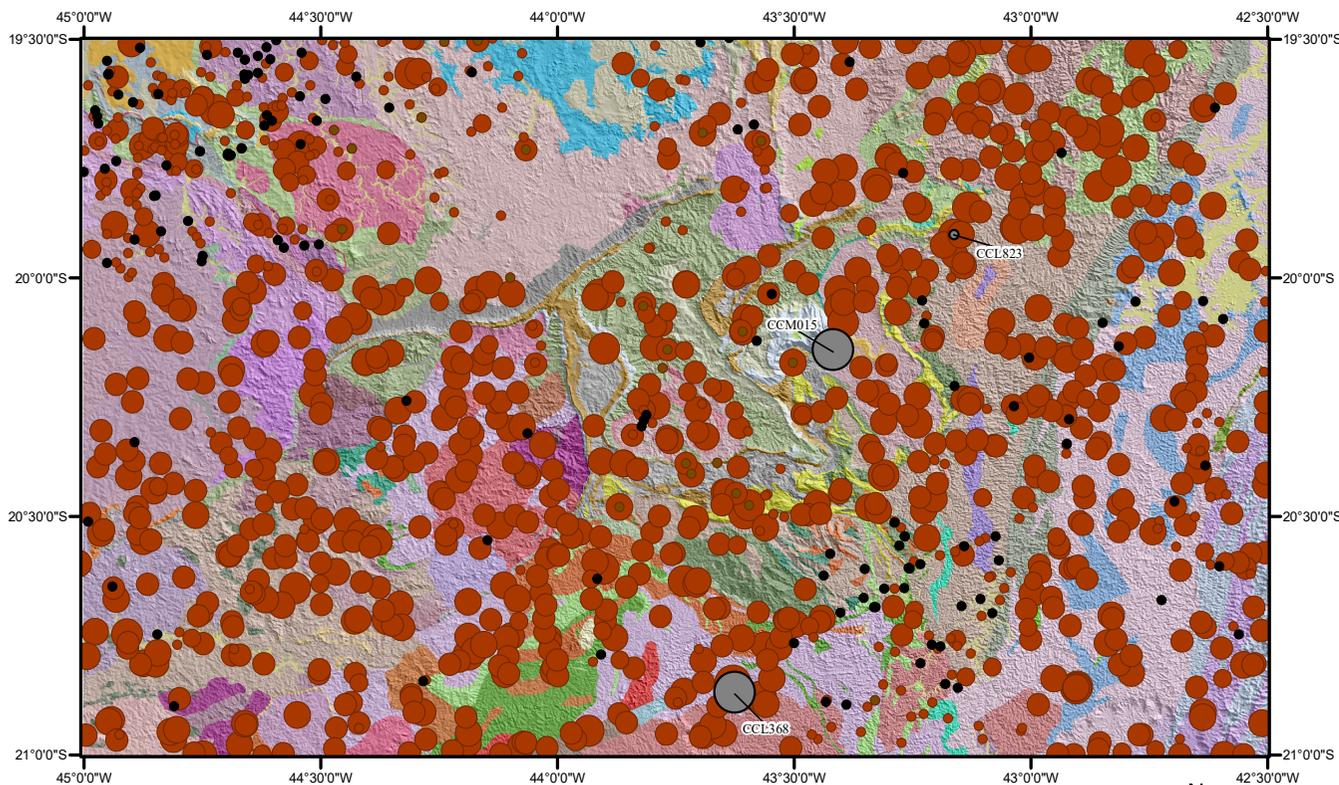
Fotomicrografias



Aumento: 4x, LN

Aumento: 4x, LP

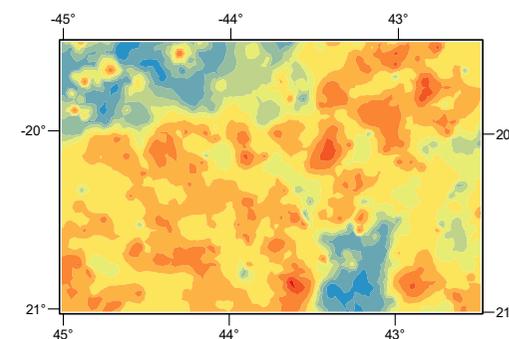
HEMATITA



LEGENDA:

- Estação de coleta
 - N Lab. ● Estação com fotos
- | Hematita | Especularita |
|-------------|--------------|
| ● <1 | ● <1 |
| ● 1 - 5% | |
| ● 5 - 25% | |
| ● 25 - 50% | |
| ● 50 - 75% | |
| ● 75 - 100% | |

Mapa previsual - Hematita Inverso da distância ponderada (IDW)

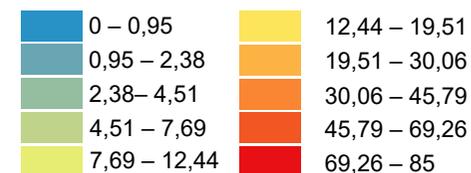


Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



Modo de distribuição

A hematita está presente em 1.068 amostras distribuídas pela área de estudo, apresentando uma ampla variação de concentração, que pode variar de menos de 1% a mais de 75%. Em 243 estações de amostragem, a hematita ocorre em concentrações menores do que 1%, em 84 estações, entre 1 e 5%, em 488, entre 5 e 25%, em 214, ficou entre 25 e 50%, em 36, ficou entre 50 e 75% e, em 3 estações, atingiu um máximo de 75 a 100%. Das estações com maiores concentrações de hematita, duas estão em bacias que drenam o Gnaiss Caatinga e a Suíte Ressaquinha, localizadas no Cinturão Mineiro, enquanto a terceira drena uma cobertura laterítica desenvolvida sobre o Complexo Santa Bárbara.



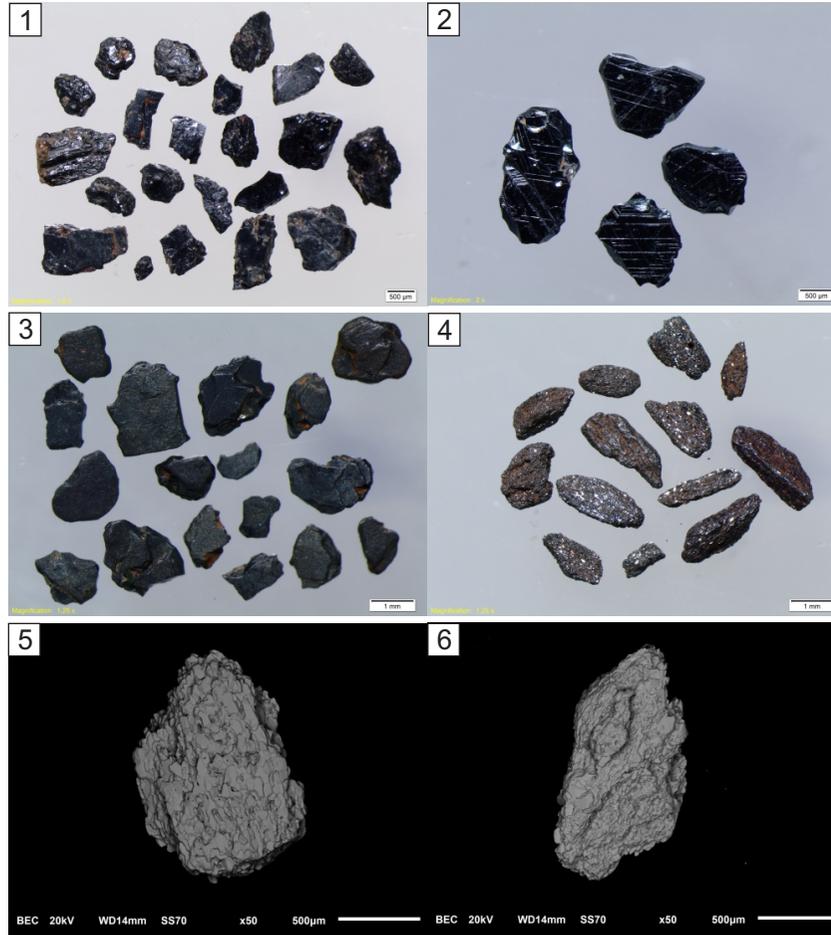
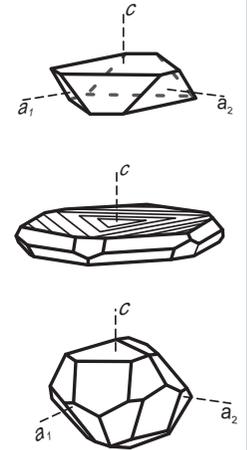
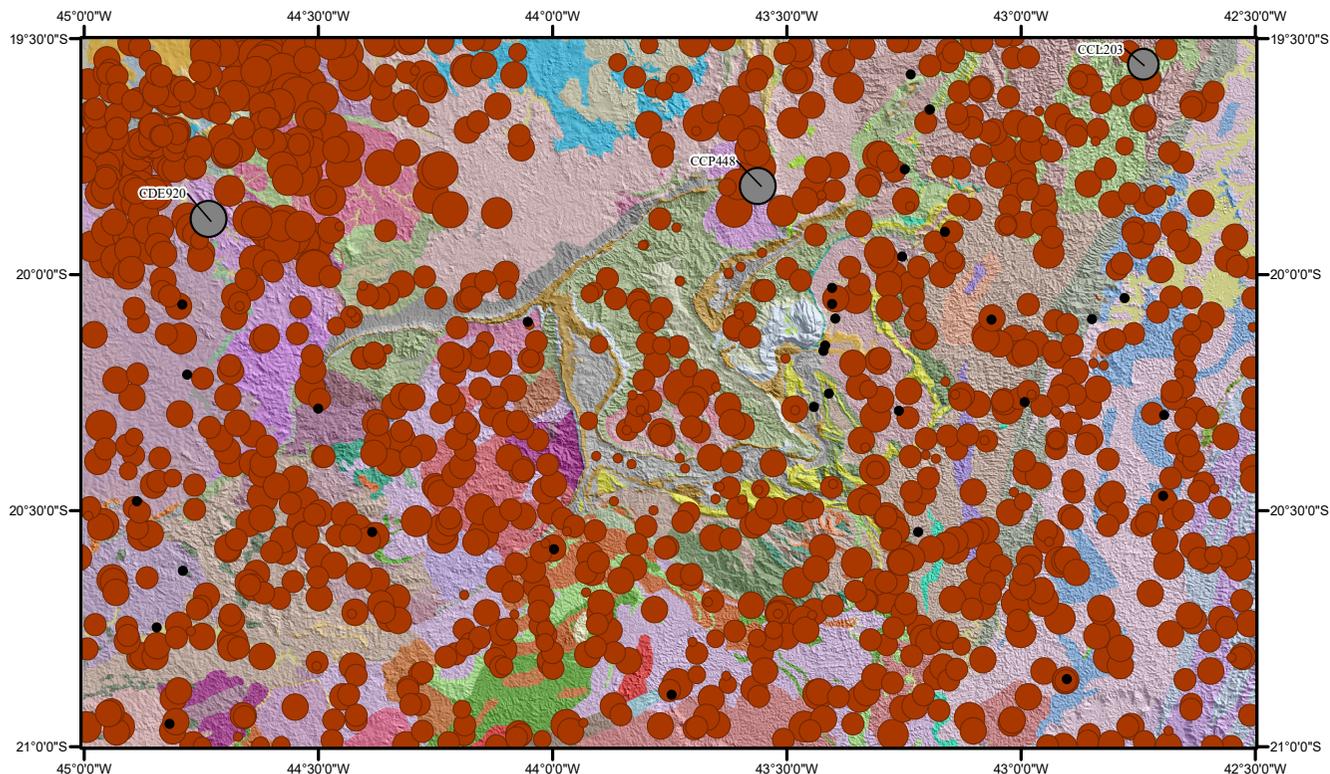
**Principais Características Diagnósticas:****Sistema Cristalino:** Hexagonal.**Cor:** Vermelha a preta.**Dureza:** 5,5 a 6,5.**Densidade:** 5,26 g/cm³.**Brilho:** Metálico ou resinoso.**Clivagem:** Partição em $(10\bar{1}1)$ com ângulos aproximadamente cúbicos, também em (0001) .**Suscetibilidade magnética:** A hematita ocorre entre 0,2A e 1A, mas a maior faixa de ocorrência no separador eletromagnético Frantz está entre 0,2A e 0,8A. Além disso, pode ser magnética devido a inclusões de magnetita.**Fotografias****Sistema Cristalino**

Imagem 1. Grãos de hematita da estação CCL368, município de Capela Nova. Imagem 2. Detalhe nos grãos de hematita da estação CCP448 (Imagem 1). Imagem 3. Grãos de hematita da estação CCL823, município de Rio Piracicaba. Imagem 4. Grãos de hematita da estação CCM015, município de Mariana. Imagens 5 e 6. Imagens MEV (fusão do SE e BSE) de grãos de hematita também da estação CCM015 (imagem 4).

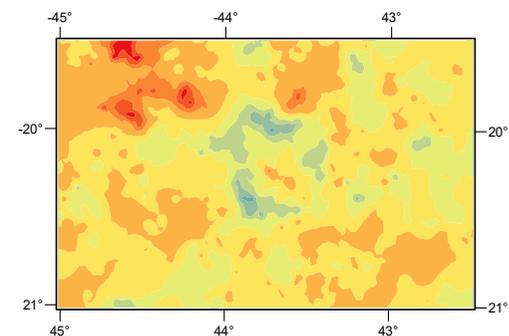
ILMENITA



LEGENDA:

- Estação de coleta
 - <1
 - 1 - 5%
 - 5 - 25%
 - 25 - 50%
 - 50 - 75%
 - 75 - 100%
- N Lab. ● Estação com fotos

Mapa previsional Inverso da distância ponderada (IDW)



0 – 0,96	18,64 – 32,95
0,96 – 2,61	32,95 – 57,49
2,61 – 5,44	57,49 – 71,79
5,44 – 10,30	71,79 – 80,13
10,30 – 18,64	80,13 – 85

Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



Datum: SIRGAS 2000

Modo de distribuição

A ilmenita está presente em 1.162 amostras distribuídas por toda a área de estudo, com concentrações variando de menos de 1% a mais de 75%. Em 83 estações de amostragem, a ilmenita ocorre em concentrações menores do que 1%, em 50 estações, entre 1 e 5%, em 415, entre 5 e 25%, em 395, entre 25 e 50%, em 147, entre 50 e 75% e, em 57 estações, atingiu um máximo de 75 a 100%. A ilmenita possui ampla distribuição em todas as faixas de concentração na área de estudo, sendo mais abundante na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero, notavelmente associada ao Batólito Pequeno e também no contato do Complexo Divinópolis com o *Greenstone Belt* Pitangui.





Principais Características Diagnósticas:

Sistema Cristalino: Romboédrico.

Cor: Preta.

Dureza: 5,5 a 6.

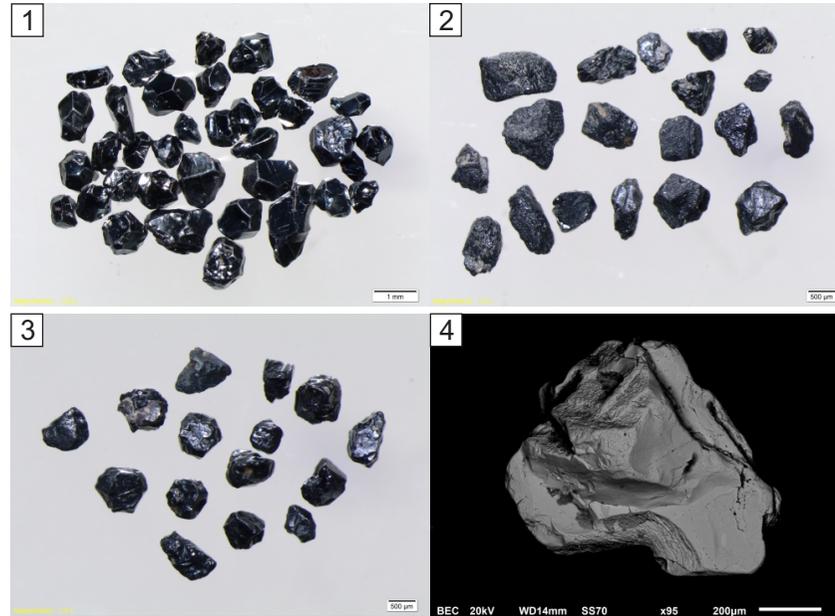
Densidade: 4,7 g/cm³.

Brilho: Metálico a submetálico.

Clivagem: Não observada/inexistente

Suscetibilidade magnética: A ilmenita ocorre entre 0,2A e 0,6A, mas a maior faixa de ocorrência no separador eletromagnético Frantz está entre 0,2A e 0,3A. Além disso, pode ser magnética devido a inclusões de magnetita.

Fotografias



Sistema Cristalino

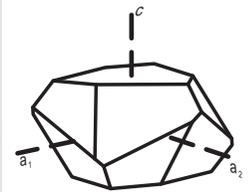
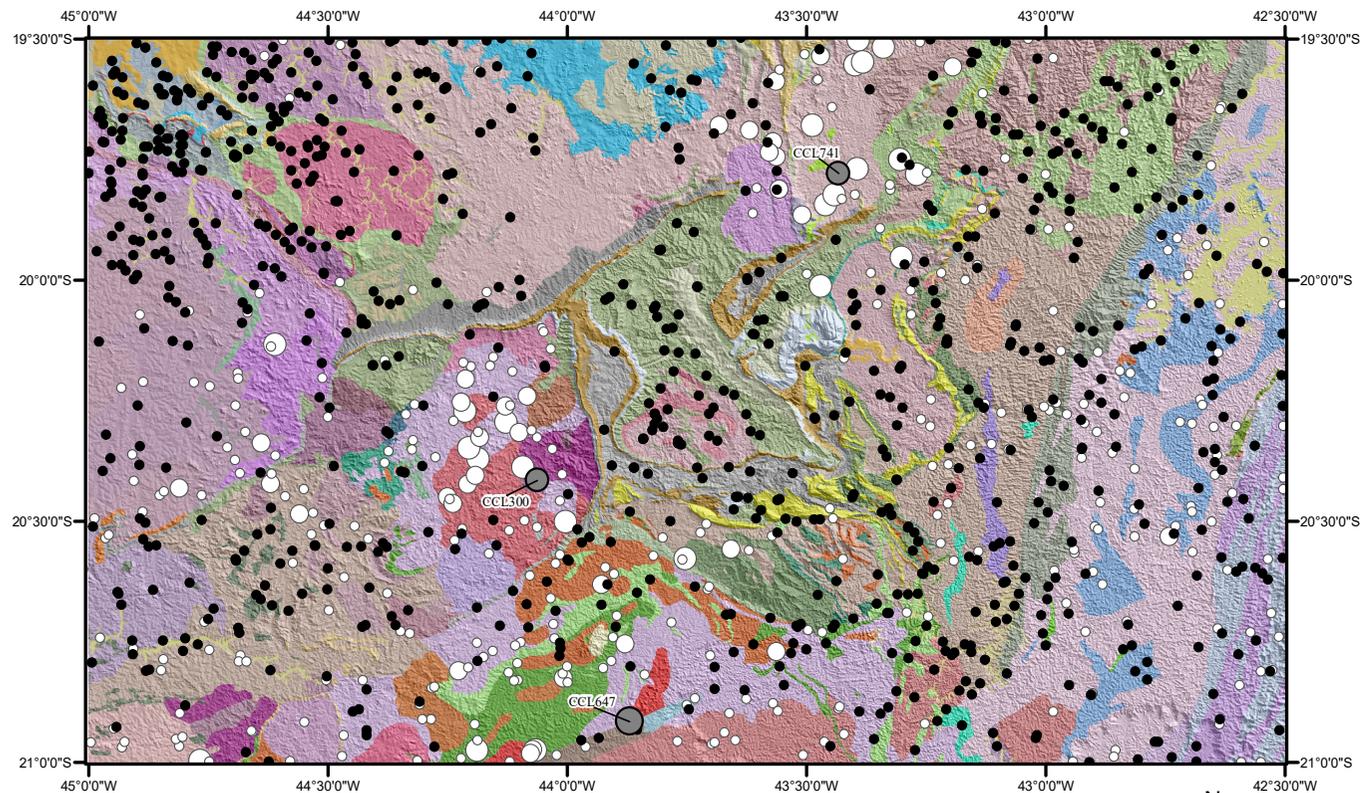


Imagem 1. Grãos de ilmenita da estação CCL203, município de Antônio Dias. Imagem 2. Grãos de ilmenita da estação CCP448, município de Caeté. Imagem 3. Grãos de ilmenita da estação CCP920, município de Pará de Minas. Imagem 4. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de grão de ilmenita da estação CCL448 (imagem 2).

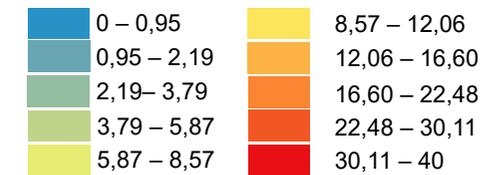
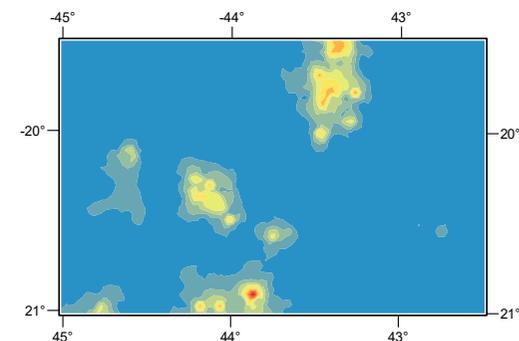
LEUCOXÊNIO



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- 1 - 5%
- 5 - 25%
- 25 - 50%
- N Lab ○ Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



Modo de distribuição

O leucoxênio está presente em 373 amostras distribuídas pela área de estudo. Em 313 dessas amostras, ele ocorre em quantidades menores que 1%. Já em 34 pontos, a concentração de leucoxênio varia entre 1% e 5%, enquanto em 125 pontos, essa concentração está entre 5% e 25%. Em apenas 1 ponto, o leucoxênio atinge uma concentração máxima de 25% a 50%. Os grãos de leucoxênio estão mais abundantemente presentes nos pláceres que drenam o Granito Bituri, a oeste da Serra da Moeda, e a porção leste do Complexo Belo Horizonte.



Principais Características Diagnósticas:

Ocorre segundo a alteração da ilmenita, rutilo, anatásio, titanita e perovskita. O teor em TiO_2 depende do grau de alteração desses minerais. O leucoxênio pode ser amorfo ou possuir variados graus de cristalinidade.

Cor: Variável. Esbranquiçado, amarelo-creme, marrom-acinzentado ou acastanhado, marrom e cinza.

Dureza: <5.

Densidade: 2,9 a 3,9 g/cm³.

Brilho: Não metálico.

Clivagem: Não observada/inexistente.

Fratura: Conchoidal a irregular.

Suscetibilidade magnética: O leucoxênio ocorre entre 0,4A até a fração não atraída, contudo é mais abundante acima de 1,5A (Amáx).

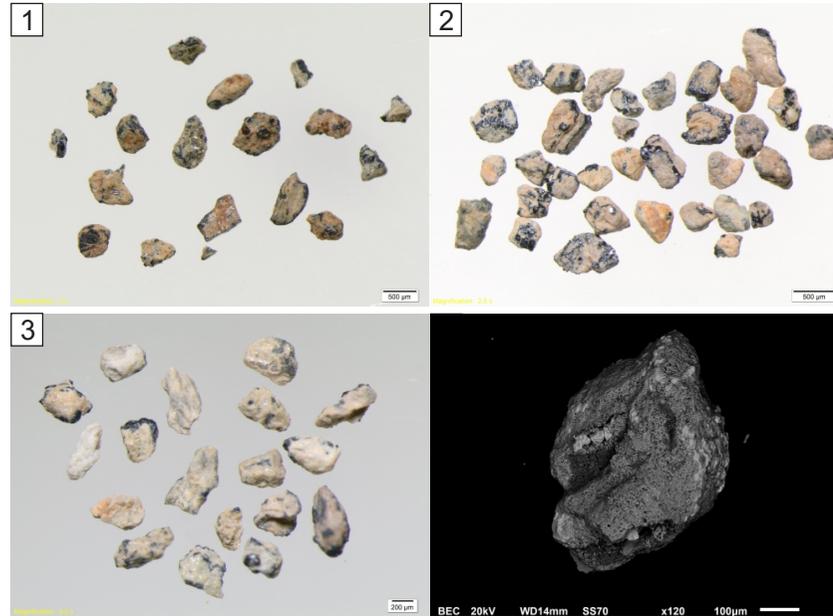
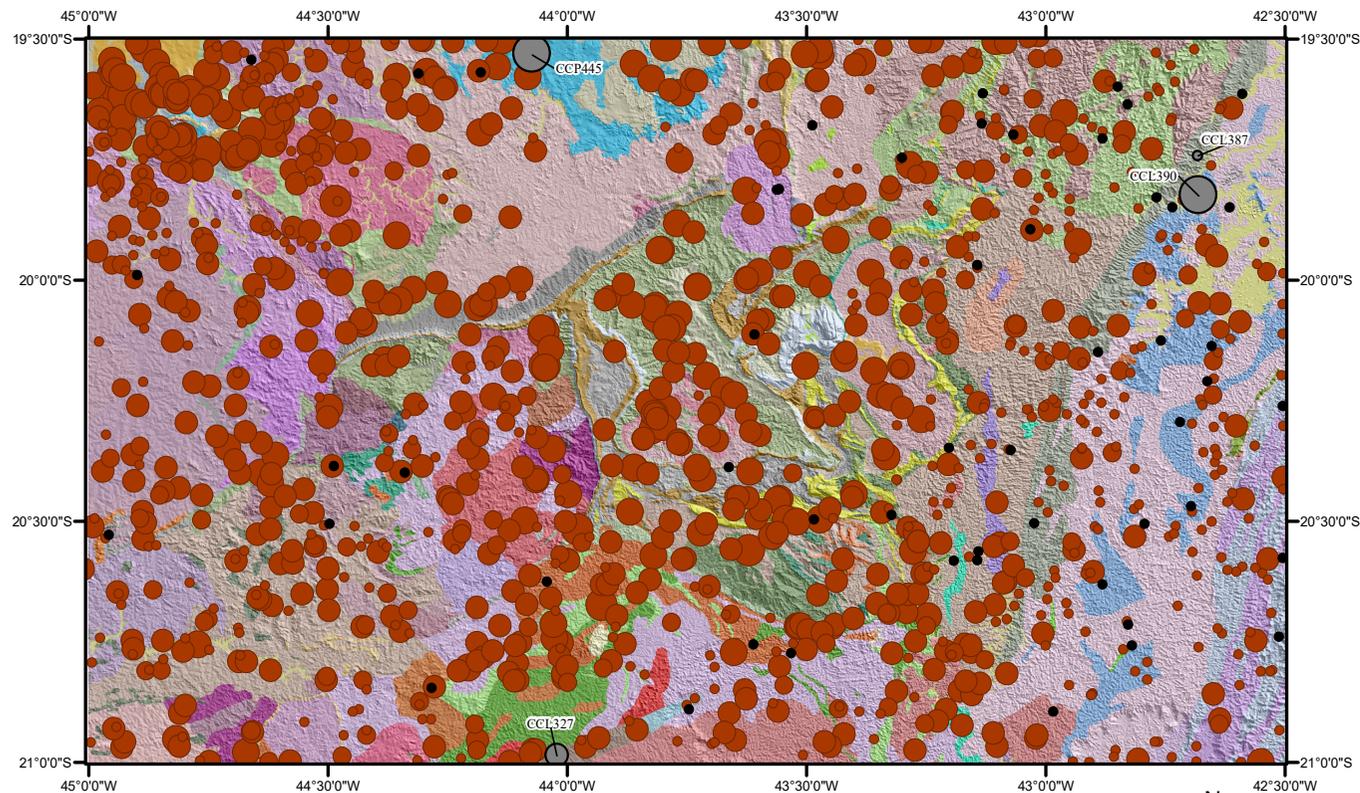
Fotografias

Imagem 1. Grãos de leucoxênio da estação CCL300, município de Belo Vale. Imagem 2. Grãos de leucoxênio da estação CCL647, município de Carandaí. Imagem 3. Grãos de leucoxênio da estação CCL741, município de Bom Jesus do Amparo. Imagem 4. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de grão de leucoxênio da estação CCP647 (imagem 2).

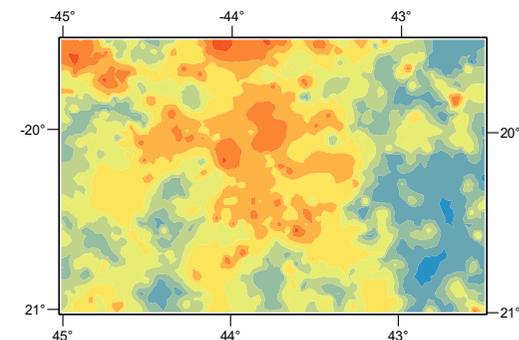
LIMONITA



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- 1 - 5%
- 5 - 25%
- 25 -50%
- 50 - 75%
- 75 - 100%
- N Lab Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



0 – 0,95	12,44 – 19,51
0,95 – 2,38	19,51 – 30,06
2,38– 4,51	30,06 – 45,79
4,51 – 7,69	45,79 – 69,26
7,69 – 12,44	69,26 – 85

Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



N
Datum: SIRGAS 2000



Modo de distribuição

A limonita está presente em 1.141 amostras distribuídas por toda a área de estudo, com concentrações variando de menos de 1% a mais de 75%. Em 413 estações de amostragem, a ilmenita ocorre em concentrações menores do que 1%, em 120 estações, entre 1 e 5%, em 439, entre 5 e 25%, em 150, entre 25 e 50%, em 17, entre 50 e 75% e, em apenas 2 estações, atingiu um máximo de 75 a 100%. A ilmenita possui ampla distribuição em todas as faixas de concentração na área de estudo, sendo sutilmente mais abundante na porção noroeste e central do Quadrilátero Ferrífero.

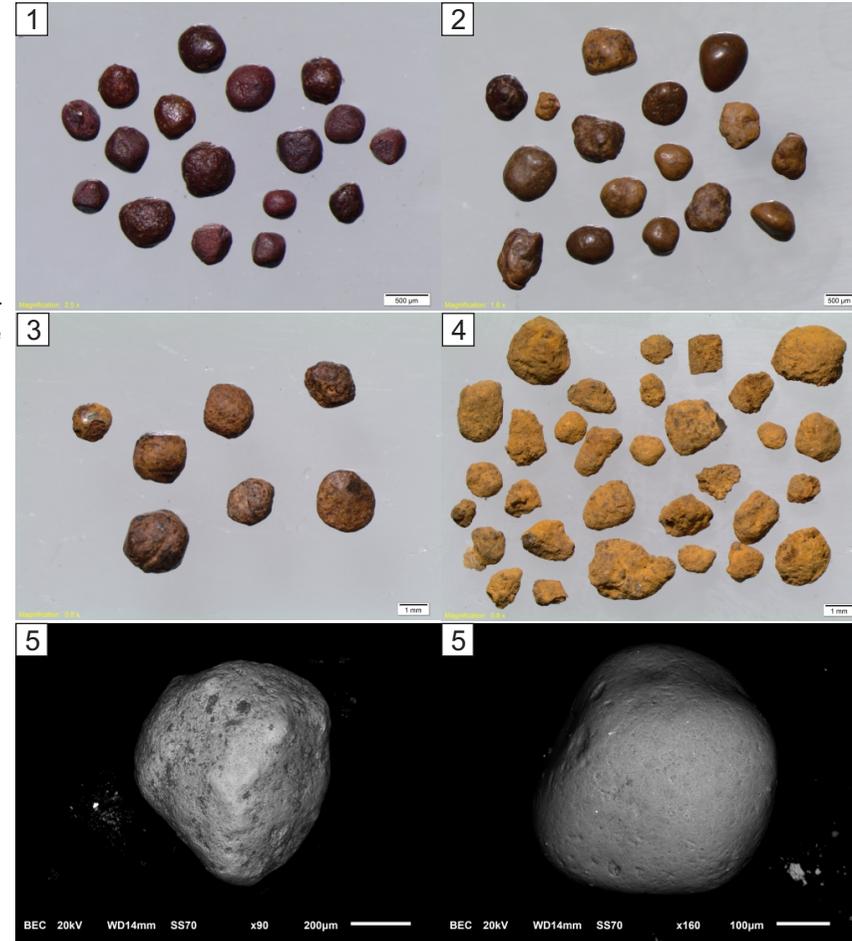
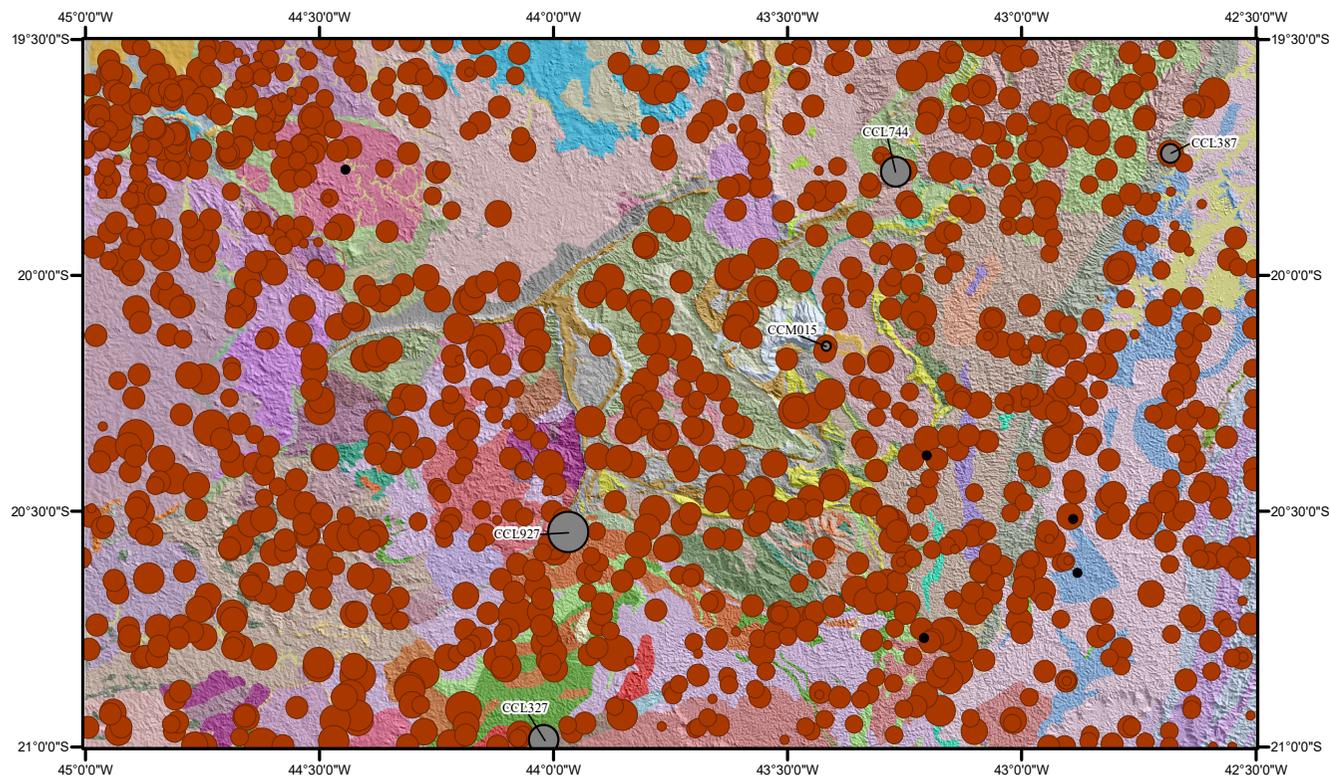
FeO(OH).nH₂O**Principais Características Diagnósticas:****Sistema Cristalino:** Amorfo.**Cor:** Entre castanho-escuro e preto.**Dureza:** 5 a 5,5.**Densidade:** 3,6 a 4 g/cm³.**Brilho:** Vítreo. Subtranslúcida.**Suscetibilidade magnética:** A limonita ocorre entre 0,3A e 1A, mas a maior faixa de ocorrência no separador eletromagnético Frantz está entre 0,6A e 0,8A.**Fotografias**

Imagem 1. Grãos de limonita da estação CCL327, município de Lagoa Dourada. Imagem 2. Grãos de limonita da estação CCP445, município de Matozinhos. Imagem 3. Grãos de limonita da estação CCL387, município de Marliéria. Imagem 4. Grãos de limonita da estação CCL390, município de Dionísio. Imagens 5 e 6. Imagens MEV (fusão do SE e BSE) de grãos de limonita da estação CCP445 (imagem 2).

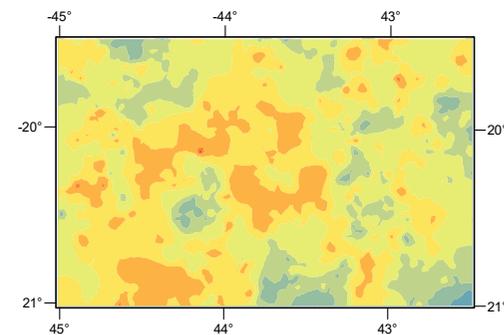
MAGNETITA



LEGENDA:

- Estação de coleta
 - <1
 - 1 - 5%
 - 5 - 25%
 - 25 - 50%
 - 50 - 75%
 - 75 - 100%
- N Lab. ● Estação com fotos

Mapa previsional Inverso da distância ponderada (IDW)



0 – 0,96	18,64 – 32,95
0,96 – 2,61	32,95 – 57,49
2,61 – 5,44	57,49 – 71,79
5,44 – 10,30	71,79 – 80,13
10,30 – 18,64	80,13 – 85

Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno

Modo de distribuição

A magnetita está presente em 1.189 amostras distribuídas por toda a área de estudo, com concentrações variando de menos de 1% a mais de 75%. Destas, em apenas 68 estações de amostragem, a magnetita ocorre em concentrações menores do que 1%, em 298 estações entre 1 e 5%, em 515, entre 5 e 25%, em 222, entre 25 e 50%, em 72, entre 50 e 75% e, em 14 estações, atingiu um máximo de 75 a 100%. A magnetita possui ampla distribuição em todas as faixas de concentração na área de estudo, sendo sutilmente mais abundante na região do Quadrilátero Ferrífero, nas proximidades das serras do Curral, Azul, Gandarela, Ouro Fino e Mariana; e a sudeste da área de estudo, no Cinturão Mineiro.





Principais Características Diagnósticas:

Sistema Cristalino: Cúbico.

Cor: preta.

Dureza: 5,5 a 6.

Densidade: 4,90 a 5,18 g/cm³.

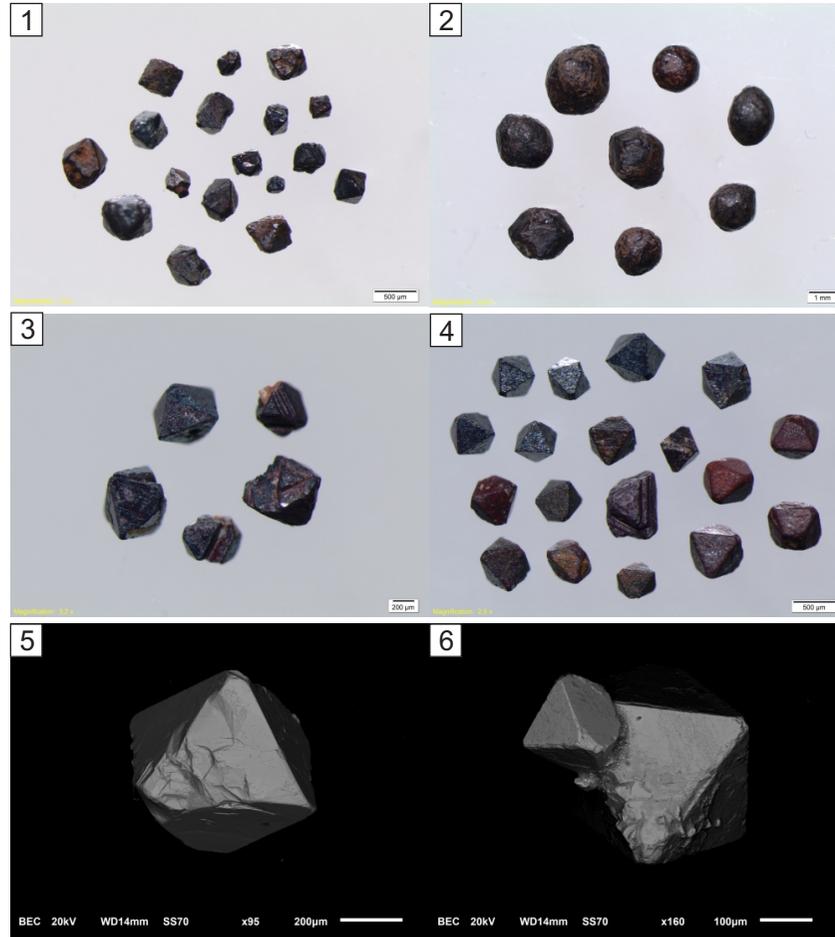
Brilho: Metálico.

Clivagem: Rara.

Fatura: Subconchoidal a irregular.

Suscetibilidade magnética: atraída ao imã de mão.

Fotografias



Sistema Cristalino

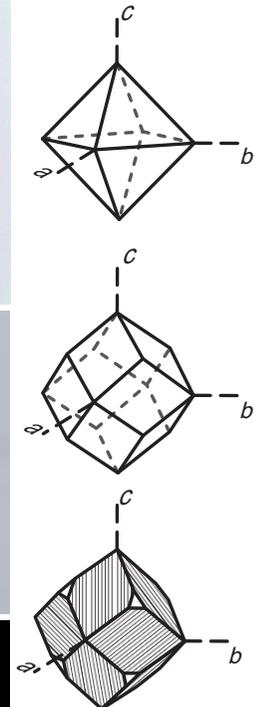
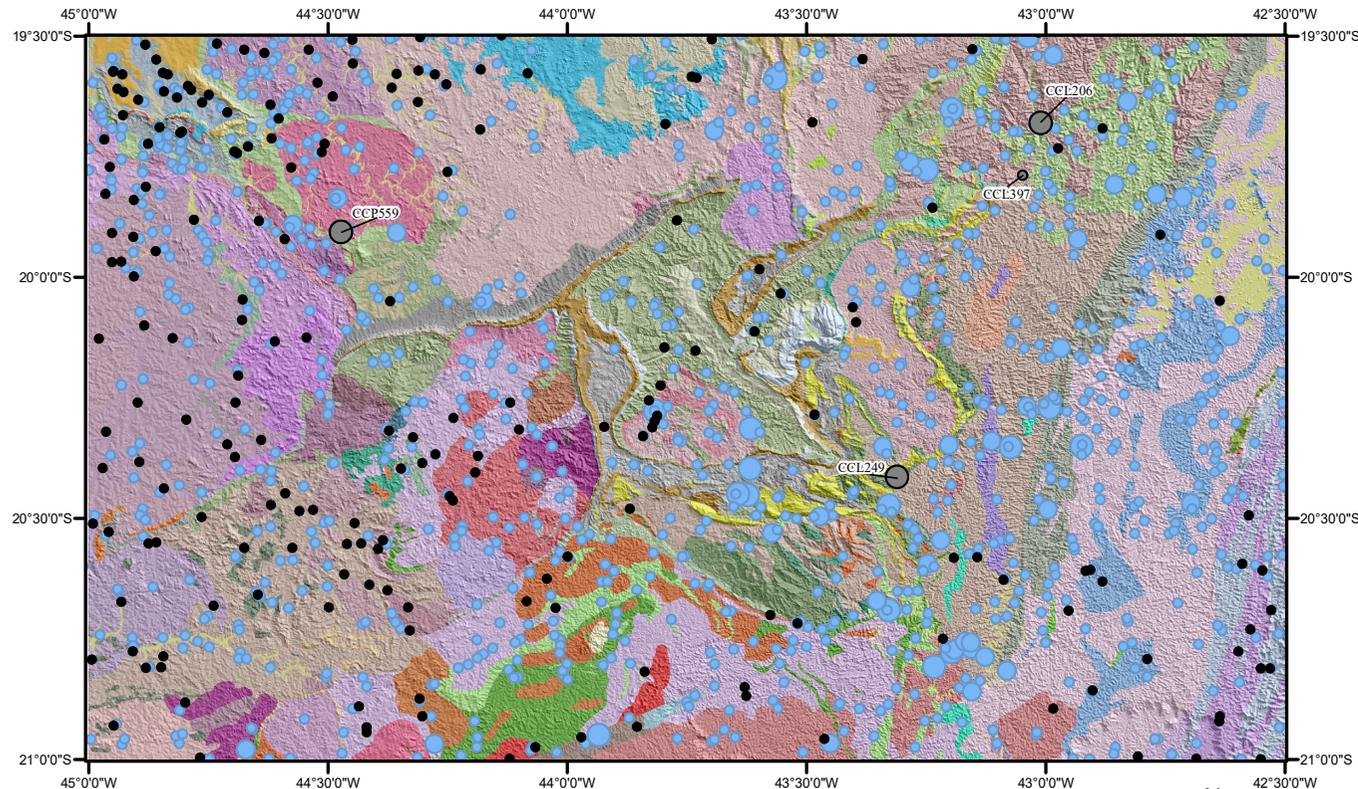


Imagem 1. Grãos de magnetita da estação CCL327, município de Lagoa Dourada. Imagem 2. Grãos de magnetita da estação CCL387, município de Marliéria. Imagem 3. Grãos de magnetita da estação CCL744, município de São Gonçalo do Rio Abaixo. Imagem 4. Grãos de magnetita da estação CCL927, município de Lagoa Dourada. Imagens 5 e 6. Imagens MEV (fusão do SE e BSE) de grãos de magnetita da estação CCM015, município de Mariana.

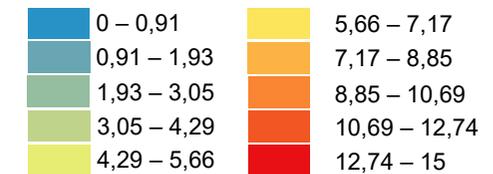
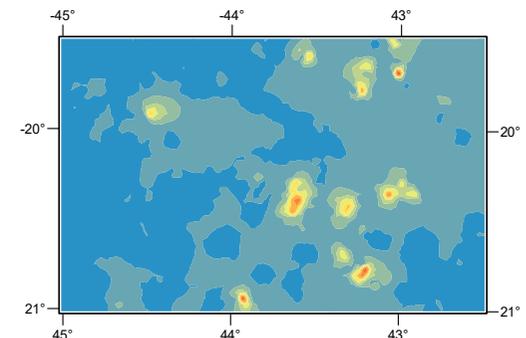
MICAS



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- 1 - 5%
- 5 - 25%
- N Lab ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



Datum: SIRGAS 2000



Modo de distribuição

As micas estão presentes em 992 amostras distribuídas por toda a área de estudo. Ocorre em quantidades normalmente menores que 1%, sendo detectada nessa concentração em 936 pontos. Em 36 estações, a concentração das micas ficou entre 1 e 5% e, em 20 pontos, atingiu um máximo de 5 a 25%. As micas possuem maiores concentrações de grãos em drenagens que interceptam xistos de unidades metassedimentares principalmente às associadas ao Domínio Santa Bárbara.

Moscovita $KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH,F)_2$
Biotita $K(Mg,Fe^{2+})_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$

Principais Características Diagnósticas:**Sistema Cristalino:** Monoclínico.

Cor: A moscovita é transparente e incolor nas folhas delgadas. Em blocos mais espessos, translúcida, com matizes claros do amarelo, castanho, verde e vermelho. Já a biotita é normalmente verde-escura, castanha a preta. Mais raramente, amarelo-clara. As folhas delgadas têm, usualmente, cor enfumacada diferindo da moscovita quase incolor.

Dureza: 2,5 a 3 (moscovita e biotita).**Densidade:** 2,77 a 2,88 g/cm³ (moscovita) e 2,7 a 3,3 g/cm³ (biotita).**Brilho:** Ambas possuem brilho vítreo a sedoso ou nacarado.**Clivagem:** Basal (001), perfeita.**Fratura:** Segundo a direção de clivagem.

Suscetibilidade magnética: A moscovita não é atraível ao separador eletromagnético Frantz. Já a biotita ocorre entre 0,2A e 0,5A, porém a maior faixa de ocorrência no separador eletromagnético Frantz está entre 0,3A e 0,4A.

Relevo: Positivo médio.

Índice de Refração:	moscovita	biotita
	n _α : 1,552 - 1,547	n _α : 1,565 - 1,625
	n _β : 1,582 - 1,610	n _β : 1,605 - 1,696
	n _γ : 1,587 - 1,616	

Pleocroísmo: A moscovita não é pleocróica, enquanto a biotita exibe um pleocroísmo distinto, variando de verde-pálido, marrom-pálido ou amarelo-pálido a verde-profundo, marrom-escuro, vermelho ou marrom-escuro. No entanto, as seções basais da biotita são fracamente pleocróicas.

Birrefringência (δ): A moscovita possui forte birrefringência (0,036 - 0,049), com cores de interferência variando entre a 2^a e 3^a ordem, apresentando tons intensos e coloridos. As seções paralelas à clivagem mostram cores de interferência muito baixas de 1^a ordem. Por outro lado, a biotita possui uma birrefringência ainda mais forte (0,040 a 0,080), variando da 3^a ordem superior à 4^a ordem. As fortes cores da biotita normalmente mascaram suas cores de interferência.

Extinção: Quase reta (3-9°) às marcas de clivagem (001).**Caráter ótico:** Biaxial negativo.

Figura de interferência: Ótimas figuras de interferência centradas são observadas em cortes basais (001).

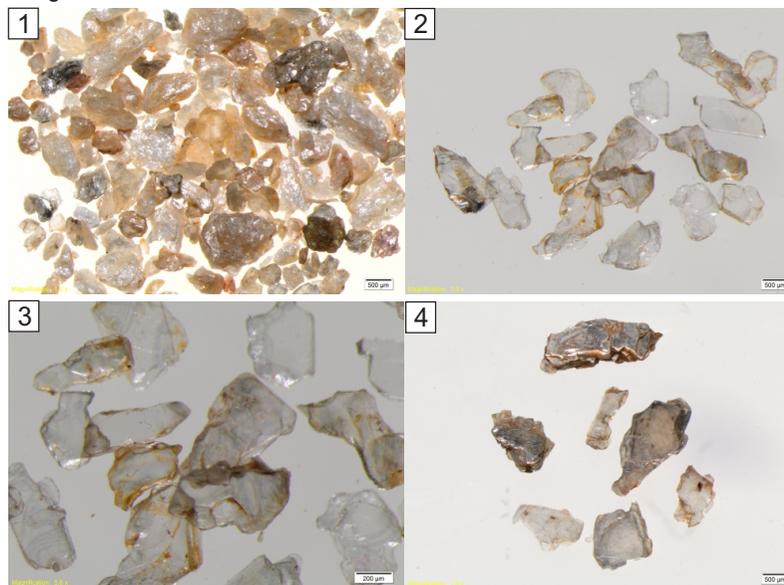
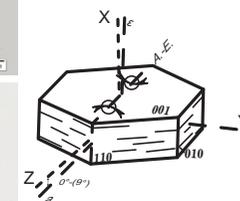
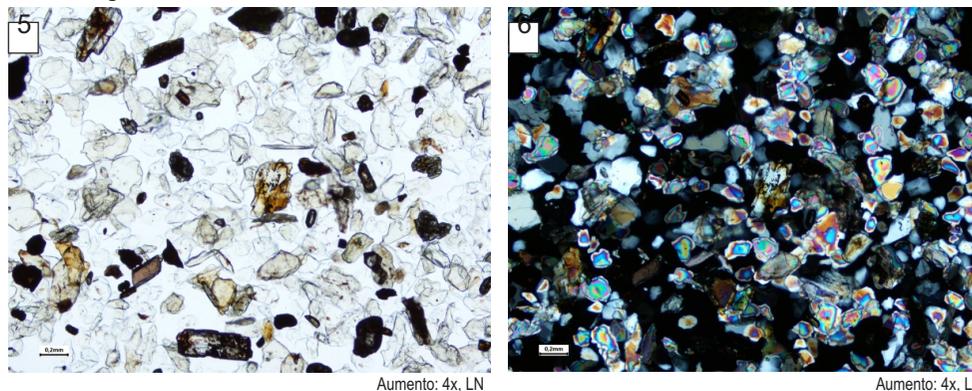
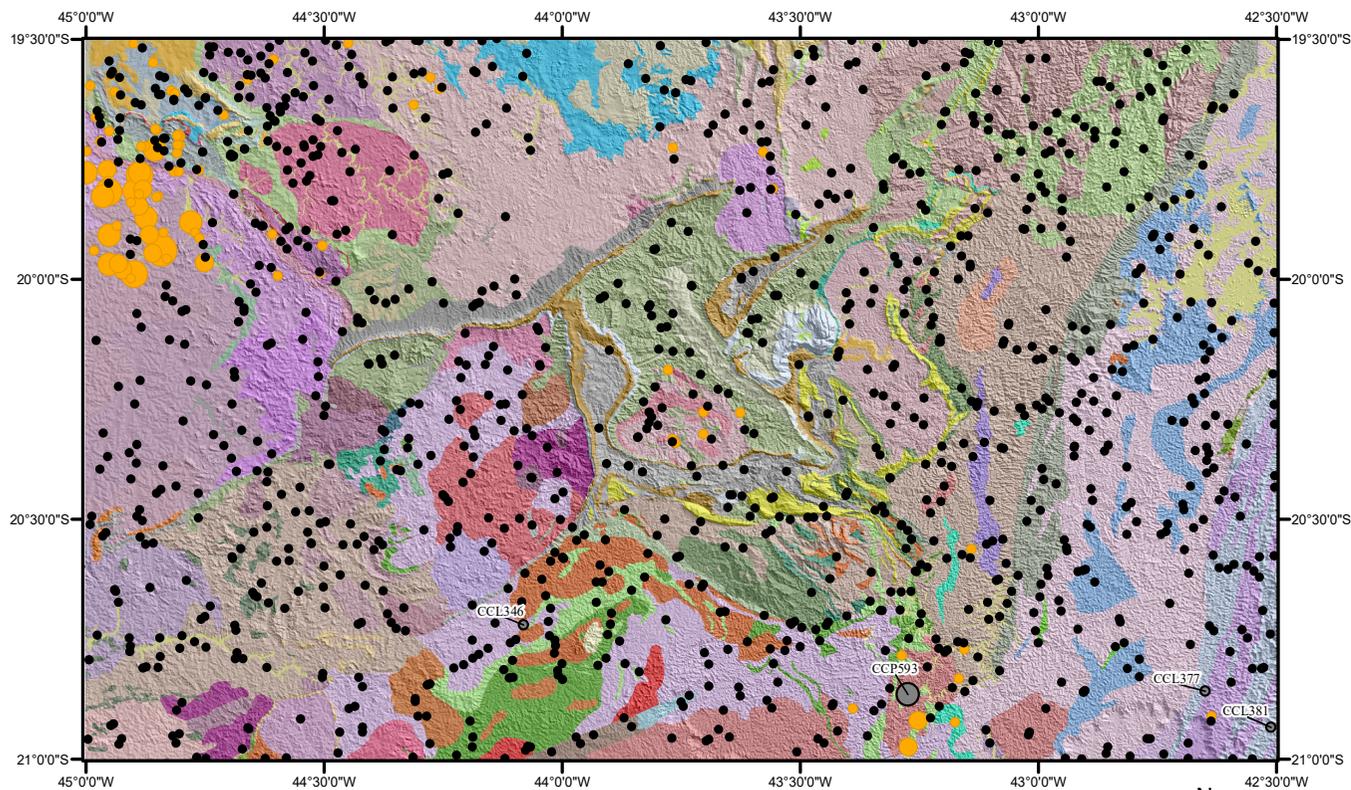
Alongação: Positiva (+).**Fotografias****Sistema Cristalino****Fotomicrografias**

Imagem 1. Grãos de moscovita da estação CCP599, município de Florestal. Imagem 2. Grãos de moscovita da estação CCL206, município de Nova Era. Imagem 3. Detalhe dos grãos de moscovita da estação CCL206 (Imagem 2). Imagem 4. Grãos de moscovita da estação CCP397, município de Nova Era. Imagens 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de moscovita da estação CCL249, município de Mariana. Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

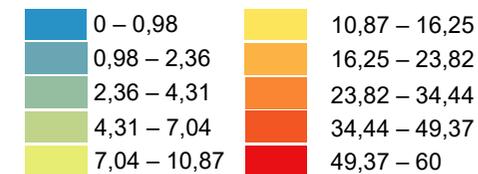
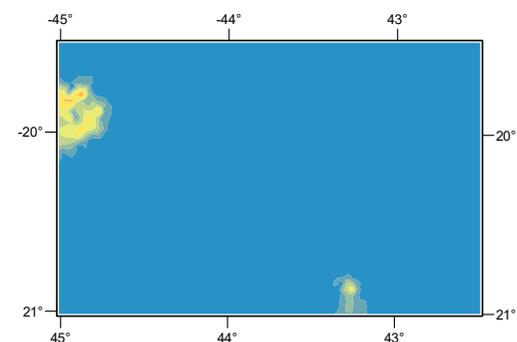
MONAZITA



LEGENDA:

- Estação de coleta
 - <1
 - 1 - 5%
 - 5 - 25%
 - 25 - 50%
 - 50 - 75%
- N Lab. ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno

Modo de distribuição

A monazita está presente em apenas 88 amostras, exibindo uma significativa variação de concentração, que vai de menos de 1% até 50-75%. Em 64 estações de amostragem, a monazita e o zircão ocorrem em concentrações menores do que 1%, em 10 estações, entre 1 e 5%, em 10, entre 5 e 25%, em 3, ficou entre 25 e 50% e, em apenas uma estação, atingiu um máximo de 50 a 75%. As maiores concentrações de grãos de monazita estão associadas às estações que drenam os gnaisses Divinópolis, e os gnaisses Cláudio e Itapacerica na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero.

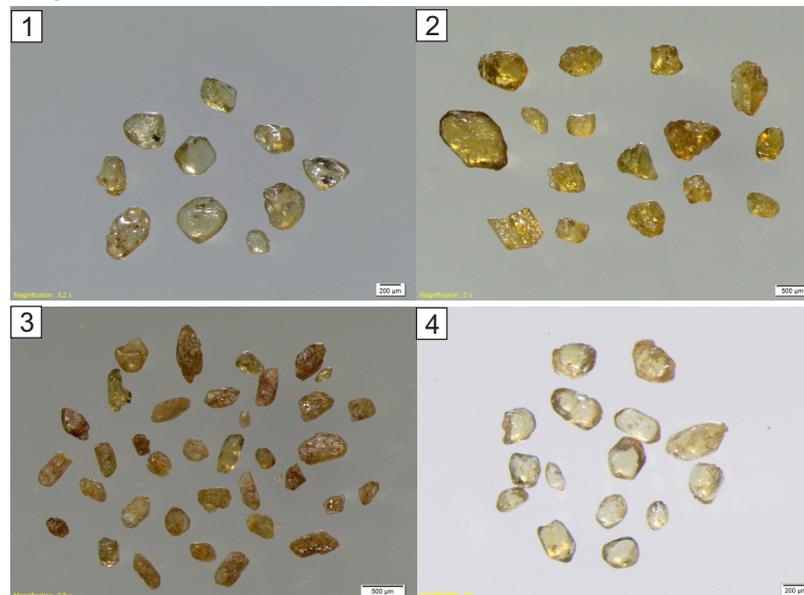
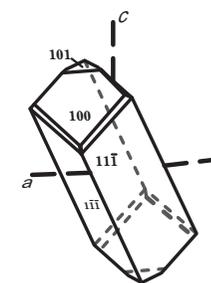
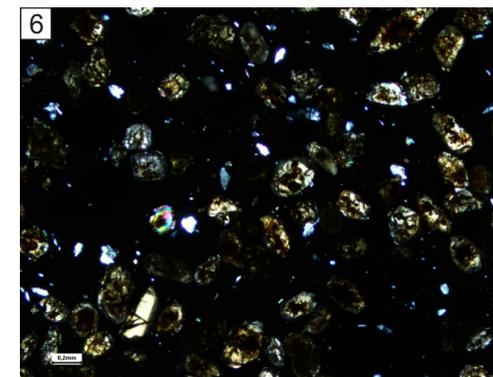
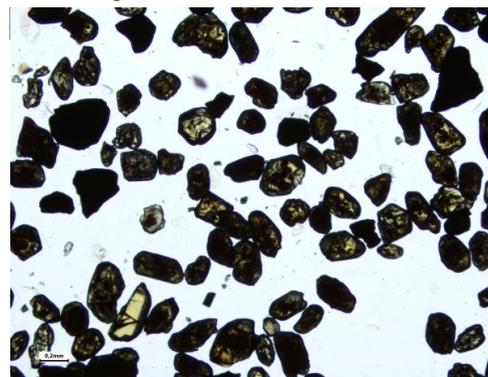


Datum: SIRGAS 2000



**Principais Características Diagnósticas:****Sistema Cristalino:** Monoclínico.**Cor:** Castanho-amarelado a avermelhado. Translúcida.**Dureza:** 5 a 5,5.**Densidade:** 4,6 a 5,4 g/cm³.**Brilho:** Gorduroso, e até mesmo resinoso.**Clivagem:** Clivagem segundo (100) fraca e pouco visível e partição variável segundo (001).**Fratura:** Desigual, em degraus, subconchoidal.**Suscetibilidade magnética:** A maior faixa de ocorrência no separador eletromagnético Frantz é entre 0,6A e 0,8A.**Relevo:** Positivo muito alto.**Índice de Refração:** n_w : 1,774 - 1,800
 n_e : 1,777 - 1,801
 n_y : 1,828 - 1,851**Pleocroísmo:** Ausente ou fraco; no entanto, grãos mais espessos e de cor intensa podem exibir um leve pleocroísmo em tons de amarelo.**Birrefringência (δ):** Forte (0,045-0,075), e as cores de interferência variam até a terceira ou quarta ordem, branco-perolado ou amarelo.**Extinção:** Geralmente não apresentam uma extinção completa.**Caráter ótico:** Biaxial positivo.**Figura de interferência:** Apresentam figuras com um pequeno 2V de 11°, muitas vezes descentradas, com movimentos de hipérbolas que imitam características uniaxiais.**Elongação:** Positivo (+) quando as faces (100) se alongam paralelamente ao eixo c. Contudo, os fragmentos de cristal que se alongam no eixo b possuem alongamento negativo (-).

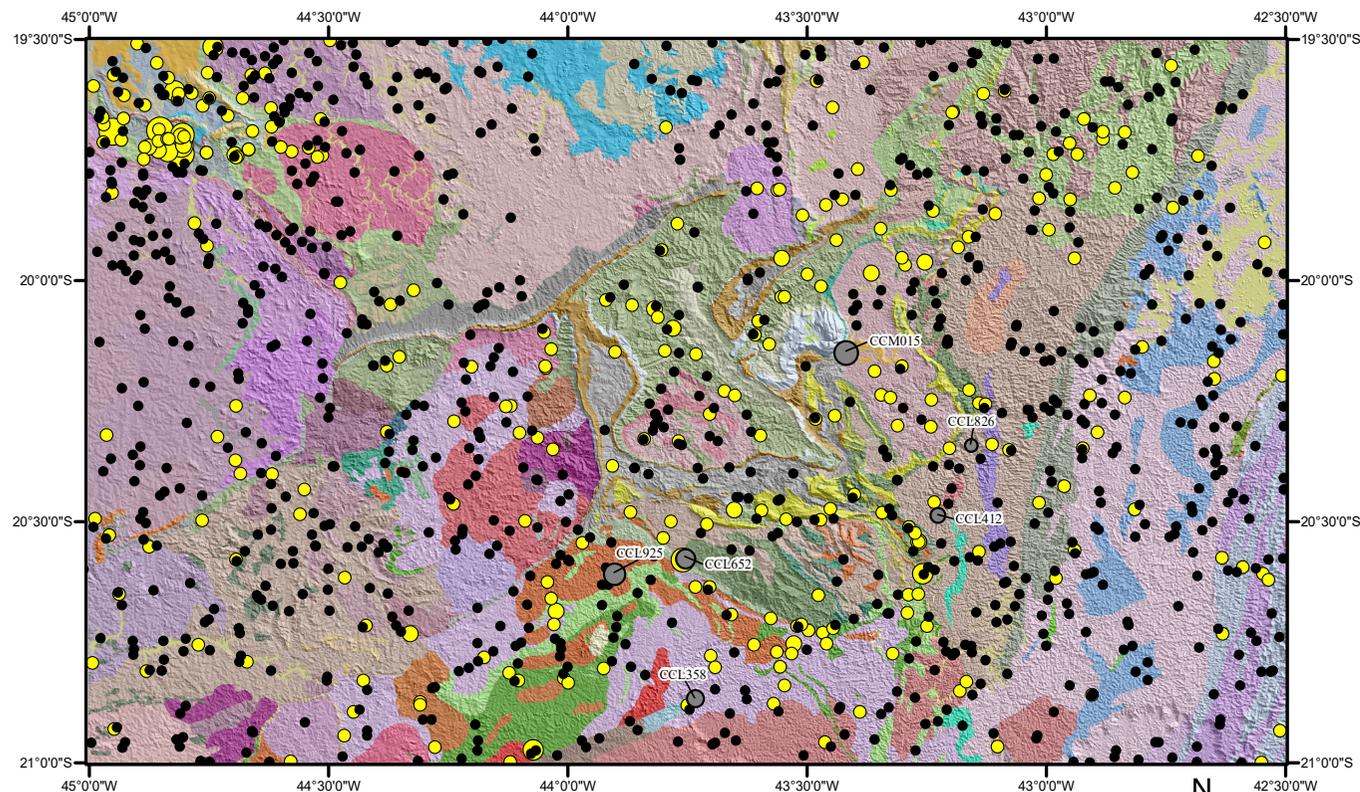
Imagem 1. Grãos de monazita, estação CCL346, município de Entre Rios de Minas. Imagem 2. Grãos de monazita da estação CCL381, município de Muriaé. Imagem 3. Grãos de monazita da estação CCL593, município de Brás Pires. Imagem 4. Grãos de monazita da estação CCL377, município de Ervália. Imagem 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de monazita também da estação CCP593 (imagem 3). Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

Fotografias**Sistema Cristalino****Fotomicrografias**

Aumento: 4x, LN

Aumento: 4x, LP

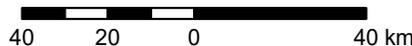
OURO



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno

Modo de distribuição

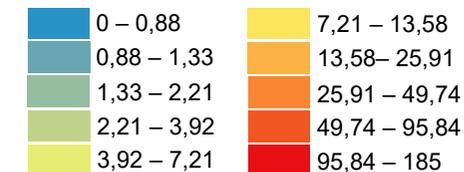
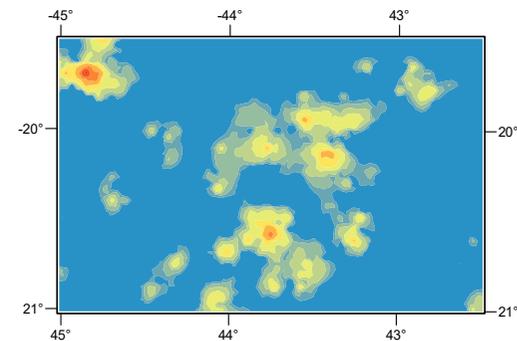
O ouro está presente em 287 amostras distribuídas pela área de estudo, com uma ampla variação de concentração, de 1 a 185 grãos. Em 121 estações, que correspondem a aproximadamente 42% do total, o ouro ocorre apenas na presença de um grão. As três estações de amostragem com o maior número de grãos, somando 383 grãos (21% do total), estão localizadas no *Greenstone Belt* de Pitangui. Além disso, é possível verificar concentrações de grãos de ouro no Lineamento Congonhas-Itaverava e na porção leste do Quadrilátero Ferrífero.



LEGENDA:

- Estação de coleta
- 1 a 10
- 12 a 25
- 29 a 39
- 51 a 61
- 98 a 185
- N Lab. ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



Au

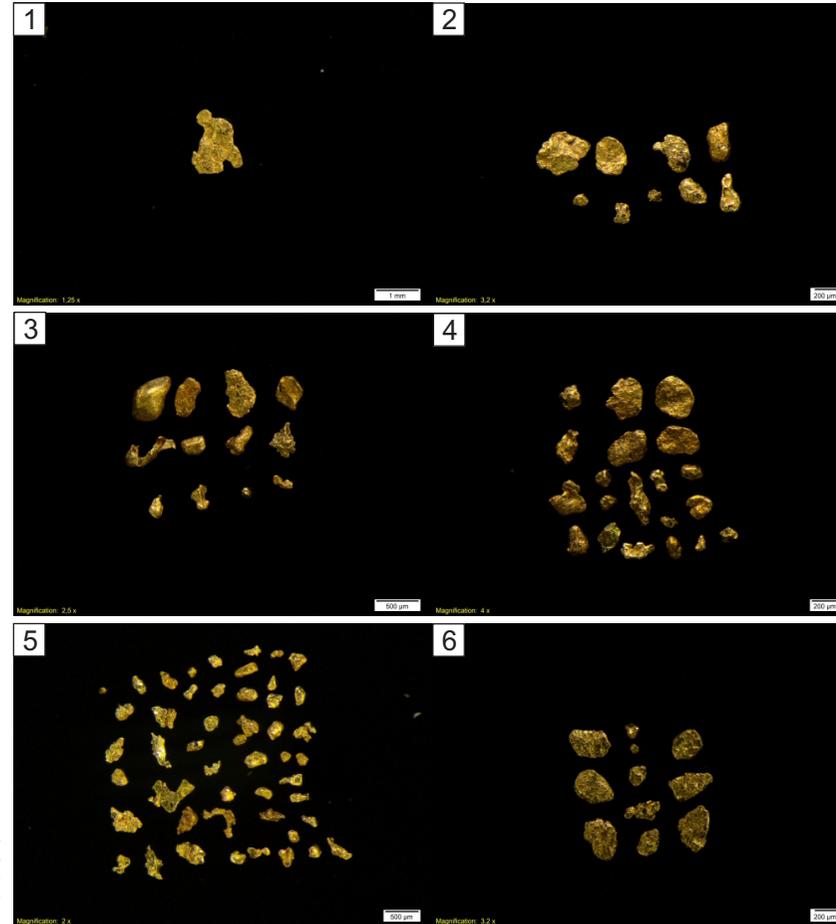
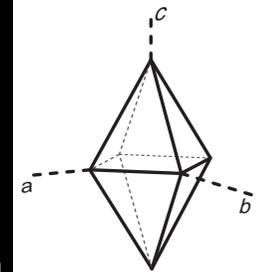
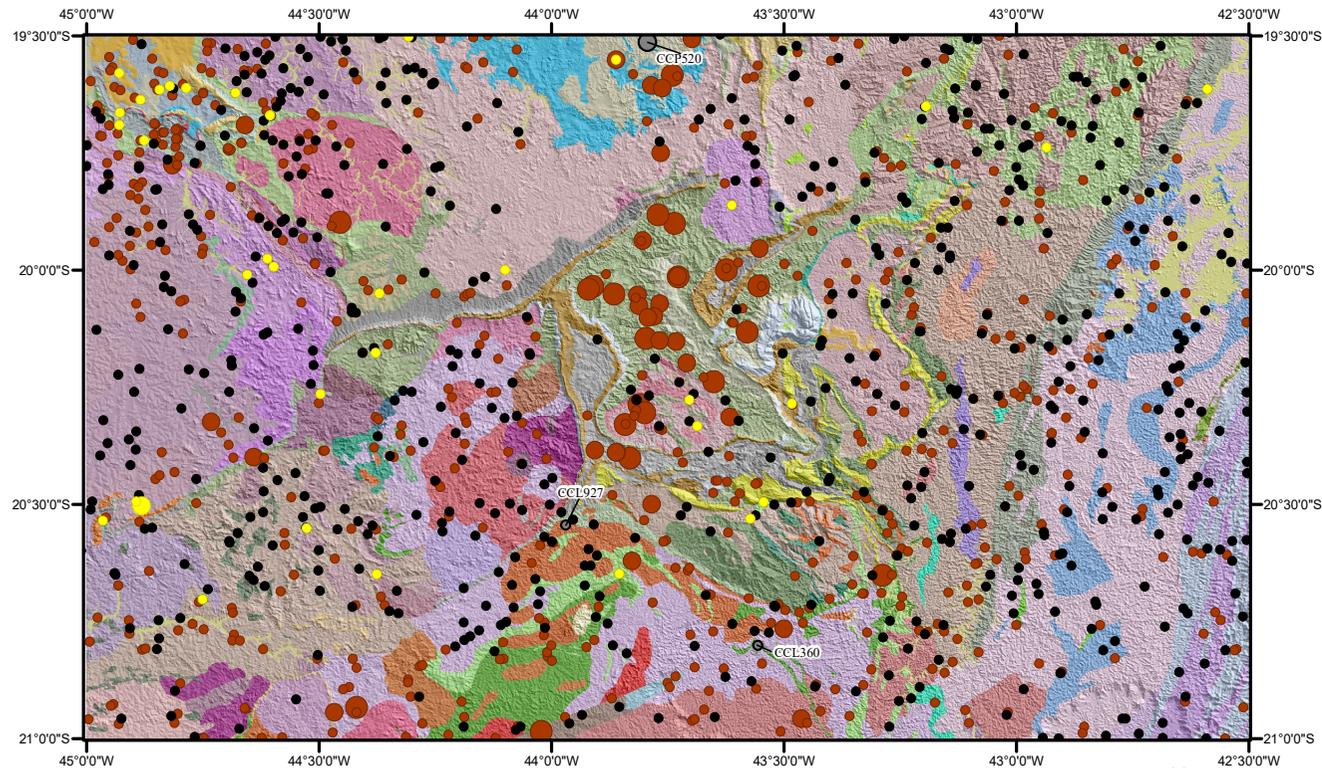
Principais Características Diagnósticas:**Sistema Cristalino:** Cúbico.**Cor:** Amarelo-ouro. Fica mais pálido com aumento de prata.**Dureza:** 2 a 3.**Densidade:** Quando puro $19,3\text{g/cm}^3$. A presença de outros metais diminui a densidade relativa para até $15,6\text{g/cm}^3$.**Brilho:** Metálico.**Clivagem:** Não visível/ausente.**Fratura:** Não visível/ausente.**Suscetibilidade magnética:** Não atraível ao separador eletromagnético Frantz.**Fotografias****Sistema Cristalino**

Imagem 1. Grão de ouro da estação CCL826, município de Mariana. Imagem 2. Grãos de ouro da estação CCL412, município de Diogo de Vasconcelos. Imagem 3. Grãos de ouro da estação CCL652, município de Ouro Branco. Imagem 4. Grãos de ouro da estação CCL925, município de Conselheiro Lafaiete. Imagem 5. Grãos de ouro da estação CCM015, município de Mariana. Imagem 6. Grãos de ouro da estação CCL358, município de Caranaíba.

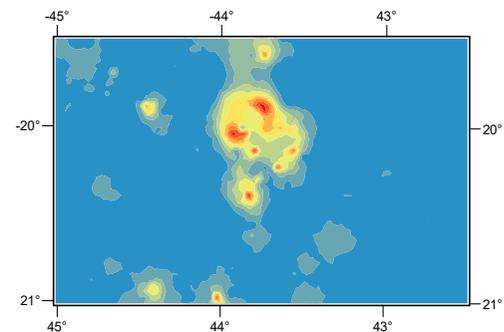
PIRITA



LEGENDA:

- Estação de coleta
 - N Lab ● Estação com fotos
- | | |
|----------------------------|---------------|
| Pirita-limonitizada | Pirita |
| ● <1 | ● <1 |
| ● 1 - 5% | ● 1 - 5% |
| ● 5 - 25% | |

Mapa previewal - Pirita limonitizada Inverso da distância ponderada (IDW)



- | | |
|-------------|---------------|
| 0 - 0,91 | 5,66 - 7,17 |
| 0,91 - 1,93 | 7,17 - 8,85 |
| 1,93 - 3,05 | 8,85 - 10,69 |
| 3,05 - 4,29 | 10,69 - 12,74 |
| 4,29 - 5,66 | 12,74 - 15 |

Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno

Modo de distribuição

A pirita limonitizada está presente em 560 amostras distribuídas por toda a área de estudo. Ocorre em quantidades normalmente menores que 1%, sendo detectada nessa concentração em 510 pontos. Em 30 estações, a concentração da pirita limonitizada ficou entre 1 e 5% e em 20 pontos, atingiu um máximo de 5 a 25%. A pirita limonitizada possui maiores concentrações de grãos em drenagens que interceptam o Grupo Nova Lima no segmento central do Quadrilátero Ferrífero. Já a pirita está presente em apenas 35 amostras em toda a área de estudo. Em apenas uma estação, a pirita atinge o valor máximo de 1 a 5%. O maior número de estações com presença de pirita encontra-se na porção noroeste da área de estudo, associada às rochas do *Greenstone Belt* Pitangui.



FeS₂

Principais Características Diagnósticas:

Sistema Cristalino: Cúbico.

Cor: Amarelo-latão, pálido, pode ser mais escuro pelo embaçamento.

Dureza: 6 a 6,5.

Densidade: 5,02 g/cm³.

Brilho: Metálico, reluzente.

Fratura: Conchoidal.

Suscetibilidade magnética: Não atraível ao separador eletromagnético Frantz.

Fotografias

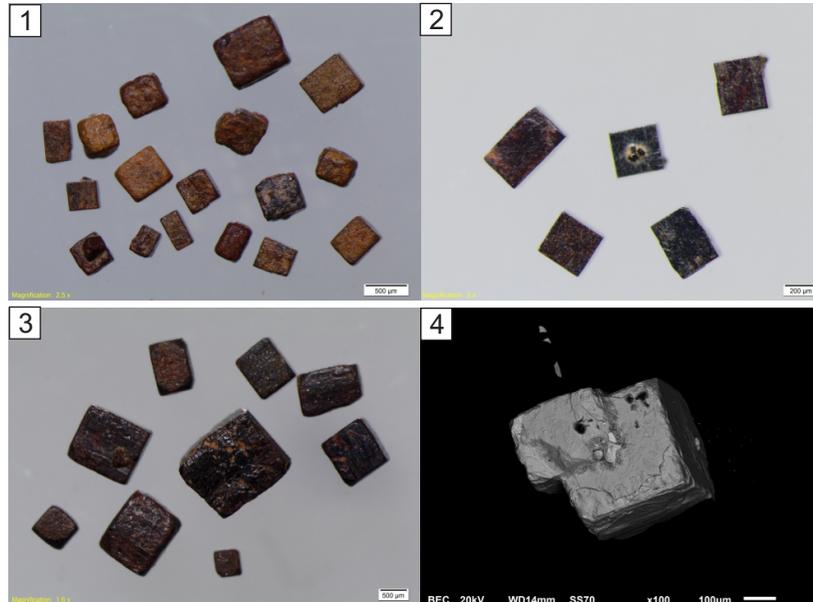
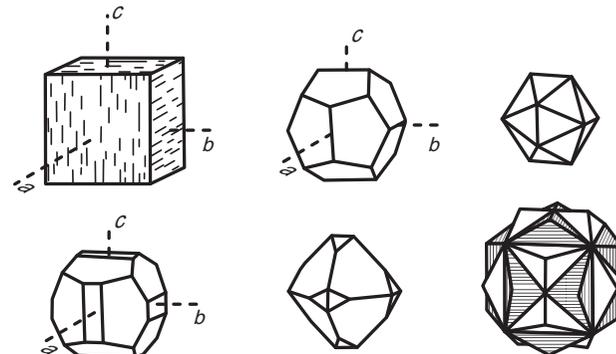
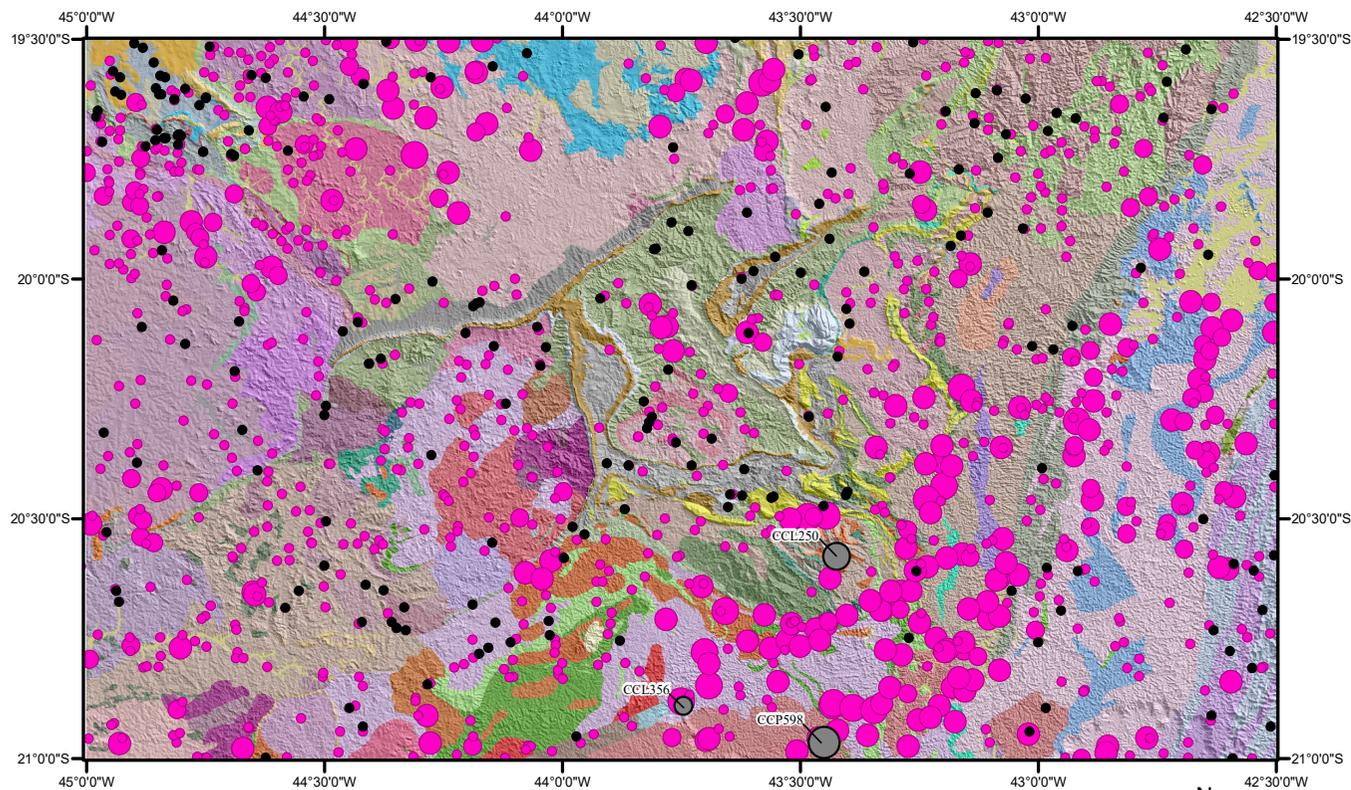


Imagem 1. Grãos de pirita/pirita limonitizada da estação CCP520, município de Jaboticatubas. Foto 2. Detalhe dos grãos de pirita/pirita limonitizada da estação CCP520 (imagem 1). Imagem 3. Grãos de pirita/pirita limonitizada da estação CCL360, município de Rio Espera. Imagem 4. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de grão de pirita/pirita limonitizada da estação CCL927, município de Jeceaba.

Sistema Cristalino



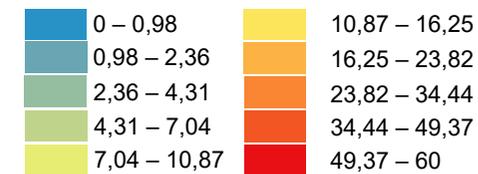
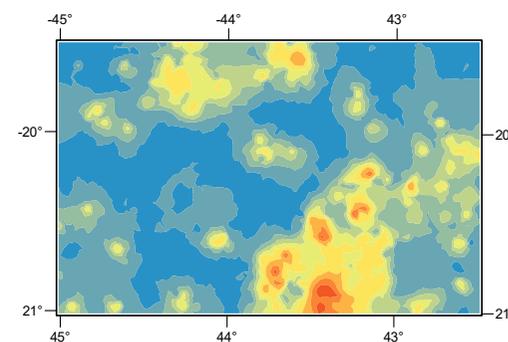
PIROXÊNIO



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- 1 - 5%
- 5 - 25%
- 25 - 50%
- 50 - 75%
- N Lab. ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



N
Datum: SIRGAS 2000

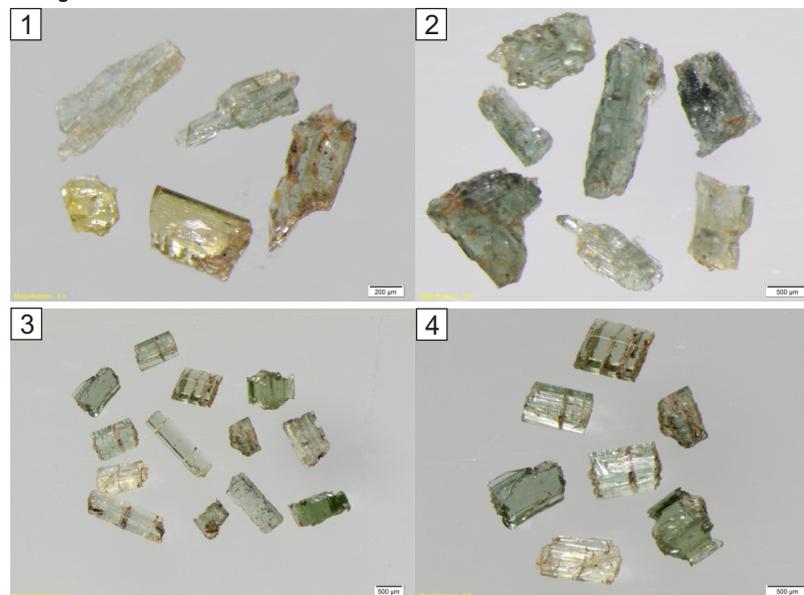
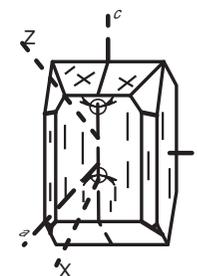
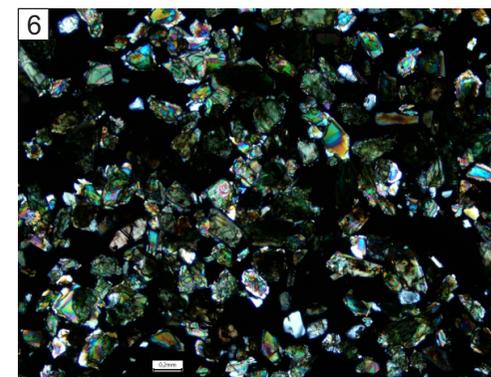
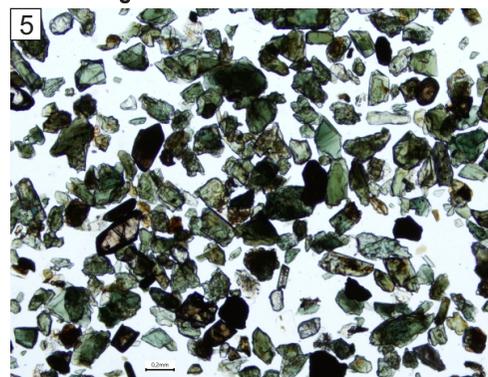


Modo de distribuição

Os piroxênios estão presentes em 998 amostras distribuídas pela área de estudo, exibindo uma significativa variação de concentração, que vai de menos de 1% até 50-75%. Em 746 estações de amostragem, os piroxênios ocorrem em concentrações menores do que 1%, em 87 estações, entre 1 e 5%, em 147, entre 5 e 25%, em 17, ficou entre 25 e 50% e, em apenas 1 estação, atingiu um máximo de 50 a 75%. As maiores concentrações de grãos de piroxênios estão associadas às estações que drenam rochas das formações Lafaiete e Mutuca, localizadas ao sul da área de estudo, no Cinturão Mineiro.

CaMg(Si₂O₆)**Principais Características Diagnósticas:****Sistema Cristalino:** Monoclínico.**Cor:** Incolor a verde-claro, mais raramente amarelado.**Dureza:** 5 a 6.**Densidade:** 3,5 a 3,6 g/cm³.**Brilho:** Vítreo.**Clivagem:** Pouco nítida, mas melhor vista em (110) e (100), a 87° e 93°, imperfeita e frequentemente interrompida. Partição em (110) frequente, e menos comumente em (100).**Fratura:** Irregular, às vezes em dentes de serra, minerais frequentemente fissurados.**Suscetibilidade magnética:** Atraído em 0,5A no separador eletromagnético Frantz.**Relevo:** Positivo alto.**Índice de Refração:** n_α: 1,664 - 1,726
n_β: 1,672 - 1,730
n_γ: 1,694 - 1,751**Pleocroísmo:** Muito fraco em tons de verde muito claro.**Birrefringência (δ):** Moderada a forte (0,023-0,029), as cores de interferência variam do rosa de primeira ordem superior ao amarelo e verde-azulado de segunda ordem.**Extinção:** Inclinada, ângulos podem variar entre 33 e 40°.**Caráter ótico:** Biaxial positivo.**Figura de interferência:** Difícil obtenção, raras.**Elongação:** Positiva (+).

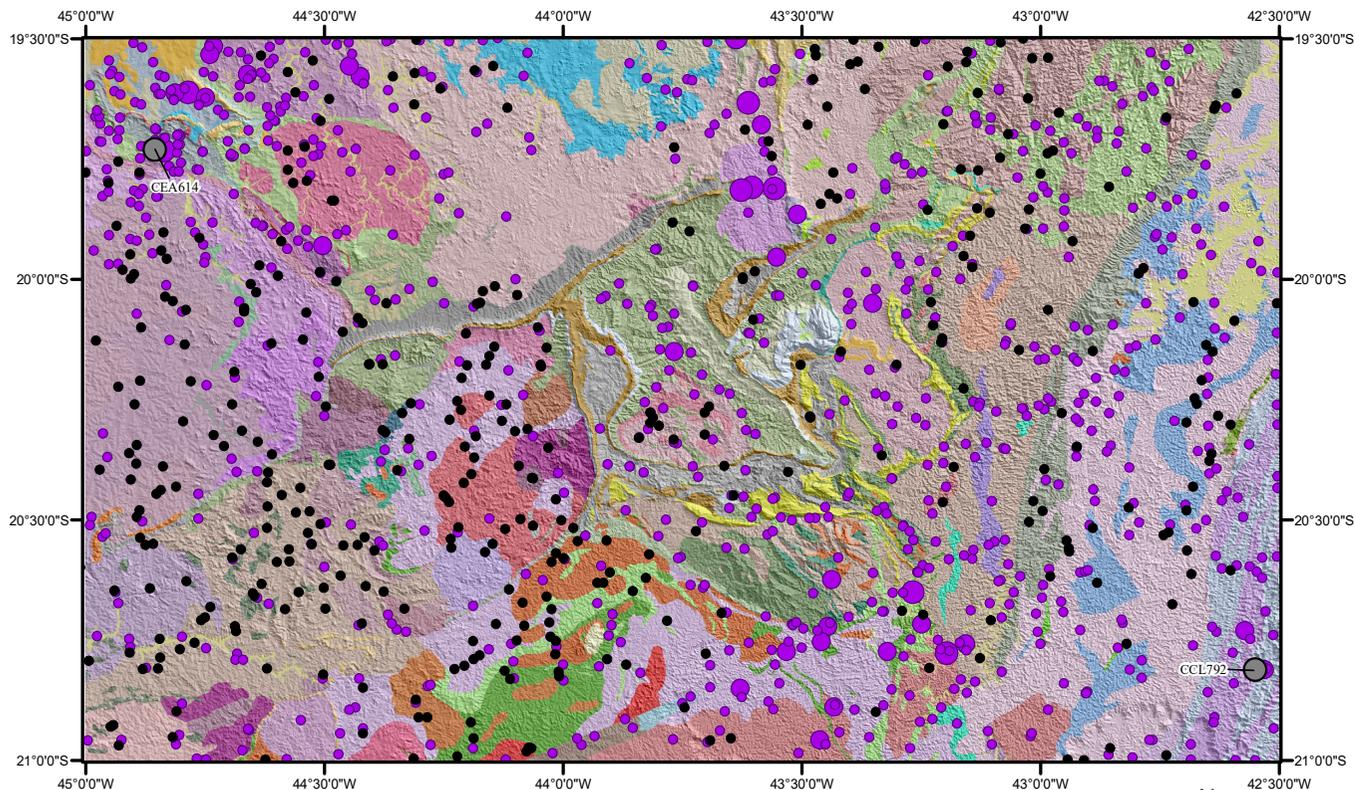
Imagem 1. Grãos de piroxênio, estação CCL356, município de Caranaíba. Imagem 2. Grãos de piroxênio, estação CCP598, município de Alto Rio Doce. Imagem 3. Grãos de piroxênio, estação CCL250, município de Ouro Preto. Imagem 4. Detalhe dos grãos de piroxênio da estação CCL250 (imagem 3). Imagens 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de piroxênio da estação CCP598. Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

Fotografias**Sistema Cristalino****Fotomicrografias**

Aumento: 4x, LN

Aumento: 4x, LP

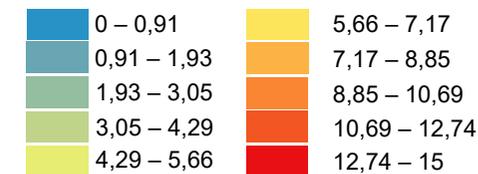
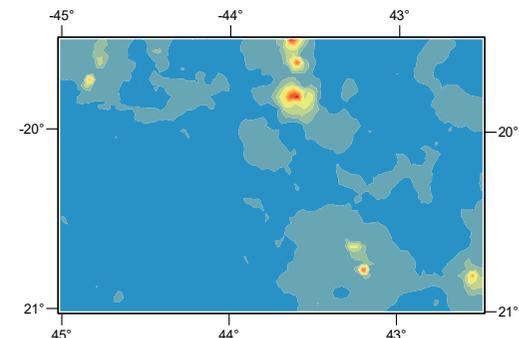
RUTILIO



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- 1 - 5%
- 5 - 25%
- N Lab Estação com fotos

Mapa previsual Inverso da distância ponderada (IDW)



Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



N
Datum: SIRGAS 2000

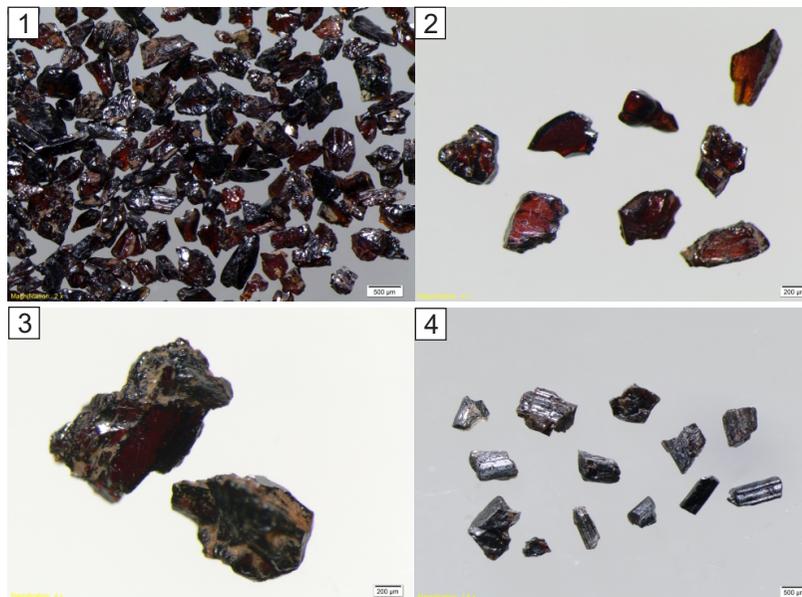
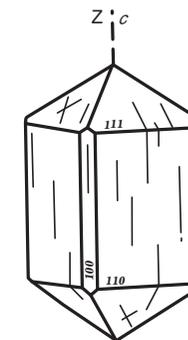
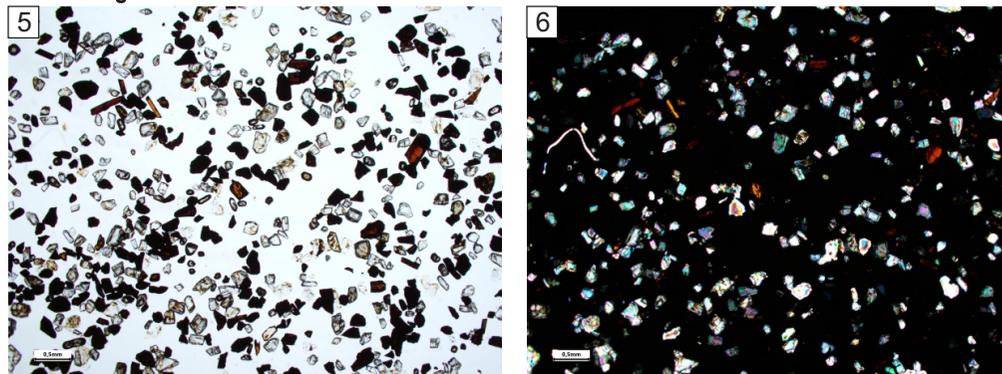


Modo de distribuição

O rutilo está presente em 812 amostras distribuídas por toda a área de estudo. Ocorre em quantidades normalmente menores que 1%, sendo detectado nessa concentração em 776 pontos. Em 25 estações, a concentração do rutilo ficou entre 1 e 5% e, em 11 pontos, atingiu um máximo de 5 a 25%. O rutilo possui maiores concentrações de grãos em drenagens que interceptam rochas dos complexos Caeté e Belo Horizonte, na porção centro-norte da área de estudo, podendo também ter concentrações interessantes no noroeste da área associado às rochas do *Greenstone Belt* Pitangui.

TiO₂**Principais Características Diagnósticas:****Sistema Cristalino:** Tetragonal.**Cor:** Vermelho, castanho-avermelhado a preto.**Dureza:** 6 a 6,5.**Densidade:** 4,18 a 4,25 g/cm³.**Brilho:** Adamantino a submetálico.**Clivagem:** Distinta em (110), boa a média em (100).**Fratura:** Subconchoidal.**Suscetibilidade magnética:** Não atraível ao separador eletromagnético Frantz.**Relevo:** Positivo altíssimo.**Índice de Refração:** n_w: 2,605 - 2,613
n_e: 2,899 - 2,901**Pleocroísmo:** Evidente. Quando bem coloridos, apresentam um leve pleocroísmo com absorção máxima paralela ao prisma, geralmente evidenciado pelo aprofundamento dos tons vermelhos, amarelos ou marrons.**Birrefringência (δ):** Extrema (0,286-0,296), as cores de interferência de alta ordem são geralmente obscurecidas pela forte cor mineral. Normalmente, os grãos exibem cores de interferência com tons avermelhados-brancos, vermelhos, acastanhados ou amarelados.**Extinção:** Possuem extinção reta.**Caráter ótico:** Uniaxial positivo.**Figura de interferência:** Fragmentos mais finos ocasionalmente produzem figuras uniaxiais bem centradas, enquanto muitos grãos apresentam caracteres biaxiais que podem ser devido à macla ou deformação.**Elongação:** Positiva (+), no entanto, é muito difícil de avaliar devido à intensa cor do mineral e à birrefringência. É mais perceptível em variedades de cores mais claras.

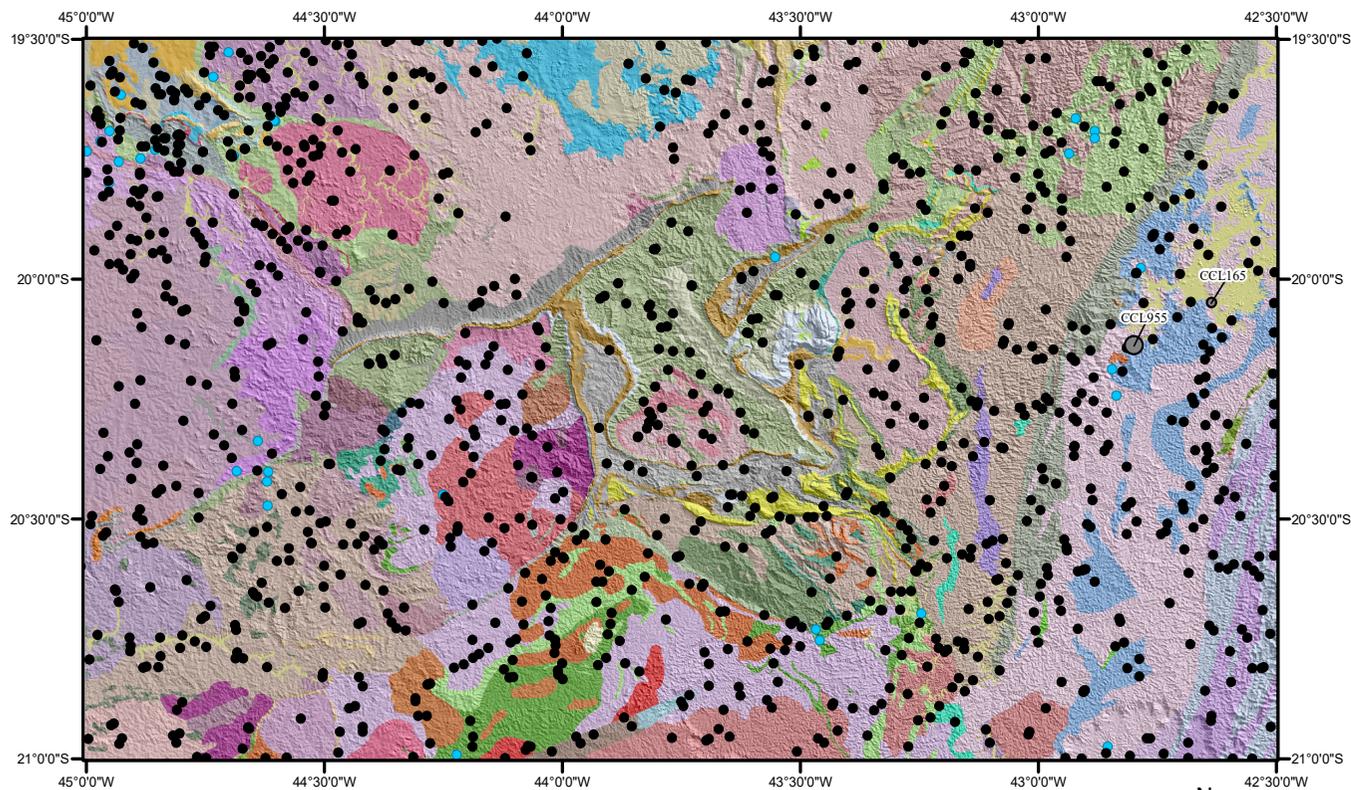
Imagem 1. Grãos de rutilo, estação CCL792, município de Ervália. Imagens 2 e 3. Detalhe dos grãos de rutilo da estação CCL792 (foto 1). Imagem 4. Grãos de rutilo, estação CEA614, município de Conceição do Pará. Imagens 5 e 6. Micrografias de grãos de rutilo também da estação CCL792 (imagens 1, 2 e 3). Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

Fotografias**Sistema Cristalino****Fotomicrografias**

Aumento: 2x, LN

Aumento: 2x, LP

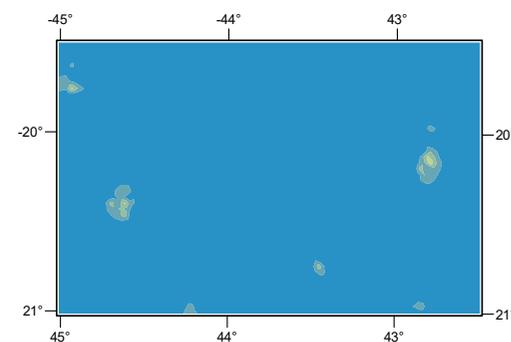
SHEELITA



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- 1 - 5%
- N Lab. ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



- | | |
|-----------|-----------|
| 0 - 0,3 | 1,5 - 1,8 |
| 0,3 - 0,6 | 1,8 - 2,1 |
| 0,6 - 0,9 | 2,1 - 2,4 |
| 0,9 - 1,2 | 2,4 - 2,7 |
| 1,2 - 1,5 | 2,7 - 3 |

Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



Modo de distribuição

A sheelita está presente em apenas 33 amostras na área de estudo, ocorrendo normalmente em quantidades menores que 1% e sendo detectada nessa concentração em 32 estações. Em apenas uma estação de amostragem, a sheelita atinge o valor máximo de 1 a 5%. A maior concentração de grãos de sheelita encontra-se na estação logo a jusante do Granitoide Córrego Pedra Dourada, que intrude gnaisses do Complexo Mantiqueira. Contudo, destaca-se o maior número de estações com presença de sheelita a noroeste da área, associada às rochas do *Greenstone Belt* Pitanguí.



CaWO₄**Principais Características Diagnósticas:**

Sistema Cristalino: Tetragonal.

Cor: Pode ser encontrada nas cores branca-leitosa, amarela, verde e castanha. Translúcida, sendo comum, alguns exemplares serem transparentes.

Dureza: 4,5 a 5.

Densidade: 5,9 a 6,1 g/cm³.

Brilho: Vítreo a gorduroso.

Clivagem: Pouco visível, contudo, muito nítida, perfeita em (101).

Fratura: Irregular.

Suscetibilidade magnética: Não atraível ao separador eletromagnético Frantz.

Fluorescência em U.V.: A scheelita exibe fluorescência azul intensa sob luz ultravioleta de onda curta.

Relevo: Positivo altíssimo.

Índice de Refração: nw: 1,918 - 1,920
ne: 1,934 - 1,937

Pleocroísmo: Ausente.

Birrefringência (δ): A birrefringência máxima é moderada (0,016-0,017) e as cores de interferência são cinza, amarelo-vivo ou azul, dependendo da espessura dos grãos.

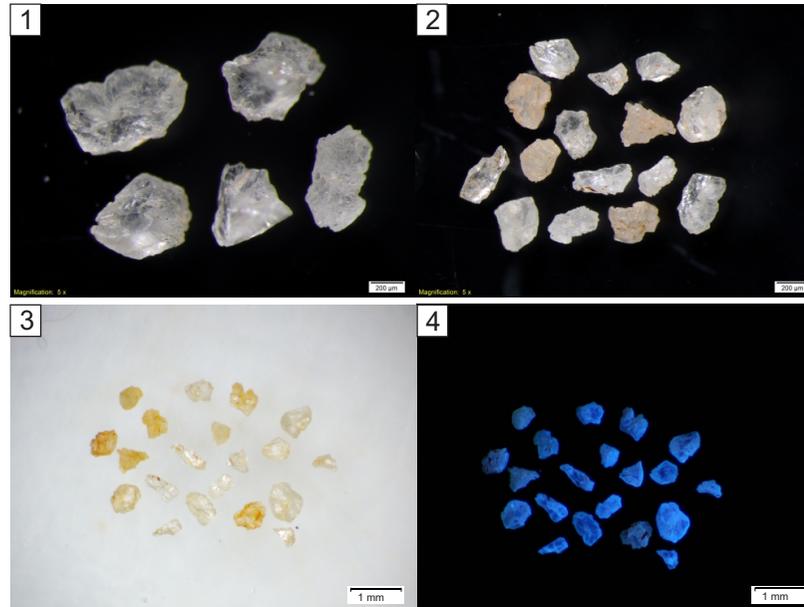
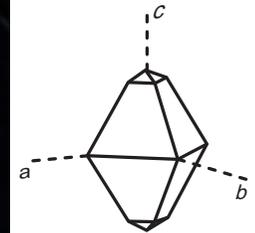
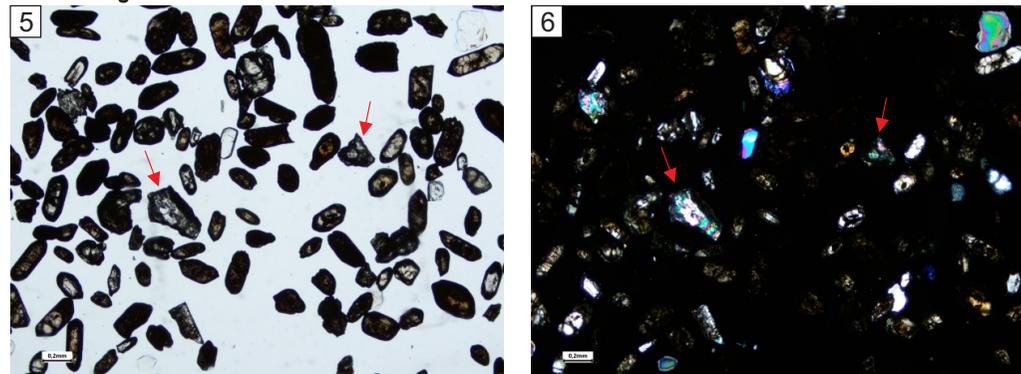
Extinção: Grãos alongados apresentaram extinção reta.

Caráter óptico: Uniaxial positivo.

Figura de interferência: Os grãos geralmente apresentam uma figura uniaxial descentrada, com isocromáticas largas, e exibem um sinal positivo claro.

Elongação: Positiva (+).

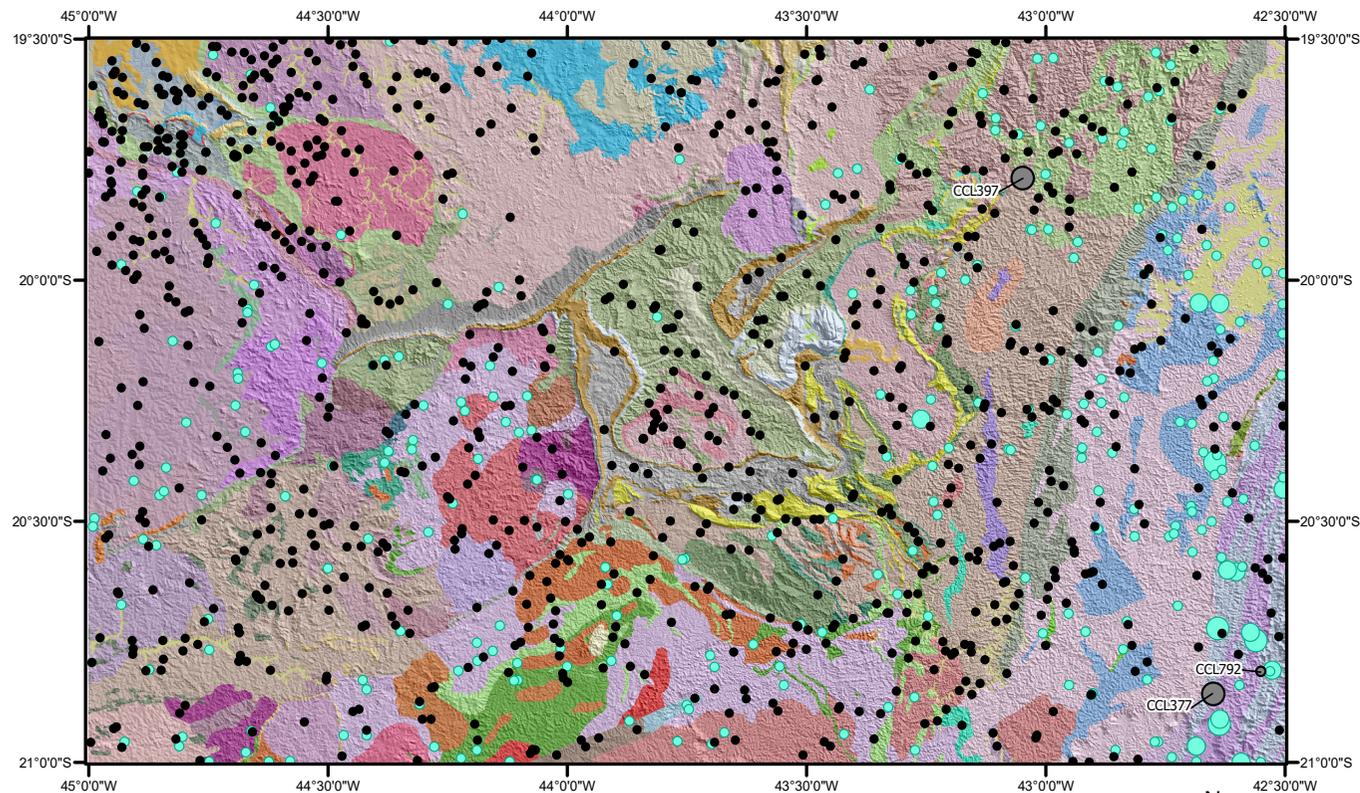
Imagem 1. Grãos de scheelita, estação CCL955, município de Santa Cruz do Escalvado. Imagem 2. Detalhe dos grãos de scheelita da estação CCL377 (imagem 1). Imagem 3. Grãos de scheelita, estação CCL165, município de São Pedro dos Ferros. Imagem 4. Os mesmos grãos de scheelita da Imagem 3 sob luz ultravioleta de onda curta, evidenciando uma intensa fluorescência azul. Imagem 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de Scheelita da estação CCL955 (imagem 1). As setas vermelhas indicam os grãos de scheelita. Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

Fotografias**Sistema Cristalino****Fotomicrografias**

Aumento: 4x, LN

Aumento: 4x, LP

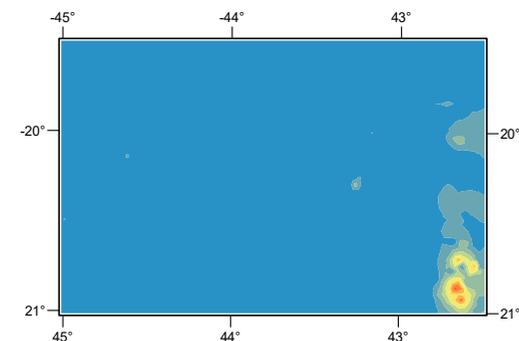
SILLIMANITA



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- 1 - 5%
- 5 - 25%
- N Lab ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



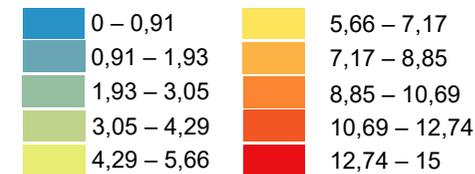
Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



N
Datum: SIRGAS 2000

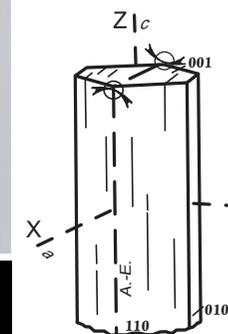
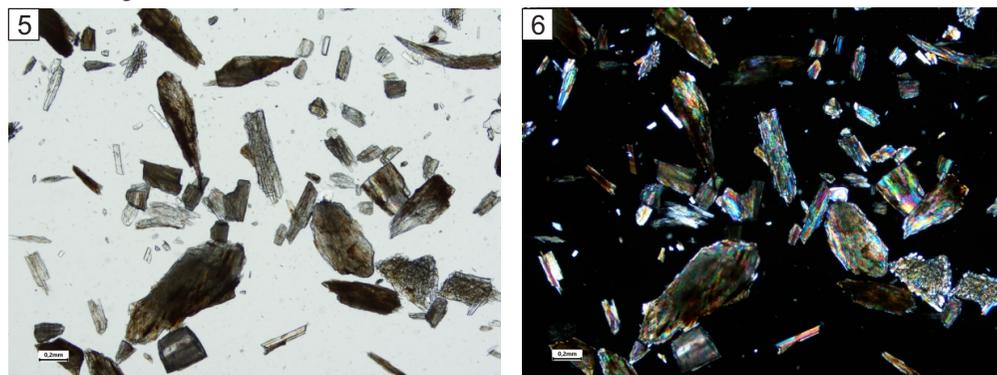
Modo de distribuição

A sillimanita está presente em 275 amostras distribuídas no entorno do Quadrilátero Ferrífero, principalmente a leste dessa província. Ocorre em quantidades normalmente menores que 1%, sendo detectada nesta concentração em 258 pontos. Em 11 estações, a concentração de sillimanita ficou entre 1 e 5% e em apenas 6 pontos atingiu um máximo de 5 a 25%. As maiores concentrações de grãos de sillimanita encontram-se associadas ao sillimanita-granada-biotita gnaiss da fácies Conservatória do Grupo Raposos no extremo sudeste da área de estudo.



Al_2SiO_5 **Principais Características Diagnósticas:****Sistema Cristalino:** Ortorrômbico.**Cor:** Castanha, verde-pálida, branca. Transparente a translúcida.**Dureza:** 6,5 a 7,5.**Densidade:** 3,23 a 3,27 g/cm³.**Brilho:** Vítreo.**Clivagem:** Muito nítida, perfeita em (010).**Fratura:** Irregular, extremidades serrilhadas na fibrolita.**Suscetibilidade magnética:** Não atraível ao separador eletromagnético Frantz.**Relevo:** Positivo médio.**Índice de Refração:** n_{α} : 1,654 - 1,661
 n_{β} : 1,658 - 1,662
 n_{γ} : 1,673 - 1,683**Pleocroísmo:** variando de marrom pálido a amarelo pálido, é raramente detectável em grãos fibrosos.**Birrefringência (δ):** Moderado a bastante forte (0,020-0,022). Prismas e fibras exibem cores de interferência de segunda e terceira ordem brilhantes, com tons dominantes de amarelo, verde e rosa-profundo. Fragmentos basais têm baixa birrefringência, portanto, suas cores de polarização são cinza e amarelo de primeira ordem.**Extinção:** Prismas e fragmentos na forma de fibras tem extinção reta.**Caráter ótico:** Biaxial positivo.**Figura de interferência:** Grãos prismáticos e fragmentos de clivagem produzem figuras de flash. Uma figura de bissectriz aguda bem centrada pode ser obtida a partir de fragmentos e prismas curtos que estão no plano basal ou rolados sobre o plano basal para obter uma figura de interferência. O ângulo $2V$: 20° (moderado).**Elongação:** Positiva (+).

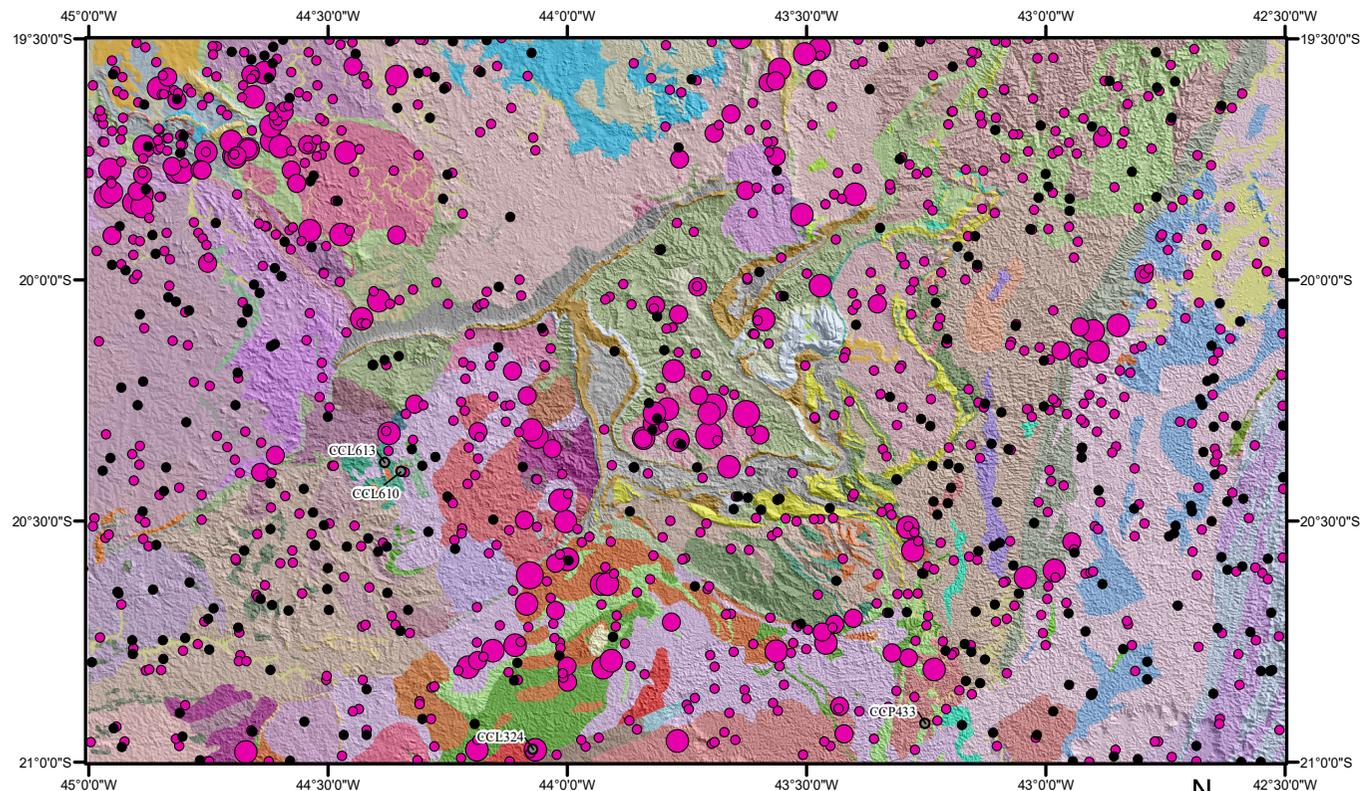
Imagem 1. Grãos de sillimanita, estação CCL792, município de Ervália. Imagem 2. Grãos de sillimanita da estação CCL377, município de Ervália. Imagem 3. Detalhe dos grãos de sillimanita da estação CCL397, município de Nova Era. Imagem 4. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de cristal de sillimanita da estação CCL377 (imagem 2). Imagens 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de sillimanita também da estação CCL377. Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

Fotografias**Sistema Cristalino****Fotomicrografias**

Aumento: 4x, LN

Aumento: 4x, LP

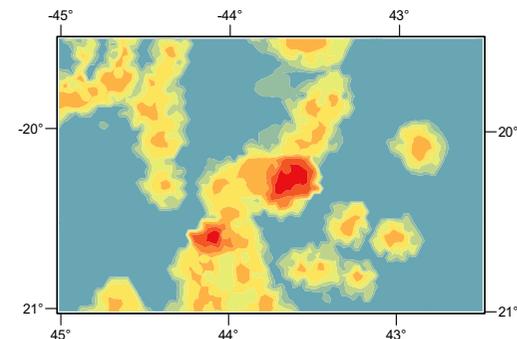
TURMALINA



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- 1 - 5%
- 5 - 25%
- 25 - 50%
- N Lab. ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)



0 – 0,95	8,57 – 12,06
0,95 – 2,19	12,06 – 16,60
2,19– 3,79	16,60 – 22,48
3,79 – 5,87	22,48 – 30,11
5,87 – 8,57	30,11 – 40

Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



Datum: SIRGAS 2000



Modo de distribuição

A turmalina está presente em 907 amostras distribuídas pela área de estudo. Ocorre em quantidades normalmente menores que 1%, sendo detectada nessa concentração em 770 pontos. Em 62 pontos, a concentração de turmalina ficou entre 1 e 5%, em 71, ficou entre 5 e 25% e, em 4 pontos, atingiu um máximo de 25 a 50%. As maiores concentrações de grãos de turmalina encontram-se associadas ao Complexo Bação e ao Grupo Nova Lima na porção central da área de estudo, mas também ao *Greenstone Belt* Pitangui e embasamento granito-gnáissico circundante e à região oeste do Cinturão Mineiro.



Principais Características Diagnósticas:

Sistema Cristalino: Romboédrico.

Cor: Variável. Schorl (preta), dravita (castanha) e elbaíta (azul, verde ou rosa-escuro).

Dureza: 7 a 7,5.

Densidade: 2,9 a 3,25 g/cm³.

Brilho: Vítreo a resinoso.

Clivagem: Não visível. Imperfeita em (1120) e ruins em (1011).

Fratura: Conchoidal.

Suscetibilidade magnética: Schorl (0,5 Ampère) e dravita (0,8 a não atraível), inclinação transversal 15° e inclinação longitudinal 20° no Frantz.

Relevo: Positivo médio.

Índice de Refração: n_w : 1,635 - 1,675 perpendicular ao eixo óptico.
 n_e : 1,610 - 1,650 paralelo ao eixo óptico.

Pleocroísmo: Forte e distinto. A absorção máxima ocorre quando o eixo longo está perpendicular à direção de vibração do polarizador. Seções de grãos orientados de acordo com as suas seções basais normalmente não possuem pleocroísmo.

Birrefringência (δ): Turmalina tem forte birrefringência (0,017-0,036), embora normalmente seja obscurecida por uma forte cor do mineral. As seções basais têm tonalidades de interferência opacas e algumas aparecem quase isotrópicas (<0,005).

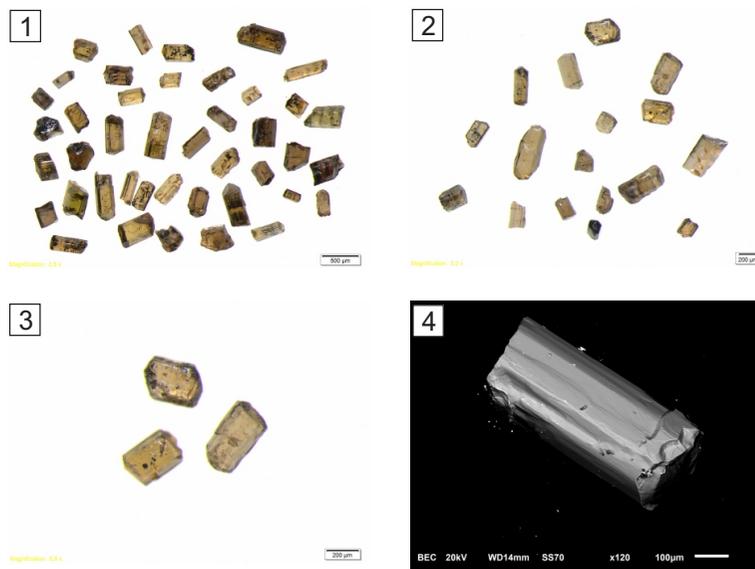
Extinção: Prismas e fragmentos alongados em "C" tem extinção reta.

Caráter ótico: Uniaxial negativo.

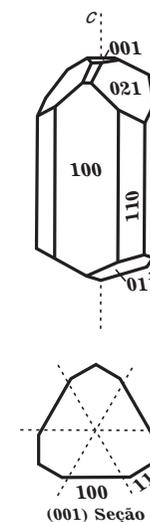
Figura de interferência: Boas figuras de interferência são observadas apenas em cortes basais.

Imagem 1. Fragmentos de cristais prismáticos de turmalina, estação CCP433, município de Brás Pires. Imagens 2 e 3. Detalhe dos grãos de turmalina da estação CCL813, município de Crucilândia. Imagem 4. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de cristal de turmalina da estação CCL324, município de Lagoa Dourada. Imagens 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de turmalina da estação CCL610, município de Crucilândia. Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

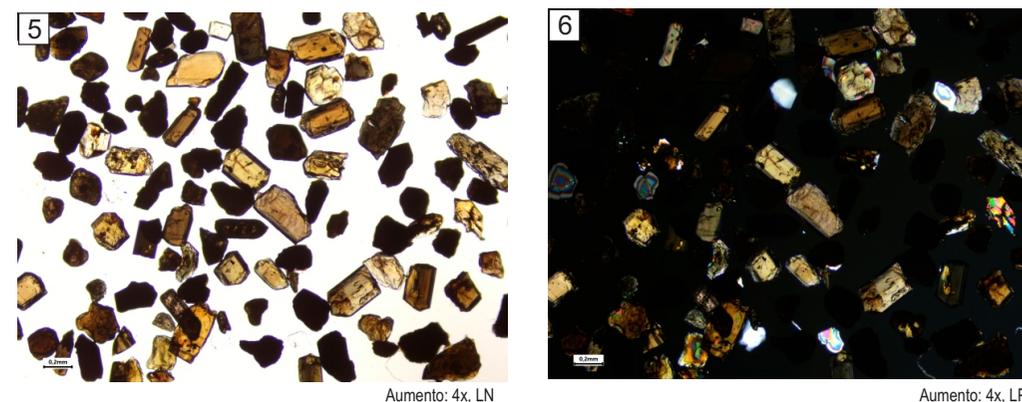
Fotografias



Sistema Cristalino



Fotomicrografias



Aumento: 4x, LN

Aumento: 4x, LP

YPO₄

Principais Características Diagnósticas:

Sistema Cristalino: Tetragonal.

Cor: Amarelo a marrom. Mineral pode variar de transparente a opaco, às vezes, translúcido.

Dureza: 4 a 5.

Densidade: 4,5 a 5,1 g/cm³.

Brilho: Resinoso, às vezes, ou vítreo.

Clivagem: Nítida, perfeita em (100).

Fratura: Irregular.

Suscetibilidade magnética: O xenotímio ocorre entre 0,2A e 1,5A (Amáx), mas a maior faixa de ocorrência no separador eletromagnético Frantz está entre 0,4A e 0,8A.

Relevo: Positivo alto.

Índice de Refração: n_w: 1,719 - 1,724
n_e: 1,816 - 1,827

Pleocroísmo: Fraco, sendo perceptível apenas em variedades de cor mais intensa.

Birrefringência (δ): Muito forte (0,097-0,103), as cores de interferência são de alta ordem, brancas-peroladas ou rosas.

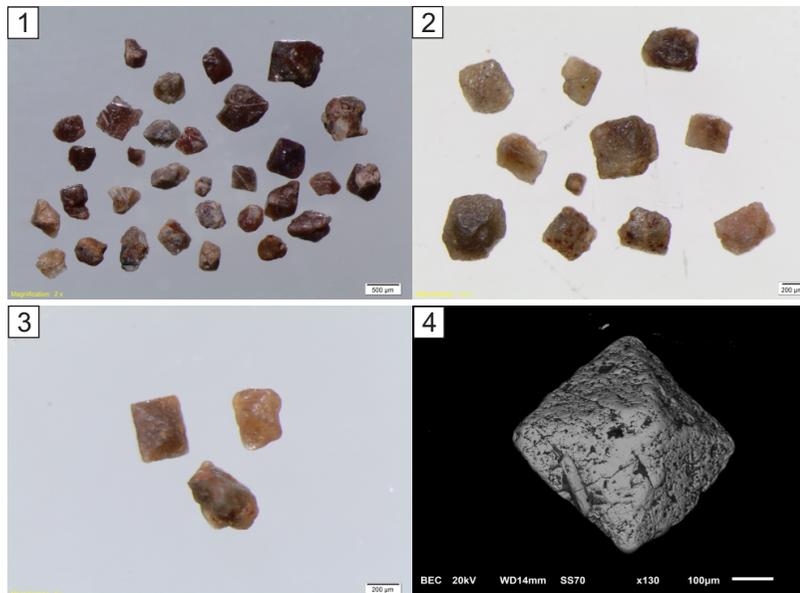
Extinção: Reta.

Caráter ótico: Uniaxial positivo.

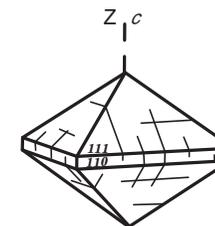
Figura de interferência: As faces prismáticas produzem falsas figuras biaxiais. Em contraste, as formas basais produzem excelentes figuras uniaxiais centradas, com várias isócronas densas e estreitas.

Imagem 1. Grãos de xenotímio da estação CCP499, município de Fortuna de Minas. Imagem 2. Grãos de xenotímio da estação CCL767, município de Jequeri. Imagem 3. Grãos de xenotímio da estação CCL176, município de Piedade de Ponte Nova. Imagem 4. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de cristal de xenotímio da estação CCL300, município de Belo Vale. Imagens 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de xenotímio da estação CCP499 (Imagem 1). Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

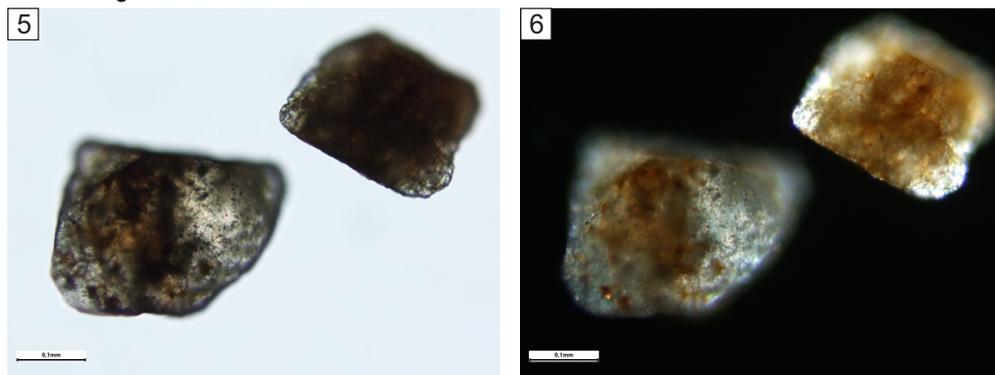
Fotografias



Sistema Cristalino



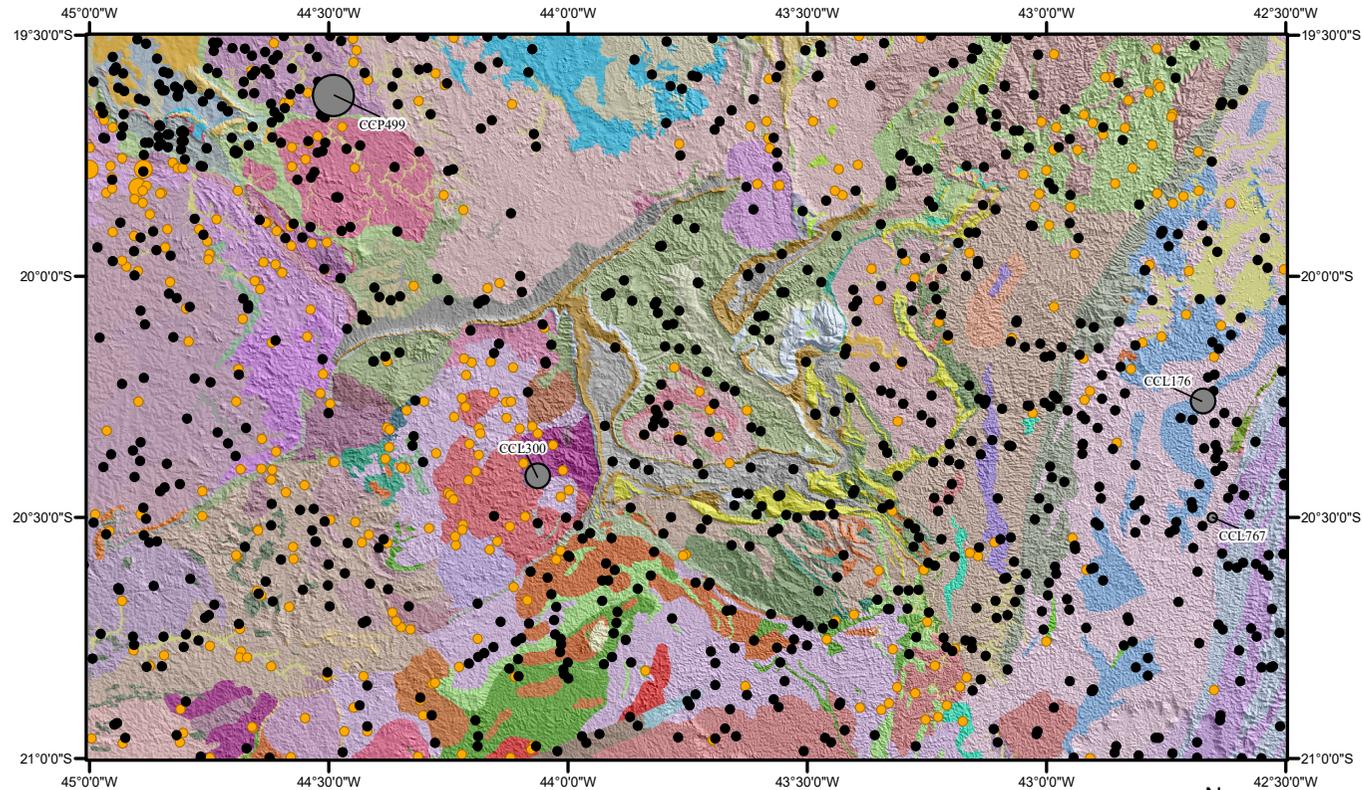
Fotomicrografias



Aumento: 20x, LN

Aumento: 20x, LP

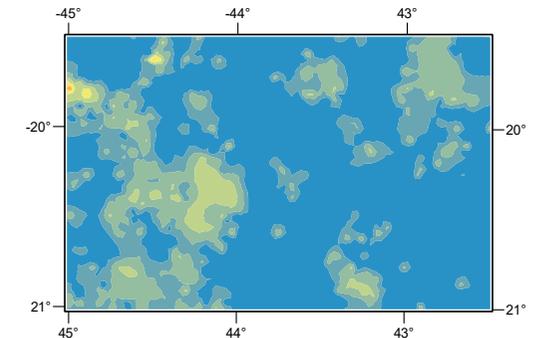
XENOTÍMIO



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- 1 - 5%
- N Lab ● Estação com fotos

Mapa previewal Inverso da distância ponderada (IDW)

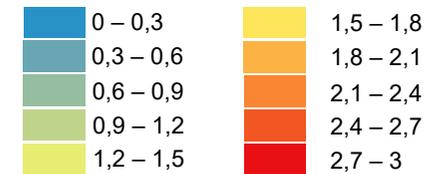


Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno

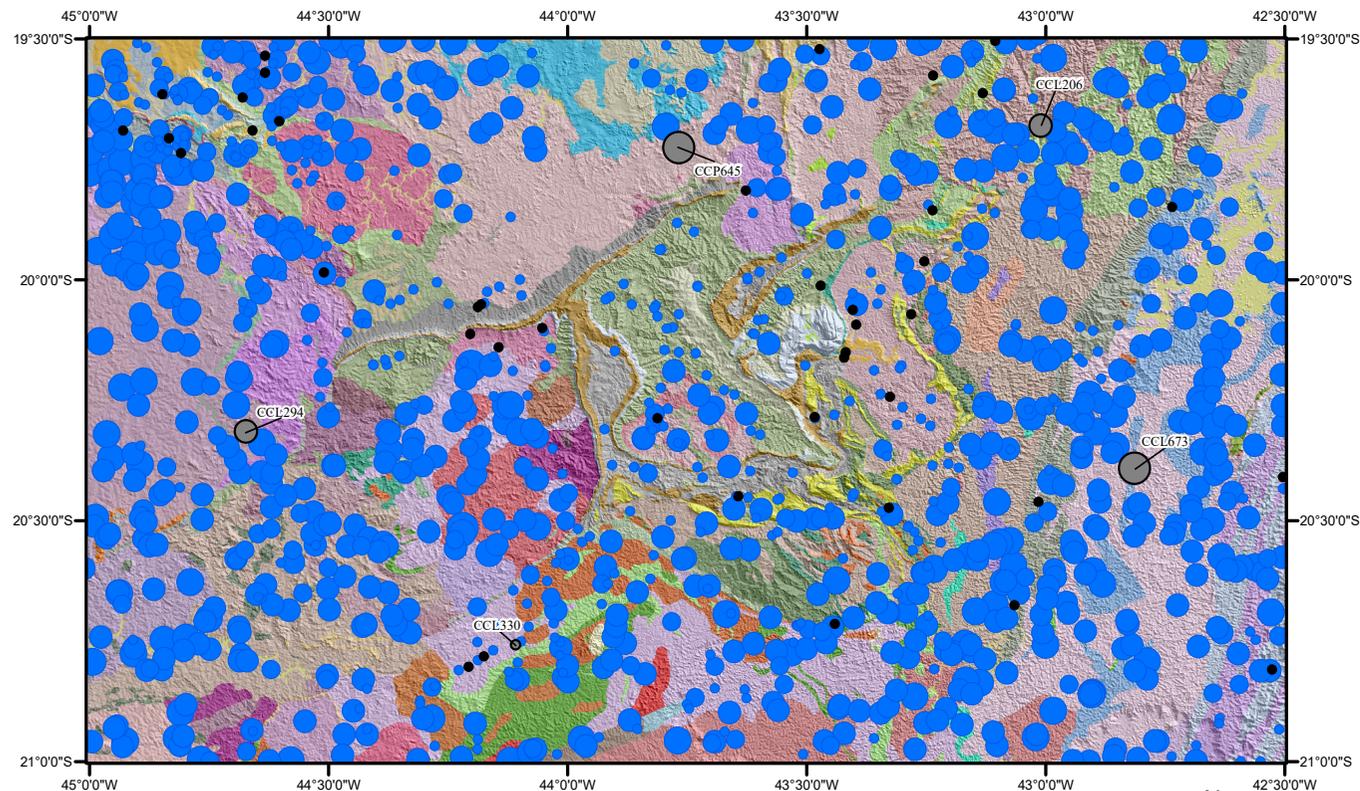


Modo de distribuição

O xenotímio está presente em 337 amostras distribuídas pela área de estudo, ocorrendo normalmente em quantidades menores que 1% e sendo detectado nas sa concentração em 333 estações. Em apenas 4 estações de amostragem, o xenotímio atinge o valor máximo de 1 a 5%. As maiores concentrações de grãos de xenotímio encontram-se em estações que drenam os gnaisses do Complexo Divinópolis. Contudo, destaca-se o grande número de estações com presença de xenotímio associada ao Monzogranito Bituri e ao Gnaiss Alberto Flores, a leste da Serra da Moeda, na região central da área de estudo.



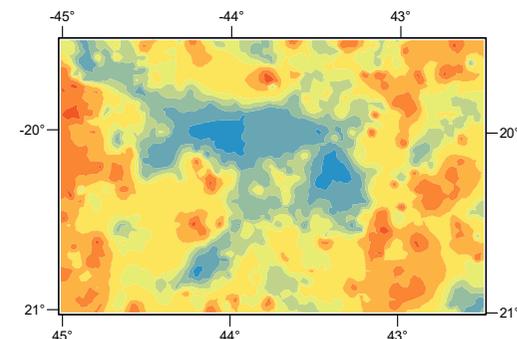
ZIRCÃO



LEGENDA:

- Estação de coleta
- <1
- 1 - 5%
- 5 - 25%
- 25 -50%
- 50 - 75%
- N Lab ● Estação com fotos

Mapa previsional Inverso da distância ponderada (IDW)



- | | |
|--------------|---------------|
| 0 – 0,98 | 10,87 – 16,25 |
| 0,98 – 2,36 | 16,25 – 23,82 |
| 2,36 – 4,31 | 23,82 – 34,44 |
| 4,31 – 7,04 | 34,44 – 49,37 |
| 7,04 – 10,87 | 49,37 – 60 |

Fusão da Base Geológica x Modelo Digital de Terreno



Datum: SIRGAS 2000

Modo de distribuição

O zircão está presente em 1.153 amostras distribuídas pela área de estudo, exibindo uma significativa variação de concentração, que vai de menos de 1% até 50 -75%. Em 344 estações de amostragem, o zircão ocorre em concentrações menores do que 1%, em 150 estações, entre 1 e 5%, em 510, entre 5 e 25%, em 145, ficou entre 25 e 50% e, em apenas 4 estações, atingiu um máximo de 50 a 75%. As maiores concentrações de grãos de zircão estão associadas às estações que drenam rochas granito-gnáissicas no entorno do segmento central do Quadrilátero Ferrífero, onde é notório o empobrecimento desse mineral.



ZrSiO₄**Principais Características Diagnósticas:**

Sistema Cristalino: Tetragonal.

Cor: Frequentemente em tons de castanho, pode apresentar variações para incolor, cinza, verde e vermelho. Geralmente, é translúcido, por vezes, transparente.

Dureza: 7,5.

Densidade: 4,6 a 4,7 g/cm³.

Brilho: Vítreo a Adamantino.

Clivagem: Muito imperfeita em (110) sendo pouco visível.

Fratura: Conchoidal.

Suscetibilidade magnética: Apresenta uma ampla faixa de suscetibilidade magnética, podendo ser observada a partir de 0.3A. No entanto, os melhores espécimes para datação, por exemplo, são obtidos na fração não atraída pelo separador eletromagnético Frantz.

Relevo: Positivo altíssimo.

Índice de Refração: nw: 1,923 - 1,960
ne: 1,961 - 2,015

Pleocroísmo: Ausente.

Birrefringência (δ): Possui forte birrefringência (0,042-0,065), resultando em cores de interferência de alta ordem, como branco, amarelo esbranquiçado ou rosa em grãos mais espessos. Cristais e fragmentos mais finos exibem tons brilhantes de amarelo, laranja, verde e vermelho, frequentemente apresentando várias faixas de cores de interferência.

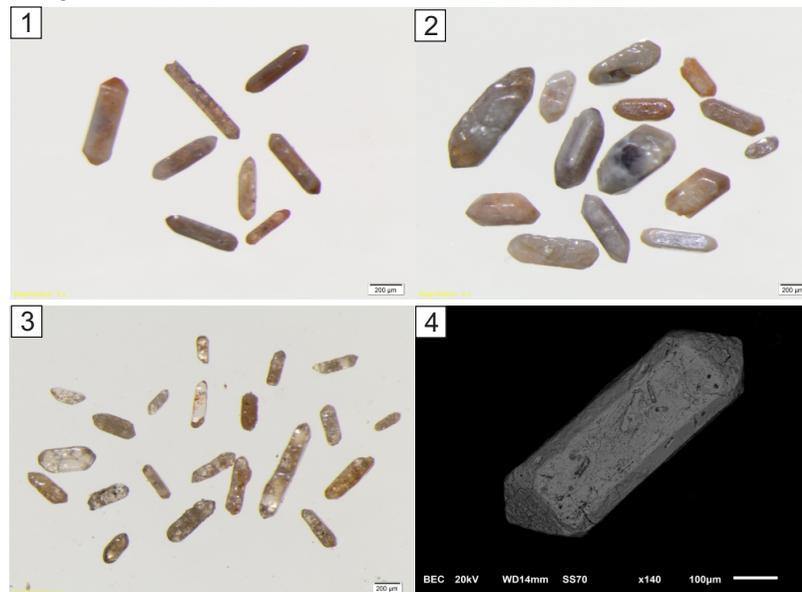
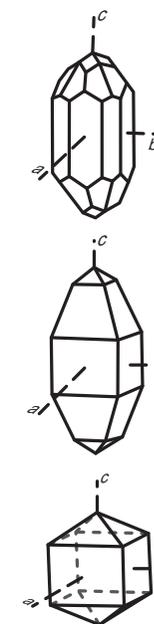
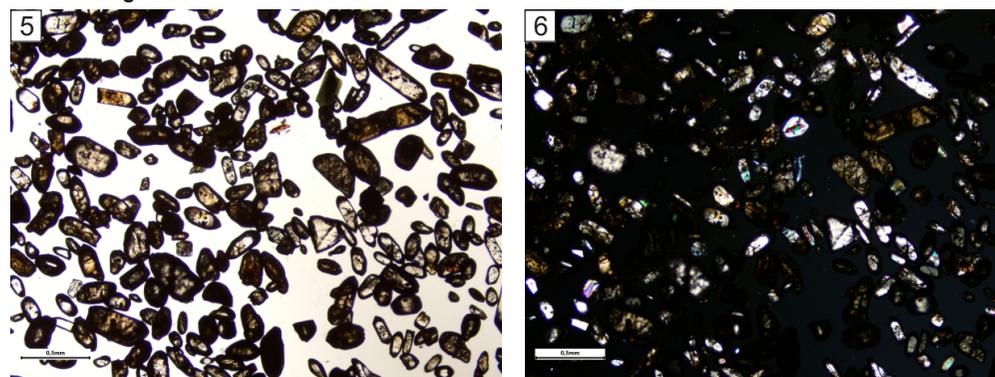
Extinção: Grãos alongados apresentam extinção reta.

Caráter ótico: Uniaxial positivo.

Figura de interferência: Raramente fornecem boas figuras de interferência. No entanto, grãos com seções basais ou grãos arredondados próximos ao seu pinacóide basal fornecem figuras uniaxiais, às vezes, podem gerar falsas figuras biaxiais.

Elongação: Positiva (+), contudo difícil de ser observada.

Imagem 1. Grãos de zircão da estação CCL294, município de Carmo do Cajuru. Imagem 2. Grãos de zircão com aspecto "esbranquiçado" da estação CCP645, município de Sabará. Imagem 3. Grãos de zircão hialinos da estação CCL206, município de Nova Era. Imagem 4. Imagem MEV (fusão do SE e BSE) de cristal de zircão da estação CCL330, município de Entre Rios de Minas. Imagens 5 e 6. Fotomicrografias de grãos de zircão da estação CCL673, município de Oratórios. Luz natural (LN) e luz polarizada (LP), respectivamente.

Fotografias**Sistema Cristalino****Fotomicrografias**

Aumento: 4x, LN

Aumento: 4x, LP

REFERÊNCIAS

ADDAD, João E. Minerais pesados: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental. 2. ed. São Paulo, 2010. 208 p.

BIZZI, Luiz Augusto *et al.* ed. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. 692 p.

BROCHE, Jacques; CASANOVA, Roger; LOUP, Gustave. **Atlas des minéraux en grains**: identification par photographies en couleurs. Côte d'Ivoire: Ministère des Mines, 1977. 173 p.

DANA, J. D.; FRANCO, R. R. **Manual de mineralogia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981. 642 p.

DEVISMES, Pierre. **Atlas photographique des minéraux d'alluvions**. Paris: B.R.G.M, 1978. 203 p. (Mémoire du B.R.G.M., 95).

FOLK, Robert L. **Petrology of Sedimentary Rocks**. 2. ed. Austin: Hemphill Publishing Company, 1974. 182 p.

KLEIN, Cornelis; HURLBUT JR., Cornelius S. **Manual of mineralogy**: (after James D. Dana). 21. ed. New York: J.Wiley & Sons, 1993. xii, 681 p.

LARIZZATTI, João Henrique; MARQUES, Eduardo Duarte; SILVEIRA, Francisco

Valdir. **Mapeamento geoquímico do Quadrilátero Ferrífero e seu entorno**: estado de Minas Gerais. Rio de Janeiro: CPRM, 2014. 208 p.

MANGE, Maria A.; WRIGHT, David T. (ed.). **Heavy minerals in use**. Reimpr. Amsterdam: Elsevier, 2009. 1283 p. (Developments in Sedimentology, 58).

PARFENOFF, Alexandre; POMEROL, Charles; TOURENQ, Josette. **Les minéraux en grains**: méthodes d'étude et détermination. Paris: Masson, 1970. 578 p.

PEREIRA, Ronaldo Mello. **Fundamentos de prospecção mineral**. 2.ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 324 p.

PEREIRA, Ronaldo Mello; ÁVILA, Ciro Alexandre; LIMA, Paulo Roberto Amorim dos Santos. **Minerais em grãos**: técnicas de coleta, preparação e identificação. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 128 p.

PETTIJOHN, Francis John; POTTER, Paul Edwin; SIEVER, Raymond. **Sand and sandstone**. Berlin: Springer Verlag, 1972. 618 p.

RITTENHOUSE, Gordon. The Transportation and Deposition of Heavy Minerals. **Geological Society of America Bulletin**, v. 54, p. 1725-1780, dez. 1943.

SILVA, Márcio Antônio da *et al.* **Mapa geológico do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2020. 1 mapa, color. Escala 1:1.000.000.



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL



UNIÃO E RECONSTRUÇÃO