

MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE 1:25.000 E EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO SINCLINAL PIEDADE, NORDESTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, CAETÉ/MG

Data de aceite: 28/05/2020

Data de Submissão: 03/02/2020

Sabrina Conceição de Moraes

Graduação em Geologia na UniBh (2018).
Pos-Graduanda em Geologia Urbana (PUC Minas) e Gestão de Recursos Hídricos (Universidade Candido Mendes). Belo Horizonte, MG.

Jhonny Nonato da Silva

Graduação em Geologia na UniBh (2018).
Belo Horizonte, MG.

Ulisses Cyrino Penha

Graduação em Geologia na UFPR (1982),
Doutorado em Geologia Regional pela UNESP (2001). Professor no Centro Universitário de Belo Horizonte (UniBh). Belo Horizonte, MG.

RESUMO: No Sinclinal Piedade participam as principais unidades estratigráficas do Quadrilátero Ferrífero. Este trabalho se baseia em um mapeamento geológico em escala 1:25.000 para entendimento das relações estruturais e geológicas do sinclinal. A área mapeada apresenta os granito-gnaisses arqueanos do Complexo Caeté, sobrepostas pelo Grupo Nova Lima, observado na área como anfibólio/clorita/sericita/talco xistos e formações ferríferas. As litologias do Supergrupo Minas compreendem os filitos prateados e quartzitos

micáceos do Grupo Caraça, os itabiritos da Formação Cauê (Grupo Itabira) os quartzitos ferruginosos do Grupo Piracicaba e as exposições de filitos/xistos do Grupo Sabará. Ocorrem diques de diabásio de idade incerta, depósitos coluvionais, principalmente tálus de itabiritos, e coberturas lateríticas. Em relação à evolução tectônica do QF, foram identificadas estruturas do Transamazônico, representado pela direção NE/SW da foliação do Grupo Sabará e indícios de, pelo menos, três fases do Brasileiro: a primeira é de grande importância deformacional, na qual gerou alinhadas N/S com vergência para oeste, dobras no Supergrupo Minas com vergência para NE, lineações minerais orientadas para SE/NW e falhas de empurrão com vergência para oeste; a segunda fase é marcada pelo redobramento da foliação principal com orientação E-W e a terceira, apresentando direção em N-S, está associada à formação de crenulações e kink-bands.

PALAVRAS-CHAVE: Quadrilátero Ferrífero, Sinclinal Piedade, Leste da Serra do Curral.

GEOLOGICAL MAPPING OF 1:25.000 AND TECTONIC EVOLUTION OF SINCLINAL PIEDADE, NORTHEAST OF QUADRILATERO FERRIFERO, CAETÉ / MG

ABSTRACT: In the Sinclinal Piedade the

main stratigraphic units of the Quadrilátero Ferrífero participate. This work is based on a 1:25,000 geological mapping to understand the structural and geological relationships of the syncline. The mapped area presents the Archaean granite-gneisses of the Caeté Complex, superposed by the Nova Lima Group, observed in the area as amphibole / chlorite / sericite / talc schist and iron formations. The lithologies of the Minas Supergroup include the silica filaments and micaceous quartzites of the Caraça Group, the itabirites of the Cauê Formation (Itabira Group), the ferruginous quartzites of the Piracicaba Group and the expositions of filitos / schists of the Sabará Group. There are dykes of diabase of uncertain age, coluvial deposits, mainly itabirite stones, and lateritic coverings. In relation to the tectonic evolution of the FF, Transamazonic structures, represented by the NE / SW direction of the Sabará Group foliation and evidence of at least three phases of the Brazilian one were identified: the first is of great deformational importance, in which it generated alignments N / S with vergence to the west, folds in the Minas Supergroup with vergence for NE, mineral orientations orientated to SE / NW and thrust faults with vergence to the west; the second phase is marked by the refolding of the main foliation with E-W orientation, and the third, with N-S direction, is associated with the formation of crinkles and kink-bands.

KEYWORDS: Quadrilátero Ferrífero, Sinclinal Piedade, Eastern Curral Range.

1 | INTRODUÇÃO

O Sinclinal Piedade, situado na porção nordeste da província mineral do Quadrilátero Ferrífero (QF), compreende grande parte das unidades estratigráficas do QF: embasamento cristalino (EC), Supergrupo Rio das Velhas (SRV) e Supergrupo Minas (SM) (LADEIRA, 1984). Segundo Chemale Jr. *et al* (1994), Sanglard *et al* (2013), Alves (1961) e Romano (1989). A serra da Piedade, extensão ENE da Serra do Curral e limite sul do Sinclinal Piedade, apresenta importantes estruturas que auxiliam na compreensão da evolução tectônica do QF.

Face à importância mineral e geológica desta província, este estudo consiste na caracterização da geologia e do arcabouço tectônico do Sinclinal Piedade, através de um mapeamento em escala 1:25.000 em uma área de aproximadamente 25 km², na porção nordeste do município de Caeté, centro-sul de Minas Gerais. O entendimento das relações estruturais e geológicas da região estudada constituiu aspecto chave na análise estratigráfica e tectônica da província mineral do QF.

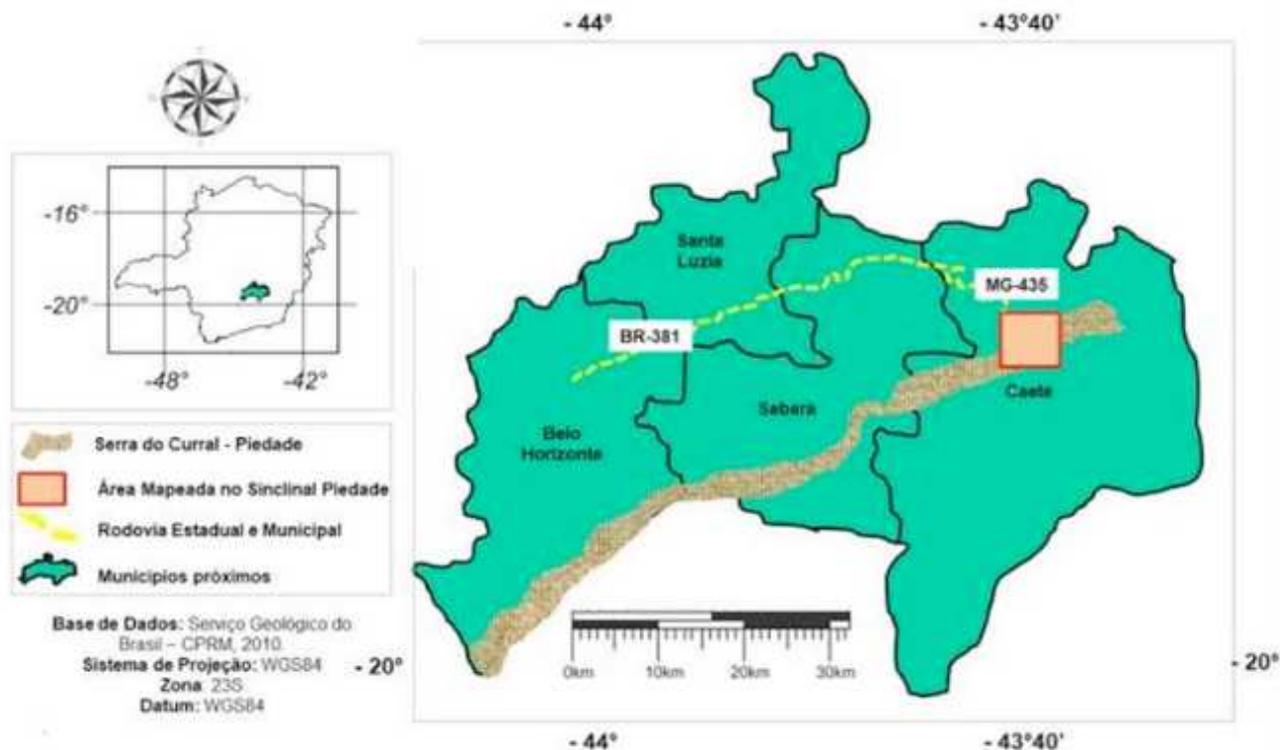


Figura 1 – Mapa de localização e acessos da área investigada com os principais limites municipais.

Fonte – Modificado de CPRM, 2010.

A área de estudo está inserida na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero, na divisa entre os municípios de Caeté e Sabará, no extremo leste da serra do Curral (Figura 1). O acesso à área é realizado partindo-se de Belo Horizonte, seguindo por aproximadamente 40 km pela rodovia BR-381 e, a partir do trevo para a cidade de Caeté, pela MG-435, aproximadamente 10 km até a portaria principal do Santuário da Piedade, importante ponto de referência da área.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Esta investigação suporta-se em um mapeamento, na escala 1:25.000, realizado no interior do Sinclinal Piedade, fundamentado pelos dados de fotointerpretação, revisão bibliográfica e descrição macoscópica e microscópica as amostras coletadas em campo.

A revisão bibliográfica deste trabalho, baseia-se, principalmente, nos estudos de Alkimim e Marshak (1998), Dorr (1969), Farina *et al.* (2016), Ladeira (1980), Lobato *et al.* (2001), Renger *et al.* (1994), Rosière e Chemale (2000).

Para a análise de fotointerpretação, utilizou-se o imageamento de satélite disponível no Google Earth, onde se tornou possível a interpretação de alinhamentos morfológicos, drenagens e zonas homólogas, importantes ferramentas para a realização do trabalho.

As campanhas de campo foram fundamentadas na descrição de afloramentos, coleta de amostras para laminação, descrição microscópica e macroscópica, a fim de obter informações seguras e detalhadas. Os mapas pré-campo e inseridos neste trabalho, foram

confeccionados a partir de uma base de dados georreferenciada da CPRM e trabalhados no *ArcGis*. Durante a execução do campo, realizou-se o caminhamento em vias de acesso já estabelecidas na área, como estradas e trilhas e, auxiliados pelo mapa geológico, topográfico e imagem de satélite, tornando possível o alcance de grande parte da área mapeada.

As medidas estruturais foram coletadas com o auxílio de bússola Brunton, e lançadas no *Stereonet Software*, tornando possível a interpretação do comportamento das litologias encontradas.

Além dos materiais supracitados, utilizou-se o aplicativo para *smartphone*, *Avenza Maps*, desenvolvido pela empresa *Avenza Systems*, onde se inseriu um mapa de satélite georreferenciado, realizando a marcação dos pontos de análise e dados de GPS.

A descrição microscópica de lâminas das litologias do Supergrupo Minas e do Complexo Metamórfico Caeté foi realizada em microscópio binocular de luz transmitida. Já as amostras coletadas no Supergrupo Rio das Velhas foram analisadas pelo método de Fluorescência de Raios-X (FRX), por onde temos acesso aos elementos químicos de uma amostra através da detecção dos raios-X que são característicos de cada elemento. Além disso, foram realizadas análises de Difração de Raios-X, em amostras pontuais.

3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

a. Contextualização Geológica

Regionalmente, a área de estudo é moldada por um sinclinal com direção preferencial NE-SW e compreende as principais unidades litoestratigráficas do QF: complexos TTG's, Supergrupo Minas e Supergrupo Rio das Velhas, conforme observado na Tabela 1.

O embasamento cristalino do QF, de idade arqueana, é representado por complexos de domos granito- gnaisses, TTG's (tonalito-trondhjemito-granodiorito), que exhibe bandamento e feições de migmatização (HIPPERTT; DAVIS, 2000), representando a crosta mais velha, sílica, que foi intrudida por granitóides de composição variável (NOCE, 1994).

Segundo Lobato *et al.* (1998), o Supergrupo Rio das Velhas consiste nas sequências metavulcano- sedimentares que circundam os terrenos granito gnáissicos do QF. Segundo Baltazar e Silva (1996) apresenta estratigraficamente três grupos: Maquiné (GM), Nova Lima (GNL) e Quebra Osso (GQO). O GNL consiste principalmente de lavas basálticas metamorfisadas, grauvacas e quartzitos, com intercalações de formação ferrífera bandada e rocha quartzo-ankerítica. O GQO constitui-se de metakomatiito peridotítico, metakomatiito, serpentinito, formação ferrífera bandada, metachert, turmalinito e filito carbonoso. O GM, definido por Dorr *et al.* (1957), foi dividido nas formações Palmital (O'ROURKE, 1957), quartzito, quartzito sericítico, quartzito-sericita xisto, representando metarenito, metagrauvaca e metargilito, com estratificação cruzada preservada, e Casa Forte (GAIR, 1962) quartzito sericítico fino, de granulação média a grossa e metaortoconglomerado polimítico, sericita xisto e sericita-quartzito xisto.

Segundo Rosière e Chemale (2000), sobrepondo as litologias citadas anteriormente, ocorrem as megassequências do Supergrupo Minas, cuja estratigrafia é dividida, da base

para o topo, em duas principais: a primeira é uma sequência entre fluvial deltaica e marinha plataformal que inclui os grupos Caraça, Itabira e Piracicaba, e a segunda representada pelos depósitos marinhos imaturos do Grupo Sabará. O Grupo Caraça apresenta as formações Moeda, inferior (quartzitos com intercalações de filito e níveis metaconglomeráticos). E Batatal, superior (filitos sericíticos, por vezes carbonosos ou ferruginosos) (ROSIÉRE; CHEMALE, 2000). O Grupo Itabira, segundo Dorr (1969), é constituído por uma sequência de metassedimentos químicos iniciados pela Formação Cauê (itabirito, itabirito dolomítico, dolomito ferruginoso e filito), seguida da Formação Gandarela, (dolomitos, filito dolomítico e dolomito silicoso). O Grupo Piracicaba é constituído por rochas metassedimentares clásticas da Formação Cercadinho (filitos com intercalação de quartzitos ferruginosos) (LOBATO *et al.*, 2001) e apresenta um contato discordante erosivo com a Formação Fecho do Funil (dolomitos silicosos, filitos hematíticos e fillitos dolomíticos) em contato gradativo ao quartzito da Formação Taboões (DORR, 1969) e sobreposta pela Formação Barreiro (filitos róseos a carbonosos). No topo da sequência, o Grupo Sabará apresenta intercalações de clorita xisto, mica xisto, grauvacas e formações ferríferas bandadas (FFB), com presença de turbiditos, tufos e materiais vulcanoclásticos (ALKIMIM; MARSHAK, 1998). Segundo Alkimim e Marshak (1998), o Grupo Itacolomi ocorre somente na porção sudeste a sul do QF e está acima de todas as camadas já citadas com predominância de litologias como quartzito, quartzito conglomerático, veios de quartzo e metapelitos.

Idade	Supergrupo	Grupo	Formação	Log	Litotipos Encontrados	
Paleoproterozóico	Minas	Itacolomi	Indiviso		ortoquartzitos, quartzitos (matriz ferruginosa), filitos quartzosos filitos e conglomerados com seixos de itabirito.	
		Sabará	Indiviso		Clorita-xistos, grauvacas, metatufos, conglomerados, quartzitos, diamictitos, turbiditos e itabiritos.	
			Piracicaba	Barreiro		filitos e filitos grafitosos
				Toboões		ortoquartzitos
				Fecho do Funil		filitos, filito dolomítico e dolomito silicoso
			Cercadinho		quartzito ferruginoso, quartzitos, filitos ferruginosos e dolomitos	
			Itabira	Gandarela		Dolomitos, filito dolomítico e calcário
		Cauê			itabirito, itabirito dolomítico, hematita, lentes de xistos e filitos	
		Caraça	Batatal		filito e filitos grafitosos, metachert e formação ferrífera	
			Moeda		Metaconglomerado, quartzitos e filitos	
		Arqueano	Rio das Velhas	Maquiné	Indiviso	
Nova Lima	Indiviso				filitos, xistos, formações ferríferas, dolomitos, quartzitos, metacherts, rochas máficas e metaultramáficas	
Complexos Metamórficos	Indiviso		Indiviso		gnaisse bandados, gnaisse migmatíticos, augen-gnaisse e granitos	

Tabela 1 – Coluna Litoestratigráfica do Quadrilátero Ferrífero e os principais litotipos associados.

Fonte – Modificado de Dorr, 1969; Ladeira, 1980; Renger *et al.*, 1994.

b. Contextualização Tectônica

Diversos estudos de cunho estrutural e tectônico realizadas no QF (ALKMIM e MARSHARK, 1998; ALKMIM e NOCE, 2006; CHEMALE Jr. *et al.*, 1994; DORR, 1969) demonstraram que o QF apresenta uma história tectônica polifásica, que culminou em um cenário estrutural muito complexo. Alkmim e Marshak (1998) desenvolveram a conjectura

tectônica com base nos seguintes eventos:

1. **“Granite-Greenstone belt” Arqueano:** segundo os autores, as rochas cristalinas (3,2 Ga) serviram de embasamento para o estabelecimento do Supergrupo Rio das Velhas em um contexto geotectônico de colisão de placas. Posteriormente, um plutonismo contemporâneo ao Supergrupo Rio das Velhas teria criado um “*granite-greenstone belt*” arqueano clássico.
2. **Bacia sedimentar Minas:** entre 2,6 Ga e 2,4 Ga, a região a leste e sudeste do QF teria evoluído para uma bacia de margem passiva, tornando a futura província uma plataforma continental. O início dessa bacia sedimentar representaria um evento extensional.
3. **Orogenia e colapso Transamazônico:** a partir de 2,1 Ga, a região do QF teria evoluído para uma bacia *foreland* associada a um cinturão de dobras e cavalgamentos de vergência NW, resultando no desenvolvimento de cavalgamentos, zonas de cisalhamento e dobras de escala regional. O desenvolvimento dessa orogenia ocorreu logo após a deposição do Grupo Sabará, aproximadamente 2Ga. A partir disso uma deformação de caráter extensional de escala regional produziu uma nova estruturação do QF em “domo e quilha”, ao mesmo tempo reativando e truncando a estruturação anterior. Rochas supracrustais afundaram entre os domos de rochas do embasamento cristalino.
4. **Rifteamento Espinhaço:** o rifteamento Espinhaço em uma área a nordeste do QF é representado por uma intrusão de diques de diabásio no QF, que teria acontecido a cerca de 1.75 Ga.
5. **Cavalgamentos Brasileiros:** o evento Brasileiro (0,7-0,45 Ga) criou um cinturão de cavalgamentos de vergência oeste que reativou e truncou as estruturas mais antigas do QF e teria representado uma das várias orogenias que levaram à montagem final do Gondwana. Além disso, o Brasileiro também teria representado a reativação de zonas de cisalhamento pré-existentes e dos principais contatos litológicos em falhamentos direcionais.

C. Contextualização Fisiográfica

Segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al, 2013), a área do Sinclinal Piedade insere-se no clima definido como subtropical úmido, onde a topografia acentuada da serra é um fator fisiográfico determinante na caracterização do clima da região por sua altitude entre 1200 e 1700 m.

A rede hidrográfica da área mapeada faz parte da sub-bacia do Rio das Velhas, região do Alto São Francisco. Entre os principais cursos d’água da região se destacam os córregos Monjolo e Palmital que pertencem a sub-bacia do Ribeirão Vermelho e o córrego Fazendinha pertencente a sub-bacia do Rio Taquaraçu. A maior parte da área é composta por mares de morros e por domínios montanhosos (Figura 2). Os primeiros correspondem aos terremos dissecados com morros de topos convexo-côncavos e possuem amplitude de relevo que variam de 80 a 200 metros, com inclinação de vertentes entre 15 e 35°. Em relação aos domínios montanhosos, eles se correlacionam com os alinhamentos serranos, neste caso,

com o alinhamento do prolongamento da serra da Piedade, onde predominam vertentes retilíneas.

De acordo com Scolforo e Carvalho (2008), a vegetação típica da área mapeada se faz por Floresta Estacional Semidecidual Montana. Nas áreas próximas as drenagens, a vegetação se torna mais densa com características de matas ciliares. Nas encostas, os campos rupestres ocorrem com maior frequência, enquanto nas altitudes intermediárias, as árvores rarefeitas e de galhos retorcidos demarcam o cerrado.



Figura 2 – Domínios Geomorfológicos da área de estudo. A) Sinclinal Piedade demarcado pela linha vermelha) observado do ponto de maior altitude da serra da Piedade, envolto pelos mares de morros. B) Domínio Montanhoso da área estudada, caracterizado pelos dobramentos da Serra da Piedade, observado em área lavrada desativada e de propriedade da AVG.

Fonte – Acervo dos autores.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

a. GEOLOGIA DO SINCLINAL PIEDADE

Complexo Metamórfico Caeté

O Complexo Caeté ocorre no extremo norte e leste, composto por granito-gnaisses em lajedos aflorantes (Figura 3A), com foliações marcantes mais ou menos pronunciadas e ocorrência de faixas miloníticas.

São rochas félsicas, coloração cinza clara, granulação média a grossa com faixas porfiroblásticas. Texturalmente podem ser classificadas como granoblástica, lepidoblástica ou nematoblástica, apresentam maior quantidade de feldspato, seguidos por quartzo e biotita (Figura 3B), além de intenso magnetismo induzido pela presença de magnetita em algumas porções.

Microscopicamente, os minerais se apresentam de forma anédrica e de tamanho mediano. O quartzo granoblástico, apresenta extinção ondulante e bordas fragmentadas por recristalização. Há também microfraturamentos preenchidos por óxidos de ferro que aparecem próximos às biotitas em pequenos glomérulos ou dispersos nas microfraturas. Conseguem-se identificar também biotita lepidoblástica tabular, de extinção reta, orientadas

segundo um direcionamento principal, por vezes segmentada. O plagioclásio granoblástico, sericitizado por alteração e com a presença de micrólitos não identificados, que sugerem uma cristalização tardia, é característico de zonas de metamorfismo. Minerais como os porfiroblastos de feldspato perítico, apresentam sericitização como os plagioclásios e suas lamelas de exsolução apresentam pequenos dobramentos, provavelmente por causa de tensão dúctil e bandamento incipiente. Segundo sua mineralogia e estrutura, a rocha foi classificada como hornblenda- biotita gnaise.



Figura 3 – A) afloramento de granito-gnaise na porção nordeste da área mapeada; B) gnaise do embasamento com os principais minerais constituintes.

Fonte – Acervo dos autores.

Supergroupo Rio das Velhas

As litologias do Supergroupo Rio das Velhas encontradas na área mapeada são pertencentes ao Grupo Nova Lima, subdivididas nas unidades Ouro Fino e Morro Vermelho. As principais rochas encontradas na região consistem em clorita, sericita e talco xisto, de granulação fina, e formações ferríferas. As análises de FRX foram realizadas em cinco amostras, conforme observado na Tabela 2.

Amostra	Unidade Geológica	Principais Elementos encontrados na FRX	Características	Rocha
TCC-SRV01	Ouro Fino	Si, Al e Fe	Rocha sílico-aluminosa típica de metamorfismo regional	sericita-xisto
TCC-SRV02	Ouro Fino	Si, Al, Fe, K e Ti	Coloração amarela a rosada	sericita-xisto
TCC-SRV03	Ouro Fino	Si, Al, Ti, Mg	Pouco alterado e coloração cinza	clorita-xisto
TCC-SRV04	Ouro Fino	Fe	Superfície intemperizada e coloração ocre	metaBIF
TCC-SRV05	Morro Vermelho	Si, Al e Fe	Vermelha escura	clorita-xisto
		Si, Al e Fe e Mg	Intemperizado, cor amarelada e untuosa ao toque	talco-xisto

Tabela 2 – Resultado da Análise de Fluorescência de Raios X em amostras do Supergroupo Rio das Velhas

Fonte – Acervo dos autores.

As quatro primeiras amostras representaram a unidade Ouro Fino. A amostra TCC-SRV01, apresentou significativa porcentagem de sílica (Si), alumínio (Al) e Ferro (Fe), e

foi identificada como sericita xisto. A amostra TCC-SRV02, sericita-quartzo xisto, apresenta coloração de amarelo a rosa e elevado teor de sílica, alumínio, ferro, potássio (K) e titânio (Ti), estes últimos com maior porcentagem na análise pontual da rocha. Segundo os dados da análise, a TCC-SRV03 apresentou importantes dados relacionados à presença de sílica, alumínio, titânio e magnésio (Mg), caracterizando a existência de clorita xisto, pouco alterado com coloração cinza. A formação ferrífera bandada (BIF) foi identificada na amostra TCC-SRV04, apresentando superfície intemperizada para óxidos/hidróxidos de ferro de coloração ocre.

Representando a unidade Morro Vermelho, a amostra TCC-SRV05 foi dividida em duas: a primeira apresentou coloração avermelhada escura com teores significativos de sílica, alumínio e ferro, caracterizando clorita-xisto intemperizada; a segunda apresentou teores elevados de magnésio, identificada como um talco xisto intemperizado de cor amarela e untuosa ao toque.

Supergupo Minas

I Grupo Caraça: Encontrado na porção centro-sudeste da área, o Grupo Caraça ocorre em exposições de filito prateado intercalado a quartzito com contato estratigraficamente concordante entre as camadas, representando a Formação Batatal. Os quartzitos (Figura 4A) micáceos e compactos destacam-se no relevo na forma de escarpa, com baixo grau de intemperismo (rocha sã). Os filitos (Figura 4B) apresentam coloração acinzentada a prateada, gradando para colorações mais amareladas com alto grau de intemperismo e fraturamento, sendo ainda observada grande presença de sericita e veios de quartzo.

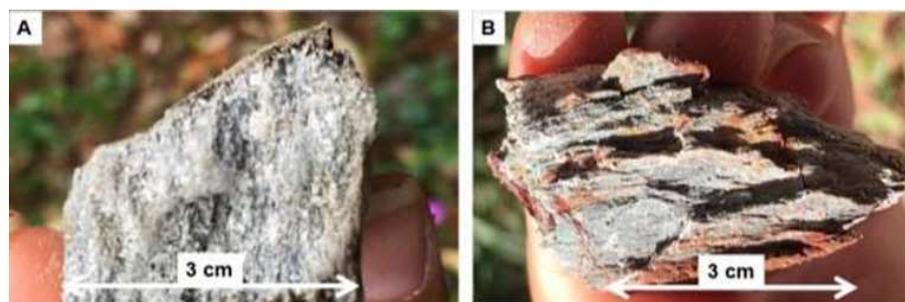


Figura 4 – A) amostra de quartzito do Grupo Caraça; B) filito prateado observado em amostra de mão.

Fonte – Acervo dos autores.

II Grupo Itabira: A Formação Cauê, única litologia do Grupo Itabira presente na área, é representada pelas exposições de itabirito que marcam o limite sul sustentando a topografia da Serra a Piedade. A alternância rítmica de bandas silicosas e ferruginosas nos itabiritos apresenta, geralmente, espessuras inferiores a 2 cm. Localmente, ocorrem veios de quartzo fumê e leitoso, com tamanhos variando de 5 a 11 cm, preenchendo fraturas discordantes da foliação. Por vezes ocorrem dobras intrafoliais, principalmente na porção silicosa do itabirito (Figura 5A). Lamelas de hematita com iridescência são comuns, conforme amostra ilustrada

na Figura 5B. O contato entre o Itabirito Cauê e o Grupo Caraça é gradacional, marcado pelo aparecimento de hematita na Formação Batatal, aumentando gradualmente em quantidade em direção à Formação Cauê. A rocha se torna bandada com o aparecimento de camadas ferruginosas e silicosas.

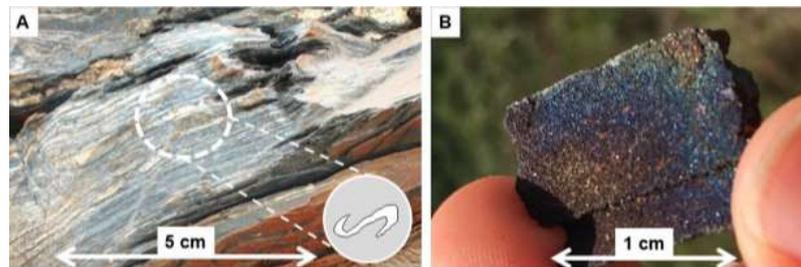


Figura 5 – A) itabirito com venulação quartzosa localizada e dobrada intrafolialmente; B) hematita com iridescência na Formação Cauê.

Fonte – Acervo dos autores.

iii Grupo Piracicaba: O Grupo Piracicaba, encontrado na porção centro-sul da área, é representado pela Formação Cercadinho, cujos quartzitos micáceos apresentam alto grau de intemperismo (Figura 6A) marcado pela coloração branca a ocre, e os quartzitos ferruginosos (Figura 6B) tem predominância de cores de intemperismo acinzentadas e avermelhadas.



Figura 6 – A) afloramento de quartzito micáceos alterado; B) quartzito ferruginoso da Fm Cercadinho.

Fonte – Acervo dos autores.

iv Grupo Sabará Indiviso: O Grupo Sabará expõe-se em toda porção central da área mapeada. Ocorrem, localmente, porções mais arenosas gradando para siltosas, geralmente, apresentam camadas ricas em sericita com lamelas de hematita muito fina. Os filitos/xistos avermelhados ocorrem em faixas pouco definidas. Os xistos são classificados, segundo sua mineralogia, como sericita-clorita-quartzo xisto. Ocorrem sericita filitos (Figura 7A) e exposições clorita xistos (Figura 7C) cortados por veios de quartzo, sugerindo possível fluidização hidrotermal. Bandamentos incipientes são frequentes (Figura 7B), bem como veios ricos em cianita e estauroлита (Figura 7D). As rochas apresentam granulação média a fina e demonstram processos de recristalização em certos pontos.



Figura 7 – Litologias observadas no Grupo Sabará; A) filito sercítico ocre com bandamento incipiente; B) cianita- estaurólita-quartzo-mica xisto com foliação e crenulação bem marcadas; C) clorita xisto; D) cristais de cianita desenvolvidos junto a veio de quartzo leitoso.

Fonte – Acervo dos autores.

V Rochas Intrusivas: Os diques encontrados na área mapeada estão intemperizados (Figura 8A), muito fraturados e com coloração avermelhada provocada pelo intemperismo dos minerais máficos. Esses diques correspondem a rochas básicas, geralmente diabásios (Figura 8B) e gabros, conforme descrição microscópica anexa.

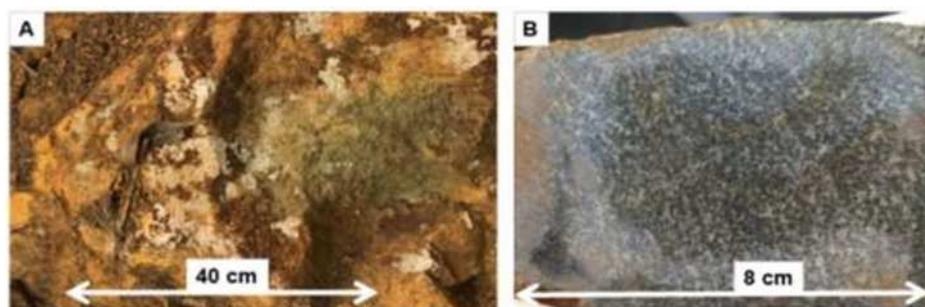


Figura 8 – A) bloco de diabásio na porção sudeste da poligonal; B) detalhe da amostra de diabásio coletada.

Fonte – Acervo dos autores.

VI Sedimentos do Neógeno: A cobertura laterítica (Figura 9A) ocorre em quase toda a porção de desenvolvimento da Formação Cauê, com espessura aproximada de no máximo 50 cm, marcada pela coloração avermelhada em decorrência do óxido de ferro. Localmente apresentam fragmentos centimétricos a métricos, ocorrendo também presença de blocos e matacões constituídos de itabiritos e quartzitos. Os depósitos coluviais ocorrem próximo de áreas montanhosas relacionadas à tálus (Figura 9B), encaixadas em vales ou cobrindo encostas. São constituídos de material inconsolidado, em geral matacões e blocos de rochas adjacentes, em meia encosta ou no sopé de serras, em ambientes de alta energia. Ocorrem,

geralmente, blocos métricos a centimétricos de itabiritos, relacionados às metaBIFs da Formação Cauê, e quartzitos, além do desenvolvimento de saprólitos.

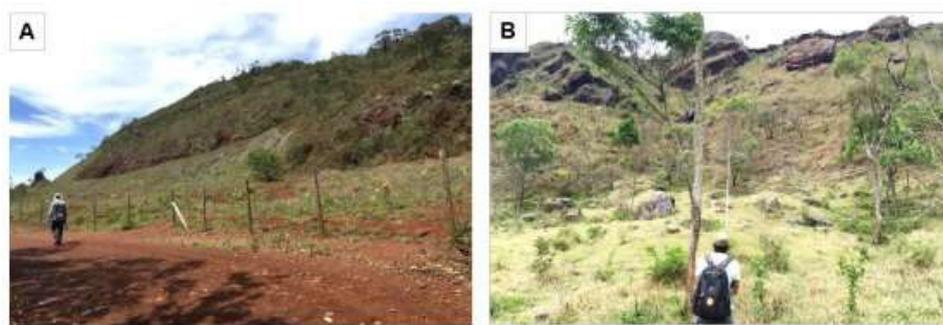


Figura 9 – A) solo laterítico observado na área mapeada em meia encosta; B) depósito de tálus com blocos centimétricos a métricos do Itabirito da Formação Cauê.

Fonte – Acervo dos autores.

Os cambissolos e os solos alóctones ocorrem nas regiões altitude intermediária e, ao se aproximar da serra da Piedade, o solo do tipo neossolo litólico se desenvolve com maior frequência. Ocorrem também latossolos amarelos distróficos com horizontes B bem desenvolvidos. A cor amarelada é uniforme em profundidade, o mesmo ocorrendo com o teor de argila. A textura mais comum é a argilosa ou muito argilosa.

B. Arcabouço Estrutural

Foliação: Os elementos planares e lineares utilizados para subsidiar o arcabouço estrutural da área mapeada, consistiram na identificação e caracterização de estruturas S_0 , S_n e S_{n+1} . As estruturas em S_0 estão relacionadas, principalmente, a laminação do Itabirito Cauê marcadas pela intercalação de lâminas de quartzo e hematita (Figura 10A), e também é observado granodecrescência no grupo Sabará, representada pela metagrauvaca. A clivagem e a clivagem de crenulação, S_n e S_{n+1} , são definidas pelas lamelas de hematita no itabirito (Figura 10B).

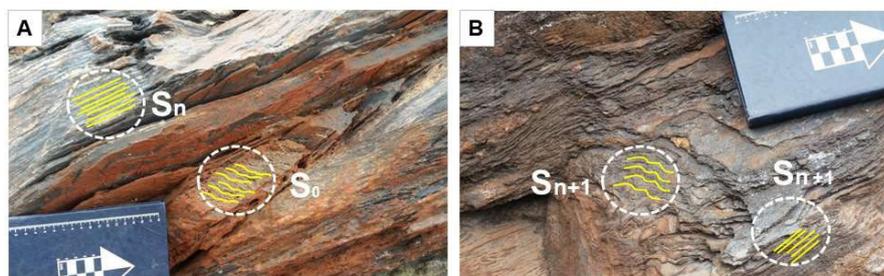


Figura 10 – Estruturas encontradas na área, segmentadas em S_0 , S_n e S_{n+1} . A) S_0 relacionada à laminação do itabirito e a clivagem S_n ; B) clivagem de crenulação S_{n+1} observada no itabirito.

Fonte – Acervo dos autores.

Concordando com Alkmim e Marshak (1998), as primeiras estruturas compressivas

do Transamazônico se desenvolveram durante uma compressão com vergência para NW na bacia *foreland*, representada pelo Grupo Sabará (Supergrupo Minas), orientando as estruturas para a direção identificada no estereograma. As atitudes medidas em campo de Sn próximo ao Sinclinal Piedade apresentam uma concentração de pólos nos quadrantes NW e NE, ou seja, os planos definidos possuem direção principal de NE-SW e NW-SE (Figura 11). Os polos condensados na borda do estereograma apresentam planos com mergulhos variando de médio a alto ângulo e os polos adensados mais ao centro representam ângulos de mergulho inferiores, variando o mesmo ora para SE, ora para SW. Neste caso, formando guirlandas com eixos de dobras para sul, condizendo que houve um redobramento da foliação principal em E-W. Esses dados indicam que a região apresenta estruturas com deformações mais recentes provocadas pela orogênese Brasileira, concordando com Alkmim e Marshak (1998).

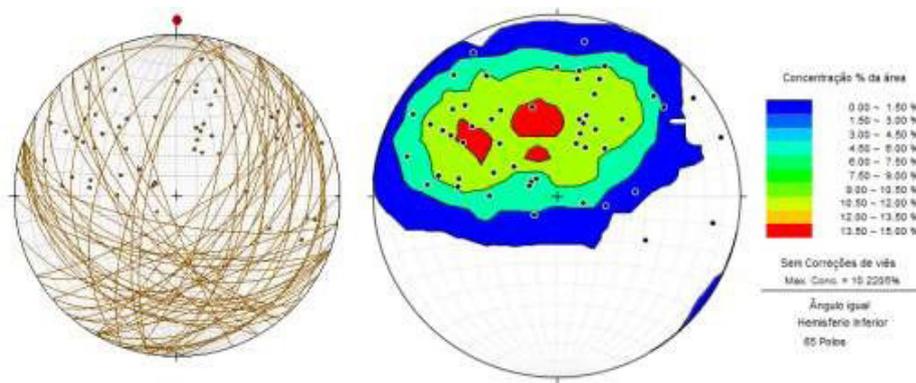


Figura 11 – Medidas de Sn com guirlandas representando eixos de dobras com caimento para sul, condizendo com o Evento Brasileiro.

Fonte – Acervo dos autores.

Dobramentos: As estruturas dobradas são observadas, principalmente nas bandas silicosas e ferruginosas dos itabiritos da Formação Cauê, com direção preferencial NE-SW. São o resultado de deslizamentos flexurais que causaram a abertura das zonas de charneira da rocha, sendo esses locais de baixa pressão, favorecendo a percolação de fluidos hidrotermais. As dobras variam de harmônicas a desarmônicas, de milimétricas a centimétricas, isoclinais a apertadas, e geralmente acilíndricas. De acordo com o ponto de observação, ocorrem em “Z”, “S” e “M”, conforme detalhamento dos tipos relacionados na Figura 12 e 13.

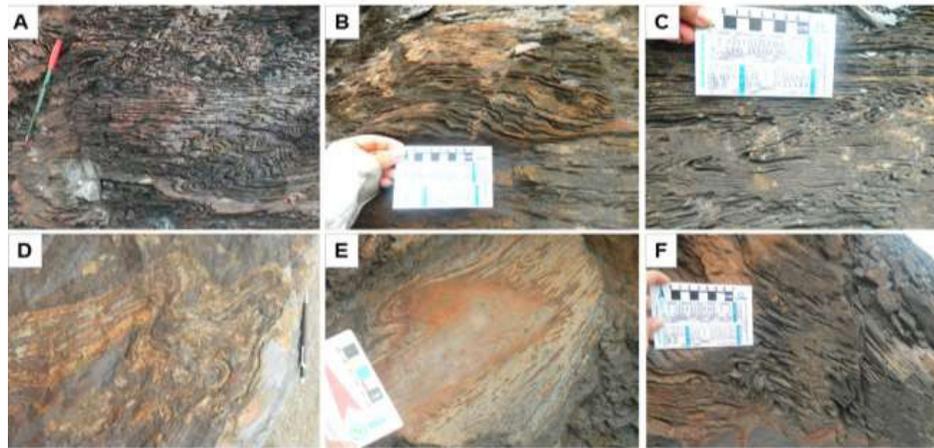


Figura 12 – A) dobras parasíticas assimétricas em forma de “Z”; B) dobra suave de flexão; C) dobra *en chevron*; D) dobra assimétrica em “M”, apresentando mesma amplitude e comprimento de onda; E) dobra inclinada com lentes félsicas; F) dobra desarmônica inclinada.

Fonte – Acervo dos autores.

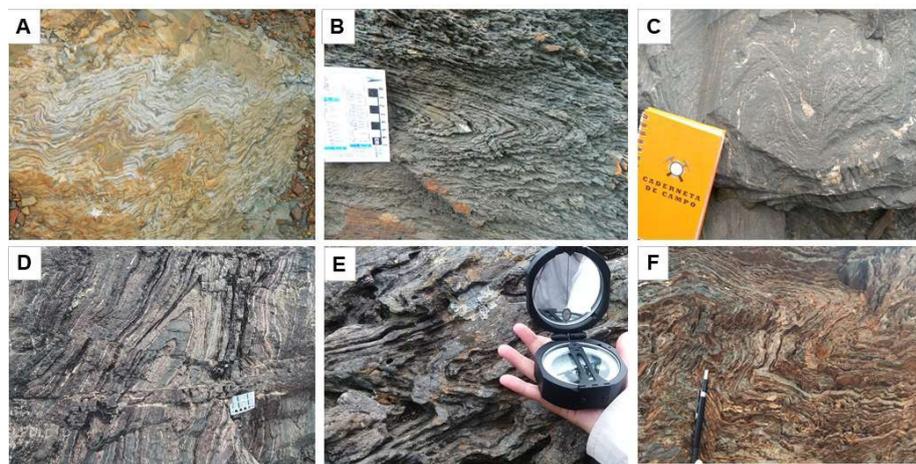


Figura 13 - A) dobras desarmônicas; B) dobra recumbente simétrica; C) dobra simétrica em “M”; D) dobra fechada e assimétrica *en chevron*; E) dobra recumbente em cúspide; F) dobras isoclinais desarmônicas.

Fonte – Acervo dos autores.

Falhas e Fraturas: Além de estruturas dobradas características de eventos deformacionais na área, foram identificadas famílias de fraturas e falhas sub verticais e sub horizontais, discordantes da foliação. Estas fraturas foram observadas no embasamento (Figura 14A) e, muitas vezes, marcando os contatos das litologias do Supergrupo Minas (Figura 14B).



Figura 14 – A) falha transcorrente (direção N/S) observada no embasamento. B) parede de fraturas no contato entre o Grupo Itabira e Grupo Piracicaba.

Fonte – Acervo dos autores.

Com relação às fraturas da área mapeada, a análise dos dados medidos em campo demonstrou um predomínio das mesmas para a direção NE, N e NW, conforme diagrama de rosetas abaixo (Figura 15). Correlacionando a fotointerpretação anexa com as medidas coletadas, foi evidenciado uma maior densidade de lineamentos negativos para a direção NE, o que se pode associar às fraturas na região. Ocorrem quatro principais famílias de fraturas sendo a primeira NE/SW, variando de 45 a 70 graus, a segunda praticamente N/S, a terceira NW/SE de 270 a 280 graus e a quarta praticamente E/W.

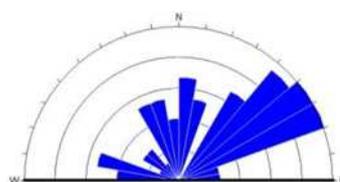


Figura 15 - Diagrama de rosetas para fraturas ao longo do Sinclinal Piedade.

Fonte – Acervo dos autores.

C. Evolução Tectônica

Com base na revisão bibliográfica e compilação dos dados estruturais, elaborou-se um modelo para a evolução tectônica da área através de blocos diagramas, conforme observado na Figura 17. No Transamazônico, concordando com Alkmim e Marshak (1998), ocorreram eventos compressivos com vergência para NW, revelados pelas estruturas Sn do Grupo Sabará com direção principal NE/SW. Concordando com Chemale Jr. *et al.* (1994) e Alkmim e Marshak (1998), que descrevem o Brasiliano como um evento colisional com vergência para oeste, na área mapeada ocorrem *kink-bands* N/S (Figura 16A), encontrados na porção nordeste da poligonal, crenulações na mesma direção do esforço (NE/SW), principalmente nos xistos do Grupo Sabará (Figura 16B), falhas transcorrentes alinhadas N/S (Figura 16C) com vergência para oeste, dobras com vergência preferencial para o quadrante NE, observadas principalmente na Formação Cauê, além de falhas de empurrão com vergência

para oeste.



Figura 16 – A) *kink-bands* em embasamento próximo ao contato com o Grupo Nova Lima, na porção nordeste da área mapeada; B) crenulação observada nos xistos do Grupo Sabará; C) transcorrência N/S observada no embasamento, no mesmo sentido das falhas observadas no mapa geológico.

Fonte – Acervo dos autores.

De um modo geral, foram identificados três principais períodos orogênicos (Figura 17): o primeiro sendo o Rio das Velhas, com idade em torno de 2,7 Ga, o segundo o ciclo Transamazônico, 2,26 Ga a 1,86 Ga, e o terceiro o ciclo Brasileiro, de 650 a 500 Ma, concordando com os trabalhos de Endo (1997).

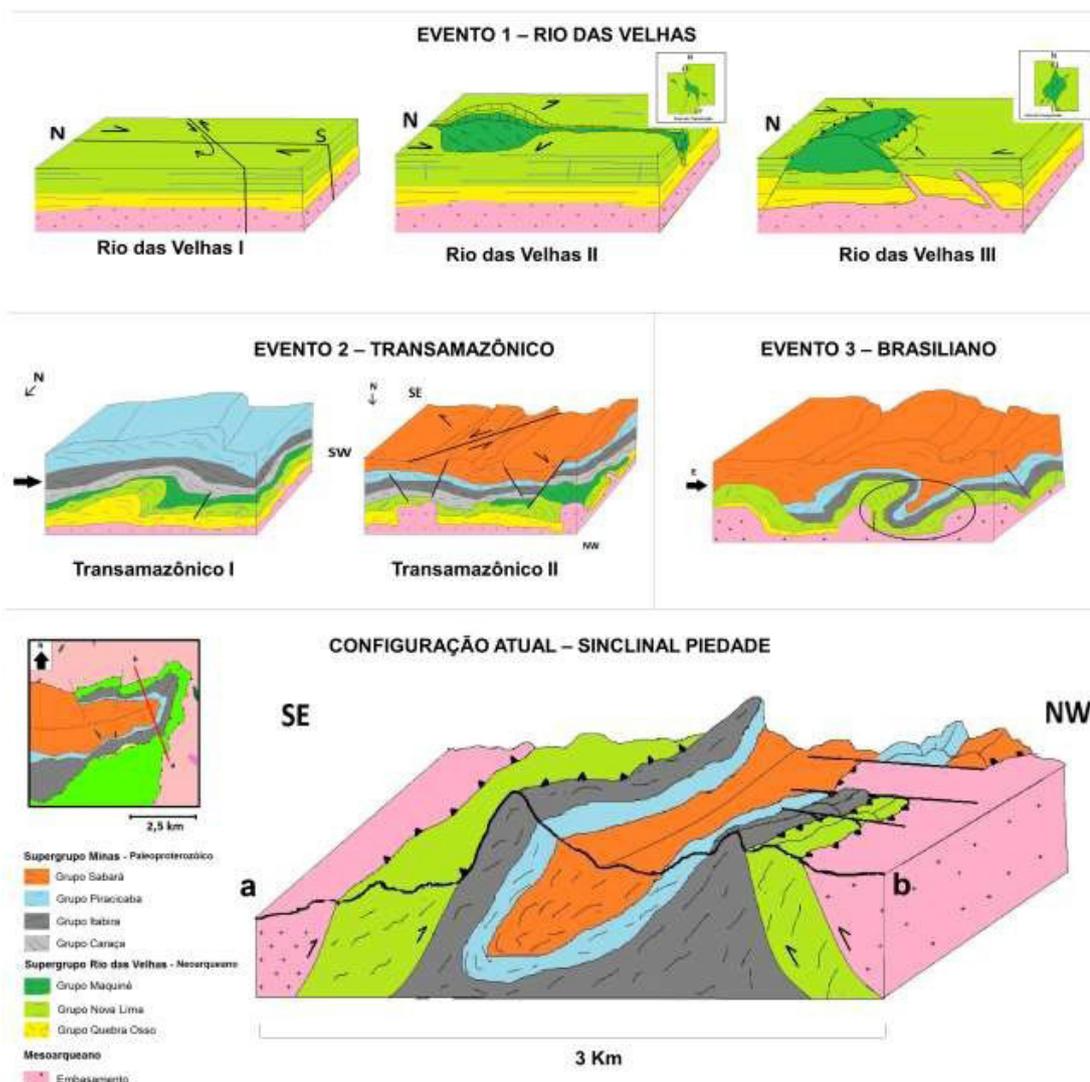


Figura 20 – Representação esquemática da evolução estrutural do Sinclinal Piedade onde se

tem: Evento Rioldas Velhas e as fases compressivas associadas a cada fase deformacional; Evento Transamazônico subdividido em duas fases; Evento Brasileiro representando a última fase deformacional da área; Representação em bloco diagrama da configuração geológica atual do Sinclinal Piedade.

Fonte – Adaptado de Endo (1997).

O evento Rio das Velhas é subdividido em três fases. A primeira se deu por compressão direcional dextral com deformação dútil cisalhante de NE-SW e N-S. A segunda está associada a uma deformação extensional com tensão direcional sinistral, no qual gerou o faturamento do grupo Nova Lima e formou uma bacia do grupo Maquiné de NW-SE. A terceira e última fase deste período é caracterizado pela cinemática direcional dextral, com inversão da bacia do Maquiné e intrusão de granitos sin-tectônicos colisionais. Na área do Sinclinal Piedade, este evento só foi observado na porção sul da área onde o Supergrupo Rio das Velhas está inserido. Já o Transamazônico é o resultado de dois megaeventos tectônicos, sendo o primeiro de caráter compressional com vergência para SW e o segundo extensional com vergência para SE.

O ciclo Brasileiro está associado a um evento colisional com vergência para oeste e é dividido em quatro fases. A primeira fase é de grande importância deformacional, na qual gerou dobramentos, observados principalmente na Formação Cauê, foliações miloníticas, lineações minerais e falhas de empurrão, representadas pelos cavalgamentos na área mapeada. Já a segunda fase é marcada pelo redobramento da foliação principal com orientação E-W e a terceira, apresentando direção em N-S, está associada à formação dos *kink-bands*, observado no embasamento e crenulações. A última fase do ciclo Brasileiro está associada a um regime dútil com geração de fraturamentos de ângulos variados.

5 | GEOLOGIA ECONÔMICA

Segundo informações das áreas de requerimento de pesquisa no DNPM (Apêndice VII), as principais litologias pesquisadas estão associadas à ferro, ouro, areia, caulim e materiais para pavimentação e uso na construção civil. As ocorrências minerais de ferro e ouro são frequentes objetivos de pesquisa na região, devido ao grande potencial geoeconômico, principalmente para minério de ferro na Formação Cauê.

A área apresenta pontos ativos e inativos de extração de minério de ferro na Formação Cauê. A região apresenta uma mina ativa, de responsabilidade da Crusader do Brasil Mineração e localizada no extremo noroeste, e duas lavras inativas em meia encosta, sendo a da porção centro-leste explorada pela antiga Companhia Ferro Brasileiro e a do extremo oeste pela antiga Brumafer. A exploração de minério de ferro pela Brumafer em meia encosta e no topo da Serra da Piedade provocou intenso impacto visual na área e atualmente segue em processo de recuperação pela AVG.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento nos permitiu observar a relação estratigráfica das seguintes unidades:

Complexo Caeté, Supergrupo Rio das Velhas (Grupo Nova Lima), Supergrupo Minas (Grupo Itabira- Formação Cauê, Grupo Piracicaba - Formação Cercadinho, Grupo Sabará – Indiviso) e coberturas fanerozóicas.

O Complexo Metamórfico Caeté ocorre no extremo norte e sul da área mapeada, formado por granito- gnaisses com alternâncias de porções quartzosas e micáceas, bordas fragmentadas e recristalizadas, além de epidoto e clinozoisita como minerais secundários e observados microscopicamente. A extinção ondulante do quartzo e a recristalização são resultantes de um esforço deformacional dúctil.

O evento Transamazônico no Supergrupo Rio das Velhas se apresenta em duas fases. A primeira fase compressional exhibe-se em xistos moldando a borda do sinclinal e cavalcando os metassedimentos do Supergrupo Minas. Já a segunda fase apresenta Sn na direção NE/SW, formadas pelo evento extensional com vergência para SE.

O resultado do esforço compressivo Brasileiro, com vergência para oeste, é observado nas dobras assimétricas com planos axiais N50E mergulhando 45° para SE. A clivagem de crenulação com direção N-S e mergulhos moderados para NE, falhas de empurrão para oeste, *kink-bands* N/S, diques intrusivos N/S e falhas na mesma direção também são resultados deste evento.

Os diques encontrados no embasamento são foliados nas bordas do contato, diminuindo gradativamente ao se aproximar da porção central. Eles apresentam foliações com direção em torno de N30E, mergulhando 60° para SE, foliações S_{n+1} com direção N05E e mergulhando 60° para NW. Sugere-se, que esses diques sejam Pré-Brasiliano.

Os principais recursos minerais da região são minério de ferro, ouro, brita e cascalho. Praticamente toda a área mapeada se encontra requerida, com áreas livres apenas no extremo noroeste, onde afloram gnaisses do Complexo Caeté.

REFERÊNCIAS

ALKMIM, F. F. & NOCE, C. M. (Org.). **The Paleoproterozoic record of the São Francisco Craton**. 2006. In: IGCP 509 Field workshop, Bahia and Minas Gerais, Brasil. Field Guide and Abstracts. UFOP-UFBA, v. 1. 105 p.

ALKMIM, F. F.; MARSHAK, S. **Transamazonian orogeny in the Southern Sao Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero**. 1998. *Precambrian Research*, v. 90, n. 1, p. 29-58.

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, 2013. v. 22, n. 6, p.711-728.

ALVES, B. P. **Sumário sobre estratigrafia e estrutura das quadrículas de Caeté e Serra da Piedade**. *Publicação da Sociedade de Intercâmbio Cultural e Estudos Geológicos*, 1961. 1, 257-260. Ouro Preto: SICEG.

BALTAZAR, O. F.; SILVA, S. L., 1996. **Projeto Rio das Velhas. Mapa geológico integrado do Supergrupo Rio das Velhas, em escala 1:100.000**. DNPM/CPRM, Brasília.

CHEMALE, F. Jr., ROSIÈRE, C. A. & ENDO, I.: **The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. 1994. *Precambrian Research*, 65: 25 – 54.

CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Geodiversidade do Estado de Minas Gerais**, 2010. Programa de Geologia do Brasil Levantamento da Geodiversidade.

DORR, J. V. N. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. 1969. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 641-A, 1-110.

DORR, J.V.N., II; POMERENE, J.B.; RYNEARSON, G.A. 1957 **Revisão da Estratigrafia Pre-Cambriana do Quadrilátero Ferrífero**. DNPM/DFPM. 31 p.

ENDO, I. **Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes**. 1997. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FARINA, F; ALBERT, C; MARTÍNEZ DO PICO, C; AGUILAR GIL, C; MOREIRA, H; HIPPERTT J.P; CUTTS, K; ALKIMIM, F.F; LANA, C. **The Archeane Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero**. 2016. Ouro Preto, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Journal of South American Earth Sciences 68 (2016) 4e21.

GAIR, J. E. 1962. **Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brazil**. U. S. Geological Survey Professional Paper, 341(A):67p.

HIPPERTT, J.F; DAVIS B. Dome emplacement and formation of kilometer-scale-synclines in a granite-greenstone terrain (Quadrilátero Ferrífero, southeastern Brazil). 2000. Precamb. Res., 102: 99-121.

LADEIRA, E.A. **Metallogenesis of gold at the Morro Velho Mine and in the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. 1980. Univ. Western Ontario, unpubl. Ph.D. thesis, 272 p. London, Ontario/Canada.

LADEIRA, E.A.; VIVEIROS, J.F.M. **Hipótese sobre a estruturação do Quadrilátero Ferrífero com base nos dados disponíveis**. 1984. Boletim Especial da Sociedade Brasileira de Geociências, n.4, p. 1-14.

LOBATO, L.M., RIBEIRO-RODRIGUES, L.C., ZUCCHETTI, M., NOCE, C.M., BALTAZAR, O.F., SILVA, L.C., PINTO, C.P. **Brazil's premier gold province. Part I: the tectonic, magmatic and structural setting of the Archaean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero**. 2001. Mineral. Deposita 36, 228–248.

LOBATO, L.M., VIEIRA, F.W.R., RIBEIRO-RODRIGUES, L.C., PEREIRA, L.M.M., MENEZES, M.G., JUNQUEIRA, P.A., PEREIRA, S.L.M. **Styles of hydrothermal alteration and gold mineralization associated with Nova Lima Group of the Quadrilátero Ferrífero**. 1998.

NOCE, C.M. et al. **O Complexo Belo Horizonte e a evolução arqueana do Quadrilátero Ferrífero, MG**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Camboriú. Anais. Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994.

O'ROURKE J. E. R. **The stratigraphy of the metamorphic rocks of the Rio de Pedras and Gandarela Quadrangles, Minas Gerais, Brazil**. 1957. Wisconsin. Ph.D Thesis. University of Wisconsin, EUA, 106p.

RENGER, F. E.; NOCE, C. M.; ROMANO, A. W.; MACHADO, N. **Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 1994. Geonomos, v. 2/1: 1-11.

ROMANO, A. W. **Evolution Tectonique de la region nord-ouest du Quadrilatère Ferrifère – Minas Gerais – Brésil**. 1989. Tese (Doutorado). Nancy: Université de Nancy

ROSIÈRE, C. A.; CHEMALE JR. F. **Itabiritos e Minérios de Ferro de Alto Teor do Quadrilátero Ferrífero – Uma Visão Geral e Discussão**. 2000. GEONOMOS 8 (2): 27-43.

SANGLARD, J. C. D., ROSIÈRE, C. A., SANTOS, J.O.S, MCNAUGHTON, N.J; FLETCHER, I.R. (2013):**A estrutura do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações compactas de alto teor em Fe.** São Paulo, Revista do Instituto de Geociências – USP, v. 14, n. 1, p. 8-95. março 2014.

SCOLFORO, J.R.S; CARVALHO, M.T. **Inventário Florestal De Minas Gerais: Monitoramento da flora nativa 2005-2007.** Lavras: Editora UFLA, 2008. 357 p.