



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUIA DE APOIO PARA EXCURSÕES GEOLÓGICAS TEMÁTICAS NA
REGIÃO URBANA DE OURO PRETO – MG

Raphael Perpétuo Soares

MONOGRAFIA nº 368

Ouro Preto, agosto de 2020

**GUIA DE APOIO PARA EXCURSÕES GEOLÓGICAS
TEMÁTICAS NA REGIÃO URBANA DE OURO PRETO – MG**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Msc. Edison Tazava

MONOGRAFIA

Nº 368

GUIA DE APOIO PARA EXCURSÕES GEOLÓGICAS TEMÁTICAS NA REGIÃO URABANA DE OURO PRETO – MG

Raphael Perpétuo Soares

Orientador

Prof. Dr. Maximiliano de Souza Martins

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2019/2.

OURO PRETO

2020

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Raphael Perpétuo Soares
Maximiliano de Souza Martins

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S676g Soares, Raphael Perpetuo .

Guia de apoio para excursões geológicas temáticas na região urbana de Ouro Preto – MG. [manuscrito] / Raphael Perpetuo Soares. - 2020. 104 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Maximiliano de Souza Martins.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geologia. 2. Expedições científicas. 3. Ouro Preto (MG). 4. Quadrilátero Ferrífero - Supergrupo Minas. I. Martins, Maximiliano de Souza. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 551(815.1)

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Guia de apoio para excursões geológicas temáticas na região de Ouro Preto - MG

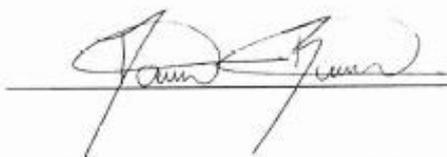
AUTOR: Raphael Perpétuo Soares

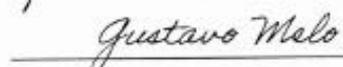
ORIENTADOR: Prof. Dr. Maximiliano de Souza Martins

Aprovado em: 03 de agosto de 2020

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Maximiliano de Souza Martins  DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Danilo Barbuena  ICT/UFVJM

Prof. Dr. Gustavo Henrique Coelho de Melo  DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Marco Antônio Fonseca  DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 03/08/2020

Agradecimentos

Sozinho você consegue ir mais rápido, mas juntos conseguimos ir mais longe. Agradeço aos que me trouxeram até esse momento, quem me acompanhou em cada fase dessa vida ouropretana. Agradeço minha família por me dá a mão e juntos alcançarmos esse sonho, vocês são a base, os pilares e meu teto e juntos conseguimos essa vitória. À Mariana que me acompanhou durante todo esse trabalho, seu apoio foi essencial. Obrigado por sempre estar presente.

A gloriosa república Casanova, meu lar. Lugar de compartilhamento de culturas, experiência e vivências. Meu refúgio depois de uma prova difícil e melhor lugar para se comemorar uma aprovação. Saudosa maloca!

Aos geoamigos 13.2 e 14.1 que, durante todos esses anos de trabalho de campo e em sala de aula, nunca mediram esforços para me ajudar a chegar a esse dia. Gratidão a Geoconsultoria Jr, uma entidade que proporciona crescimento profissional de seus membros e prepara para as dificuldades que o mercado exige. Agradeço pela dedicação de cada um em busca de um objetivo comunitário. A professora Christiane pela oportunidade de monitoria oferecida, agradeço à experiência adquirida.

Agradeço aos profissionais me ofereceram uma oportunidade de aprendizado profissional, obrigado à Armando Massucatto, Marcelo Hermógenes, Philippe Resende, Marcelo Campos, Frederico Lana e Jairo Henrique, vocês fazem parte dessa conquista. E também às empresas que abriram as portas para meu crescimento, agradeço a Jaguar Mining, Hermogeo e AngloGold Ashanti.

Aos colaboradores desse trabalho que dedicaram um pouco do seu tempo para contribuir com conhecimento e auxílio, obrigado Paulo Eduardo, Julio Kattah e Camila Milli. Também ao prof. Maximiliano, por todo suporte e compartilhamento do conhecimento geológico e da vida, agradeço por todos os conselhos.

“Mr. Pocket, I'm getting older but you're older.

One day I will reach you.”

Sumário

AGRADECIMENTOS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELA	XIX
RESUMO	XXI
ABSTRACT	XXII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO, JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO PROJETO	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.4 MÉTODOS E MATERIAIS	5
1.4.1 Revisão bibliográfica.....	5
1.4.2 Roteiros e Excursões Geológicas: bases conceituais, elaboração da ficha de descrição de pontos e proposição de temas para discussões	5
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	10
2.1 COMPLEXOS ÍGNEO-METAMÓRFICOS.....	13
2.2 SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS.....	15
2.3 SUPERGRUPO MINAS	15
2.4 GRUPO ITACOLOMI.....	17
2.5 ROCHAS INTRUSIVAS PÓS-MINAS	18
2.6 ROCHAS SEDIMENTARES CENOZÓICAS	18
2.7 METAMORFISMO	19
2.8 ARCABOUÇO ESTRUTURAL	20
2.9 EVOLUÇÃO TECTÔNICA.....	22
3 ROTEIRO PARA EXCURSÕES GEOLÓGICAS TEMÁTICAS EM OURO PRETO	26
3.1 ROTEIRO 1 – ESTRATIGRAFIA DO SUPERGRUPO MINAS E GEOLOGIA ESTRUTURAL DO FLANCO SUL DO ANTICLINAL DE MARIANA	28
3.1.1 Considerações sobre a evolução sedimentar, paleoambiental e tectônica do Supergrupo Minas contextualizada para o Roteiro 1	29
3.1.1.1 Grupo Caraça*	29
3.1.1.2 Grupo Itabira	31
3.1.1.3 Grupo Piracicaba – Formação Cercadinho	33
3.1.2 Geologia estrutural do flanco sul do anticlinal de Mariana e o modo de ocorrência das estruturas de boudinagens associadas	41

3.2	ROTEIRO 2 – GEOLOGIA ECONÔMICA DAS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS NA SERRA DE OURO PRETO E REGISTROS HISTÓRICOS	51
3.2.1	Introdução	51
3.2.2	Tipologia, distribuição e controles geológicos das mineralizações auríferas na Serra de Ouro Preto.	52
3.2.2.1	Tipologia e distribuição	52
3.2.2.2	Controles geológicos.....	54
3.2.3	Contextualização das mineralizações auríferas descritas no Roteiro 2.....	58
3.2.4	Mineração Aurífera Colonial	64
3.2.4.1	Histórico	64
3.3	ROTEIRO 3 – ÁREAS DE RISCO EM OURO PRETO.....	68
3.3.1	Introdução.....	68
3.3.2	Parâmetros geotécnicos utilizados em áreas urbanas: uma revisão.	68
3.3.3	Serra de Ouro Preto: geomorfologia, geologia e registro das atividades coloniais da mineração do ouro	74
3.3.3.1	Geomorfologia.....	74
3.3.3.2	Geologia.....	75
3.3.3.3	Registro das atividades coloniais e ocupações urbanas em antigas áreas de mineração de ouro.....	78
3.3.4	Contextualização geológica-geotécnica do Roteiro 3.....	80
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
	ANEXOS.....	105

Índice de Figuras

Figura 1.1: Mapa da localização da região de Ouro Preto com seu respectivo posicionamento na folha do mapa Regional. Adaptado de Almeida et al. (2005).....	4
Figura 1.2: Exemplos de tipologia de interesse para o Guia de Apoio a Excursões Geológicas (GAEGeo): a) Local isolado: filito da Formação Batatal; b) Área: antiga pedreira de extração de quartzito ornamental; c) Local panorâmico: visada a partir do Morro da Queimada para a cidade de Ouro Preto, contemplando o Pico do Itacolomi ao fundo; d) Sítio misto: quartzito da Formação Moeda no alto do morro São João com visada para o flanco norte do anticlinal de Mariana.....	8
Figura 2.1: a) Configuração do cráton do São Francisco e suas faixas marginais (adaptado de Alkmim, 2004); b) Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes no extremo sul do Cráton do São Francisco (Alkmim, F. F., & Martins-Neto, M. A., 2012. Retirado de < http://recursomineralmg.codemge.com.br/historia-geologica-de-minas-gerais/ >. Acesso em: março de 2020).....	10
Figura 2.2: Coluna estratigráfica do QF. Adaptado de Dopico (2017). Retirado de Dutra (2017).	11
Figura 2.3: Composição do mapa geológico da região central do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Baltazar et al. 2005) e imagem SRTM de sombra de relevo. Retirado de Dutra (2017).	14
Figura 2.4: A. Localização dos domínios metamórficos e estruturais do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Pires 1995 in Rosière e Chemale Jr. 2000). B: Fácies metamórficas do Supergrupo Rio das Velhas (modificado de Baltazar & Zucchetti 2007).	20
Figura 2.5: Megaestruturas do QF (extraído de Alkmim & Noce 2006).	21
Figura 2.6: Modelo para a evolução tectônica do QF antes e durante a orogenia Transamazônica. (a) Estágio pré-colisional entre as placas do São Francisco e do Congo. (b) Desenvolvimento do Arco Mantiqueira e início da inversão da bacia Minas devido a orogenia acrescionária. (c) Colisão entre os núcleos Arqueanos do CSF-Congo. (d) Colapso extensional no sul do CSF e desenvolvimento de bacias de antepaís e a estrutura de domos e quilhas. Aguilar et al. (2017). Retirado de Dutra (2017).	24

Figura 3.1: Mapa Geológico da área de estudo com destaque ao zoneamento urbano de Ouro Preto. Baseado em Fernando Lacourt (1936) e Barbosa (1969). Retirado de Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero (Endo, 2019).	27
Figura 3.2: (a) Mapa de localização do Roteiro 1 com pontos de referência na região com detalhe (b) para o percurso do empilhamento estratigráfico feito na linha férrea.	29
Figura 3.3: Subdivisões e distribuição da Formação Moeda no Quadrilátero Ferrífero (baseado em Dorr II 1969; Villaça 1981; Renger et al. 1993; Alkmim & Marshak 1998; Nunes 2016; Madeira 2018, <i>In: Madureira 2020</i>).....	30
Figura 3.4: Representação esquemática da distribuição da Formação Moeda no QF, com indicações de direção de paleocorrente e limite aproximado entre setores dominados por fácies aluviais e fácies litorâneas/marinha (modificado de Villaça 1981, <i>In: Madureira 2020</i>).	31
Figura 3.5: A) Aspecto de campo de um metarenito da Formação Moeda. b) aspecto de campo de mica xisto da Formação Batatal.	31
Figura 3.6: A) Aspecto de campo do itabirito da Formação Cauê (Ponto 1.7), b) aspecto de campo de mármore da Formação Gandarela (Ponto 1.8).....	33
Figura 3.7: a) Contato brusco entre os mármore da Formação Gandarela, na base, com os sedimentos silto-arenosos da Formação Cercadinho, no topo. b) Sobreposição das fácies sedimentares sobre a Figura 3.7a.	35
Figura 3.8: a) Vista panorâmica a partir do ponto 1.9. b) Sobreposição esquemática das fácies sedimentares sobre a figura 3.8a.	35
Figura 3.9: Bloco diagrama esquemático ilustrando o levantamento estratigráfico de detalhe na Formação Cercadinho feito na linha férrea Ouro Preto-Mariana.....	36
Figura 3.10: Primeira parte da representação fracionada do levantamento faciológico de detalhe realizado na Formação Cercadinho, tendo como datum de base o contato brusco com a Formação Gandarela.	37
Figura 3.11: Segunda parte da representação fracionada do levantamento faciológico de detalhe realizado na Formação Cercadinho.	38
Figura 3.12: Terceira parte da representação fracionada do levantamento faciológico de detalhe realizado na Formação Cercadinho.	39

Figura 3.13: Correlação faciológicas do levantamento estratigráfico da Formação Cercadinho: fácies (A-D) e processos deposicionais e de erosão (E-H) associados à corrente de turbidez de alta eficiência (modificado de Mutti et al.1999, vide exemplo Dutra, 2018).....	40
Figura 3.14: Mapa geológico do Anticlinal de Mariana (mod. de Barbosa 1960a e 1969a e 1969b, Massucato & Brito 1992, Fonseca & Sano 1992, Eleutério 1993). Legenda: 1- Supergrupo Rio das Velhas; 2- Formação Moeda; Formação Batatal; 4- Formação Cauê; 5- Formação Gandarela; 6- Grupo Piracicaba com intercalações de filito preto; 7- Grupo Sabará; 8- Bauxita; 9- Foliação milonítica; 10- Lineação de estiramento mineral; 11- Zonas de cisalhamento inversas – ZCFC- Fundão Cambotas. <i>In:</i> Endo (1997).....	41
Figura 3.15: Mosaico formado por duas fotografias aéreas (escala original 1:10.000) da região de inflexão da charneira para o flanco sul do anticlinal de Mariana (destacado em traço preto). I – boudinagem da Formação Moeda acompanhando o traço das dobra regional. II – boudinagem da Formação Cauê com direção WNW-ESE. Estilo de estruturas boudinadas ao longo da região. Ponto 1.1 (A) boudin de foliação assimétrico. Ponto 1.2 (B) boudin simétrico preenchido por veio de quartzo. Ponto “Mina do Jorge” (C): boudin de foliação simétrico com fraturas extensionais preenchidas por quartzo, sericita e óxidos. Ponto 1.7 (D) boudinagem simétrica do bandamento metamórfico do itabirito da Formação Cauê com preenchimento por veio de quartzo da zona do “neck” do boudin.	43
Figura 3.16: a) Aspecto geral da foliação boudinada no ponto 1.1, zona de charneira do anticlinal de Mariana, b) preenchimento por veios de quartzo, c) aspecto sigmoidal (assimétrica) da foliação. Setas indicam movimentação dextral.....	45
Figura 3.17: (a) Boudinagem simétrica em detalhe (b) do bandamento metamórfico do itabirito da Formação Cauê com preenchimento por veio de quartzo da zona do “neck” do boudin. ...	46
Figura 3.18: (a) Exemplo de draw-boudins (Figura “b” em detalhe) nos quartzitos da Formação Moeda próximo a zona de charneira do Anticlinal de Mariana.	46
Figura 3.19: Mapeamento de detalhe realizado na “Mina Jorge” por Silveira et al. (2016). Detalhe dos boudins simétricos preenchidos.....	48
Figura 3.20: Representação esquemática dos eventos E1 e E2 (conforme postulado por Nalini Jr. 1992) que estruturaram o flanco sul do anticlinal de Mariana e a indicação de suas respectivas direções de boudinagens inferidas na presente monografia.	50

Figura 3.21: Ruínas do Moinho de Vento do Morro da Queimada.	51
Figura 3.22: Mapa geológico do Anticlinal de Mariana (Baltazar et al. 2005) com destaque aos depósitos minerais caracterizados como depósitos de barita, depósito de hematita associado a ouro e depósitos de ouro sulfetado. Os depósitos auríferos ricos em hematita entre Ouro Preto e Mariana, conforme marcados no mapa, são meramente ilustrativos porque não mostram a distribuição de numerosas ravinas que eram obras a céu aberto para o ouro hospedado pelo itabirito nos tempos coloniais. Retirado de Cabral <i>et.al</i> (2013).....	52
Figura 3.23: Proposta de modelo genético para a formação do turmalinito, halos de turmalinização e veios mineralizados: 1) início da circulação de fluidos na pilha de sedimentos; 2) convecção e subida de fluidos, dando origem a focos exalativos; 3) deposição de turmalinito e sedimentos carbonáceos; 4) continuação da deposição de sedimentos carbonáceos; 5) sedimentação de formação ferrífera bandada; 6) diagênese; 7) primeira fase de deformação compressiva, dando origem a foliação principal paralela ao acamamento; 8) início da segunda fase de deformação extensional, gerando fraturas, falhas, boudinagem e dobras; 9) migração de fluidos das rochas encaixantes e introdução do sistema mineralizante; 10) início do processo de mineralização do turmalinito e das encaixantes, 11) formação dos halos de turmalinização e dos veios mineralizados.....	56
Figura 3.24: Principais indicadores cinemáticos descritos na serra de Ouro Preto. a) Segunda fase: 1-falhamentos normais com geometria de rampas e patamares apresentando deslocamento para sudeste, associado ao Quartzito Moeda; 2- boudinagem assimétrica com veios associados, próximo ao contato entre os xistos do Grupo Nova Lima e o Quartzito Moeda; 3- boudinagem associada ao Filito Batatal. b) Terceira fase: 4- estrutura SC de uma zona de cisalhamento normal instalada na formação pirrotítica bandada da Mina Scliar e boudinagem com eixo de maior deformação N-S; 5- dobras similares com eixos perpendiculares à lineação mineral, vergentes para sul, no Itabirito Cauê da Mina Scliar; 6- falha normal com deslocamento para sul associada ao Itabirito Cauê, da Mina Scliar; 7- Veio de tensão no interior da zona de cisalhamento, com indicação de movimento normal para sul, na formação pirrotítica da Mina Scliar; 8- sigmóide de foliação interior à zona de cisalhamento normal da formação pirrotítica da Mina Scliar. c) Quarta fase: 9- zona de cisalhamento reversa instalada no contato entre o Quartzito Moeda e o Filito Batatal; 10- falha reversa de alto ângulo interior ao Itabirito Cauê; 11- veio dobrados com vergência para NW, encaixados no Itabirito Cauê na Mina Chico Rei. Retirado de Cavalcanti, 1996.	57

Figura 3.25: Modelo 3-D do Morro da Queimada com a delimitação do Parque Arqueológico do Morro da Queimada. Referencias de localização: (a) ruínas do Morro da Queimada, (b) Morro São Sebastião, (c) Capela São João e (d) Morro Santana. Foto: Rolling Drone Geotecnologias.	58
Figura 3.26: Perfil esquemático mostrando as relações entre encaixantes, veios e turmalinização.	59
Figura 3.27: Veio de quartzo cortando a galeria. Nos locais onde o veio tem maior espessura eram abertos grandes salões.	60
Figura 3.28: A galeria se desenvolve estritamente ao longo do filito da Fm. Batatal.....	60
Figura 3.29: Perfil esquemático mostrando as relações entre o nível de turmalinito e veios encaixantes.....	62
Figura 3.30: Vista área da disposição dos mundéus ao longo do Morro da Queimada com a galeria subterrânea em detalhe.	62
Figura 3.31: Exemplo de canalização do curso d’água, sarilhos também eram aproveitados (ponto 2.6).	63
Figura 3.32: Lavagem do ouro no Itacolomi (J. M. Rugendas 1835). Gravura ilustrativa dos métodos de mineração. Ao centro, estão as canoas de madeira com couro de boi revestindo o fundo. Retirado de Ferreira (2017).	65
Figura 3.33: a) Sarilhos e mundéus (b, c, d) na Serra de Ouro Preto.....	66
Figura 3.34: (a) e (b) Mundéus em ruínas ao longo do Morro da Queimada no ponto 2.3. (c) Foto-aérea das ruínas do Morro da Queimada. Foto: Rolling Drone Geotecnologias.	67
Figura 3.35: Análise das tensões de confinamento de um maciço com faces livres. Lacazette (2000). Retirado de Endo (2014).....	70
Figura 3.36: Espectro geotécnico dos materiais geológicos, demonstrando os limites entre solos, rochas brandas e rochas duras. Retirado de Horta (2019).	71
Figura 3.37: Mapa das unidades de terreno na malha urbana de Ouro Preto. Retirado de Oliveira (2010)	75
Figura 3.38: Geologia de parte da serra de Ouro Preto e perfil geológico representativo (adaptado de Sobreira & Fonseca 2001 e retirado de Sobreira 2014).	76

Figura 3.39: Exemplos de mineração a céu aberto (a) no bairro Veloso e de galeria subterrâneas (b) no bairro Lages.	78
Figura 3.40: Vista aérea das escavações no entorno dos bairros Queimada, Santana e Lajes, ao longo da Serra de Ouro Preto. Retirado de Sobreira (2014).	79
Figura 3.41: Evolução da ocupação urbana (destacado em amarelo) na área de estudo de 1950 a 2017. Estão destacados em vermelho os três grandes conjuntos de mundéus existentes e a Rua Padre Rolim. Modificado de Teixeira (2015), retirado de Ferreira (2017).	80
Figura 3.42: Nos bairros que margeiam a Rua Padre Rolim ocorreram muitas rupturas no passado. A região possui restrições quanto ao uso e ocupação do solo pois contem registros de atividades minerárias do passado.	81
Figura 3.43: (a) Área de extração de quartzitos para ornamentação. (b) Famílias de descontinuidades geradas por esforços cisalhantes correspondentes ao contexto geológico regional. (c) Vista aérea dos arredores do Batalhão de Corpo de Bombeiros com destaque para as cicatrizes côncavas de antigas minerações de quartzitos na região.	82
Figura 3.44: Talude íngreme de quartzito da Fm. Moeda com famílias de fraturas persistentes aos arredores do Corpo de Bombeiros.	83
Figura 3.45: Contato litológico do filito da Fm. Batatal com o quartzito da Fm. Moeda	84
Figura 3.46: Diagrama de frequência para foliação (a) e fraturas (b). Retirado de Pinheiro (2014).	85
Figura 3.47: Foliação do Itabirito da Fm. Cauê com direção de caimento perpendicular ao corte da rua Padre Rolim.	86
Figura 3.48: Exposição do itabirito da Fm. Cauê na rua Padre Rolim. É possível notar que o volume de blocos gerados no eixo do dobramento é menor que nos dois flancos da dobra....	86
Figura 3.49: Exemplos de ocupação desordenada e riscos geológicos que a população está suscetível.	87
Figura 3.50: Deslizamento ocorrido em 2012 próximo a rodoviária de Ouro Preto. Retirada de Tavares (2018).	88

Índice de Tabela

Tabela 1-1: Os papéis didáticos das excursões geológicas e os graus de influência dos objetivos explicitados. Adaptado de Compiani & Carneiro (1993).	6
Tabela 2-1: Quadro sintético contendo as principais características das unidades litoestratigráficas do QF (modificado de Pflug, 1965; Ebert, 1968; Dorr, 1969; Moore, 1969; Schorscher, 1978; Scoll & Fogaça, 1979; Ladeira, 1980; Karfunkel & Noce, 1983; Freitas, 1991; Rodrigues et al., 1993; Renger et al., 1994; Endo, 1997; Almeida et al., 2005) compilada e adaptada de Cavalcanti (1999), Rossi (2014) e Dutra (2017).	12
Tabela 2-2: Sumário do arcabouço tectônico do QF. Modificado de Dutra (2017).	22
Tabela 2-3: Resumo da evolução geotectônica do QF (modificado de Dutra 2017).	23
Tabela 3-1: Classificação quanto ao grau de resistência à compressão uniaxial (Neto 2016).	69
Tabela 3-2: Classificação quanto ao grau de alteração do maciço (Neto 2016).	69
Tabela 3-3: Classificação quanto ao grau de coerência da rocha (Neto 2016).	70
Tabela 3-4: Classificação do talude quanto ao grau de fraturamento de acordo com a distribuição volumétrica, adaptado de Palmström (1995), Retirado de Pinheiro (2014)	71
Tabela 3-5: Classificação de movimentos de massa. Retirado de Tavares (2018).	73
Tabela 3-6: Parâmetros que caracterizam a estabilidade dos maciços com base em sua unidade litológica. Retirado de Tavares (2018).	77

Resumo

O início da expansão da malha urbana de Ouro Preto está diretamente relacionado com a mineração, principalmente aurífera, no século XVII e no século XVIII, lhe rendendo a designação de “Vila Rica” e capital da província das “Minas Geraes”. Os primeiros depósitos explorados no período colonial eram encontrados em aluviões beirando córregos e logo depois em “filões” (minério agregado aos veios de quartzo) nas escarpas da Serra de Ouro Preto. Associado ao potencial econômico, Ouro Preto e arredores possuem uma alta densidade de exposições rochosas, representativas de uma parte significativa do arcabouço estratigráfico e estrutural do Quadrilátero Ferrífero. É possível correlacionar as estruturas boudinadas com os eventos de deformação, levando-se em consideração as estruturas lineares que se formam durante o evento. Assim como os turmalinitos auríferos resultantes da interação de fluidos hidrotermais com as rochas hospedeiras penetradas em fraturas, possuindo associação direta com os veios de quartzo em diferentes litologias e nos diversos andares estratigráficos que formam a serra de Ouro Preto. Os locais onde eram executadas as lavras de ouro, motivo do início do povoamento da cidade, foram realizados grandes desmontes, escavações, transporte e deposição de material removido, abertura de poços, galerias e canais, além de desmatamento generalizado. Estas atividades tinham como consequência a aceleração do processo erosivo e movimentação de massa, devastando ainda mais a área. Os sinais desta ação são claramente perceptíveis até hoje, principalmente na serra de Ouro Preto, quase que totalmente afetada pelas atividades mineradoras e que ganhou como herança vastas áreas potencialmente instáveis ou inadequadas para ocupação urbana. A proposta deste trabalho foi a confecção de um guia voltado exclusivamente para as excursões de campo dos cursos de Geologia na região urbana de Ouro Preto. O trabalho é organizado na forma de três roteiros, onde foi feita a caracterização detalhada (descrição e ilustração) de afloramentos de relevância geológica admitida, buscando também valorizar os sítios geológicos e promover a interação entre teoria e prática, com roteiros que foram contextualizados quanto aos seus aspectos mais amplos no contexto regional do QF (evolução paleoambiental e sedimentar, geologia estrutural e geologia econômica).

Palavras chave: Excursões geológicas, Ouro Preto, afloramentos, mineralização aurífera.

Abstract

The beginning of the expansion of Ouro Preto's urban area is directly related to mining, specially of gold. In the 17th and 18th centuries, when the village was being developed, it was known as "Vila Rica" and it was capital of "Minas Geraes" province. The first deposits explored during the colonial period were found in alluvial deposits and also in "veins" (ore associated to quartz veins) in the cliffs of Ouro Preto's mountain hill. Also, associated to its economic potential, Ouro Preto and its surroundings have a high density of rocks exposures, representative of a significant Quadrilátero Ferrífero's (QF) stratigraphic and structural framework. It is possible to correlate the boudins structures with the deformation events, considering the linear structures that were formed during the event. Besides it, the auriferous tourmalinites, which resulted of hydrothermal fluids percolation in host rocks fractures, is directly associated with quartz veins in different lithologies and in different stratigraphic depths that form Ouro Preto's mountain range. At sites where gold mining was carried out, the main reason for the settlement of the city, great dismantling, excavation, transportation and deposition of removed material, opening of wells, galleries and channels, in addition to widespread deforestation, were carried out. Thus, these activities resulted in the increasing of erosion processes and mass movement, leading to the devastation of the area. The consequences of these actions are still clearly perceptible, especially in the Ouro Preto mountain range, which is almost completely affected by mining activities and has inherited vast potentially unstable areas or unsuitable for urban occupation. The purpose of this work is to prepare a guide dedicated exclusively to field trips for Geology courses in the urban region of Ouro Preto. The project is divided in three routes, where detailed characterization (description and illustration) of relevant geological outcrops was made seeking to evaluate the geological sites and promoting interaction between theory and practice, with routes that were contextualized regarding its broader aspects in the regional context of the QF (paleoenvironmental and sedimentary evolution, structural geology and economic geology).

Key words: Field trips, Ouro Preto, outcrops, gold mineralization

1.1 Apresentação, Justificativa e Relevância do Projeto

Desde os antigos descobridores do “ouro preto” nos vales dos rios de Minas Gerais pelos remanescentes das bandeiras de Fernão Dias e Manuel Garcia, seguidas das de Antônio Dias e Padre Faria entre 1764-1798, a notícia dos descobrimentos motivou novas entradas, com presença de mineiros práticos, visando o grande potencial econômico que as jazidas da região conhecida como “Minas Geraes dos Cataguases” continha (Machado, 2009).

Estas descobertas causaram o primeiro ciclo da história da mineração do Brasil, influenciando o início do povoamento desta região a partir de dois eixos principais (Ruchkys, 2013), Sabará ao norte (jazidas ricas conhecidas como “Minas do Rio das Velhas”), e Ouro Preto e Mariana ao sul.

Os primeiros depósitos explorados no período colonial, segundo Sobreira & Fonseca (2001), eram encontrados em aluviões beirando córregos e logo depois em “filões” (minério agregado aos veios de quartzo) nas escarpas da Serra de Ouro Preto. Os morros eram perfurados de um lado para o outro, sem o menor planejamento ou controle, característico das zonas mineiras de Ouro Preto, Mariana, Sabará e Itabira, dentre outras. Ainda segundo os autores, a mineração subterrânea acontecia quando não havia possibilidade da extração a céu aberto. As galerias eram estreitas e sinuosas, escavadas acompanhando a formação do veio, e chegavam a atingir centenas de metros, sendo alargadas nas partes mais ricas (Sobreira & Fonseca, 2001). Assim, as atividades de extração mineral, principalmente de ouro e ferro, marcaram definitivamente a paisagem atual da província metalogenética do Quadrilátero Ferrífero (QF), com forte impacto na história e na cultura dos povos que ali se estabeleceram.

A chegada da família real portuguesa ao Brasil, em 1808, fugindo das guerras napoleônicas na Europa, promoveu também o fluxo de naturalistas e pesquisadores estrangeiros para o denominado “Novo Mundo” (Manthorne, 1996, *In*: Ruchkys, 2007), constituindo o marco das primeiras pesquisas científicas sobre a constituição geológica de parte do território nacional, com especial atenção às zonas mineiras, muitas delas já em decadência.

Posicionada na porção sudeste do QF a mancha urbana de Ouro Preto teve sua origem e expansão diretamente relacionada a exploração mineral, principalmente aos depósitos de

ouro, cujo apogeu da mineração, em fins do século XVII e no século XVIII, lhe rendeu a designação de “Vila Rica” e capital da província das “Minas Geraes”. Associado ao potencial econômico, Ouro Preto e arredores possuem uma alta densidade de exposições rochosas, representativas de uma parte significativa do arcabouço estratigráfico e estrutural do QF. Estes aspectos em comunhão levaram o professor francês Claude Henri Gorceix, contratado pela coroa portuguesa, em 1874, a escolher Ouro Preto como sede da primeira Escola de Minas a ser instalada no Brasil. Ouro Preto e arredores satisfaziam todas as condições para as aulas práticas de campo, entendidas como essenciais para a formação dos futuros profissionais oriundos desta instituição. Nas próprias palavras de Gorceix, "*Em muito pequena extensão de terreno, pode-se acompanhar a série quase completa das rochas metamórficas que constituem grande parte do território brasileiro e todos os arredores da cidade se prestam a excursões mineralógicas proveitosas e interessantes*" (Disponível em: <<https://www.em.ufop.br/index.php/historia>>, acesso em: maio de 2020). Desde então, com a fundação da Escola de Minas de Ouro Preto (EMOP), em 1876 e, posteriormente, com a criação dos cursos de geologia em território nacional, a partir de 1957, verificou-se o incremento do conhecimento geológico do QF como um todo, e desta região em especial, favorecendo também a qualidade e a quantidade de excursões geológicas que puderam ser ministradas para estudantes e profissionais das geociências (vide Alkmim & Noce 2006).

A proteção e a divulgação do patrimônio geológico no Brasil (natural e construído, conforme Mantesso-Neto, 2013) através de excursões didáticas constitui um assunto relativamente novo, mas em alguns países já se tornou uma nova tendência (Brilha, 2005). A maior iniciativa de proteção do patrimônio geológico no Brasil ocorreu por meio da criação da “Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleontológicos” em março de 1997 (SIGEP, Schobbenhaus *et al.* 2002) e através da criação de unidades de conservação (Ruchkys & Machado, 2013), ao exemplo do Projeto de Geoparque do Quadrilátero Ferrífero, em 2011.

Sendo um tema relativamente novo nas geociências, tem se observado um interesse crescente na caracterização e valorização do patrimônio geológico mineiro no seu aspecto mais amplo (vide Castro & Ruchkys 2017, Castro 2018), ou por meio da (*e.g.* Garcia & Uhlein 1987, Uhlein *et al.* 2004, Alkmim & Noce 2006, Ostanello 2012, Chemale Jr. & Dussin 2012, Santos & Castro 2013, Ostanello *et al.* 2013, Kuchenbecker *et al.* 2016, Uhlein *et al.* 2017).

A proposição de roteiros geológicos em Ouro Preto é facilmente justificada por conter um patrimônio geológico de relevância admitida (Dorr 1969, Alkmim & Noce 2006, Ostanello

2012), notadamente os afloramentos do Supergrupo Minas na aba sul do Anticlinal de Mariana. Soma-se a isto a localização geográfica privilegiada e de infraestrutura da cidade. Ouro Preto é um centro turístico (histórico-cultural-arquitetônico), universitário e mineiro, diretamente ligada a história colonial (e moderna) da mineração no Brasil, principalmente a extração do ouro e do ferro. Encontra-se na região central e próxima a capital do estado, e é servida por uma boa malha terrestre composta por rodovias asfaltadas, estradas vicinais não pavimentadas e trilhas que possibilitam o acesso a diversas feições geológicas propícias à realização das atividades de campo. Conta ainda com uma grande e diversificada rede hoteleira e de restaurantes, condição que pode ser ampliada por meio da formalização de convênios interinstitucionais com a UFOP e através de parcerias informais com as muitas repúblicas de estudantes presentes na cidade.

É neste contexto que se insere esta monografia de graduação do curso de Engenharia Geológica do DEGEO/EM/UFOP (Trabalho de Conclusão de Curso, TCC-402). A proposta deste trabalho é a confecção de um guia voltado exclusivamente para as excursões de campo dos cursos de Geologia na região urbana de Ouro Preto. O guia é organizado na forma de três roteiros, onde foi feita a caracterização detalhada (descrição e ilustração) de afloramentos selecionados. Numa forma de valorizar os sítios geológicos e promover a interação entre teoria e prática, os roteiros foram contextualizados quanto aos seus aspectos mais amplos e no contexto regional do QF (evolução paleoambiental e sedimentar, geologia estrutural e geologia econômica). Esta abordagem visa estimular o estudante ao pensamento crítico por meio da abordagem científica sobre o objeto geológico e/ou tema abordado (conforme postulado por Carneiro & Campanha, 1979, *In*: Compiani & Carneiro 1993). A diversidade de temas observada nos roteiros fez com que também fossem incluídos registros históricos das atividades exploratórias de ouro na cidade, muitos deles já descritos em outros trabalhos (*e.g.* Ferreira 2017, Paula & Castro 2015, 2014; Santos & Castro 2013). Desta forma, este guia é entendido como um complemento aos roteiros já existentes, esperando ainda contribuir para a divulgação e preservação do patrimônio natural e histórico de Ouro Preto.

1.2 Localização e Vias de Acesso

A área de estudo encontra-se na região centro-sul de Minas Gerais (Figura 1.1). A partir da capital do estado, Belo Horizonte, o acesso a Ouro Preto se faz pelas rodovias federais BR-

040, sentido Rio de Janeiro, e BR-356, via que dá acesso direto a cidade, totalizando 98 km em malha asfaltada. O acesso ao distrito de Passagem de Mariana, também englobado por este roteiro, pode ser feito pela MG-262, ou Rodovia dos Inconfidentes. A localização e os acessos aos pontos propostos estão descritos no próprio roteiro.

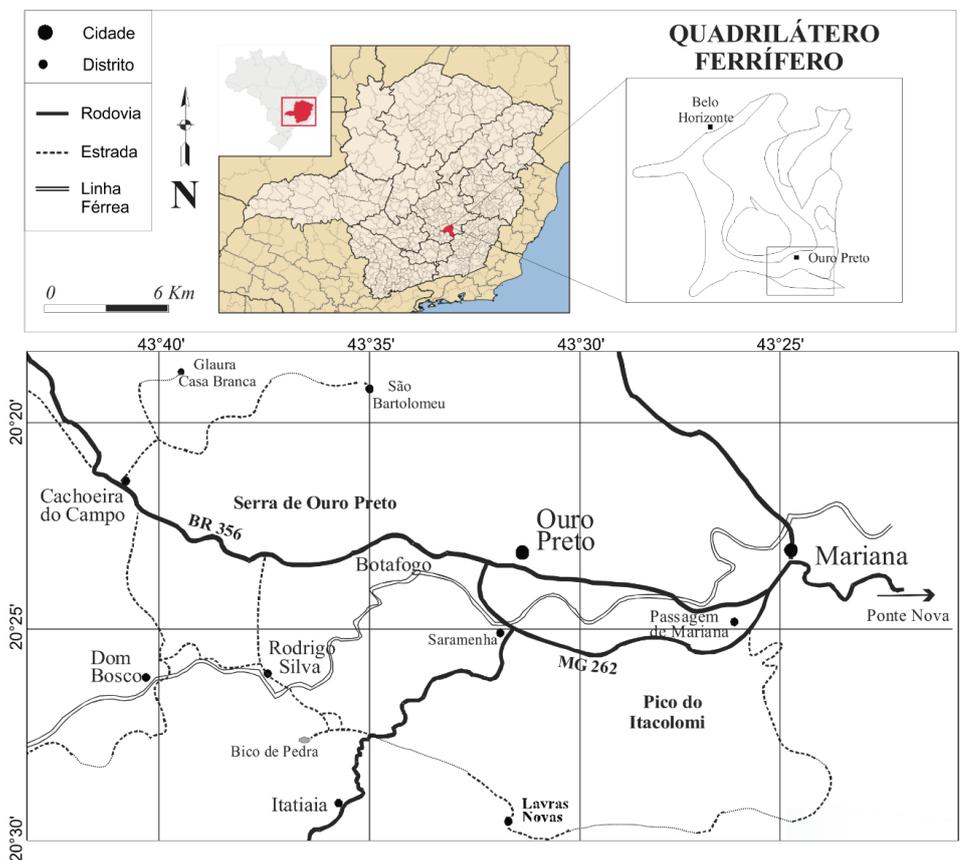


Figura 1.1: Mapa da localização da região de Ouro Preto com seu respectivo posicionamento na folha do mapa Regional. Adaptado de Almeida et al. (2005).

1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho é elaborar um roteiro geológico temático para apoiar excursões geológicas didáticas, de até um dia de campo para cada roteiro, que desejam utilizar a província mineral do Quadrilátero Ferrífero como laboratório natural, notadamente através das exposições naturais e antrópicas presentes na malha urbana de Ouro Preto e Passagem de Mariana. Este trabalho busca ainda valorizar e divulgar o patrimônio geológico desta região.

1.4 Métodos e materiais

1.4.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica constituiu etapa contínua ao longo deste trabalho. Basicamente foi dividida em dois segmentos distintos, i) leitura crítica acerca dos trabalhos que versam a respeito da geologia pré-cambriana dos terrenos que constituem a província mineral do Quadrilátero Ferrífero e arredores, e ii) leitura crítica acerca dos trabalhos que dizem respeito ao patrimônio geológico *lato sensu*, com vistas a metodologias aplicadas a proposição de guias geológicos de campo.

A base de conhecimentos geológicos do QF foi estabelecida por Dorr II (1969) através da síntese dos mapeamentos desenvolvidos entre os anos de 1946 a 1962, no âmbito do convênio firmado entre o *United States Geological Survey (USGS)* e o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Desde então esta base vem sendo sistematicamente aprimorada, destacando-se aqui os seguintes trabalhos utilizados na presente monografia: Villaça (1981), Machado & Noce (1993), Marshak & Alkmim (1989), Nalini (1992), Renger *et al.* (1994), Teixeira *et al.* (1996), Alkmim & Marshak (1998), Zuchetti *et al.* (2000), Alkmim & Noce (2006), Baltazar & Zucchetti (2007), Gomes (2012), Alkmim & Martins-Neto (2012), Ulhein & Noce (2012), Romano *et al.* (2013), Souza (2014), Farina *et al.* (2015), Dopico *et al.* (2017), Alkmim & Teixeira (2017), Cutts *et al.* (2018), Kattah (2019), Dutra *et al.* (2019), Madeira *et al.* (2019), Queiroz *et al.* (2019).

Para a área de patrimônio geológico e de roteiros geológicos foram utilizados: Compiani & Carneiro (1993), Brilha (2005), Alkmim & Noce (2006), Rocha (2008), Matsumura (2010), Ostanello (2012), Santos & Castro (2013), Ruchkys & Machado (2013), Ferreira (2017) e Castro *et al.* (2017).

1.4.2 Roteiros e Excursões Geológicas: bases conceituais, elaboração da ficha de descrição de pontos e proposição de temas para discussões

Carneiro & Campanha (1979, *In*: Compiani & Carneiro 1993) classificou os papéis didáticos das atividades de campo em quatro categorias principais, que buscam ilustrar, motivar, treinar e gerar discussões. Compiani (1991) descreveu as atividades de campo para o ensino da Geologia favorecendo o contato com os objetos, fenômenos concretos e a natureza, além de ser o local para praticar o método geral de conceber a história geológica da Terra. Brusi

(1992, *In*: Compiani & Carneiro 1993) aprofundou o estudo dos trabalhos de campo nas geociências e clarificou o porquê das excursões, onde fazê-las, o que fazer no campo e como executar as atividades. As informações reunidas na Tabela 1.1 foram propostas para atingir uma série de objetivos que podem auxiliar as excursões no que se refere a exercitar habilidades, adquirir ou exemplificar conhecimentos teóricos, recolher amostras para análise em laboratório, além de provocar o entusiasmo pela descoberta e o compromisso ético com o meio (Compiani & Carneiro, 1993).

Tabela 1-1: Os papéis didáticos das excursões geológicas e os graus de influência dos objetivos explicitados. Adaptado de Compiani & Carneiro (1993).

CATEGORIA	OBJETIVOS DAS ATIVIDADES	VISÃO DE ENSINO	MODELOS CIENTIFICOS EXISTENTES	RELAÇÃO DE ENSINO/ APRENDIZAGEM	LÓGICA PREDOMINANTE
Ilustrativa		Informativa	São aceitos e preservados	Professor é o centro Ensino dirigido	Da ciência
Indutiva		Formativa/ Informativa	São aceitos e preservados	Aluno é o centro Ensino dirigido/ Semi-dirigido	Da ciência e do aprendiz
Motivadora		Formativa	São aceitos e preservados, em grau variável	Aluno é o centro Ensino não dirigido	Do aprendiz
Treinadora		Formativa/ Informativa	São aceitos e preservados	Equilíbrio Ensino semidirigido	Da ciência por ventura do aprendiz
Investigativa		Formativa	São aceitos mas questionados	Aluno é o centro Ensino não dirigido	Da ciência e do aprendiz

OBJETIVOS DAS ATIVIDADES

Aproveitar os conhecimentos geológicos prévios	Reconhecer feições e fenômenos da natureza
Elaborar dúvidas e questões	Desenvolver e Exercitar Habilidades
Estruturar Hipoteses/ Síntese e criar conhecimento	Desenvolver Atitudes e Valores

INFLUÊNCIA DOS OBJETIVOS

	AUSENTE
	FRACA
	FORTE
	MUITO FORTE

A região urbana de Ouro Preto possui grande potencial para sítios geológicos (ocorrências aflorantes de elementos da geodiversidade delimitados geograficamente e que tenha valor representativo pelo panorama científico, pedagógico, cultural, turístico ou outros, *In*: Brilha, 2005). Com afloramentos de relevância admitida, procurou-se neste trabalho

reconhecer seu patrimônio geológico através de uma caracterização de lugares que mostram potencialidades às excursões geológicas.

O levantamento de pontos que compuseram os roteiros dentro da cidade foi feito de forma sistemática ao longo de três trajetos propostos na malha urbana de Ouro Preto. Cada ponto foi caracterizado através de uma ficha de descrição, que contém as características dos afloramentos e informações sobre o contexto geológico que o mesmo está inserido. A contextualização e o potencial dos roteiros para uso temático em uma ou mais subáreas das geociências constituiu a base para a redação do Capítulo 3. Esta metodologia de organização foi feita com base em Rocha (2008), de forma a facilitar a compreensão do texto. Foi usado como base para o layout da ficha os conceitos apresentados em Brilha (2005), Rocha (2008) e Ostanello (2012). No total foram caracterizados vinte e dois pontos e um levantamento estratigráfico de detalhe (1:50) que compõem os três roteiros distribuídos pela cidade de Ouro Preto.

Alinhada a proposta do guia de apoio para excursões geológicas, a ficha foi organizada por campos de preenchimento, padronizando o inventário com os seguintes itens descritos abaixo:

1. Percurso: nome do roteiro geológico em questão;
2. Identificação: numeração do ponto;
3. Coordenadas: localização em UTM, datum geodésico WGS-84 e altitude em metros;
4. Nomeação: nome atribuído ao ponto;
5. Acesso: melhor trajeto para se chegar ao local determinado pelas coordenadas geográficas, partindo do ponto anterior (quando for o caso). O primeiro ponto de cada roteiro tem como referência de partida a praça Tiradentes, localizada na parte central da cidade;
6. Acessibilidade e segurança: meios de transporte acessíveis ao ponto;
7. Tipologia: característica do afloramento (geosítio), definida de acordo com Rocha (2008) e exemplificados pela Figura 1.1.2: i) **Local Isolado** (Figura 1.1.2a), ii) **Área** (Figura 1.1.2b), iii) **Local Panorâmico** (Figura 1.1.2c), e iv) **Sítio Misto** (Figura 1.1.2d). De acordo com Rocha (2008), todos os **Sítios Mistos** são também **Locais Panorâmicos**.

8. Mapa de localização: representação do ponto e percurso inseridos no mapa da malha urbana de Ouro Preto;
9. Unidade litoestratigráfica: supergrupo, grupo, formação, unidade e idade aproximada na qual o afloramento pertence;
10. Descrição: descrição do afloramento ou paisagem;
11. Ilustração: fotos e desenhos esquemáticos do afloramento e/ou paisagem;
12. Interesse: interesse geológico que o ponto oferece;
13. Aspectos relevantes: informações sobre a interpretação geológica do afloramento;
14. Observações: informações adicionais;



Figura 1.2: Exemplos de tipologia de interesse para o Guia de Apoio a Excursões Geológicas (GAEGeo): a) Local isolado: filito da Formação Batatal; b) Área: antiga pedreira de extração de quartzito ornamental; c) Local panorâmico: visada a partir do Morro da Queimada para a cidade de Ouro Preto, contemplando o Pico do Itacolomi ao fundo; d) Sítio misto: quartzito da Formação Moeda no alto do morro São João com visada para o flanco norte do anticlinal de Mariana.

1.4.4. Confeção da base cartográfica e do mapa geológico

Foi confeccionada uma base cartográfica 1:25.000 georeferenciada em sistema SIG na plataforma ArcGIS 10.7 da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) para a interpretação preliminar da área e composição e montagem de parte das informações disponíveis na literatura, principalmente das folhas vetorizadas de Ouro Preto e Mariana, mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero atualizado pela Universidade Federal de Ouro Preto (Endo, 2019) e dos mapas geológicos de Gomes (2012), Souza (2014) e Kattah (2019). A esta base foram inseridos os dados obtidos por este trabalho, com os pontos localizados pelas coordenadas UTM através de GPS com datum WGS-84, posteriormente convertidos para SIRGAS 2000. Utilizou se também da interpretação de fotografias aéreas em escala 1:10.000, assim como imagens de satélite obtidas pelo *Google Earth e BaseMap* (ArcGis).

Após a inserção de dados e a montagem da base cartográficas, utilizou-se o software CorelDRAW 2018 para acabamento dos mapas e perfis, bem como a criação de desenhos esquemáticos e destaque de estruturas geológicas nas fotografias de campo.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O QF é uma província metalogenética que faz parte do Cinturão Mineiro (Teixeira *et al.* 1996) e que compõe o embasamento do cráton do São Francisco (CSF) em sua terminação meridional (Almeida 1977, *In:* Alkmim & Marshak 1998) (Figura 2.1).

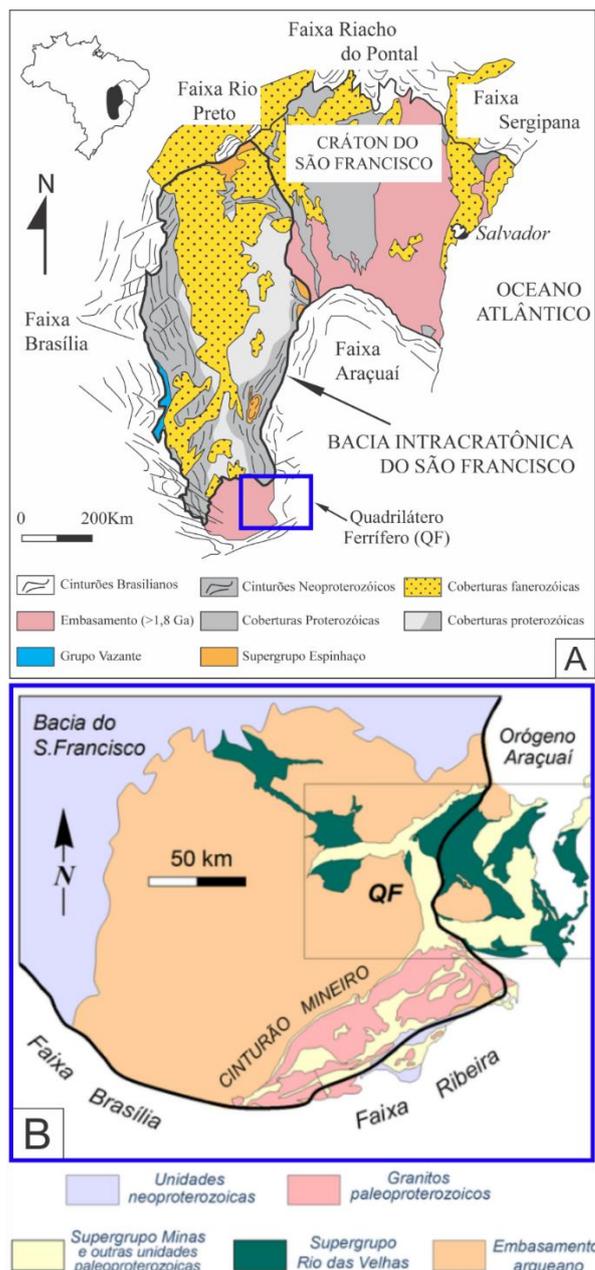


Figura 2.1: a) Configuração do cráton do São Francisco e suas faixas marginais (adaptado de Alkmim, 2004); b) Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes no extremo sul do Cráton do São Francisco (Alkmim, F. F., & Martins-Neto, M. A., 2012. Retirado de <<http://recursomineralmg.codemge.com.br/historia-geologica-de-minas-gerais/>>. Acesso em: março de 2020).

Em linhas gerais, três grandes conjuntos de unidades rochosas compõe a estratigrafia do QF (Dorr 1969, Alkmim & Marshak 1998): os complexos granito-gnáissicos de idade arqueana (embasamento cristalino), a sequência metavulcanossedimentar do tipo *greenstone-belt* de idade arqueana (correspondente ao Supergrupo Rio das Velhas), além de rochas supracrustais de idade paleoproterozóica do Supergrupo Minas e do Grupo Itacolomi (Figura 2.2).

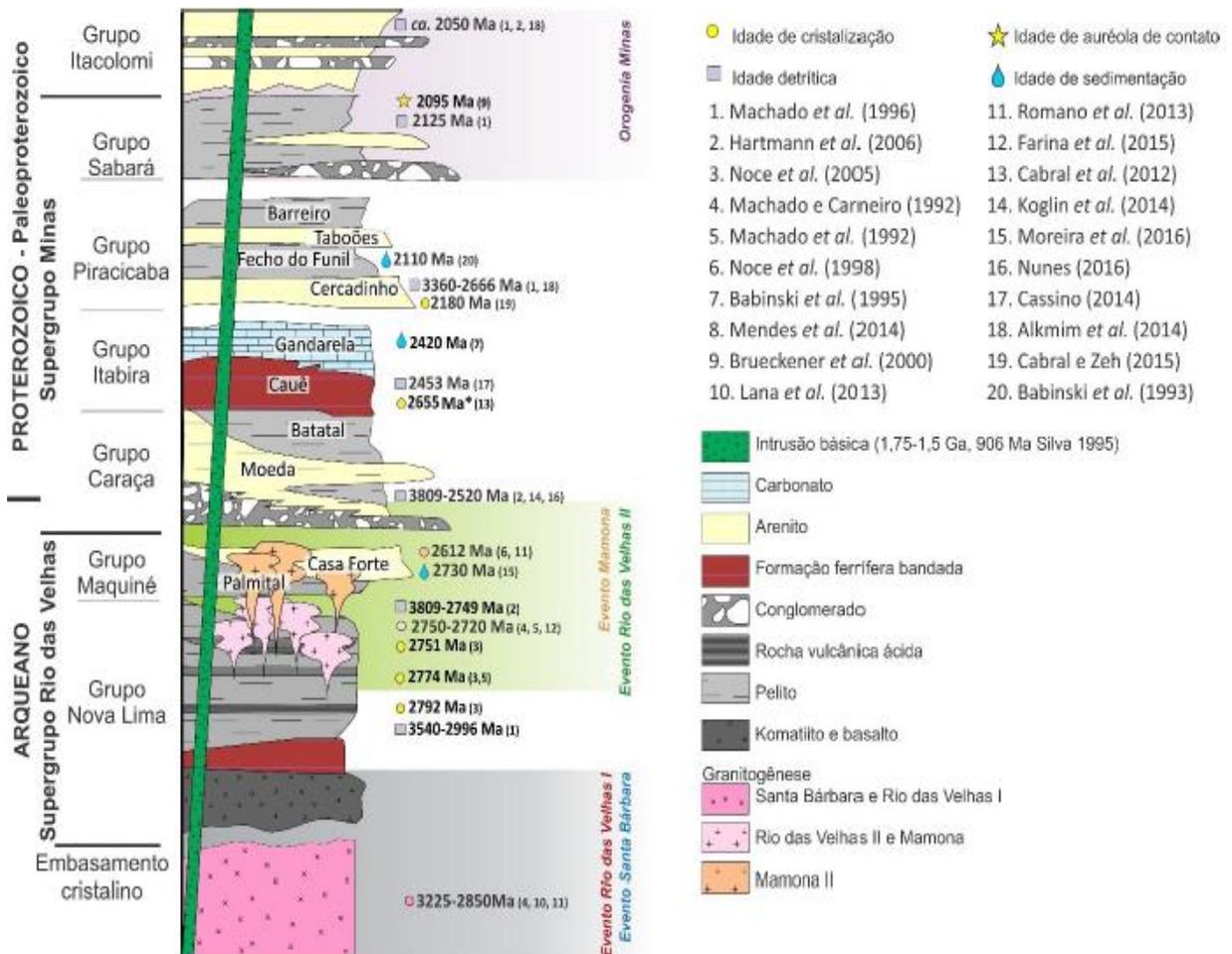


Figura 2.2: Coluna estratigráfica do QF. Adaptado de Dopico (2017). Retirado de Dutra (2017).

As principais características das unidades litoestratigráficas que constituem o QF são apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2-1: Quadro sintético contendo as principais características das unidades litoestratigráficas do QF (modificado de Pflug, 1965; Ebert, 1968; Dorr, 1969; Moore, 1969; Schorscher, 1978; Scoll & Fogaça, 1979; Ladeira, 1980; Karfunkel & Noce, 1983; Freitas, 1991; Rodrigues et al., 1993; Renger et al., 1994; Endo, 1997; Almeida et al., 2005) compilada e adaptada de Cavalcanti (1999), Rossi (2014) e Dutra (2017).

ERA	Paleoproterozóico											Neoarqueno	
PERÍODO	Orosiriano	Riaciano					Sideriano						
SUPERGRUPO	Minas											Rio das Velhas	
GRUPO	Itacolomi	Sabará	Piracicaba				Itabira		Caraça		Maquiné		Nova Lima
FORMAÇÃO			Barreiro	Taboões	Fecho do Funil	Cercadinho	Gandarela	Cauê	Batatal	Moeda	Palmital	Casa Forte	
LITOTIPOS	Quartzito, conglomerado polimítico com seixos de itabirito, ortoquartzitos e filitos quartzosos.	Mica xisto e clorita xisto com intercalações de metagrauvaca, quartzito, quartzito feldspático, quartzito ferruginoso, formação ferrífera, metatufo e meta-conglomerado.	Filitos e filitos grafitosos.	Metarenitos e ortoquartzitos.	Filitos dolomíticos, filitos, dolomitos silicosos e metarenitos ferruginosos.	Quartzitos ferruginosos, filitos ferruginosos, filitos, quartzitos e pequenas intercalações de dolomitos.	Dolomitos, formações ferríferas, filitos dolomíticos, e calcários.	Formação ferrífera, itabiritos dolomíticos e hematíticos com pequenas lentes de filitos, e horizontes manganíferos.	Filitos sericíticos e grafitosos.	Quartzitos, metarenitos sericíticos, conglomerados e filitos.	Filitos sericíticos, xistos carbonosos subordinados, metagrauvacas e metargilitos	Conglomerados, quartzitos sericíticos e filitos.	Rochas máficas e ultramáficas, filitos grafitosos, metagrauvacas, metacherts, dolomitos e formação ferrífera.
PALEO AMBIENTE	Lagos aprisionados e mares restritos. Colapso orogênico.	Sedimentos do tipo flysch. Fechamento de rifte.	Fechamento de bacia do tipo <i>condensed section</i> .	Deposição de sedimentos marinho profundo.	Regressão marinha. Subsidência da bacia Minas.	Sedimentos deltáicos à marinho raso. Primeiros pulsos da orogenia Riacciana.	Precipitação química marinha.	Transgressão marinha, margem passiva. Grande evento de oxigenação.	Acumulação bioquímica. Transição para sedimentos marinho de pouca energia.	Estágio rifte. Abertura da Bacia Minas. Marinho raso, leques aluviais, sistema aluvial e fluvial de rios entrelaçados.	Res-sedimentação, metaturbiditos proximais.	Aluvial-fluvial distal e de fluxo.	Sedimentos de arcos de ilhas vulcânicas e pillow lavas.
ESPESSURA MÁXIMA (metros)	> 1000	> 3000	150	125	410	600	600	350	500	1000	1000	500	> 4000
LOCALIDADE SEÇÕES-TIPO	Pico do Itacolomi	Serra do Curral	Serras do Curral e Três Irmãos	Sinclinal Dom Bosco	Sinclinal Dom Bosco	Margem BR-356	Sinclinal Gandarela	Pico do Itabirito	Sinclinal Ouro Fino	Sinclinal Moeda	Rio De Pedras	Sinclinal Vargem do Lima	Morro Vermelho

2.1 Complexos ígneo-metamórficos

A base estratigráfica do QF é representada pelos complexos granito-gnáissico na forma de domos. Segundo Lana *et al.* (2013), os domos expõem várias fases dos tonalitos-trondhjemitos-granodioríticos (TTG) que por sua vez são intrudidos por corpos de granitoides potássicos. Estes complexos metamórficos foram denominados como: Complexo Belo Horizonte, Bação, Bonfim, Santa Bárbara, Caeté (Endo & Machado, 2002) e mais recentemente Complexo Santo Antônio do Pirapetinga (Lana *et al.* 2013, Queiroz *et al.* 2019).

A morfologia destes corpos é de estrutura dômica com foliação de borda, o que retrata os eventos acrescionais sucessivos descritos por Alkmim & Marshak (1998) na estruturação desses complexos primários. Em contrapartida, as rochas supracrustais assim como os *greenstone belts* concentraram-se em quilhas (Alkmim & Marshak, 1998).

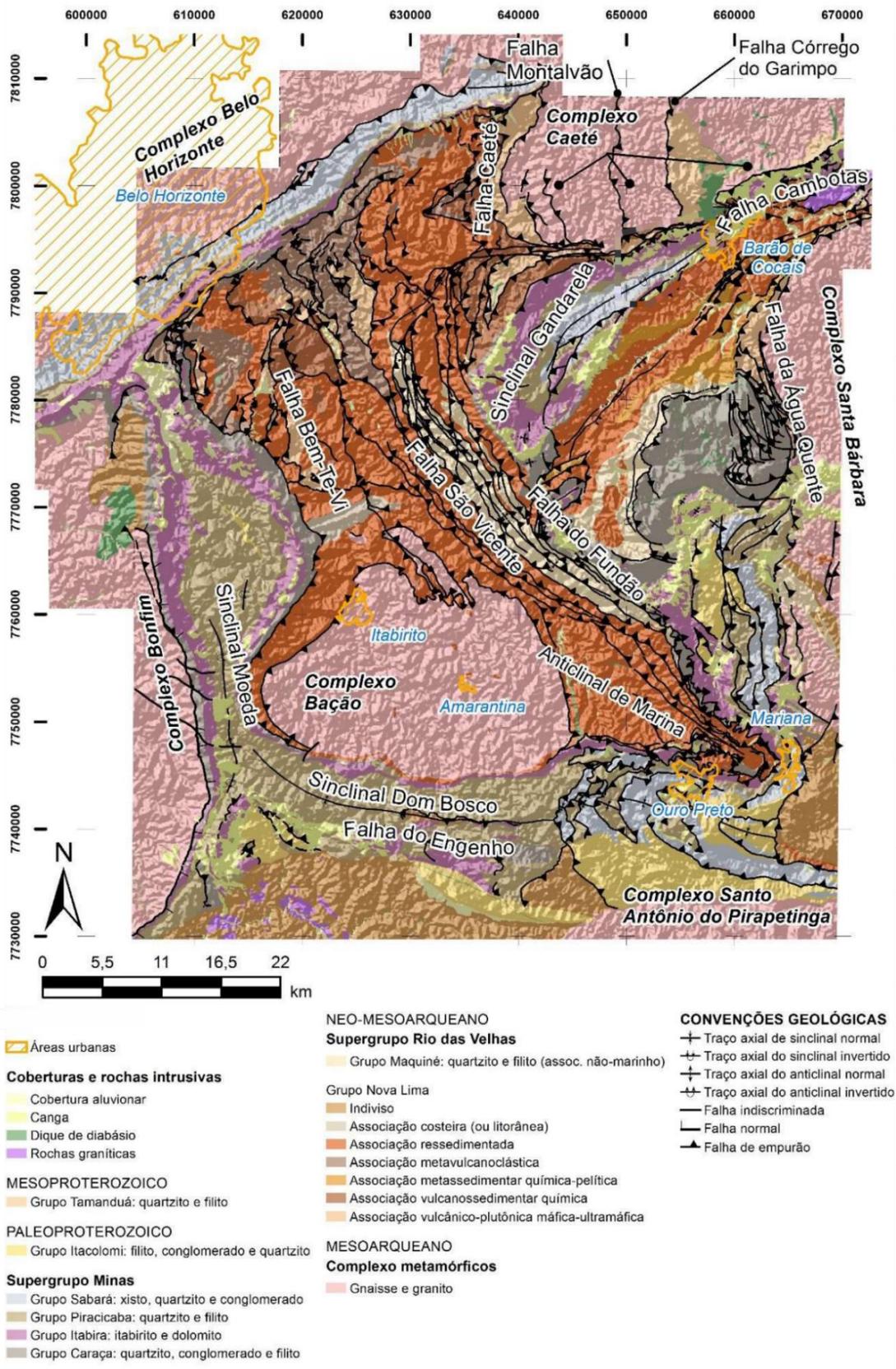


Figura 2.3: Composição do mapa geológico da região central do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Baltazar et al. 2005) e imagem SRTM de sombra de relevo. Retirado de Dutra (2017).

2.2 Supergrupo Rio das Velhas

As rochas metavulcânicas e metassedimentares do Supergrupo Rio das Velhas formam um típico *greenstone belt* Arqueano: uma sequência caracterizada pela associação entre rochas máficas e ultramáficas (metabasaltos/komattiitos), extrusivas vulcânicas (dacitos), rochas vulcanoclásticas e sedimentares clásticas imaturas (Dorr, 1969). Estas rochas são metamorfizadas em fácies xisto-verde até anfíbolito inferior e são comumente afetadas por alteração hidrotermal (Ladeira *et al.*, 1983, *In*: Zuchetti *et al.*, 2000). Muitas subdivisões estratigráficas diferentes foram propostas para o Supergrupo Rio Velhas (Baltazar & Zuchetti 2007). Um primeiro nível de classificação foi introduzido por Dorr (1969), que subdividiu o *greenstone belt* nos grupos Nova Lima e Maquiné, o primeiro ocorrendo na base da sequência e hospedando os principais depósitos de ouro do QF. Baltazar & Zuchetti (2007), seguindo a abordagem de Eriksson *et al.* (1994), subdividiram o Grupo Nova Lima em seis associações de litofácies vulcanosedimentares (da base para o topo): (i) vulcânico máfico-ultramáfico; (ii) vulcano-químico-sedimentar; (iii) clástico-químico-sedimentar, (iv) vulcanoclástico; (v) ressedimentado e (vi) costeira.

Sobrepondo o Grupo Nova Lima, o Grupo Maquiné representa uma associação clástica de considerável espessura, compreendendo conglomerados e arenitos compartimentados nas formações Palmital (O’rourke 1957) e Casa Forte (Gair 1962) (*In*: Alkmim & Marshak 1998). Dorr (1969) interpretou o Grupo Maquiné como um *flysch* para sequência do tipo molassa consistindo uma sucessão ascendente de arenitos e conglomerados em direção ao topo.

2.3 Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas, Paleoproterozóico, encerra uma pilha predominantemente sedimentar de cerca de 6.000 metros de espessura (Dorr 1969, Alkmim & Marshak 1998). No atual estado da arte, o Supergrupo Minas é compartimentado nos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba propostos por Dorr (1969), e Sabará (Renger *et al.* 1994, Almeida 2004). O Grupo Tamanduá, em sua área-tipo, na serra homônima e das Cambotas, foi excluído definitivamente da coluna estratigráfica do QF por Dutra *et al.* (2020, no prelo), estando relacionado ao Supergrupo Espinhaço (conforme já proposto por Schorscher 1970, Schöll 1972, Amaral *et al.*

1976, Ladeira 1982, Marshak & Alkmim 1989, Crocco-Rodrigues 1991, Freitas *et al.* 1992, Alkmim and Marshak 1998, CPRM 2003 e Lobato *et al.* 2005, *In*: Dutra *et al.* 2020, no prelo).

Segundo Alkmim e Martins-Neto (2012), o Supergrupo Minas pode ser subdividido em duas sequências separadas por uma discordância regional. A sequência basal, envolvendo sedimentos continentais a marinhos dos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba, representa o estágio de desenvolvimento de uma bacia do tipo rifte continental para uma bacia de margem passiva. E a sequência sobreposta, constituída pelos turbiditos do Grupo Sabará, foi interpretada por estes autores como depósitos de leques submarinos, marcando a inversão da margem passiva.

A base do Supergrupo Minas é formada pelo Grupo Caraça, sobreposta pelos grupos Itabira, Piracicaba respectivamente, compondo uma sequência plataformal de mar raso a profundo e posteriormente com sedimentação química e clástica. E constituindo o topo estratigráfico, o Grupo Sabará, sendo formado por rochas clásticas sin-orogênicas formado de depósitos marinhos tipo *flysch* (Rosière & Chemale Jr., 2000).

A bacia Minas desenvolveu-se inicialmente em ambiente continental e posteriormente marinho (Hasui *et al.*, 2012), por um estágio de rifteamento continental durante a fase extensional do Transamazônico (Alkmim & Marshak, 1998). A fase rifte é representada pelas formações Moeda e Batatal do Grupo Caraça (Alkmim & Marshak, 1998). Suas unidades geralmente recobrem em discordância angular e erosiva as rochas do Arqueano e do Supergrupo Rio das Velhas (Rynearson *et al.* 1954 *In*: Resende, 2018). A Formação Moeda compreende metarenitos, metaconglomerados, quartzitos e filitos englobando depósitos de ambiente aluvial-litorâneo-marinho sob influência tectônica (Villaça 1981; Renger *et al.* 1995). Segundo Farina *et al.* (2016), a Formação Moeda apresenta espessuras que variam de 300-1000 m. A Formação Batatal com espessura de 30-200 m, é constituída por filitos e filitos sericíticos, havendo níveis subordinados de filitos carbonosos, metacherts e formações ferríferas, marcando uma mudança de deposição clástica para processos de acumulação bioquímica e retrata um rifte que evoluiu para margem passiva (Alkmim e Marshak, 1998).

A deposição da bacia Minas registra um importante evento global, o *Great Oxygenation Event* (Kasting, 2013), onde a sedimentação das sequências basais que antes era em ambiente anóxico, alterna-se para um ambiente de elevada oxigenação da atmosfera (Hasui *et al.* 2012), permitindo a gênese das BIF's (*Banded Iron Formation*) do tipo Lago Superior no Grupo Itabira. O Grupo Itabira contém os depósitos de minério de ferro de classe mundial da Formação

Cauê (Rosière *et al.* 2008), com espessura em torno de 350m, que marca o estágio de subsidência ternal da margem passiva continental (Alkmim & Marshak 1998). Esta litologia é representada por itabiritos, itabiritos dolomíticos, hematititos, lentes de xistos e filitos (Dorr, 1969), e metapelito cuja deposição apresenta contribuição vulcânica (Cassino, 2014). Já a Formação Gandarela, é composta de mármore dolomíticos, mármore ricos em óxidos de ferro, filitos dolomíticos, dolomitos e calcários (Dorr, 1969). Estes litotipos representam uma grande transgressão marinha, configurando o período de máxima inundação da bacia Minas (Alkmim & Marshak 1998).

O Grupo Piracicaba é composto das formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro, é associado a um ambiente marinho-deltaico, apresentando 1300 metros de espessura (Dorr, 1969) e continuidade lateral chegando a mais de 10 Km (Dorr *et al.* 1957 In: Resende, 2018). A sedimentação da Formação Cercadinho marca profundo remodelamento da bacia Minas (Renger *et al.* 1994), composta por metarenitos (puros e ferruginosos), metapelitos e metadolomitos (Mendes *et al.* 2014). A Formação Fecho do Funil inclui metapelito (domolítico e puro), metasiltito e metadolomito impuro, a Formação Taboões inclui metarenito maciço de granulação fina e a Formação Barreiro, metapelito e metapelito grafitoso. metadolomito (Mendes *et al.* 2014).

Por último, o Grupo Sabará sobrepõe as rochas do Grupo Piracicaba por discordância erosiva, marcando um hiato regional que caracteriza uma mudança nas condições gerais de sedimentação do Supergrupo Minas, alternando para deposição turbidítica com contribuições químicas (Reis *et al.* 2002). A deposição deste grupo é interpretada como sin-orogênico relacionada ao evento Riacciano/Orosoriano (Alkmim & Marshak, 1998), constituído por uma sequência de rochas imaturas com contribuição vulcanogênica (Renger *et al.*, 1994). A sedimentação é do tipo *flysch* e representado por xistos intercalados por metagrauvas, quartzitos feldspáticos e ferruginosos e metaconglomerados. Assim, o Grupo Sabará é caracterizado como uma bacia de antepaís (Machado et al. 1992; Reis et al. 2002; Hartmann et al. 2006 In: Dutra, 2017) com espessura da ordem de 3500 m, segundo Dorr (1969).

2.4 Grupo Itacolomi

O Grupo Itacolomi (Dorr 1969) encontra-se no topo da coluna estratigráfica pré-cambriana do QF. É constituído essencialmente por quartzitos e, subordinadamente, de metaconglomerados de origem continental. O grupo tem uma distribuição de área restrita,

limitado à região mais meridional do QF. As rochas deste grupo sobrepõem as unidades sedimentares e vulcânicas dos grupos Sabará, e das formações Barreiro e Fecho do Funil (Grupo Piracicaba) em discordância angular erosiva.

Essas rochas preservam estruturas sedimentares, como marcas de ondulação e *crossbedding* e exibem mudanças laterais abruptas de fácies sedimentares. Estas características sugerem que o Grupo Itacolomi represente depósitos marinhos e continentais (Alkmim & Marshak 1998).

O Grupo Itacolomi é interpretado como um depósito de molassa intermontano desenvolvido ao longo da margem do núcleo Arqueano do CSF durante a fase de colapso da orogenia riaciana (Alkmim & Marshak 1998, Alkmim & Martins-Neto 2012).

2.5 Rochas Intrusivas Pós-Minas

As rochas intrusivas do QF, distribuem-se em enxames de diques e soleiras que cortam o embasamento cristalino e as rochas supracrustais. São constituídos por gabro e diabásio, e rochas ultramáficas (peridotito, dunito e similares) distribuídos em três conjuntos distintos segundo idades obtidas pelos métodos U-Pb e K/Ar (Silva et al. 1995).

O primeiro grupo de rochas intrusivas máficas é representada por corpos gabroicos. Estes são relacionados com a abertura da bacia do Espinhaço (Silva et al. 1991a). A segunda suíte alojou-se em torno de 906 ± 2 Ma intrudindo todas as sequências do Supergrupo Minas e Espinhaço e precedem a sedimentação do Supergrupo São Francisco. Segundo Silva *et al.* (1995) corresponde ao período de extensão crustal no evento neoproterozoico, responsável pelo maior volume de intrusões ígneas no QF.

2.6 Rochas Sedimentares Cenozóicas

Na borda leste do QF ocorrem rochas sedimentares tidas como cenozóicas, as quais têm espessura média de 85 metros e, em geral, são recobertas por canga dura ou laterita ferruginosa. Tais rochas distribuem-se no planalto que se estende da base da serra do Caraça até as margens do rio Piracicaba. As unidades litoestratigráficas que ocorrem nesta região são: siltitos arenosos, arenitos grossos e brechas da Formação Fonseca (Dorr, 1969), arenitos avermelhados e diamictitos da Formação Cata Preta (Castro *et. al.*, 1997) e paleodepósitos estratificados,

laterizados, compostos por seixos polimíticos, arredondados e de vários tamanhos, denominados de Formação Chapada de Canga (Sant'anna 1994).

2.7 Metamorfismo

No mínimo três eventos metamórficos regionais são registrados no QF: i) pré-Maquiné, que afetou os gnaisses TTGs com migmatização, ii) pré-Minas, que variou da fácies xisto verde a anfibolito baixo e iii) pós-Minas, que atingiu a fácies xisto verde (Dorr II 1969; Herz 1970, 1978; Ladeira 1980; Marshak e Alkmim 1989; Lana *et al.* 2013, *In:* Dutra 2017). Um evento anterior, com idade U/Pb de 2,7 Ga, teria alcançado condições metamórficas no limite de fácies anfibolito-granulito (Gomes 1986, *In:* Rossi, 2004). Este evento foi responsável pela geração da maior parte das rochas que constituem os complexos metamórficos dos terrenos *greenstone belts* e intrusões graníticas e estaria relacionado à orogênese Rio das Velhas (Carneiro, 1992).

Além destes, Herz (1978, *In:* Dutra, 2017) descreveu a influência do metamorfismo de contato entre parte dos domos granodioríticos do embasamento e das rochas supracrustais que o cercam. Nos contatos, além da obliteração das estruturas sedimentares, quando presentes, observa-se a paragênese indicativa de elevação do grau metamórfico para fácies anfibolito nesta interface (estauroilita, cianita, cordierita, granada, quartzo, biotita, muscovita e clorita).

A evolução tectônica do QF ocorreu por um zoneamento metamórfico (Herz, 1978) traduzido pela transição de temperaturas baixas a altas, com crescimento para leste, que variam, aproximadamente, entre 300 e 650 °C (Queiroz *et al.* 2019). Este zoneamento metamórfico é acompanhado por um gradiente deformacional possibilitando separar o QF em dois domínios principais: domínio ocidental de baixa deformação e domínio oriental de alta deformação (Rosière *et.al.* 2001). O domínio de baixa deformação (Figura 2.4) engloba principalmente as zonas metamórficas da grunerita e cummingtonita (Pires, 1995). O domínio oriental de alta deformação é definido pelas zonas metamórficas da actinolita e da tremolita-antofilita (Pires, 1995). Evidências de retrometamorfismo em fácies xisto verde de ocorrência descontínua estão aparentemente associadas às fases finais da tectônica compressiva (Golia, 1997 *in* Baltazar e Zucchetti, 2007; Rosière e Chemale Jr., 2000). A variação do grau metamórfico não ocorre somente nas auréolas de contato com intrusões graníticas, mas regionalmente o grau metamórfico é decrescente de leste para oeste, onde condições anquimetamórficas (grau extremamente fraco) são observadas.

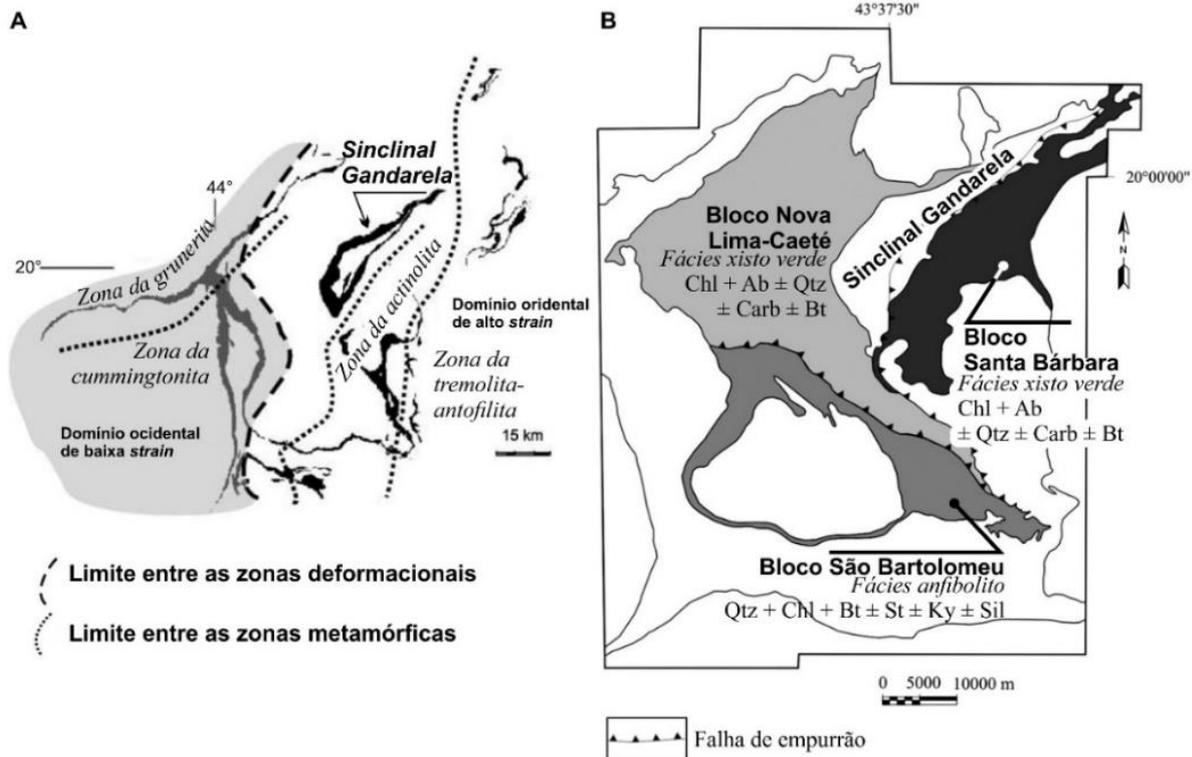


Figura 2.4: A. Localização dos domínios metamórficos e estruturais do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Pires 1995 in Rosière e Chemale Jr. 2000). B: Fácies metamórficas do Supergrupo Rio das Velhas (modificado de Baltazar & Zucchetti 2007).

2.8 Arcabouço Estrutural

De maneira generalizada, dois tipos de estruturas predominam regionalmente no QF (Alkmim & Marshak, 1998) (figuras 2.4 e 2.5). O primeiro é formado por porções do embasamento Arqueano que afloram na forma de grandes domos por todo o QF, a exemplo dos complexos do Bação, Belo Horizonte, Caeté e Santa Bárbara. O segundo tipo é formado por quilhas, dispostas na região entre os domos, compostas predominantemente por rochas do Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Minas (Alkmim & Marshak, 1998).

Outros dois padrões estruturais se manifestam subordinadamente. O primeiro é constituído de dobras em grande escala com *trend* para NE, ao exemplo dos sinclinais Gandarela, Ouro Fino, Moeda e Dom Bosco, dentre outros. O segundo é formado por falhas de empurrão com vergência para oeste, associado à orogenia neoproterozóica (brasílica), ao exemplo do sistema de cavalgamentos Fundão-Cambotas (Chemale Jr. *et al.* 1991, 1994).

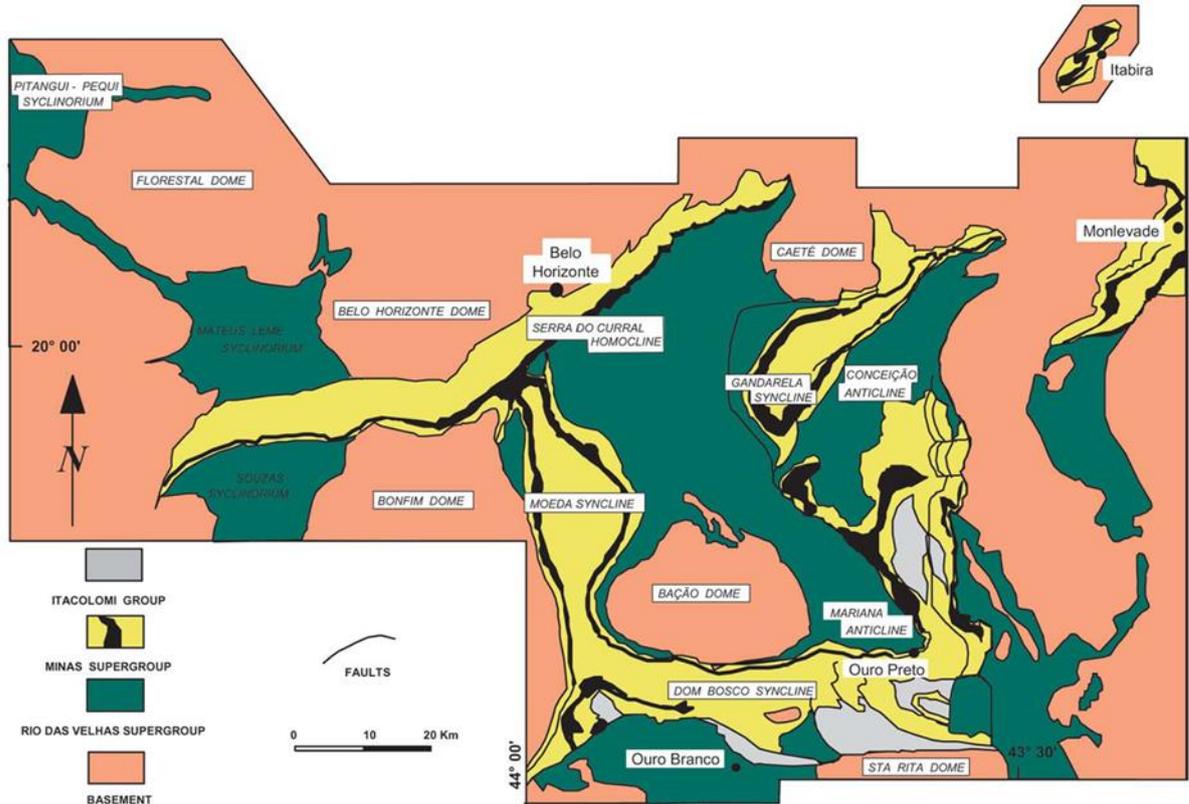


Figura 2.5: Megaestruturas do QF (extraído de Alkmim & Noce 2006).

A ausência de datações de minerais metamórficos relacionados às tramas tectônicas faz do QF um complexo arranjo estrutural, tendo como consequência variada gerações de estruturas distintas. A Tabela 2.2 traz um sumário das principais estruturas do arcabouço tectônico do QF.

Tabela 2-2: Sumário do arcabouço tectônico do QF. Modificado de Dutra (2017).

	Alkmim & Marshak (1998)	Chemale Jr. et al. (1991)¹	Chauvet et al. (1994)	Almeida (2004) e Endo et al. (2005)
<i>F₁</i>	Vergência: NW S ₁ : NE-SW/SE β_1 : caimento para NE e SW	S ₁ : N-S e NE-SW/var. Lm ₁ : caimento para ESE e W	Vergência: S Lm ₁ : N-S	Vergência: NNE S ₁ : NE-SW/60SE ³ Lm ₁ // β_1 : E-W/30-56 ³
<i>F₂</i>	Vergência: W S ₂ : NS/E-SE Lm ₂ // β_2 : S80E/30	S ₂ : E-W/50-90 Lm ₂ : E-W/20-50	Vergência: WNW Lm ₂ : W-E e NW-SE	Vergência: SSW S ₂ : N35W/40NE ⁴ Lm ₂ //L ₂ : caimento para ESE
<i>F₃</i>	–	S ₃ : N-S/var. Lm ₃ : caimento em E-W	Lm ₃ ² : caimento em N-S	

¹ As deformações são ligadas somente ao ciclo neoproterozoico. ² Relaxamento crustal pós-*F₂*. ³ e ⁴ segundo máximos estatísticos de Endo et al. (2005) e Almeida et al. (2005), respectivamente.

2.9 Evolução Tectônica

A evolução tectônica do QF vem sendo incrementada pelos estudos geocronológicos realizados sistematicamente ao longo dos últimos anos e pode ser resumida na Tabela 2.3. Numa visão geral, os complexos ígneo-metamórficos registram uma longa história de evolução crustal, finalizada por um período de cratonização ao final do Arqueano, aproximadamente penecontemporâneo com a formação e a estruturação do Supergrupo Rio das Velhas. Este núcleo crustal serviu posteriormente como embasamento para a deposição de grande parte das unidades (vulcano)sedimentares que constituem o Supergrupo Minas e o Grupo Itacolomi, no Paleoproterozóico e como região de antepaís para os eventos orogênicos do Osoriano/Riaciano e do Ediacarano. O complexo padrão estrutural do QF é fruto da interação, em maior ou menor grau, destes dois ciclos (Alkmim & Teixeira, 2017).

O evento Santa Bárbara é marcado por rochas TTGs de 3212 ± 9 e 3210 ± 8 Ma. no complexo homônimo e 3219 Ma. no Cinturão Mineiro. A evolução da crosta durante o Paleoarqueno é evidenciada por essas rochas que posteriormente evoluíram em grandes segmentos nos dois principais eventos de subducção seguintes durante o magmatismo no NeoArqueano, levando ao desenvolvimento de uma crosta polideformada (Lana *et al.* 2013, *In: Dutra*, 2017).

Tabela 2-3: Resumo da evolução geotectônica do QF (modificado de Dutra 2017).

<i>Evento</i>	<i>Descrição e distribuição</i>
<i>Orogenia Brasileira</i>	Metamorfismo regional na fácies anfibolito que atingiu a porção leste do QF (Queiroz <i>et al.</i> 2019, Cutts <i>et al.</i> 2008)
<i>Orogenia Minas (2250–1900 Ma)</i>	Metamorfismo associado a retrabalhamento crustal (rejuvenescimento e reativação) e intrusões de corpos granitoides e tonalíticos no Cinturão Mineiro, sul do Quadrilátero Ferrífero (Campos <i>et al.</i> 2003)
<i>Mamona I (MI, 2750–2700 Ma) e II (MII, 2620–2580 Ma)</i>	Intrusões graníticas nos complexos Bação, Bonfim e Belo Horizonte associados a metamorfismo (Machado <i>et al.</i> 1996, Romano <i>et al.</i> 2013, Farina <i>et al.</i> 2015, Martínez-Dopico <i>et al.</i> 2017)
<i>Rio das Velhas II (RdVII, 2800–2770 Ma)</i>	Granitogênese potássica (Romano <i>et al.</i> 2013, Farina <i>et al.</i> 2015) em corpos de dimensões variadas no interior dos domos graníticos
<i>Rio das Velhas I (RdVI, 2930–2900 Ma)</i>	Núcleos graníticos no interior e em áreas adjacentes ao Quadrilátero Ferrífero (domo Bonfim, Bação e Belo Horizonte) que marcam a acreção de magma TTG a crosta paleoarqueana sob atividade máfica e ultramáfica (Lana <i>et al.</i> 2013; Farina <i>et al.</i> 2016)
<i>3000–2900 Ma</i>	Produção crustal (Farina <i>et al.</i> 2016)
<i>Santa Bárbara (ca. 3200 Ma) e pré-Santa Barbará (>3200 Ma)</i>	Núcleo cratônico (Granito Santa Barbará, NE do Quadrilátero Ferrífero) sob sucessivos pulsos magmáticos e erosivos. Não há evidência de metamorfismo (Lana <i>et al.</i> 2013)

A formação do Supergrupo Rio Das Velhas resulta dos eventos Rio das Velhas I (RDVI 2930-2900 Ma.) e Rio das Velhas II (RDVII 2800-2760 Ma.) que são marcados pela formação de vários plutons TTG. A adição de crosta juvenil e retrabalhada precede o período de estabilidade do paleocontinente São Francisco-Congo nos últimos 70Ma. (Romano *et al.*, 2013). O segundo episódio, RDVII, coincide com o vulcanismo félsico e a sedimentação de

turbiditos na principal sequência *greenstone* do Supergrupo Rio das Velhas. O final dos eventos RDVI e RDVII ocorreu em 2700 Ma, durante o evento magmático Mamona, marcado pela intrusão de granitos ricos em potássio (Lana *et al.*, 2013). A evolução da bacia Minas ocorreu inicialmente em um estágio de rifteamento continental que evoluiu para uma margem passiva, gradando no topo para uma bacia de antepaís (Grupo Sabará) (Dorr II 1969; Renger *et al.* 1995; Alkmim & Marshak 1998, Aguilar *et al.* 2017) (Figura 2.6).

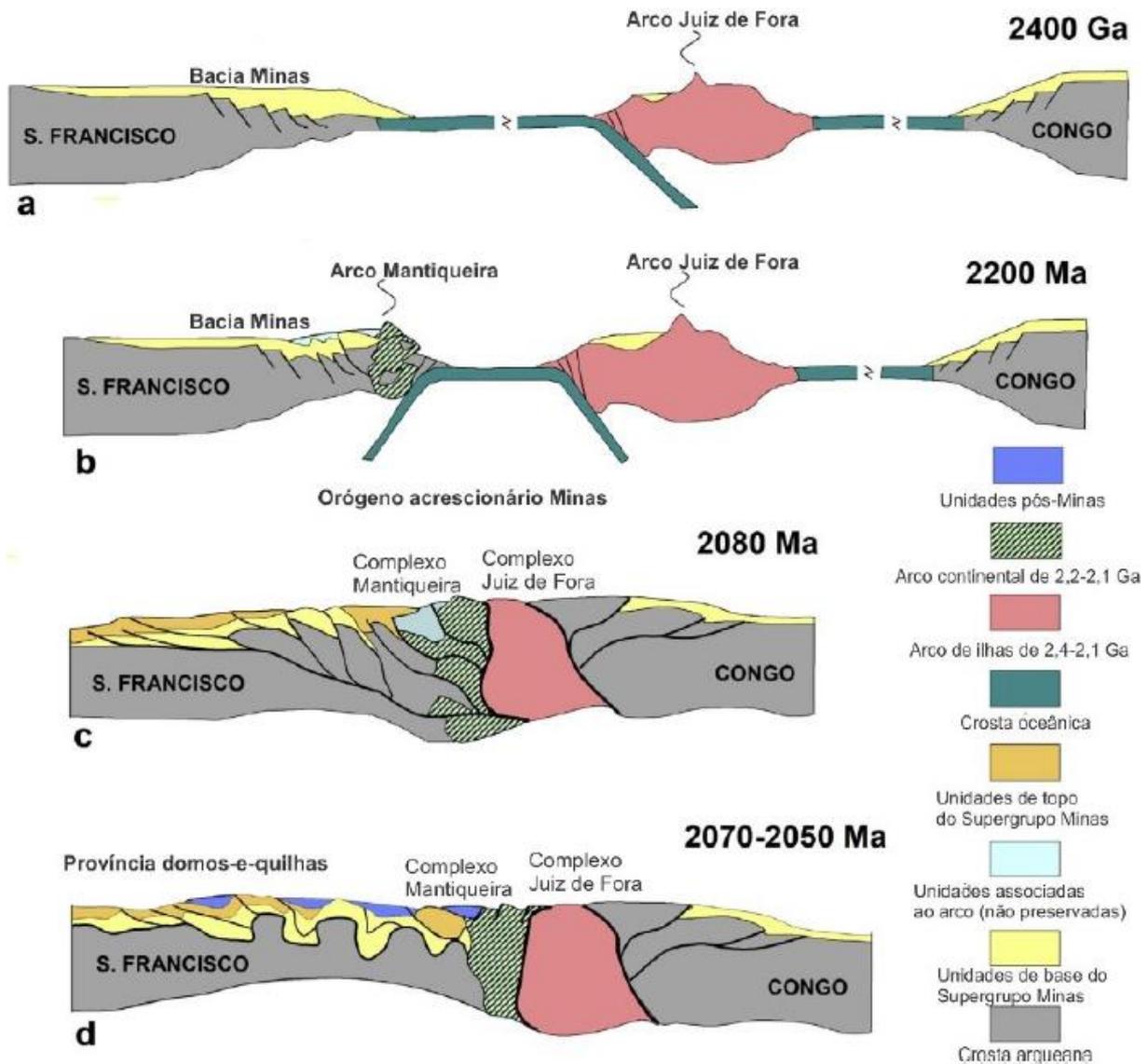


Figura 2.6: Modelo para a evolução tectônica do QF antes e durante a orogenia Transamazônica. (a) Estágio pré-colisional entre as placas do São Francisco e do Congo. (b) Desenvolvimento do Arco Mantiqueira e início da inversão da bacia Minas devido a orogenia acrescionária. (c) Colisão entre os núcleos Arqueanos do CSF-Congo. (d) Colapso extensional no sul do CSF e desenvolvimento de bacias de antepaís e a estrutura de domos e quilhas. Aguilar *et al.* (2017). Retirado de Dutra (2017).

Para Alkmim & Marshak (1998) e Farina *et al.* (2015) as rochas do Supergrupo Minas representaram uma margem passiva ao pacote sedimentar sin-orogênico que acompanha a

operação de um Ciclo de Wilson entre 2,6 e 2,0 Ga (Figura 2.6). O desenvolvimento margem passiva da bacia Minas ocorreu no intervalo de tempo entre aproximadamente 2600 e 2400 Ma. isto é, entre a deposição do Formações Moeda e Gandarela ao longo das fronteiras do paleocontinente São Francisco-Congo. As rochas metassedimentares clásticas que formam a base do Supergrupo Minas (Grupo Caraça), foram depositados durante o primeiro evento precursor de margem passiva arqueana (Figura 2.6). As unidades químicas do Grupo Itabira (formações Cauê e Gandarela) e as rochas metassedimentares do Grupo Piracicaba (formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro) marcam a fase marinha, rasa e profunda, respectivamente, da bacia Minas. As rochas metassedimentares clásticas imaturas do tipo *flysch* do Grupo Sabará marcam a inversão da bacia Minas, representando sedimentos sin-orogênicos de um arco magmático ativo (Renger *et al.* 1995, Figura 2.6). O Grupo Itacolomi, ao exemplo do Grupo Sabará, também constitui uma unidade sin-orogênica do evento do Osoriano/Riaciano (Alkmim & Marshak 1998). Representa os depósitos fluviais do tipo molassa em bacias de antepaís.

ROTEIRO PARA EXCURSÕES GEOLÓGICAS TEMÁTICAS EM OURO PRETO

Obedecendo a proposta de um guia de excursão temático, três roteiros em Ouro Preto foram caracterizados através de 21 pontos de campo e 1 levantamento estratigráfico de detalhe (1:50) (Figura 3.1) e apresentam diferentes potencialidades para aplicações dentro de uma ou mais subáreas das geociências, a saber:

- Roteiro 1 – o maior em extensão projetada e em parte o mais procurado por excursões acadêmicas, cobre uma parte significativa da coluna estratigráfica do Supergrupo Minas e se presta a apresentar o quadro estratigráfico e estrutural de parte do flanco sul do Anticlinal de Mariana;
- Roteiro 2 – dedicado a integrar dados de geologia econômica, notadamente as mineralizações auríferas da Serra de Ouro Preto, ao registro histórico das atividades mineiras de ouro;
- Roteiro 3 – se destina a apresentar o enquadramento geotécnico de Ouro Preto com base no comportamento reológico diferencial e discutir os problemas oriundos da ocupação urbana em antigas áreas de mineração.

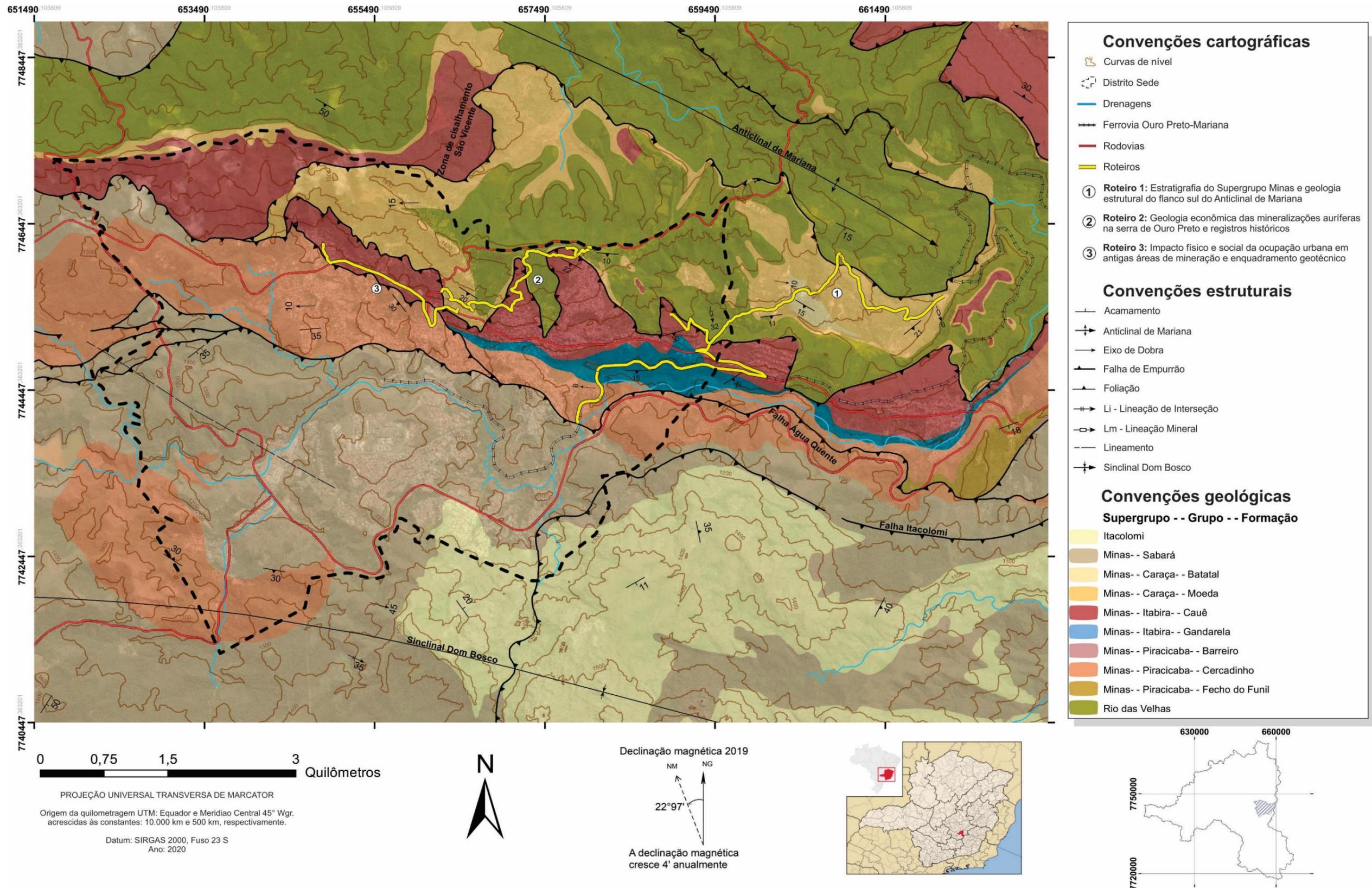


Figura 3.1: Mapa Geológico da área de estudo com destaque ao zoneamento urbano de Ouro Preto. Baseado em Fernando Lacourt (1936) e Barbosa (1969). Retirado de Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero (Endo, 2019).

3.1 ROTEIRO 1 – ESTRATIGRAFIA DO SUPERGRUPO MINAS E GEOLOGIA ESTRUTURAL DO FLANCO SUL DO ANTICLINAL DE MARIANA

Introdução

Com cerca de 8200 metros de extensão projetada e 10 pontos descritos, o Roteiro 1 é o maior em extensão deste guia e tem seu início na zona rural do distrito de Passagem de Mariana, passando pela capela Bom Jesus das Flores (ou “igrejinha do Taquaral”), próxima ao bairro Liberdade em Ouro Preto, de onde se percorre parte da ferrovia que liga Ouro Preto a Mariana (sentido Ouro Preto) e finalizado na estação Vitorino Dias próxima a antiga fábrica de tecidos, ambas desativadas (Figura 3.2).

O Roteiro 1 cobre uma parte significativa da coluna estratigráfica do Supergrupo Minas, com exposições das formações Moeda e Batatal (Grupo Caraça), Cauê e Gandarela, (Grupo Itabira) e Cercadinho (Grupo Piracicaba). A partir dos afloramentos descritos nos anexos 1.1 a 1.10 e a despeito da deformação imposta as rochas do Supergrupo Minas nesta região, ainda podem ser feitas considerações sobre a evolução sedimentar, paleoambiental e tectônica destas unidades no quadro regional do QF. Especial aproveitamento se dá para os grupos Itabira e Piracicaba (Formação Cercadinho), sendo esta última unidade alvo de um levantamento faciológico de detalhe (1:50).

Os elementos estruturais expostos no Roteiro 1, juntamente com a interpretação de imagens aéreas, constituem um excelente laboratório natural para a prática da análise estrutural descritiva e cinemática (conforme Davis & Reynolds, 1996). Pode se trabalhar com os estudantes a disposição espacial (em mapa) das unidades litoestratigráficas do Supergrupo Minas no flanco sul do anticlinal de Mariana associado a marcante presença de estruturas do tipo *boudin*.

De igual maneira, o Roteiro 1 possui registros de atividades mineiras, artesanais ou mecanizadas, seja para a extração de quartzitos para rocha ornamental (ou como brita), seja para a extração artesanal de ouro. Duas das cavidades presentes nesta região (“Mina do Jorge”) foram mapeadas em detalhe por Silveira *et al.* (2016), cujos resultados e potencial didático são incorporados e contextualizados neste roteiro.

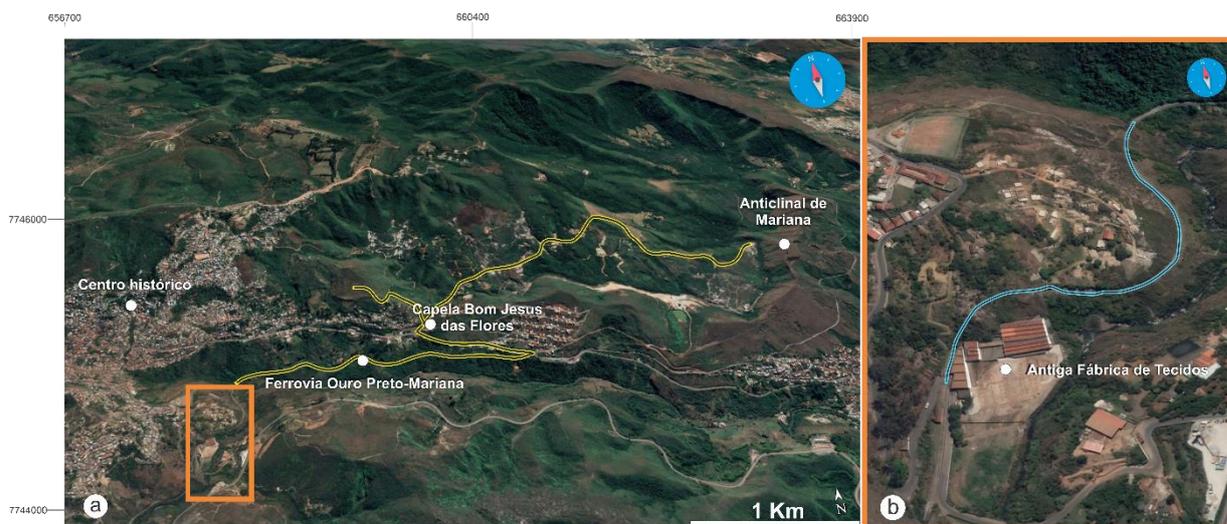


Figura 3.2: (a) Mapa de localização do Roteiro 1 com pontos de referência na região com detalhe (b) para o percurso do empilhamento estratigráfico feito na linha férrea.

3.1.1 Considerações sobre a evolução sedimentar, paleoambiental e tectônica do Supergrupo Minas contextualizada para o Roteiro 1

3.1.1.1 Grupo Caraça*

* Baseado em Madureira (2020) e referências nele contidas.

O Grupo Caraça, base do Supergrupo Minas, materializa os estágios de rifteamento continental e início de formação de uma margem passiva sobre a qual se depositaram grandes volumes de sedimentos químicos (Dorr II, 1969) no Paleoproterozóico.

O Grupo Caraça, tendo como principal representante a Formação Moeda, preserva um valioso acervo estratigráfico e sedimentar, permitindo utilizá-los como uma das principais fontes de informação para a reconstrução paleotectônica e paleogeográfica da bacia Minas em seus primeiros estágios. De maneira pioneira, Wallace (1958) propôs a divisão dos litotipos Moeda em três membros informais (Moedas 1, 2 e 3), aos quais foram correlacionados a três ciclos sedimentares de abrangência regional por Villaça (1981) (Figura 3.3). Os ciclos 1 e 2 estariam relacionados aos estágios de rifteamento continental propriamente dito, ao passo que o ciclo 3 corresponderia ao início de formação da margem passiva, cuja maior expressão seria a Formação Batatal (Figura 3.5). Este autor reconheceu os registros de rifteamento continental (ciclos 1 e 2) na porção setentrional do QF, recentemente caracterizados nas serras da Moeda por Madeira (2018) e Madeira *et al.* (2019), Gandarela (Madureira, 2020) e Caraça (Nunes, 2016) (Figura 3.3). Ao ciclo inferior (Moeda 1) se associam as mineralizações de Au e U do tipo paleoplacer, também descrito como do tipo paleoplacer modificado por Pires (2005), Koglin *et al.* (2010), dentre outros. Em ambos os modelos metalogenéticos, há a influência de fatores

sedimentológicos no controle das ocorrências auro-uraníferas, sendo os maiores teores definido em litofácies conglomeráticas (Minter *et al.* 1990).

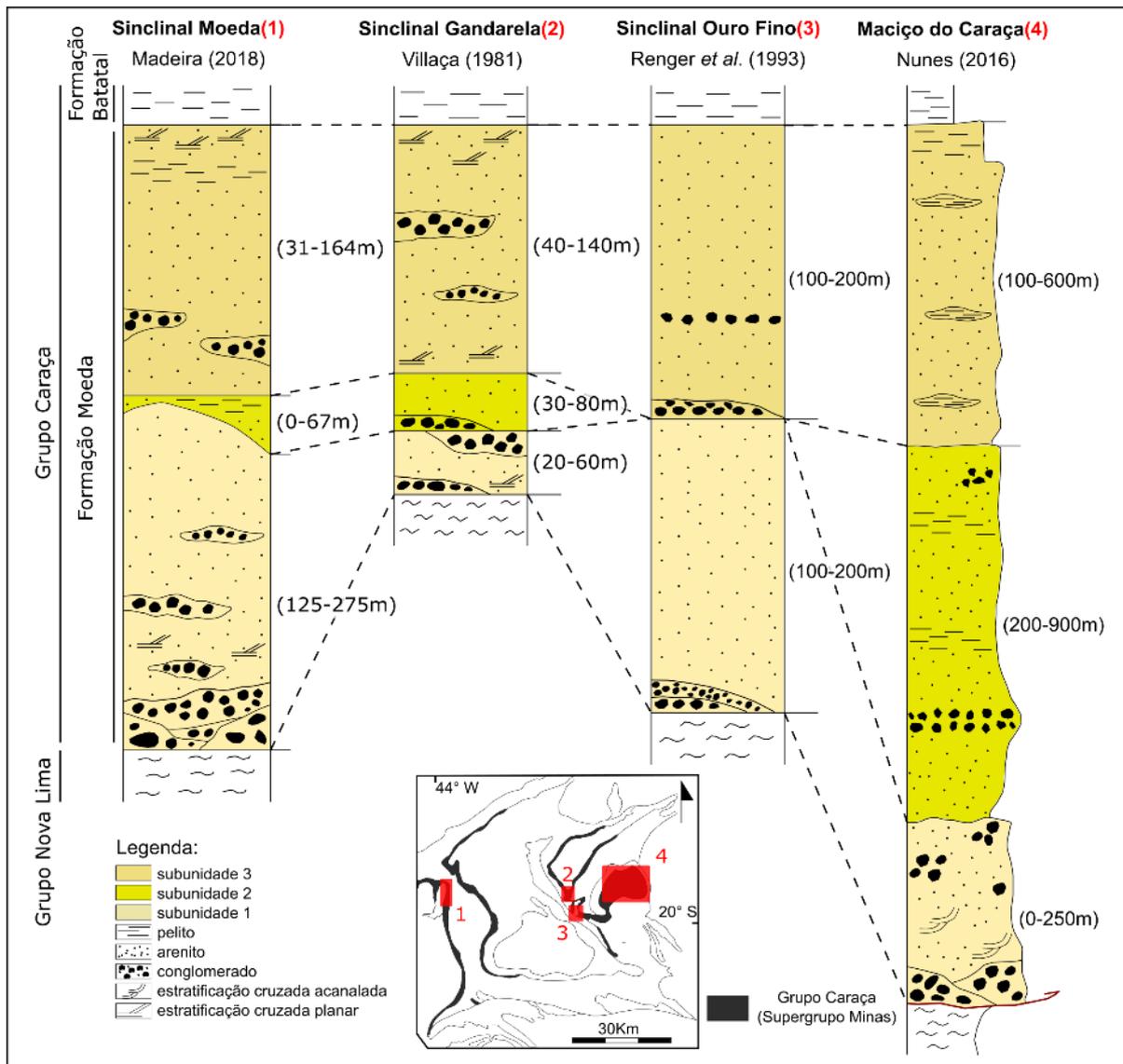


Figura 3.3: Subdivisões e distribuição da Formação Moeda no Quadrilátero Ferrífero (baseado em Dorr II 1969; Villaça 1981; Renger *et al.* 1993; Alkmim & Marshak 1998; Nunes 2016; Madeira 2018, *In:* Madureira 2020).

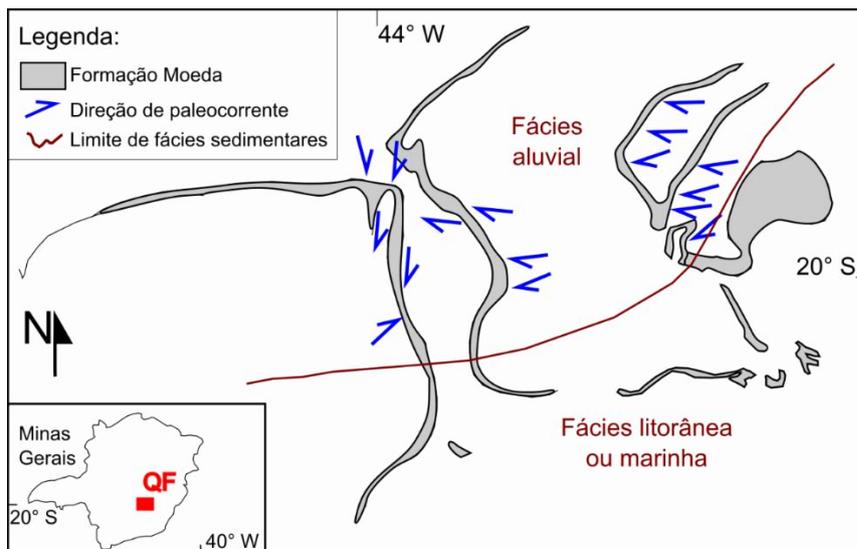


Figura 3.4: Representação esquemática da distribuição da Formação Moeda no QF, com indicações de direção de paleocorrente e limite aproximado entre setores dominados por fácies aluviais e fácies litorâneas/marinha (modificado de Villaça 1981, In: Madureira 2020).

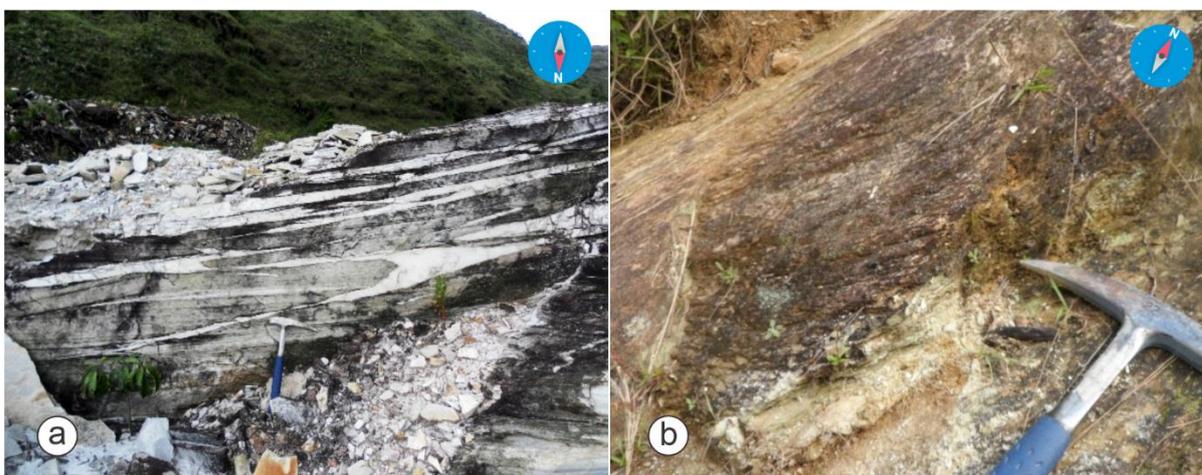


Figura 3.5: A) Aspecto de campo de um metarenito da Formação Moeda. b) aspecto de campo de mica xisto da Formação Batatal.

3.1.1.2 Grupo Itabira

O Grupo Itabira (Dorr II, 1969) representa a instalação de uma ampla margem passiva no QF (Alkmim & Marshak, 1998) e deposição química de sedimentos predominantemente ferruginosos do tipo Lago Superior (Formação Cauê), ou carbonáticos (Formação Gandarela).

Ao exemplo da Formação Cauê, outras grandes concentrações de formações ferríferas bandadas (BIF's) paleoproterozóicas são registradas nos atuais continentes da América do

Norte, África e Austrália, consideradas marcadores da evolução ambiental que a Terra primitiva experimentou, na passagem do Arqueano para o Paleoproterozóico (Tardy, 1997). A deposição das BIF's deste período é relacionada a grande evento de oxigenação do Paleoproterozóico (Karhu & Holland, 1996), através do qual ocorreu o acentuado aumento nas concentrações de O₂ na atmosfera e uma diminuição drástica nos gases que produziam o efeito estufa na Terra. Como consequência imediata, teriam sido geradas as condições para a primeira glaciação do Paleoproterozóico (Kasting & Ono, 2006), marcadas pela precipitação de carbonatos da Formação Gandarela no QF, de acordo com Bekker *et al.* (2003). As causas destas mudanças paleoambientais ainda são especulativas, mas podem estar relacionadas aos primeiros ciclos de supercontinentes da Terra (Condie, 2004).

Corpos de minério de ferro de alto teor (> 60% Fe) presentes na Formação Cauê encontram-se descontinuamente distribuídos em todo o QF, intercalados nos itabiritos, sejam como lentes concordantes ou corpos paraconcordantes condicionados pela xistosidade e fortemente controlados pelo atual nível de erosão (Rosière & Chemale Jr. 2000). Têm composição química homogênea, sendo constituídos quase inteiramente de óxidos de ferro.

A gênese dos corpos de minério de ferro de alto teor tem sido amplamente discutida na literatura especializada (vide Rosière & Chemale Jr. 2000). Diferentes processos são considerados como responsáveis pelo enriquecimento das formações ferríferas: i) processos hidrotermais sin-metamórficos denominados na literatura como metamórficos-metassomáticos (e.g. Dorr II 1969); ii) enriquecimento residual supergênico (Dorr II 1969) ou paleosupergênico (Harmsworth *et al.* 1990); iii) ação combinada de fluidos hipogênicos e supergênicos (Rosière & Rios, 2004; Hagemann *et al.* 1998). Na maioria dos grandes depósitos, o enriquecimento em Fe parece polifásico, envolvendo lixiviação de minerais de ganga (Hagemann *et al.* 1998), mas também com remobilização de Fe, formando-se diversas gerações de óxidos de Fe que registram estágios distintos de enriquecimento (Rosière & Rios, 2004).

Nas exposições do Roteiro 1 (pontos 1.6 e 1.7), a Formação Cauê se apresenta como itabiritos *sensu strictu*, caracterizados pelo bandamento metamórfico rítmico de óxidos de ferro (magnetita, hematita) quando preservados, hidróxidos de ferro (goethita) quando alterados e quartzo. A textura metamórfica é definida por lamelas de hematita que marcam a textura lepidoblástica e grãos de quartzo que marcam a textura granoblástica. Quando preservados do intemperismo mostram cor negra (fosca), e amarronzada, avermelhada e amarelada quando intemperizados.

A Formação Gandarela (pontos 1.8, 1.9 e 1.10) se apresenta como mármorees dolomíticos de textura sacaroidal, média a fina, de coloração esbranquiçada quando frescos, e amarelados quando alterados superficialmente. Apresentam níveis micáceos e ferruginosos, estes últimos marcando a superfície de acamamento, dispostos em camadas plano paralelas e que podem atingir mais de 20 centímetros de espessura. Podem ser observadas feições de dissolução cárstica em algumas paredes dos cortes que se encontram ao longo da ferrovia Ouro Preto-Mariana. O contato entre as formações Cauê e Gandarela é brusco e ocorre próximo ao ponto 1.8.

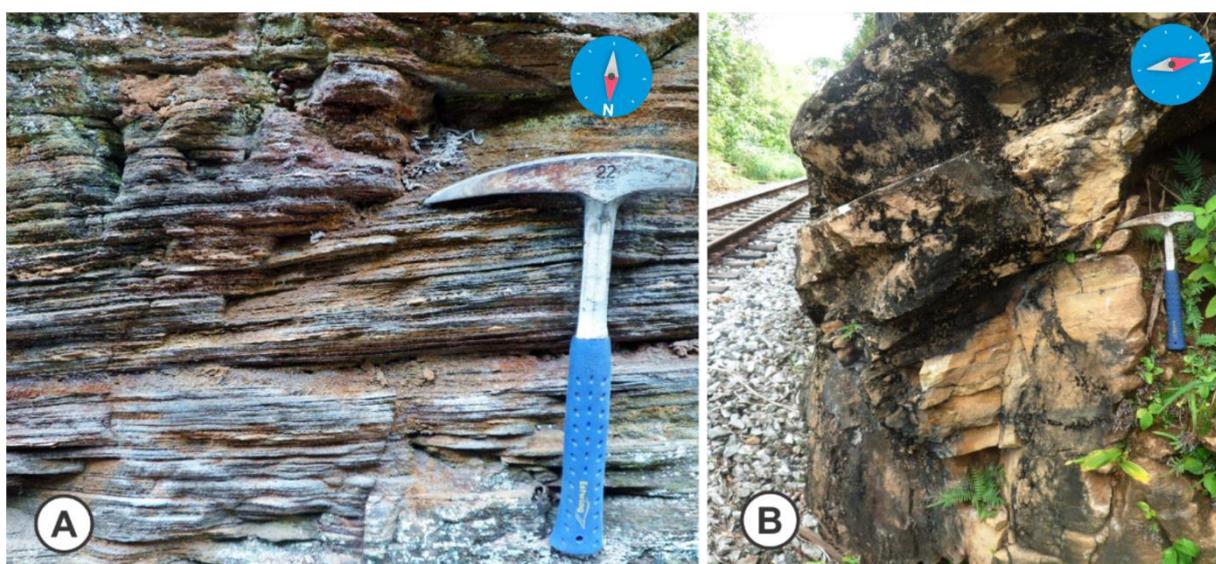


Figura 3.6: A) Aspecto de campo do itabirito da Formação Cauê (Ponto 1.7), b) aspecto de campo de mármore da Formação Gandarela (Ponto 1.8).

3.1.1.3 Grupo Piracicaba – Formação Cercadinho

O Grupo Piracicaba recobre o Grupo Itabira por uma discordância regional (Dorr II, 1969) e registra novamente a retomada de uma sedimentação clástica, principalmente em sua base e sedimentos químicos subordinados em direção ao topo.

A Formação Cercadinho é a unidade basal do Grupo Piracicaba, caracterizando se por metarenitos ferruginosos, por vezes micáceos, entendidos como produtos do soerguimento, exposição, intemperismo e transporte de parte do Grupo Itabira, principalmente das BIF's do Grupo Itabira (Alkmim & Marshak 1998).

Na região do sinclinal Gandarela, Dutra (2017) e Dutra *et al.* (2019) realizaram levantamentos faciográficos de detalhe na Formação Cercadinho, atribuindo aos pacotes arenosos e gradados desta unidade a deposição por correntes de turbidez alimentada por deltas, nos moldes do sistema arenoargiloso de Nichols (2009). Tal sistema turbidítico é característico de áreas sob baixa influência tectônica e gera uma bacia de grandes extensões sobre a placa oceânica (ou mar profundo) alimentado por poucos cânions, favorecidos por uma área fonte principal (Bouma 2004). E sob contínuo preenchimento da bacia ou por representar uma sedimentação rasa, o topo da Formação Cercadinho no sinclinal Gandarela é marcado por estratificações do tipo *herringbone*, caracterizando ambiente de maré baixa e tipificando a mudança no regime sedimentar em direção ao topo da unidade. Moraes (1985) descreve um ambiente semelhante para a Formação Cercadinho próxima à cidade de Ouro Preto (MG), onde os pacotes de metarenitos e metapelitos configuram uma bacia alimentada por delta sob ação de ondas de tempestade. Na concepção de Dutra (2018) e Dutra *et al.* (2019), a Formação Cercadinho, e conseqüentemente o Grupo Piracicaba, seriam manifestações deposicionais da orogenia de ca. 2.3-2.2 Ga que atingiu o Cinturão Mineiro a sul do QF.

No atual estado da arte, estratigrafia de alta resolução na Formação Cercadinho está limitada aos estudos de Dutra *et al.* (2017, 2019). Numa forma de agregar dados de mesma natureza e contribuir para o conhecimento regional desta unidade, procedeu-se ao levantamento faciográfico em escala 1:50 da Formação Cercadinho na ferrovia Ouro Preto-Mariana, tendo como datum de base o contato brusco com mármore laminado da Formação Gandarela (pontos 1.9 e 1.10, figuras 3.7, 3.8, 3.10). Adotaram-se os mesmos procedimentos metodológicos daqueles utilizados por Dutra (2017), podendo ser replicados em campo, e cuja descrição e interpretação das fácies sedimentares foram baseadas em Nichols (2009) e Mutti *et al.* (1999).

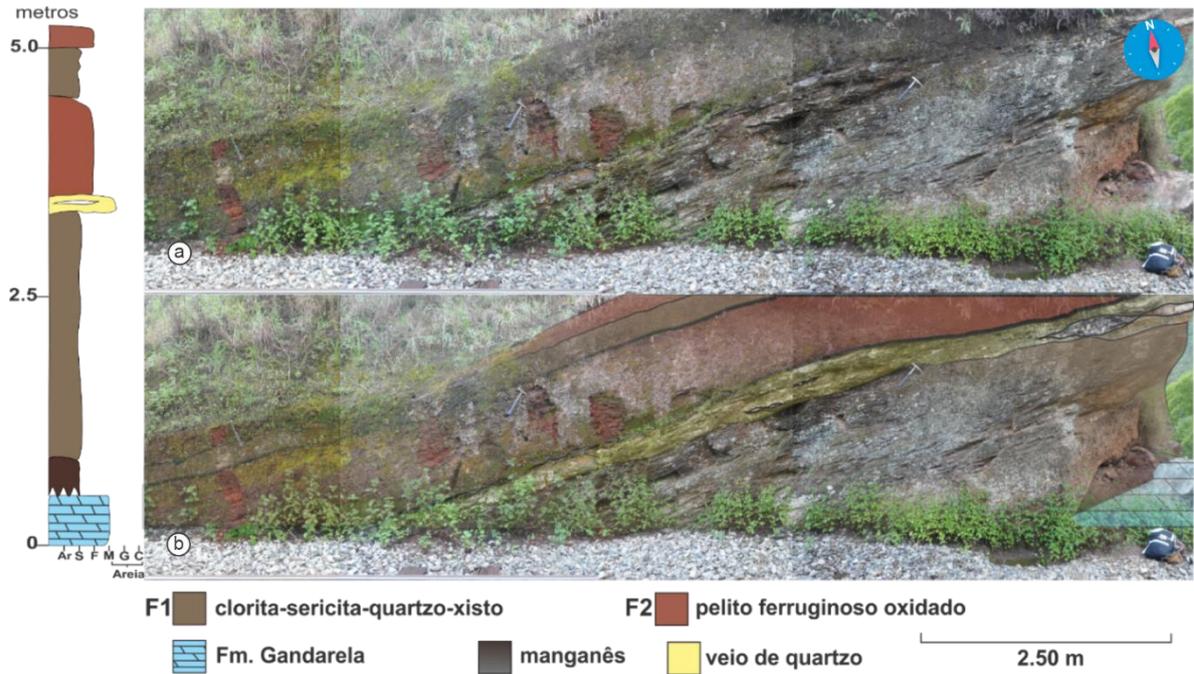


Figura 3.7: a) Contato brusco entre os mármore da Formação Gandarela, na base, com os sedimentos silto-arenosos da Formação Cercadinho, no topo. b) Sobreposição das fácies sedimentares sobre a Figura 3.7a.

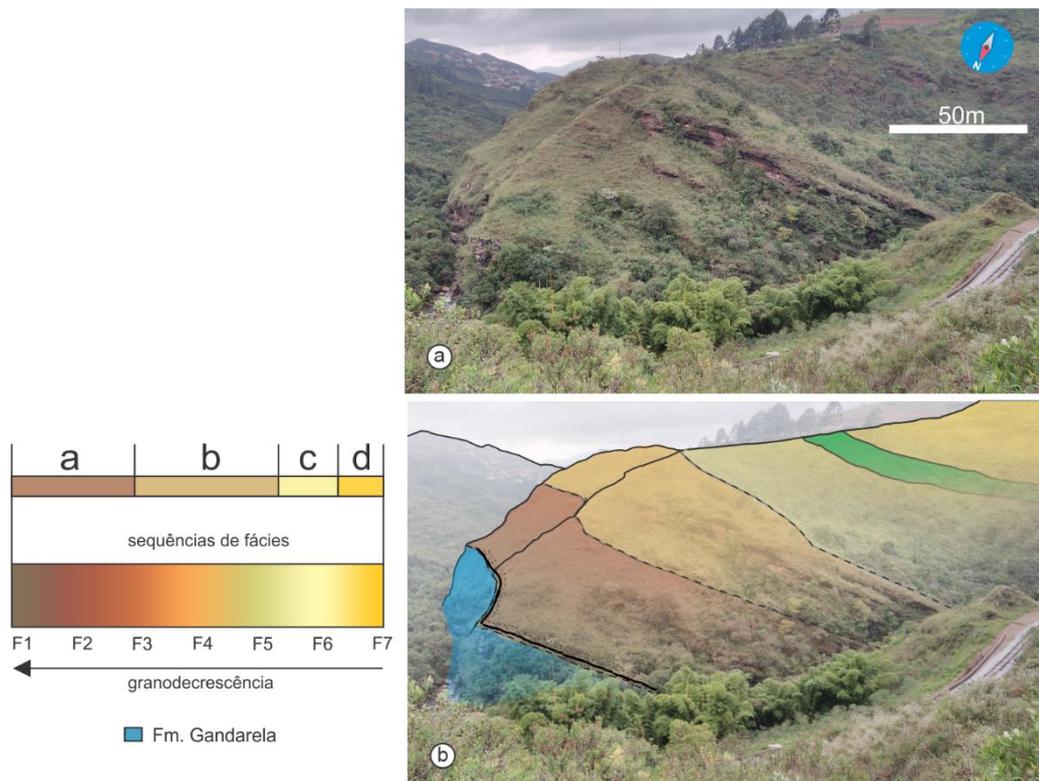


Figura 3.8: a) Vista panorâmica a partir do ponto 1.9. b) Sobreposição esquemática das fácies sedimentares sobre a figura 3.8a.

A Formação Cercadinho é apresentada como empilhamento estratigráfico inserido no Roteiro 1, composta por uma associação rítmica entre metarenitos maciços ou pobremente estratificados, com metarenitos finos, metapelitos ferruginosos e metasiltitos (figuras 3.10, 3.11, 3.12). Foram reconhecidas quatro associações de litofácies, designadas de FA, FB, FC e FD (figura 3.13). Estas associações de fácies agregam as fácies reconhecidas por Mutti *et al.* (1999) da seguinte forma:

- FA: clorita-xisto, metapelitos ferruginosos (F1, F2);
- FB: metapelitos, metasiltitos e metapelitos ferruginosos (F3, F4, F5);
- FC: metarenito estratificado (F6)
- FD: metarenito maciço (F7);

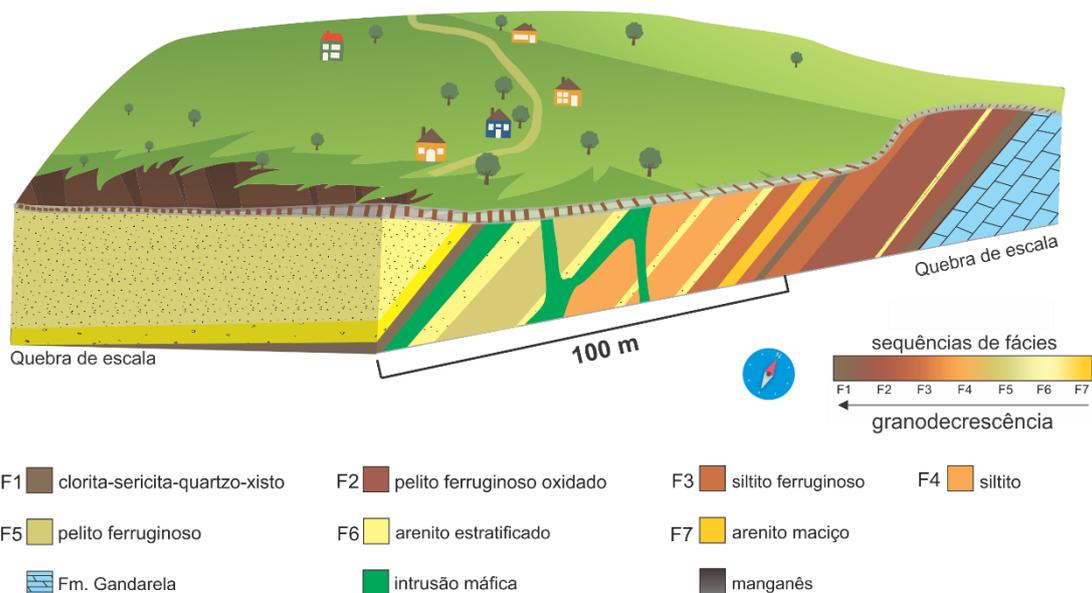


Figura 3.9: Bloco diagrama esquemático ilustrando o levantamento estratigráfico de detalhe na Formação Cercadinho feito na linha férrea Ouro Preto-Mariana.

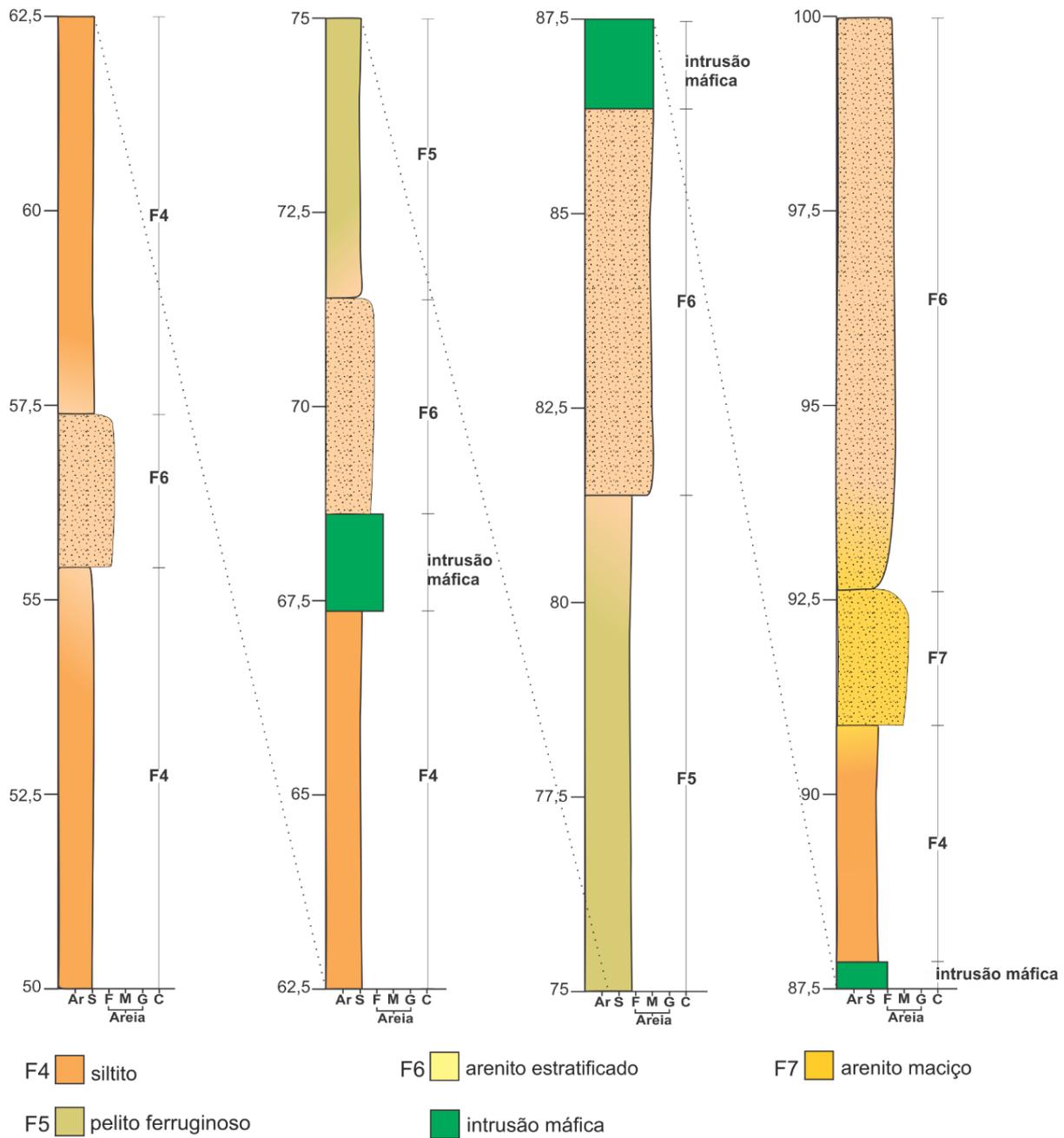


Figura 3.11: Segunda parte da representação fracionada do levantamento faciológico de detalhe realizado na Formação Cercadinho.

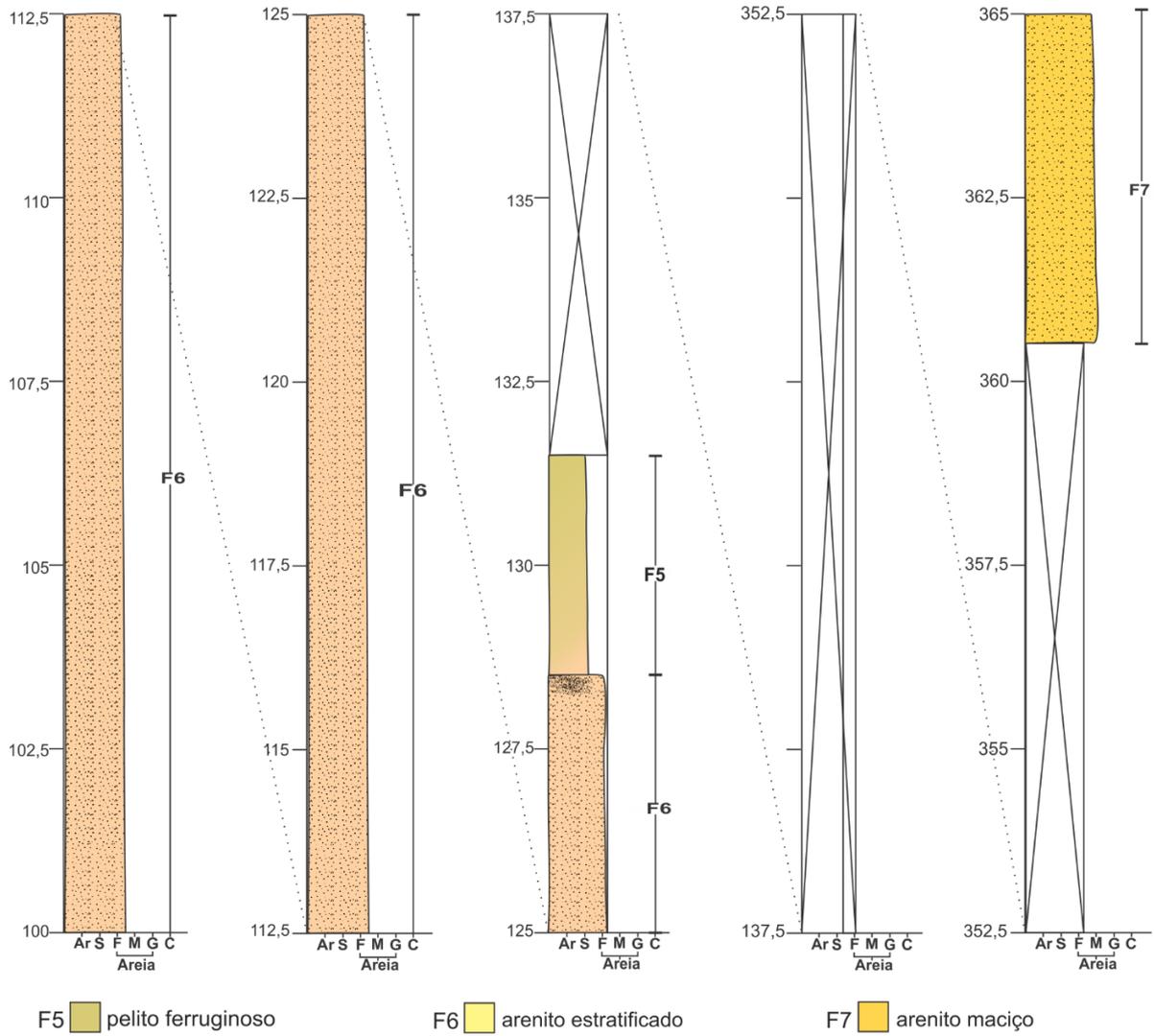


Figura 3.12: Terceira parte da representação fracionada do levantamento faciológico de detalhe realizado na Formação Cercadinho.

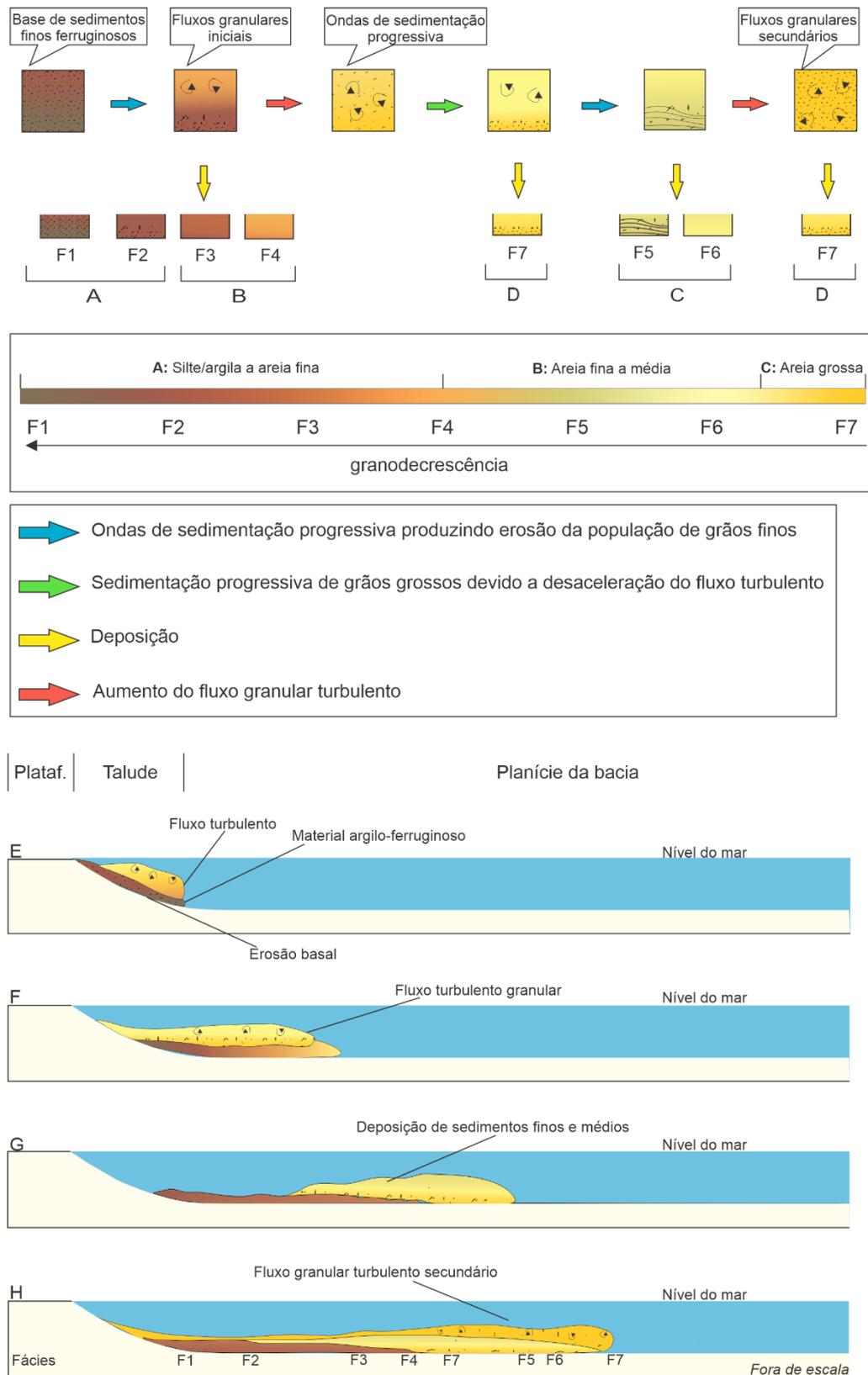


Figura 3.13: Correlação faciologicas do levantamento estratigráfico da Formação Cercadinho: fácies (A-D) e processos deposicionais e de erosão (E-H) associados à corrente de turbidez de alta eficiência (modificado de Mutti et al.1999, vide exemplo Dutra, 2018).

3.1.2 Geologia estrutural do flanco sul do anticlinal de Mariana e o modo de ocorrência das estruturas de boudinagens associadas

O *trend* estrutural das unidades litoestratigráficas no flanco sul do anticlinal de Mariana possui traço curvilíneo de orientação geral leste-oeste, coincidente com a orientação dos planos de foliação que se desenvolvem sobre o acamamento, apresentando mergulhos moderados a altos para sul.

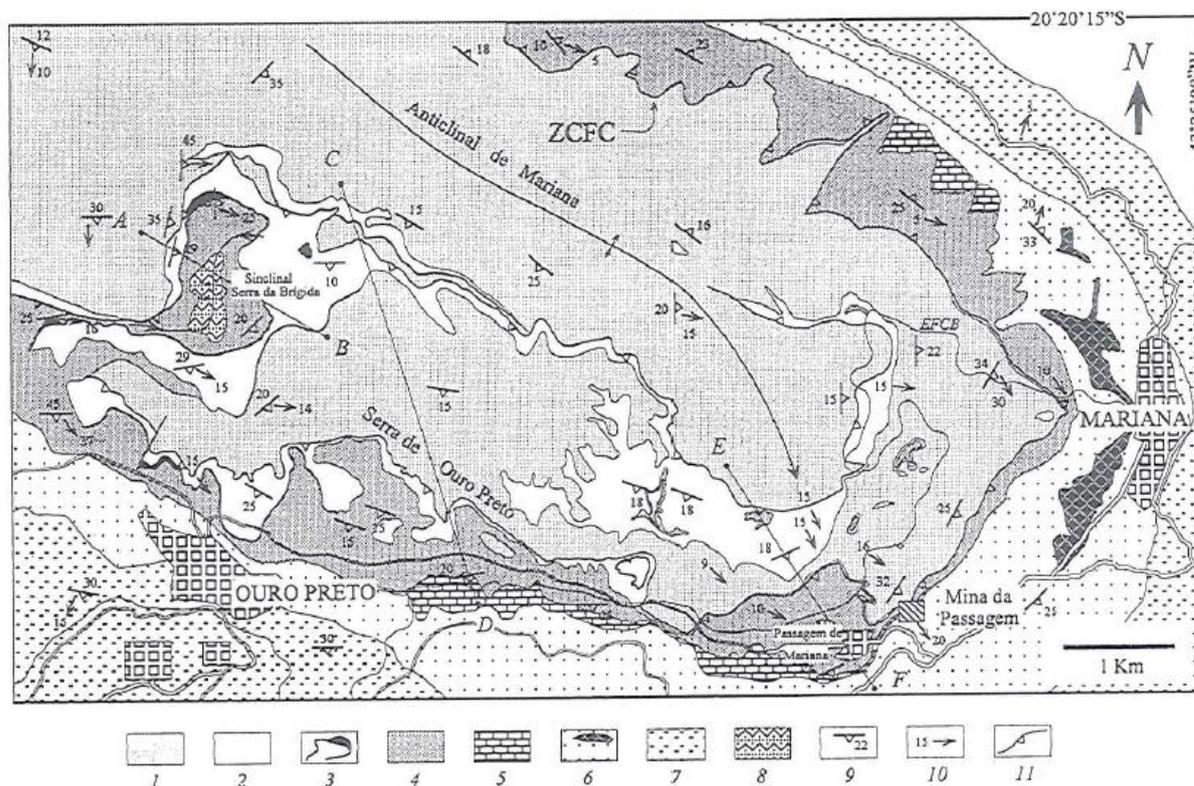


Figura 3.14: Mapa geológico do Anticlinal de Mariana (mod. de Barbosa 1960a e 1969a e 1969b, Massucato & Brito 1992, Fonseca & Sano 1992, Eleutério 1993). Legenda: 1- Supergupo Rio das Velhas; 2- Formação Moeda; Formação Batatal; 4- Formação Cauê; 5- Formação Gandarela; 6- Grupo Piracicaba com intercalações de filito preto; 7- Grupo Sabará; 8- Bauxita; 9- Foliação milonítica; 10- Lineação de estiramento mineral; 11- Zonas de cisalhamento inversas – ZCFC- Fundão Cambotas. *In:* Endo (1997).

Nalini Jr. (1992) caracterizou a atuação de dois eventos na estruturação desta megaestrutura. O primeiro, de caráter extensional, promoveu o soerguimento do embasamento da região e o das sequências supracrustais do Supergupo Rio das Velhas e Minas por meio de deslizamento flexural. O evento compressional caracterizou-se por um transporte tectônico de E para W e foi representado por três fases deformacionais. A fase D1 caracterizou-se por dobramentos e cavalgamentos, sendo geradas as seguintes estruturas: (Sn1), lineação de estiramento mineral (Leste), e por falhamentos de empurrão.

O flanco sul do Anticlinal de Mariana caracterizaria-se como uma rampa lateral para a atuação alternada de falhas de empurrão do tipo *wrench*, com movimento dextral. O padrão arqueado dos falhamentos inversos da fase D1 na região sudeste do QF denotaria movimentos diferenciais de arraste contra um obstáculo (anticlinal de Mariana) e uma calha (Sinclinal Dom Bosco), originados anteriormente pelo evento extensional. A fase D2 foi caracterizada pela clivagem espaçada ou de crenulação EW (S2), pela lineação de intersecção ou de crenulação (L2), por dobras abertas com eixo EW e por falhas direcionais aproximadamente EW. A fase D3 foi representada pela clivagem de crenulação NS (S3), pela lineação de crenulação (L3), dobras abertas ortorrômbicas ou monoclinicas vergentes para E e fraturamento EW e NE (Chauvet *et.al.* 1994).

Uma das características mais marcantes desta região é a presença de diferentes estruturas boudinadas em escala de afloramento e de imagens aéreas (Figura 3.15).

Na região “I” da Figura 3.15 (Ponto 1.1) e zona de charneira do anticlinal, a Formação Moeda possui formato de “bomerangue” assimétrico, com concavidade voltada para WNW e adelgaçamento de seu braço oriental para norte; o braço ocidental é contínuo e segue aproximadamente a direção EW. Na região “II” da mesma figura observa-se um *boudin* simétrico da Formação Cauê, possuindo direção WNW-ESE, com adelgaçamento em ambas as extremidades.

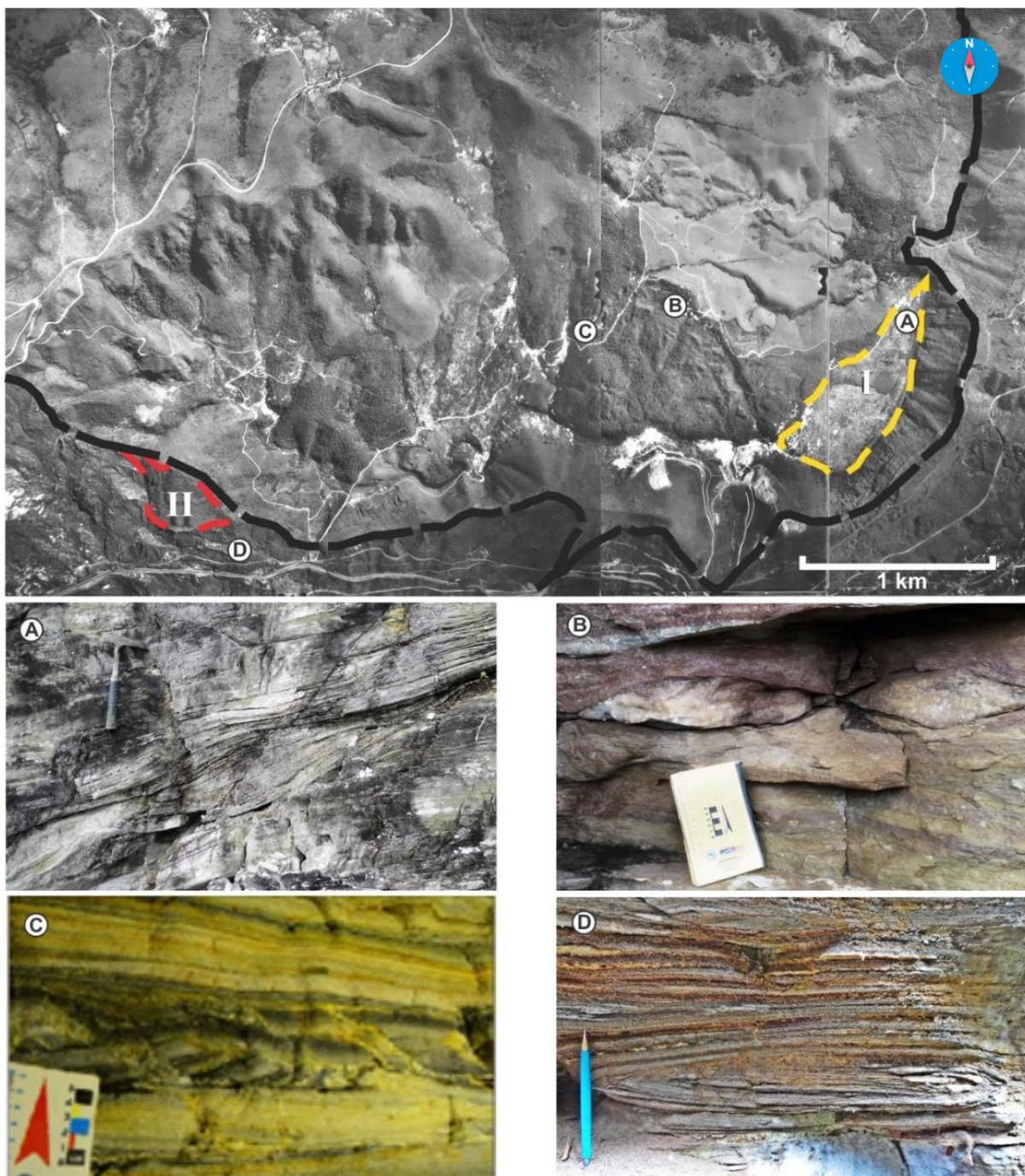


Figura 3.15: Mosaico formado por duas fotografias aéreas (escala original 1:10.000) da região de inflexão da charneira para o flanco sul do anticlinal de Mariana (destacado em traço preto). I – boudinagem da Formação Moeda acompanhando o traço das dobra regional. II – boudinagem da Formação Cauê com direção WNW-ESE. Estilo de estruturas boudinadas ao longo da região. Ponto 1.1 (A) boudin de foliação assimétrico. Ponto 1.2 (B) boudin simétrico preenchido por veio de quartzo. Ponto “Mina do Jorge” (C): boudin de foliação simétrico com fraturas extensionais preenchidas por quartzo, sericita e óxidos. Ponto 1.7 (D) boudinagem simétrica do bandamento metamórfico do itabirito da Formação Cauê com preenchimento por veio de quartzo da zona do “neck” do boudin.

Estruturas do tipo *boudin* foram primeiramente descritas por Ramsay (1881) e nomeadas por Lohest (1909, *In: Goscombe et al.* 2004) que as definem como uma ruptura de camadas,

corpos ou planos de foliação dentro de uma massa rochosa, resultando em blocos de *boudin* (salsicha, em francês). *Boudins* se formam como consequência de um processo de estiramento de camadas, seja por uma extensão paralela a planos pré existentes, seja por um processo de achatamento perpendicular a estes planos (Davis & Reynolds, 1996). A boudinagem clássica é controlada pela espessura da camada e pelo contraste de viscosidade, ao passo que a boudinagem de foliação é menos dependente de contrastes de viscosidade, mas sim de uma anisotropia interna a foliação.

De acordo com a classificação cinemática de *boudins* (Goscombe *et al.* 2004), dois tipos de podem ser caracterizados no Roteiro 1: i) *boudins* assimétricos de foliação, com ou sem preenchimento local por veios de quartzo (Ponto 1.1, figura 3.16), e ii) *boudins* simétricos de foliação, com preenchimento de veios de quartzo (pontos 1.2, 1.7 e “Mina do Jorge”, Figuras 3.17, 3.18, 3.19). Ambos os tipos são envelopados pela foliação, ocorrendo sempre paralela ao acamamento sedimentar ou paralela ao bandamento composicional nos itabiritos (Ponto 1.7).

O tipo assimétrico se caracteriza pela boudinagem de foliação com indicação de movimentação dextral, antitética (*A-slip boudinage*), com a zona *inter-boudin* sendo complexamente preenchida pelo influxo da própria rocha encaixante e/ou por veios de quartzo.

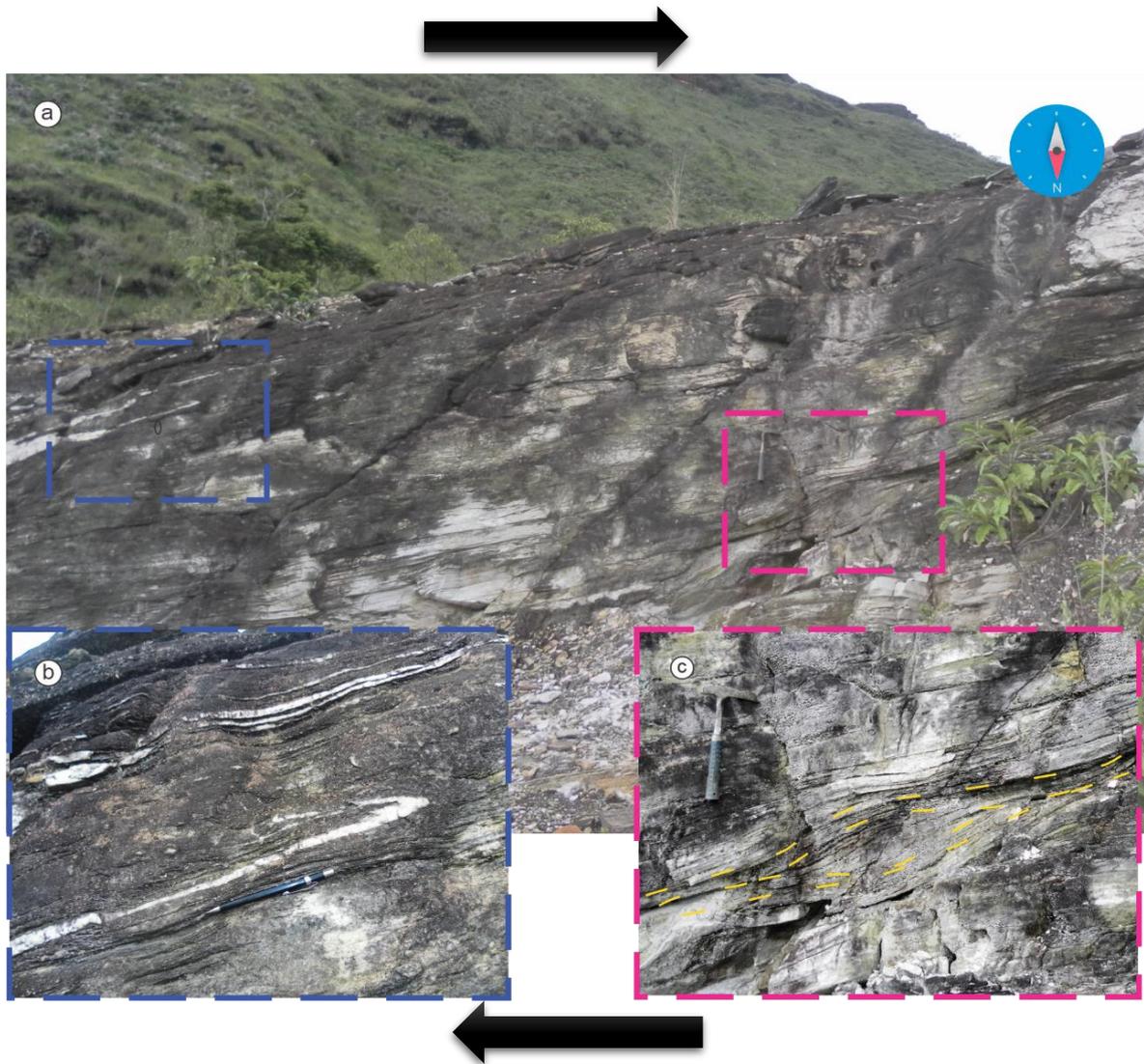


Figura 3.16: a) Aspecto geral da foliação boudinada no ponto 1.1, zona de charneira do anticlinal de Mariana, b) preenchimento por veios de quartzo, c) aspecto sigmoidal (assimétrica) da foliação. Setas indicam movimentação dextral.

Via de regra, os *boudins* simétricos observados no Roteiro 1 são do tipo “*drawn boudins*” (Goscombe *et al.* 2004). Na região dos pontos 1.7, 1.8 e 1.9 assemelham se aos do subtipo “*necked boudin blocks*”, ou *boudins* “clássicos”, com formato bi-convexo e preenchimento por quartzo de veio da zona do *neck* (Figura 3.17).

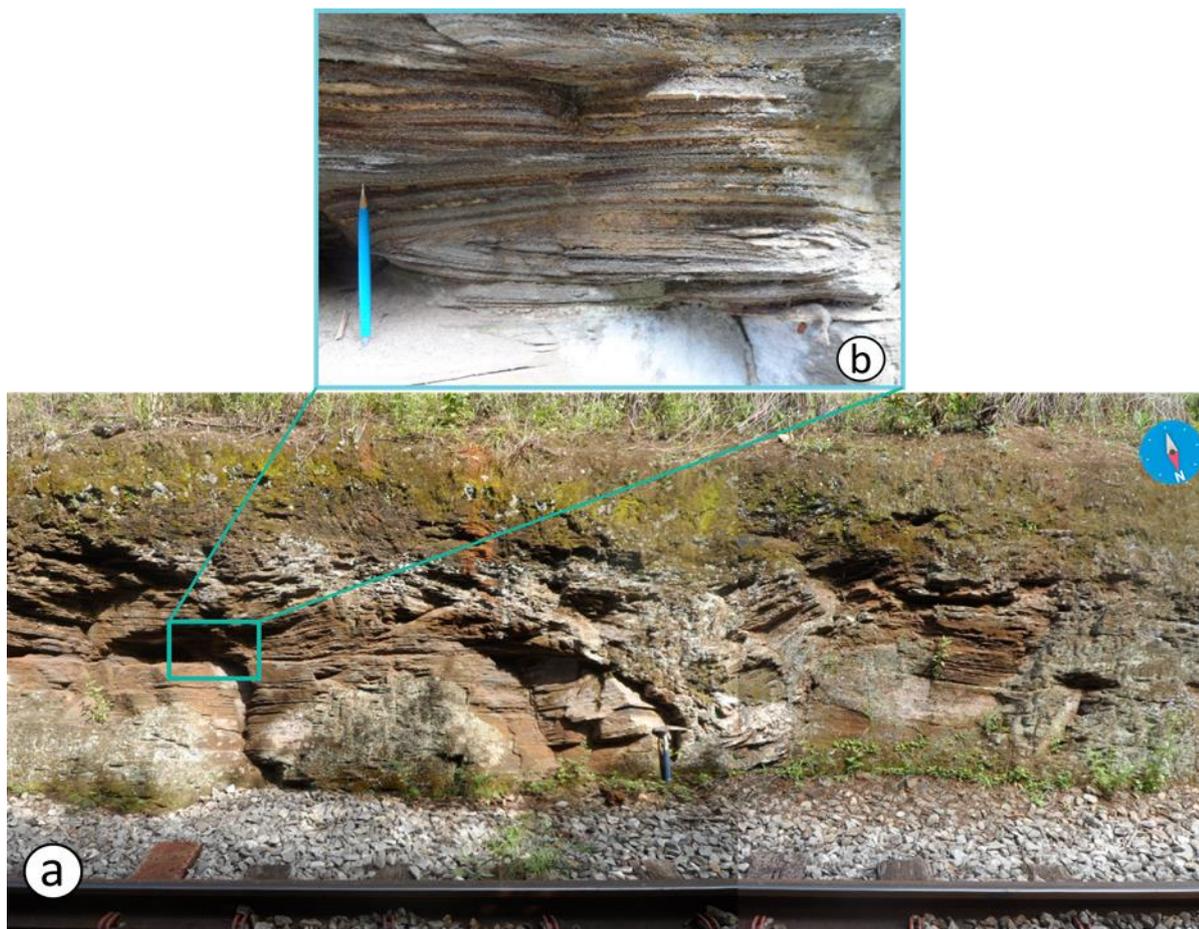


Figura 3.17: (a) Boudinagem simétrica em detalhe (b) do bandamento metamórfico do itabirito da Formação Cauê com preenchimento por veio de quartzo da zona do “neck” do boudin.

Na região dos pontos 1.2 e “Mina do Jorge”, os “*drawn boudins*” assemelham se aos do subtipo *tapering boudins*, com zona *inter-boudin* estrangulada e quase que desconectada, apresentando terminação dupla (Figura 3.18 e 3.19).

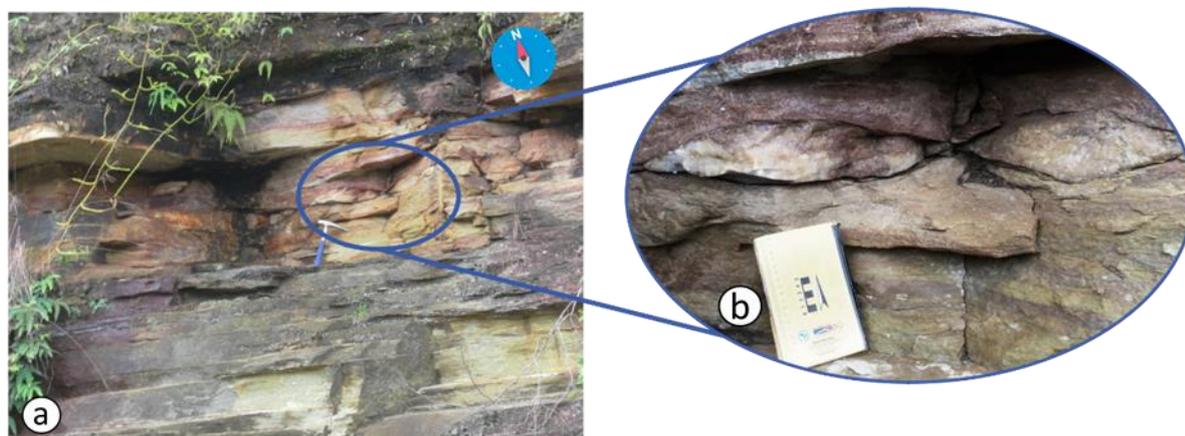


Figura 3.18: (a) Exemplo de draw-boudins (Figura “b” em detalhe) nos quartzitos da Formação Moeda próximo a zona de charneira do Anticlinal de Mariana.

A “Mina do Jorge” (figura 3.19) caracteriza o modo de ocorrência de *boudins* simétricos preenchidos por veios de quartzo. Silveira *et al.* (2016) realizaram o mapeamento de detalhe de dois condutos para a extração de ouro hospedadas em metarenitos bandados da Formação Moeda, dividida informalmente em duas fácies.

A fácies A é constituída por quartzito esbranquiçado, micáceo, de granulação fina a grossa. A fácies B está associada aos níveis centimétricos mineralizados, possuindo hematita e sericita granulares. Esta fácies está associada a foliação metamórfica S_n , ocorrendo paralela ao acamamento sedimentar (S_0). Se apresenta na forma de *boudins* simétricos da foliação, com caimentos para SE, contendo ainda veios de quartzo sacaroidais. A foliação no interior dos *boudins* é comprimida em direção as fraturas extensionais, estruturas contemporâneas que se desenvolveram como resposta ao processo de boudinagem, gerando falhas normais e de empurrão com pequeno rejeito. Ocorrência semelhante se observa no Ponto 1.2 (Figura 3.18), onde *boudins* simétricos com preenchimento de quartzo de veio dispõem se paralelamente ao longo do plano da foliação metamórfica S_n .

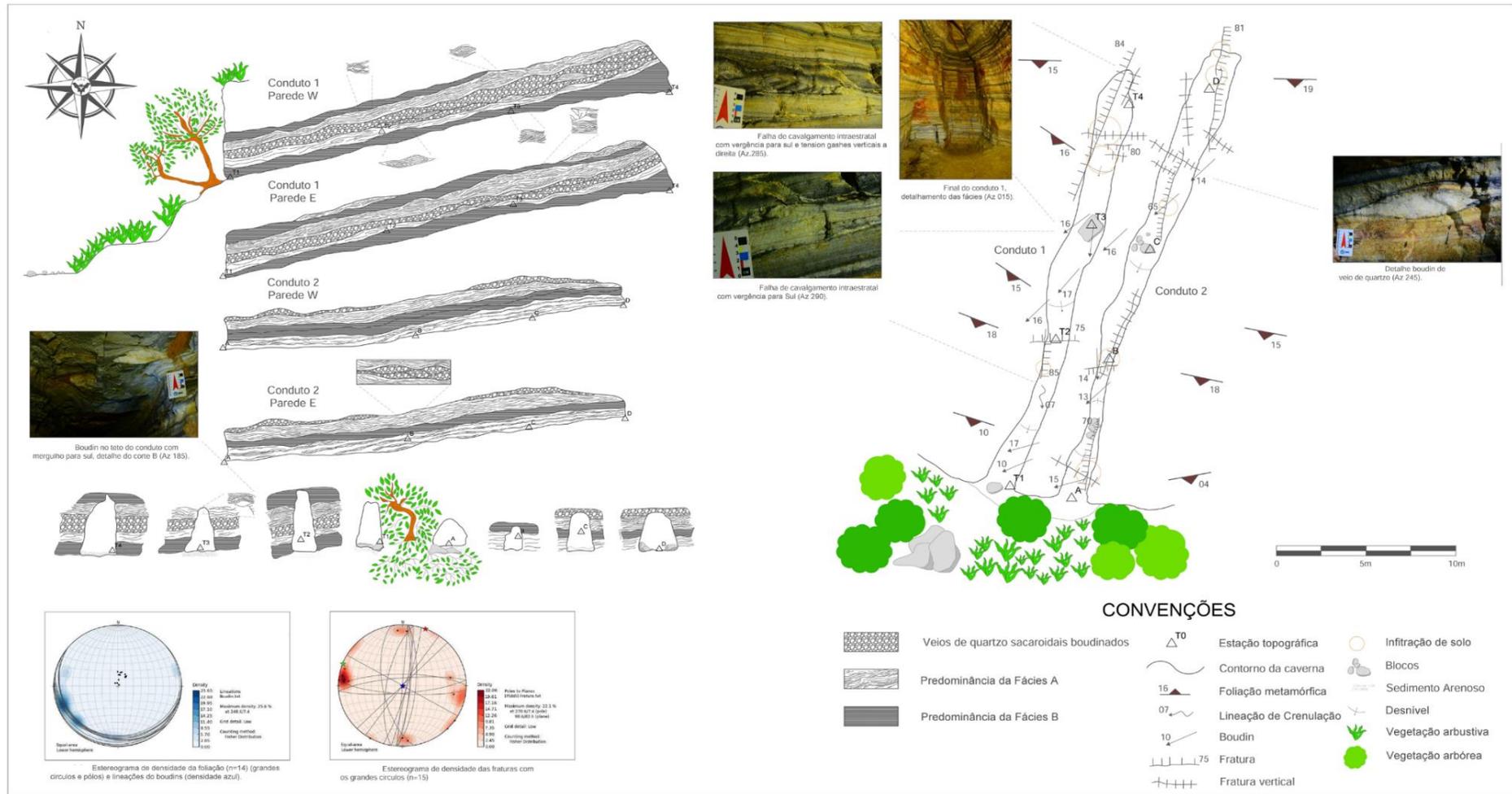


Figura 3.19: Mapeamento de detalhe realizado na “Mina Jorge” por Silveira et al. (2016). Detalhe dos boudins simétricos preenchidos.

A correlação entre estruturas boudinadas e eventos de deformação é possível levando-se em consideração as estruturas lineares que se formam durante um mesmo evento (Goscombe & Passchier 2003, *In: Goscombe et al.* 2004). O eixo de estiramento teórico associado com a boudinagem L_e é normal aos eixos dos *boudins* L_b envelopados pela foliação, orientando-se de maneira regular no espaço, sendo ainda sub-paralelo a lineação de estiramento mineral L_p produzida durante um mesmo evento de deformação.

Sob esta ótica, o padrão de boudinagem da região abrangida pelo Roteiro 1 aparenta ser, pelo menos em parte, oriundo da deformação de *boudins* previamente formados.

O anticlinal de Mariana é uma dobra regional com caimento do eixo para E-SE, de forma que os eixos de *boudins* associados a formação desta megaestrutura deveriam se orientar segundo S-SW. Isto é o que aparentemente ocorre nos pontos 1.7, 1.8 e 1.9, em que afloram os *boudins* “clássicos” (*necked boudin blocks*) desenvolvidos nas rochas sedimentares químicas das formações Cauê e Gandarela. A constrictão, em mapa, da Formação Moeda na zona de charneira do anticlinal de Mariana também pode ser relacionada a este processo (Figura 3.20).

Na zona de charneira, incluindo a região periclinal da dobra abrangida pelos pontos 1.1, 1.2 e “Mina do Jorge”, observam-se as seguintes evidências para um evento posterior que levou reorientação dos *boudins* pretéritos ou mesmo a geração de novos *boudins* (Figura 3.20):

- i) *tapering boudins*, como subtipos de *drawn boudins*, são exclusivos desta região no Roteiro 1 e representam invariavelmente a modificação de *boudins* do tipo dominó e/ou do tipo *shearbands* (Goscombe *et al.* 2004). A este último subtipo também pode estar associada a geração da foliação milonítica que envelopa os *tapering boudins* desta região, estando ela mesma boudinada na zona de charneira por um esforço cisalhante de movimentação dextral;
- ii) verifica-se nesta mesma região que a diferença angular entre L_b e L_p é muito menor do que 90° , algumas vezes encontrando-se sub-paralelizadas. Esta condição é um dos testes mais empregados para se reconhecer mais de um evento de formação de *boudins* (Goscombe & Passchier 2003, *In: Goscombe et al.* 2004);
- iii) a expressão ampliada de uma boudinagem pretérita e posteriormente modificada por cisalhamento pode se manifestar ainda na região II das figuras 3.15 e 3.20.

A boudinagem observada claramente se associa a uma forte anisotropia planar, marcada pelo contraste de viscosidade entre as rochas siliciclásticas do Grupo Caraça que bordejam e “engolfam” os itabiritos da Formação Cauê (Grupo Itabira). A mudança de orientação do trend estrutural, de ENE-WSW na região I para WNW-ESE na região II, pode estar relacionado a presença do anticlinal de Mariana, que atuou como obstáculo para a propagação dos falhamentos e deflexão da boudinagem gerada neste processo.

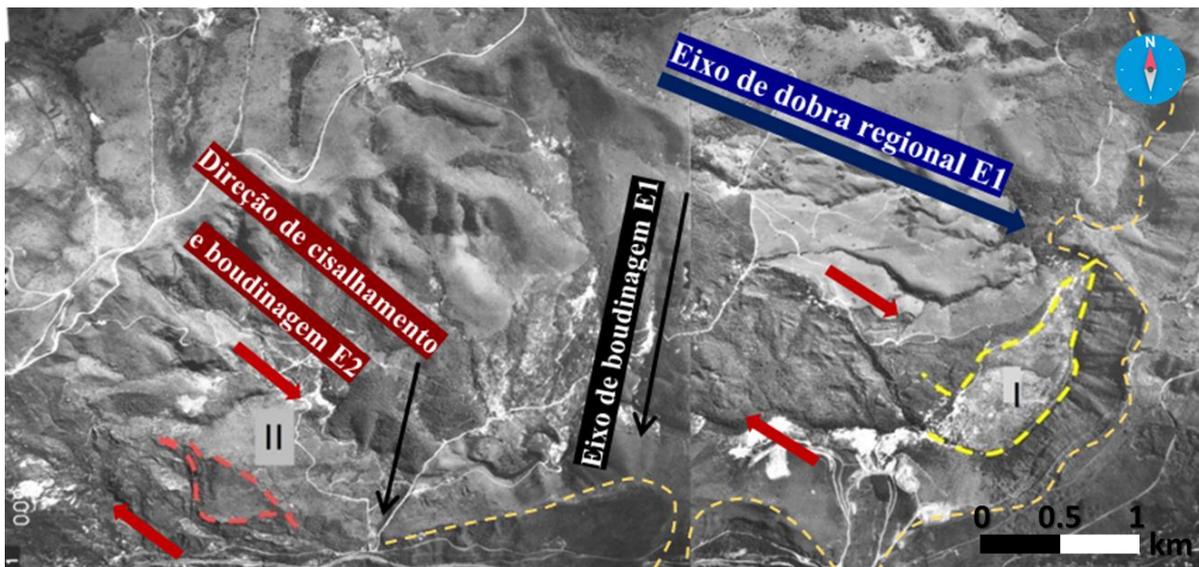


Figura 3.20: Representação esquemática dos eventos E1 e E2 (conforme postulado por Nalini Jr. 1992) que estruturaram o flanco sul do anticlinal de Mariana e a indicação de suas respectivas direções de boudinagens inferidas na presente monografia.

3.2 ROTEIRO 2 – GEOLOGIA ECONÔMICA DAS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS NA SERRA DE OURO PRETO E REGISTROS HISTÓRICOS.

3.2.1 Introdução

Possuindo 3.500 metros e 7 pontos, o Roteiro 2 apresenta os registros da exploração de ouro do início do século XVIII, contextualizados, sempre que possível, com os processos hidrotermais que deram origem a mineralização aurífera no flanco sul do Anticlinal de Mariana.

Este roteiro tem início e percurso na cumeeira da serra de Ouro Preto, nos arredores da Capela São João (primeira igreja de Ouro Preto), onde estão expostos antigos serviços artesanais de mineração, passando pelo antigo Moinho da Queimada (ponto mais alto da serra, Figura 3.21) e ainda pelas ruínas do século XVIII.

O percurso do Roteiro 2 segue próximo a cumeeira da serra de Ouro Preto, onde são encontradas construções e galerias de minas relacionadas à extração de ouro. Um dos primeiros núcleos populacionais da antiga “Vila Rica”, o Morro da Queimada recebeu esta designação após ser incendiado a mando do então governador Conde de Assumar, em represália à revolta liderada por Felipe dos Santos contra a proibição de circulação de ouro em pó e a criação das casas de fundição para arrecadação do quinto do ouro, em 1720. Grande parte da área percorrida neste roteiro corresponde ao Parque Municipal Natural Arqueológico do Morro da Queimada, tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) desde 2008.



Figura 3.21: Ruínas do Moinho de Vento do Morro da Queimada.

3.2.2 Tipologia, distribuição e controles geológicos das mineralizações auríferas na Serra de Ouro Preto.

3.2.2.1 Tipologia e distribuição

No flanco nordeste do Anticlinal de Mariana (Figura 3.22) são conhecidas as mineralizações de Rocinha, Santana e Maquiné, no distrito de Antônio Pereira, enquanto na região de charneira da anticlinal, Passagem de Mariana, Fundão, Mata Cavalo e Morro Redondo formam os principais depósitos (Cavalcanti, 2003).

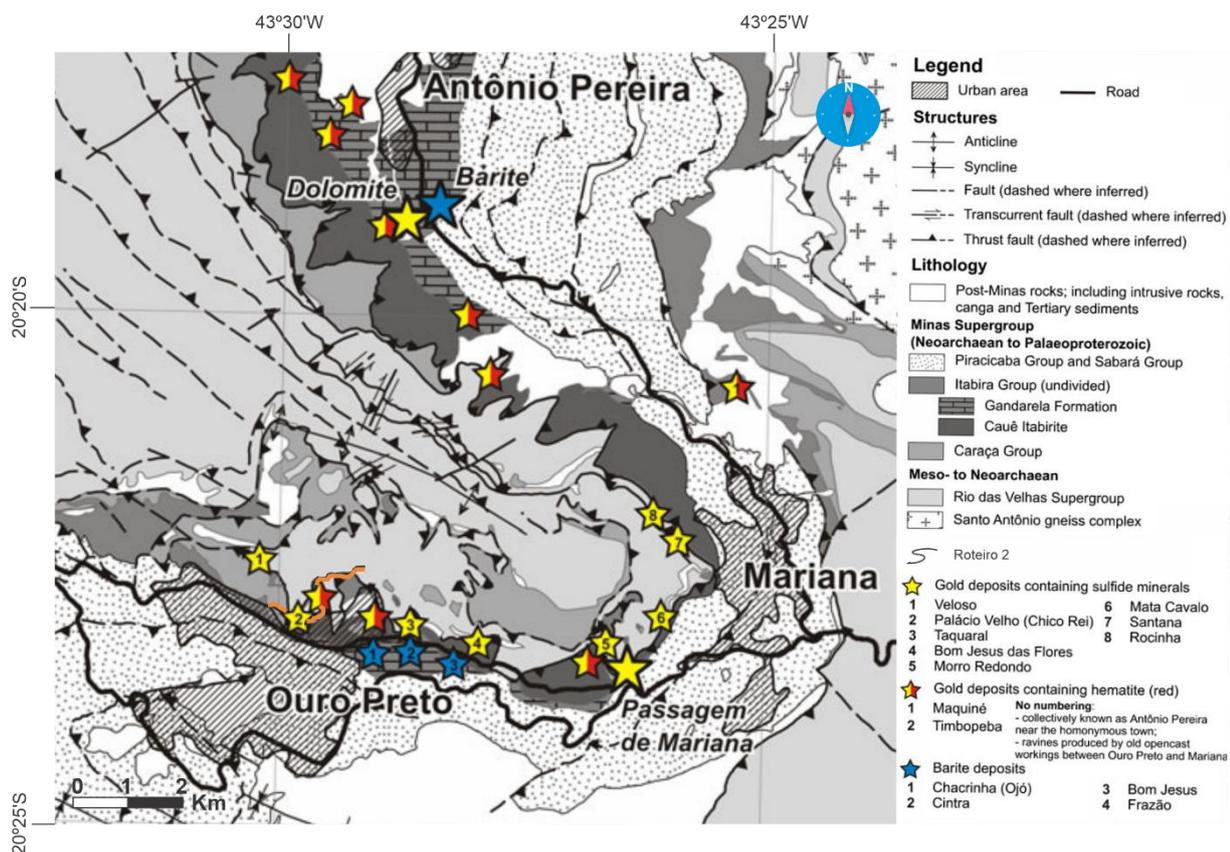


Figura 3.22: Mapa geológico do Anticlinal de Mariana (Baltazar et al. 2005) com destaque aos depósitos minerais caracterizados como depósitos de barita, depósito de hematita associado a ouro e depósitos de ouro sulfetado. Os depósitos auríferos ricos em hematita entre Ouro Preto e Mariana, conforme marcados no mapa, são meramente ilustrativos porque não mostram a distribuição de numerosas ravinas que eram obras a céu aberto para o ouro hospedado pelo itabirito nos tempos coloniais. Retirado de Cabral *et.al* (2013).

Na serra de Ouro Preto ocorrem níveis mineralizados distribuídos por mais de 7 km *along-strike*, no total de 350 galerias, variando entre 50 a 500 metros de extensão, assim como lavras a céu aberto que modificaram a paisagem local (Lacourt 1937 a,b. *In*: Cavalcanti, 2003). Os principais locais minerados nos séculos XVII e XVIII são: Veloso, Lages, Palácio Velho, Morro da Queimada, Tassara e Taquaral.

O Morro da Queimada, juntamente com Lages e Veloso, próximo ao centro de Ouro Preto, compõem as melhores exposições do Roteiro 2. As mineralizações a longo da serra ocorrem hospedadas na sequência de rochas do Grupo Caraça, cortada por veios de quartzo-turmalina-arsenopirita, e do Grupo Itabira, com veios de quartzo-turmalina-pirita (Cavalcanti, 2003).

A mineralização associada a turmalinização é historicamente designada como “carvoeira” (von Eschwege 1832. *In: Cabral et.al., 2017*). Os filamentos auríferos contendo sulfetos são tão ricos em turmalina negra, que possuem o aspecto de carvão, dando origem a este termo. Na base desses corpos, por vezes, encontram-se corpos turmaliníticos estratiformes ricos em arsenopirita (Cavalcanti, 2003).

Dois idades de mineralizações são atribuídas para os depósitos auríferos presentes no flanco sul do Anticlinal de Mariana (Cabral & Zeh, 2015a). A primeira é do final do Arqueano/início do Paleoproterozóico (2606 ± 47 Ma, Machado et.al. 1996), atribuída ao fechamento da bacia Rio das Velhas e restrito a veios de quartzo-sulfeto presentes nessa mesma unidade, compondo os depósitos da antiga Mina da Passagem. A segunda é significativamente mais nova ($496,3 \pm 2,0$ Ma, Cabral et al. 2013), e abrange ambos os tipos, quartzo-sulfeto, associada a Mina da Passagem, e os turmaliníticos tipo carvoeira, presentes na serra de Ouro Preto. Desta forma, o principal evento responsável pela mineralização aurífera regional ocorreu no final do Cambriano. A idade comum para os filões de quartzo-sulfeto (tipo Mina da Passagem) e quartzo-hematita (tipo Itabira) corrobora a ideia de uma origem comum para estes fluidos que interagiram com diferentes rochas em diferentes condições de redox regional (Boiron *et al.*, 1999; Cabral *et al.*, 2013b). Como resultado, foram gerados filões contendo sulfeto em rochas reduzidas do Grupo Caraça (Mina da Passagem de Mariana, tipo carvoeira), barita em rochas dolomíticas-hematíticas da Formação Gandarela, e jacutinga como filamentos oxidados associados a níveis ferruginosos, não necessariamente restritos aos corpos itabiríticos da Formação Cauê (Cabral et. al 2017). Jacutinga é uma denominação local para veios Au-Pd-Pt de hematita specular abundante, hospedada em rochas itabíricas (Cabral et al.,2009; Hussak, 1904. *In: Cabral et.al., 2017*).

3.2.2.2 Controles geológicos

Nas minas e ocorrências presentes no flanco sul do Anticlinal de Mariana, a principal estrutura relacionada a colocação dos veios mineralizados é a boudinagem de foliação (Cavalcanti 1996), abordada no capítulo anterior. Segundo Cavalcanti (1996), nas minas do Scliar e Duas Bocas, no bairro das Lages, e na Mina do Chico-Rei, no bairro Antônio Dias, é possível separar grupos (famílias) de estruturas controladoras do minério na serra de Ouro Preto em quatro fases distintas:

- 1) Estruturas de natureza rúptil, relacionadas ao processo de afundamento da bacia que pode ser o resultado de uma tectônica extensional ou de movimentos epirogenéticos:
 - a) fraturas hidráulicas verticais: ocorrido em porções da crosta pouco profundas que resultou na formação de um sistema de veios verticais com direção azimutal média 230°, compostos por quartzo, sulfetos e turmalinitos, aos quais associam-se grande quantidade de brechas das encaixantes e de turmalinito;
 - b) fraturas hidráulicas conjugadas relacionadas ao cisalhamento: ocorre em porções um pouco mais profundas da crosta, onde o cisalhamento é dúctil-rúptil, gerando veios bandados (sílica e arsenopirita) que são o resultado de deformação incremental. Associam-se às rampas de falhamentos normais resultantes de cisalhamento que possuem uma geometria em rede anastomosada;
- 2) Estruturas de natureza extensional e são representadas por zonas de cisalhamento normais, falhas normais, boudinagem e lineação mineral (145/subhorizontal). As zonas de cisalhamento ocorrem nos quartzitos-Moeda e associam-se a lineação mineral de atitude média 140/02 e as foliações S e C indicando movimento normal para sudeste. As falhas normais são conjugadas e associam-se ao rompimento de camadas quartzíticas, gerando feições semelhantes à boudinagem assimétrica com dezenas de metros de extensão e com caimentos duplos para SE e para NW.
- 3) Estruturas que possuem transporte tectônico para sul e que podem estar relacionadas ao evento que resultou no soerguimento do Anticlinal de Mariana. As zonas de cisalhamento foram identificadas em quartzitos da Formação Moeda e nos itabiritos da Formação Cauê, ambos associados a lineação de estiramento mineral. A zona de cisalhamento é marcante nos itabiritos, gerando sigmóides de foliação nos níveis quartzosos, dobras em bainha em grande escala (métrica), dobras similares com eixos aproximadamente perpendiculares à lineação mineral (b=116/30) e veios de tensão posicionados entre as foliações S e C que

indicam movimento normal para sul. A lineação de crenulação (80/15) ocorre nos sericitas-quartzos do Grupo Nova Lima e nos filitos carbonosos da Formação Batatal. A boudinagem ocorre principalmente nos níveis pirrotíticos da formação ferrífera bandada associada à base da Formação Cauê, com eixo de estiramento na direção N-S.

- 4) Estruturas de natureza compressiva e posteriores à nucleação do Anticlinal de Mariana. Estas estruturas traduzem o movimento reverso sinistral da rampa lateral descrita por Nalini (1992). As falhas e zonas de cisalhamento reversas estão associadas principalmente ao contato entre as formações Moeda e Batatal e internamente nos itabiritos da Formação Cauê, sendo marcadas pelo rompimento das camadas itabiríticas de alto ângulo com rejeito em proporção métrica. A essas zonas de cisalhamento associa-se a uma lineação mineral com atitude 142/25. Na base da Formação Moeda observam-se sigmóides indicando movimento reverso de SE para NW, com dimensão métrica, interferindo numa estrutura extensional de boudinagem assimétrica.

Devido ao paralelismo com corpos auríferos e elementos lineares, os depósitos do tipo jacutinga são condicionados a sítios deformados (Polonia & Souza 1988, As & Borges 1991, Olivio 1994, *In*: Cabral 1996) registrado por dobras em bainha, zonas de cisalhamento e grãos de ouro estirados. Na serra de Ouro Preto, o ouro tinha sua distribuição errática, comportamento típico de ouro paladiano em formação ferrífera (xisto hematítico), por vezes concentrando em bolsões de alto teor (Cabral 1996).

Cavalcanti (2003) distinguiu três modos de ocorrência da turmalina: i) turmalina em corpos estratiformes de turmalinito; ii) turmalina em halos resultantes da alteração hidrotermal das rochas encaixantes do minério; e iii) turmalina como componente dos veios mineralizados. A correlação entre os dados de campo, petrografia, química mineral e os isótopos de Nd e Sr indicaram que: i) a circulação profunda de fluidos gerou focos exalativos ricos em boro, que resultaram na precipitação do turmalinito estratiforme; ii) a formação da turmalina dos halos de turmalinização e dos veios mineralizados está relacionada com a mistura de fluidos mobilizados das rochas encaixantes e daqueles provenientes do sistema mineralizante (figura 3.23).

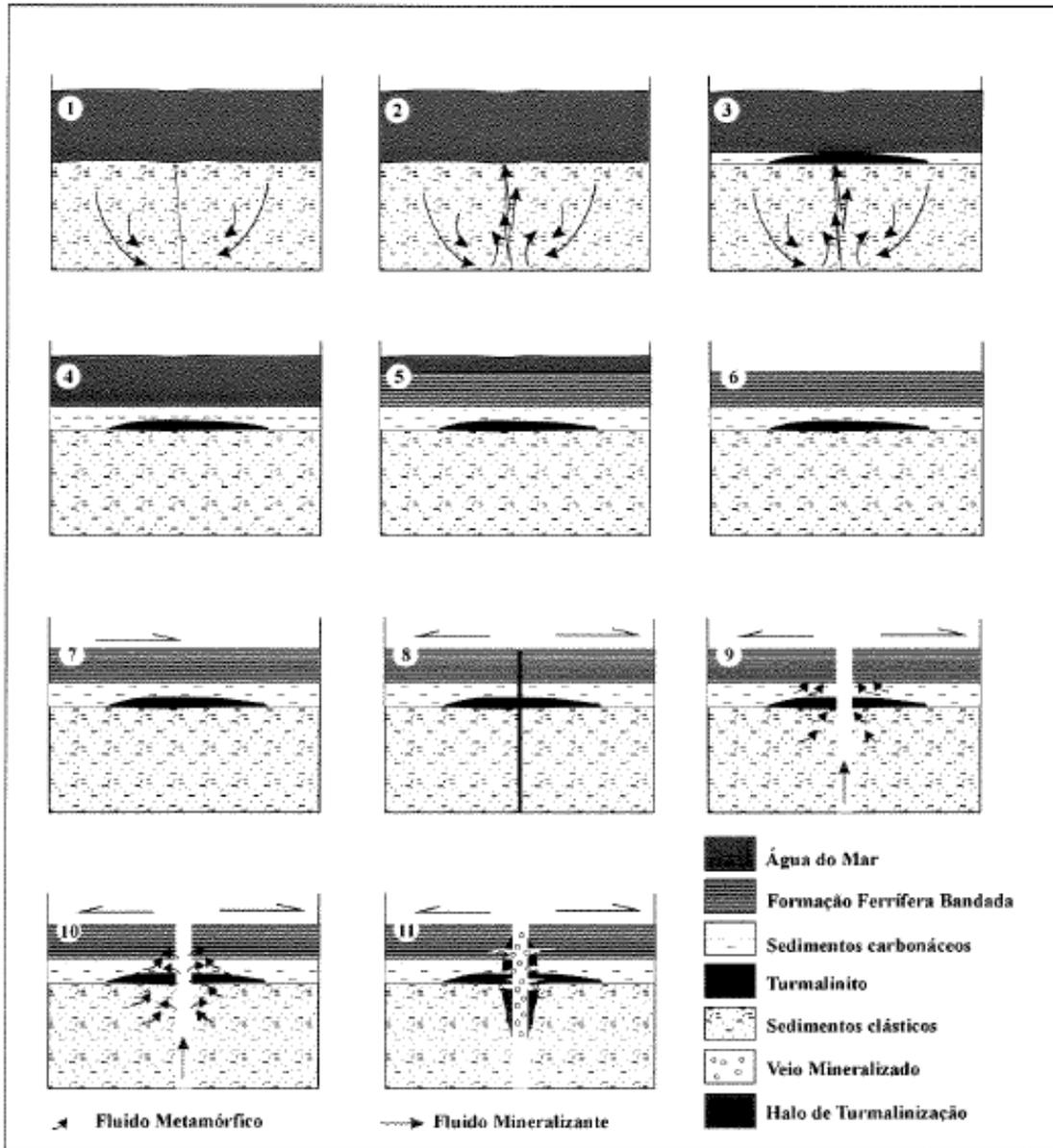


Figura 3.23: Proposta de modelo genético para a formação do turmalinito, halos de turmalinização e veios mineralizados: 1) início da circulação de fluidos na pilha de sedimentos; 2) convecção e subida de fluidos, dando origem a focos exalativos; 3) deposição de turmalinito e sedimentos carbonáceos; 4) continuação da deposição de sedimentos carbonáceos; 5) sedimentação de formação ferrífera bandada; 6) diagênese; 7) primeira fase de deformação compressiva, dando origem a foliação principal paralela ao acamamento; 8) início da segunda fase de deformação extensional, gerando fraturas, falhas, boudinagem e dobras; 9) migração de fluidos das rochas encaixantes e introdução do sistema mineralizante; 10) início do processo de mineralização do turmalinito e das encaixantes, 11) formação dos halos de turmalinização e dos veios mineralizados.

Cavalcanti (1996) relaciona os principais indicadores cinemáticos encontrados nas minas/ocorrências da Serra de Ouro Preto que controlam a mineralização regional (Figura 3.24):

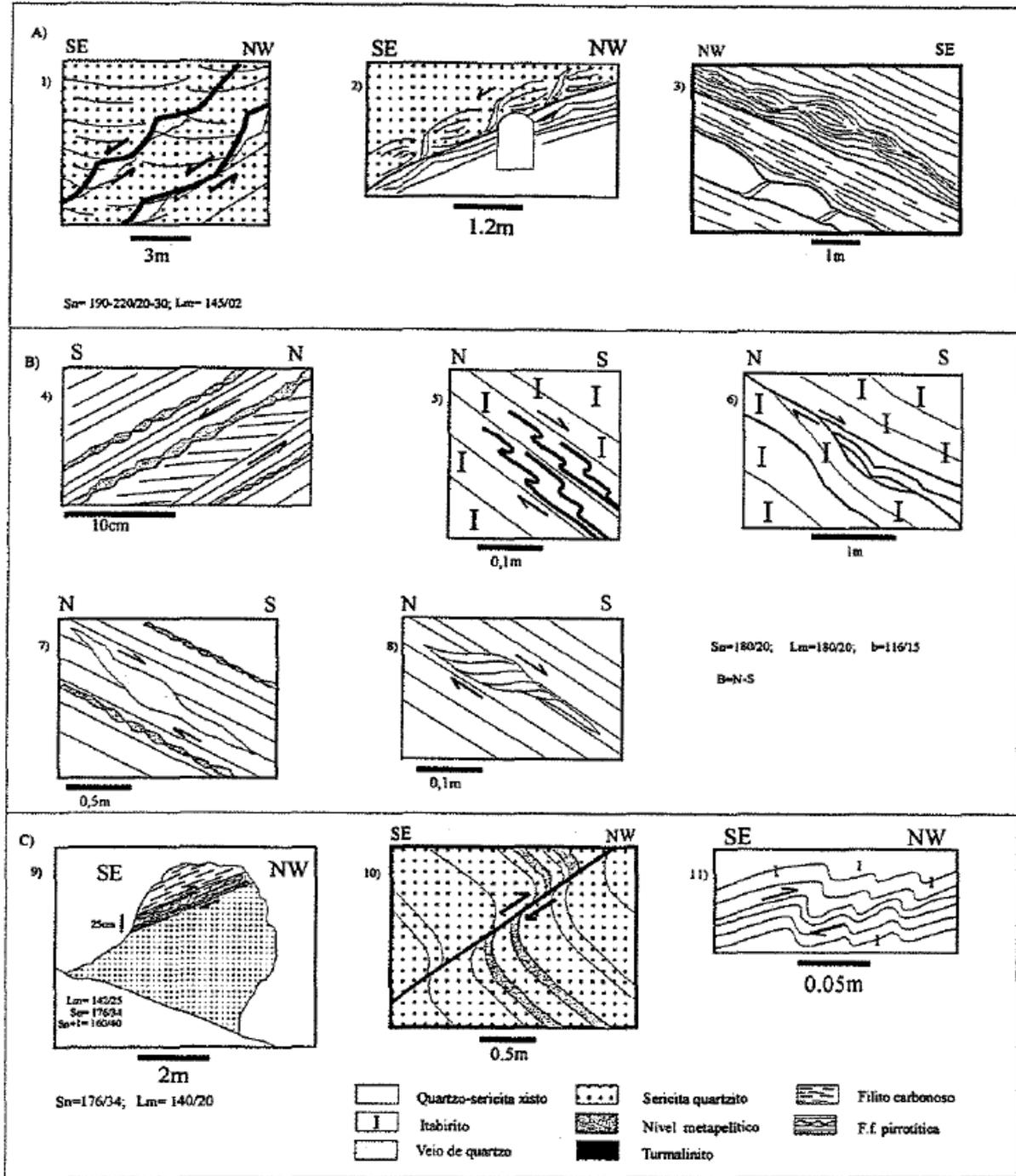


Figura 3.24: Principais indicadores cinemáticos descritos na serra de Ouro Preto. a) Segunda fase: 1-falhamentos normais com geometria de rampas e patamares apresentando deslocamento para sudeste, associado ao Quartzito Moeda; 2- boudinagem assimétrica com veios associados, próximo ao contato entre os xistos do Grupo Nova Lima e o Quartzito Moeda; 3- boudinagem associada ao Filito Batatal. b) Terceira fase: 4- estrutura SC de uma zona de cisalhamento normal instalada na formação pirrotítica bandada da Mina Scliar e boudinagem com eixo de maior deformação N-S; 5- dobras similares com eixos perpendiculares à lineação mineral, vergentes para sul, no Itabirito Cauê da Mina Scliar; 6- falha normal com deslocamento para sul associada ao Itabirito Cauê, da Mina Scliar; 7- Veio de tensão no interior da zona de cisalhamento, com indicação de movimento normal para sul, na formação pirrotítica da Mina Scliar; 8- sigmóide de foliação interior à zona de cisalhamento normal da formação pirrotítica da Mina Scliar. c) Quarta fase: 9- zona de cisalhamento reversa instalada no contato entre o Quartzito Moeda e o Filito Batatal; 10- falha reversa de alto ângulo interior ao Itabirito Cauê; 11- veio dobrados com vergência para NW, encaixados no Itabirito Cauê na Mina Chico Rei. Retirado de Cavalcanti, 1996.

3.2.3 Contextualização das mineralizações auríferas descritas no Roteiro 2

Baseando-se em Cavalcanti (1996), os minérios que contêm ouro associados a estas lavras são os turmalinitos e os veios de quartzo-sulfetos. Estes minérios ocorrem, principalmente, nas zonas de contatos litológicos e nas discontinuidades estruturais.

Os turmalinitos possuem associação direta com os veios de quartzo em diferentes litologias e nos diversos andares estratigráficos que formam a serra de Ouro Preto. Possivelmente, sua formação resulta da interação de fluidos hidrotermais com as rochas hospedeiras, tendo o fluido penetrado em fraturas, independentes do empilhamento litoestratigráfico.

Os turmalinitos podem ocorrer de quatro formas distintas. São observados nos contatos (i) entre o Grupo Nova Lima e a Formação Moeda, (ii) entre as Formações Moeda e Batatal, (iii) entre as Formações Batatal e Cauê e, (iv) sob a forma de corpos secantes às formações Moeda e Batatal.

O Roteiro 2 tem seu início no Morro São João (Figura 3.25), cumeeira da serra de Ouro Preto, adentrando nas antigas áreas lavradas para ouro do Morro São João, Saragaça, do Morro da Queimada e das Lages/Antônio Dias. A mineralização aurífera está hospedada, sobretudo, nas rochas do Supergrupo Minas (formações Moeda, Batatal e Cauê).

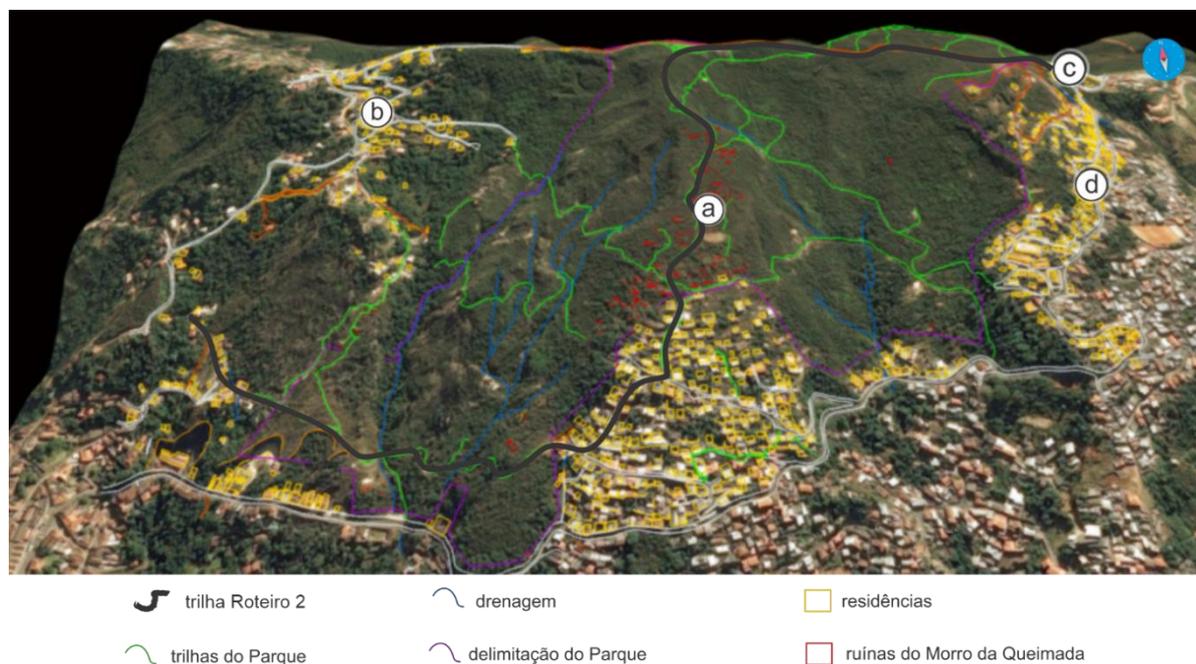


Figura 3.25: Modelo 3-D do Morro da Queimada com a delimitação do Parque Arqueológico do Morro da Queimada. Referências de localização: (a) ruínas do Morro da Queimada, (b) Morro São Sebastião, (c) Capela São João e (d) Morro Santana. Foto: Rolling Drone Geotecnologias.

No contexto regional, a lapa da zona de mineralização é constituída pelos quartzo-sericita xistos do Grupo Nova Lima com o contato superior no quartzito da Formação Moeda. Neste roteiro o litotipo dessa unidade é apresentada no primeiro ponto (ponto 2.1) e pode ser encontrada nas partes mais altas da serra de Ouro Preto, totalmente intemperizado. O contato superior é fortemente tectonizado com o quartzito da Fm. Moeda, contendo veios de quartzo intensamente deformados (boudinagem, dobras e fraturas) e foliação com aspecto milonítico. Os veios são de quartzo-turmalina com caulim próximo às porções turmalinizadas.

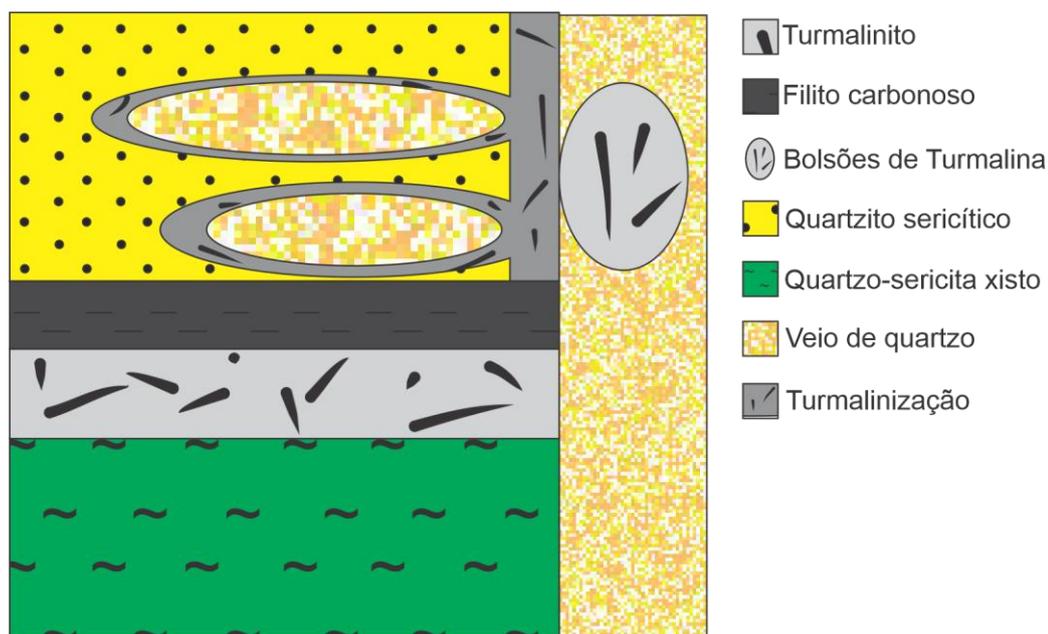


Figura 3.26: Perfil esquemático mostrando as relações entre encaixantes, veios e turmalinização.

Um exemplo de mineração subterrânea na Serra de Ouro Preto está inserido neste roteiro no ponto 2.6, próximo ao mirante São Sebastião. A mina foi desenvolvida perpendicular a foliação do filito da Fm. Batatal de textura lepidoblástica e friável, com o emboque da mina na formação ferrífera (Formação Cauê). As galerias tem orientação principal E-W e o maior salão está no contato com a Fm. Moeda com um veio de ~1,10m de espessura modal cortando a galeria no sentido NE-SW, provavelmente o local da lavra. Segundo o trabalho de Cavalcanti (1999) estes veios possuem ocorrência restrita ao Quartzito Moeda e Filito Batatal. Possuem orientação constante na direção 230-240°, sub-vertical. A turmalina ocorre associada, principalmente, às bordas dos veios e a arsenopirita forma buchos em meio à massa de quartzo. O caimento (*plunge*) destes veios é paralelo à lineação de crenulação, que por sua vez mergulha na mesma direção da foliação principal S0. Estes veios podem ter-se originado devido ao

fraturamento hidráulico relacionado ao afundamento da bacia que pode estar relacionado a uma tectônica extensional.



Figura 3.27: Veio de quartzo cortando a galeria. Nos locais onde o veio tem maior espessura eram abertos grandes salões.



Figura 3.28: A galeria se desenvolve estritamente ao longo do filito da Fm. Batatal.

Os veios sulfetados estão associados a estruturas rúpteis que se encontram, na maioria das vezes, mascaradas pela superposição de eventos deformacionais posteriores a sua colocação. Estes veios aparecem preenchendo fraturas extensionais verticais e conjugadas. São do tipo quartzo-arsenopirita, quartzo-pirita-calcopirita e quartzo-pirrotita, contendo turmalina em menor quantidade.

Os veios de quartzo-arsenopirita aparecem de duas formas: (i) veios secantes encaixados na Formação Batatal, com orientação 230° , com porções maciças de arsenopirita e, (ii) veios bandados com orientação 230° , associados a fraturamentos conjugados. Os veios de quartzo-pirrotita também são bandados e ocorrem numa zona de cisalhamento com movimento normal para sudeste, instalada na base da Formação Cauê. Já os veios de quartzo-pirita-calcopirita são secantes, com direção 230° e estão encaixados na Formação Cauê.

Percorrendo a trilha, a partir do Moinho de Vento sentido descendente para o bairro Alto da Cruz, observa-se ruínas de antigos mundéus e sarilhos ao longo da escarpa do Morro da Queimada na Serra de Ouro Preto, observados no ponto 2.5. As construções antigas são todas feitas de canga e revestidas com argila preparada. Os antigos mineradores, provavelmente, buscavam os níveis de turmalinização na base da Fm. Cauê em contato com a Fm. Batatal (explicado por diversos sarilhos e galerias obstruídas encontradas no local), comumente em regiões onde o terreno apresentava-se mais alterado ou friável, para facilitação do desmonte. Nessa região a estratigrafia é bem definida e podem ocorrer corpos de minério do tipo turmalinito estratiforme, de aproximadamente 2,0 metros de espessura (Cavalcanti, 2003) e/ou veios de quartzo sulfetado, ambos situado na base da formação ferrífera. As suas porções mais deformadas estão fortemente foliadas, crenuladas e dobradas. Nos níveis muito próximos a superfície, onde o intemperismo atuou severamente, os sulfetos foram praticamente destruídos, restando apenas vazios com a forma losangular, típica da arsenopirita (stockwork), por isso há registros de sarilhos e poços que buscavam os níveis sulfetados mais profundos. Nesses níveis é comum a ocorrência de veios de quartzo-turmalina-arsenopirita encaixados, principalmente nos xistos e filitos carbonáceos da Formação Batatal, onde também é comum a presença de halos de turmalinização.

Segundo Cavalcanti (2003) os halos de alteração hidrotermal ricos em turmalina associam-se a colocação do sistema de veios mineralizados. A composição destes halos está diretamente relacionada as rochas hospedeiras que podem ser tanto rochas quartzo-sericiticas, carbonáticas, biotita xistos, filitos carbonáceos quanto formações ferríferas bandadas. As

estruturas descritas nestes halos, tais como as dobras e boudinagem de foliação, revelam que os mesmos se formaram devido a introdução dos sistemas de veios. Os halos associados aos veios mineralizados também estão mineralizados e a formação da turmalina precede a da arsenopirita. Nestes halos, além da turmalinização, são comuns também a silicificação e a sulfetação. A turmalinização associa-se aos níveis de filossilicatos (sericita, biotita e moscovita). O sulfeto predominante é a arsenopirita, mas, no caso em que a encaixante é o itabirito, então há predominância de pirita.

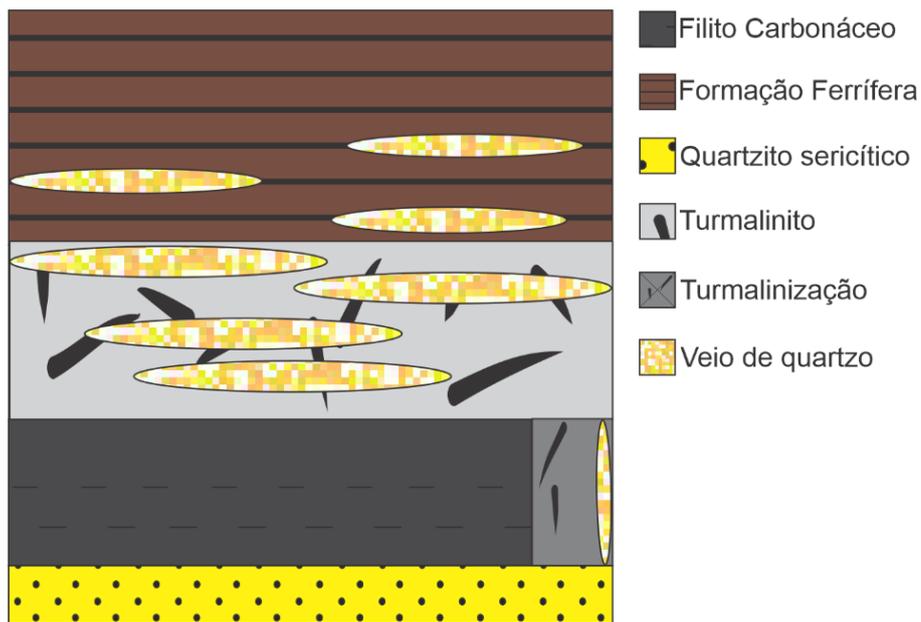


Figura 3.29: Perfil esquemático mostrando as relações entre o nível de turmalinito e veios encaixantes.



Figura 3.30: Vista área da disposição dos mundéus ao longo do Morro da Queimada com a galeria subterrânea em detalhe.

As descobertas de ouro aluvionar no final do século XVII trouxe a visibilidade nacional para essa região (Fonseca & Sobreira, 2001) que, com escassez deste tipo de minério, migrou-

se para as escarpas das montanhas. Logo, locais como a Serra de Ouro Preto e do Itacolomi foram procurados. Por causa disso, encontra-se no ponto mais alto da serra as ruínas do antigo Moinho de Vento, possivelmente tratava-se de um maquinismo destinado a triturar rochas, como parte do beneficiamento do minério, retiradas das galerias e minas a céu aberto da Serra de Ouro Preto.

O desmonte das rochas era feito de forma hidráulica, aproveitando as águas das chuvas ou pelos aquedutos construídos para captar água das nascentes. Para se chegar a essa camada mineralizada, era necessário retirar toda crosta laterítica (canga). Esses blocos e fragmentos, quando não jogados encosta abaixo, eram usados para construção desses mundéus dispostos ao longo da encosta, onde o material retirado da lavra era acumulado.

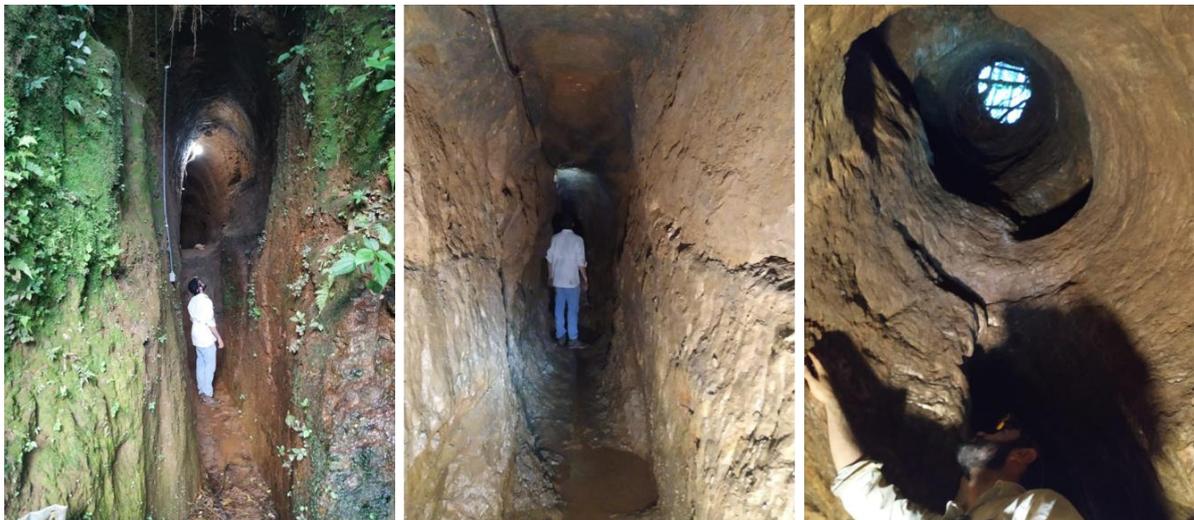


Figura 3.31: Exemplo de canalização do curso d'água, sarilhos também eram aproveitados (ponto 2.6).

Como a principal ferramenta utilizada na mineração colonial foi a água, houve um grande desenvolvimento na tecnologia de aquedutos e reservatórios posicionados nas partes mais altas, com o objetivo de intensificar a força da água. Com o desmonte hidráulico a lama gerada na extração do material era direcionada pelas águas e barradas por grandes mundéus, posteriormente eram apuradas em processos de separação como rampas, canoas e bateamento.

3.2.4 Mineração Aurífera Colonial

3.2.4.1 Histórico

A importância da descoberta do ouro na região de Ouro Preto tem relação com os principais acontecimentos políticos e econômicos da época colonial e imperial, refletido no patrimônio arquitetônico, artístico e cultural da cidade.

Segundo Eschwege (1833, *In: Sobreira 2014*), a exploração iniciou-se nos depósitos aluvionares, separados em três tipos: os veios, que resumem-se nos leito dos rios, os taboleiros, depósitos nas margens dos rios em um nível logo acima do leito, e as grupiaras, depósitos mais elevados situados no sopé das montanhas (Figura 3.32). Os depósitos aluvionares atraíram mineradores devido a sua riqueza aurífera e a facilidade na extração nos leitos dos rios.

Ainda segundo Eschwege (1833, *In: Sobreira 2014*), buscando otimizar a busca pelo cascalho aurífero nos leitos dos rios, os mineradores foram aperfeiçoando os métodos de extração e adotaram um sistema que consistia em desviar a água de seu curso principal, construindo pequenas barragens chamados mundéus, que buscavam facilitar a extração do ouro ali concentrado. Já nas grupiaras, cuja posição era mais elevada nas encostas, recorria-se a métodos extrativos diferentes, em estruturas chamadas canoas. Ao mesmo tempo, a água se acumulava em áreas mais altas e chegava aos locais de trabalho por meio de águas residuais. O material desmontado era coletado em extensos degraus ao longo do rio permitindo que a água barrenta passasse e absorvesse o material mais pesado. Com a intensidade do trabalho e a exaustão dos depósitos mais ricos, os mineiros começaram a desenvolver atividades nos depósitos mais altos, nas encostas das montanhas vizinhas, seja por escavações subterrâneas ou por mineração e processamento do material mobilizado.

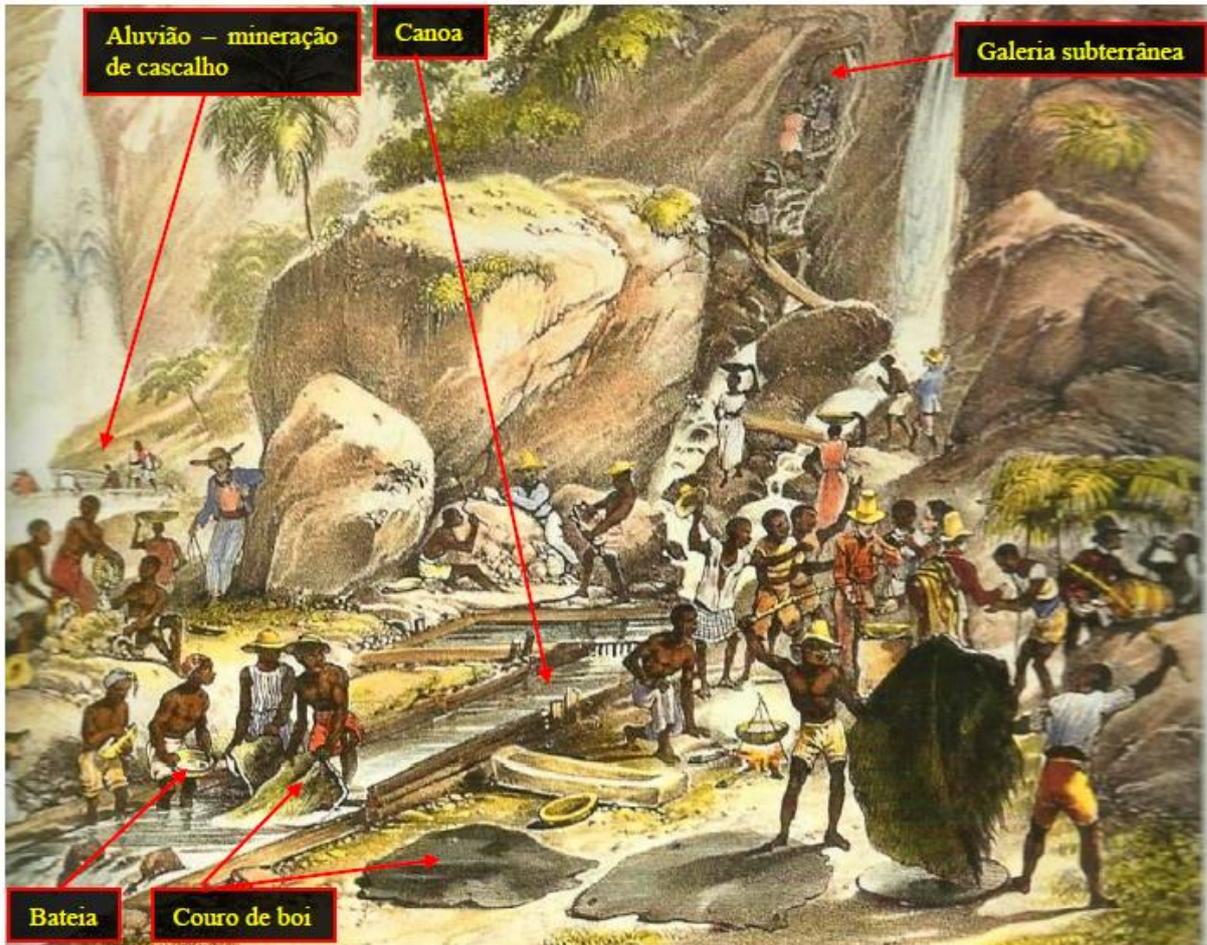


Figura 3.32: Lavagem do ouro no Itacolomi (J. M. Rugendas 1835). Gravura ilustrativa dos métodos de mineração. Ao centro, estão as canoas de madeira com couro de boi revestindo o fundo. Retirado de Ferreira (2017).

Nas palavras de Paul Ferrand (1898), “quando os mineradores depararam com jazidas completamente embutidas nas montanhas ou cobertas por camadas espessas de rejeito, decidiram recorrer aos procedimentos da arte das minas (...). Nesse caso, operavam nos pontos que pareciam melhores, escavando uma galeria que seguia as linhas ricas, verdadeiros buracos de toupeira, fazendo curvas inacreditáveis e cuja seção por vezes mal permitia a passagem de um homem.”

Segundo Sobreira & Fonseca (2001), a abertura de poços e galerias pelos garimpeiros do século XVIII tinham como objetivo atingir a mineralização primária na base do Supergrupo Minas. O aprofundamento da mina era realizado com a abertura de sarilhos, essenciais para a ventilação e escoamento das águas que porventura surgissem em meio à escavação. De início, esse escoamento era realizado à mão, utilizando vasilhames ou desviando a água para alguma galeria pré existente situada abaixo; posteriormente, difundiu-se, sobretudo a partir do século

XIX, o uso de bombas. O minério retirado também sofreu processo semelhante: inicialmente era triturado à mão; posteriormente foram usados pilões com mão de ferro movidos à força hidráulica e moinhos mecanizados como no ponto 2.5 (Figura 3.33). Após a trituração, o minério era tratado nas canoas (corredores) ou tanques de lavação, onde o instrumento primordial era a bateia (Ferreira, 2017).



Figura 3.33: a) Sarilhos e mundéus (b, c, d) na Serra de Ouro Preto.

Já nas encostas das montanhas, os esforços se concentravam na busca por ouro disseminado ou em camadas estratiformes nas formações ferríferas, mais intemperizados e de fácil exploração. Conforme descrição de von Eschwege (*In: Ferreira 2017*) "*pratica-se uma verdadeira caça ao ouro, sem pensar no futuro. Perseguem-se as camadas e os veios em todas as direções, enquanto puderem os serviços dar lucro, razão pela qual tal método, sobretudo quando aplicado a uma possante camada, dá origem a um perfeito labirinto de tocas de toupeiras*".

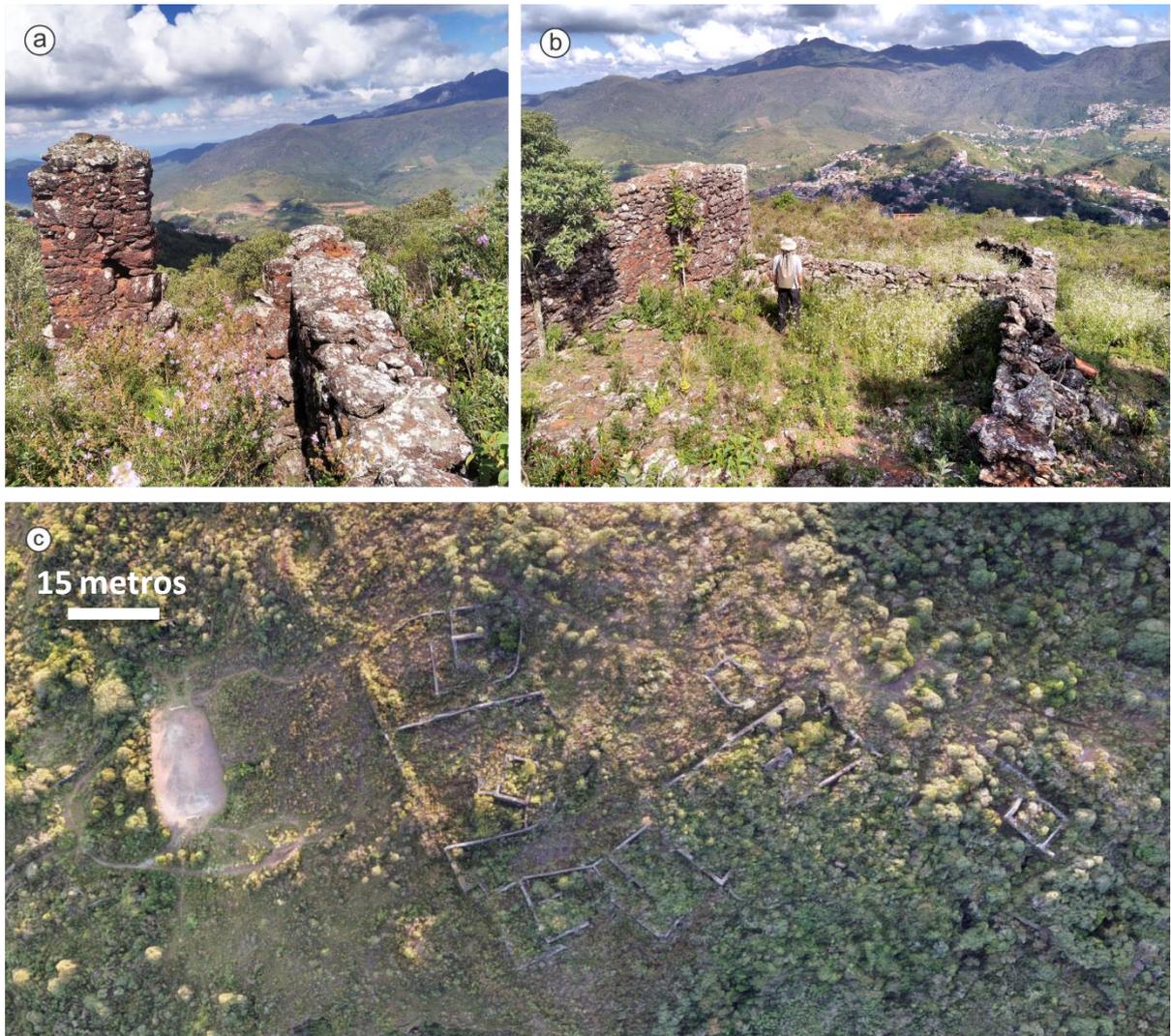


Figura 3.34: (a) e (b) Mundéus em ruínas ao longo do Morro da Queimada no ponto 2.3. (c) Foto-aérea das ruínas do Morro da Queimada. Foto: Rolling Drone Geotecnologias.

Elementos que constituem o patrimônio da mineração podem formar parte do patrimônio histórico, arqueológico, industrial, paisagístico cultural, espiritual, etnográfico ou mesmo geológico e, por conseguinte, podem ser estudados pela arqueologia, pela história tecnológica, econômica e social. Esse patrimônio envolve estruturas móveis e/ou imóveis, tais como galerias subterrâneas, reservatórios, mundéus (tanques em alvenaria de pedra seca para concentração do ouro), artefatos, ferramentas, documentos e elementos imateriais, e também as técnicas e modos de fazer empregados nos trabalhos. (Sánchez 2011).

3.3 ROTEIRO 3 – ÁREAS DE RISCO EM OURO PRETO

3.3.1 Introdução

Os locais onde eram executadas as lavras de ouro, motivo do início do povoamento da cidade, foram realizados grandes desmontes, escavações, transporte e deposição de material removido, abertura de poços, galerias e canais, além de desmatamento generalizado (Fonseca & Sobreira, 2001). Estas atividades tinham como consequência a aceleração do processo erosivo e movimentação de massa, devastando ainda mais a área. Os sinais desta ação são claramente perceptíveis até hoje, principalmente na serra de Ouro Preto, quase que totalmente afetada pelas atividades mineradoras e que ganhou como herança vastas áreas potencialmente instáveis ou inadequadas para ocupação urbana. Esta trilha é percorrida nos bairros na encosta da serra de Ouro Preto, ao longo da rua Padre Rolim, percorrendo uma extensão de 1.250 metros e 5 pontos, onde há periodicamente movimentos de massa, um risco geológico para população local.

3.3.2 Parâmetros geotécnicos utilizados em áreas urbanas: uma revisão.

Em um mapeamento geológico-geotécnico as estruturas como xistosidade, dobramentos, falhamentos e intrusões ocorridas durante sua evolução geológica estrutural são variáveis e influenciam diretamente os mecanismos de ruptura e movimentos de massa. Neste tipo de levantamento é comum que ocorram medidas de descontinuidades divergentes, pois os mecanismos de ruptura também variam localmente (Pinheiro, 2014).

Atualmente a caracterização geomecânica deve seguir recomendações estabelecidas pela ISRM (International Society of Rock Mechanics), tais como:

- grau de resistência do maciço rochoso (Tabela 3-1): consistência a compressão uniaxial da rocha;
- grau de alteração do maciço (Tabela 3-2): classifica quanto ao intemperismo da rocha, que afeta diretamente na forma de ruptura e a resistência ao cisalhamento da rocha;
- grau de coerência do maciço (Tabela 3-3): classificação quanto a resistência ao impacto e tenacidade. Essa avaliação pode ser feita em campo com auxílio de um martelo geológico;

Tabela 3-1: Classificação quanto ao grau de resistência à compressão uniaxial (Neto 2016).

Grau	Denominação	Caracterização	Resistência à compressão uniaxial (Mpa)
R0	Rocha extremamente fraca	Marcada com a unha.	0,25 - 1,0
R1	Rocha muito fraca	Esmigalha-se com golpes firmes com a ponta do martelo de geólogo e pode ser raspada com canivete.	1,0 - 5,0
R2	Rocha fraca	Pode ser raspada com dificuldade com canivete, marcas podem ser feitas superficialmente com a ponta do martelo de geólogo.	5,0 – 25
R3	Rocha mediantemente resistente	Não pode ser raspada ou riscada com canivete, mas as amostras podem ser fraturadas com simples golpes de martelo de geólogo.	24 – 50
R4	Rocha resistente	As amostras necessitam de mais que um golpe de martelo de geólogo para se fraturar.	50 – 100
R5	Rocha muito resistente	As amostras necessitam de muitos golpes de martelo de geólogo para se fraturar.	100- 250
R6	Rocha extremamente resistente	As amostras podem somente ser lascadas com o martelo de geólogo.	>250

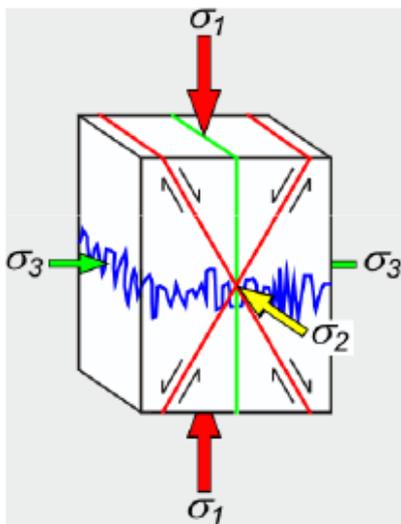
Tabela 3-2: Classificação quanto ao grau de alteração do maciço (Neto 2016).

Grau	Denominação	Caracterização
A1	Rocha sã	Sem vestígios de alterações físicas e químicas dos minerais principais.
A2	Rocha pouco alterada	Sinais de alteração incipientes dos minerais primários; ligeiramente descolorida. Mesmas propriedades físicas e mecânicas da rocha sã.
A3	Rocha mediantemente alterada	Minerais mediantemente alterados; bastante descolorida. Propriedades mecânicas inferiores ao "A2", porém ainda resistente.
A4	Rocha muito alterada	Minerais muito alterados, às vezes pulverulentos. Propriedades físicas e mecânicas muito inferiores à "A3".
A5	Rocha extremamente alterada (saprolito)	Minerais constituintes totalmente descompostos, porém, preservando suas estruturas originais. Trechos não recuperados são considerados solo.

Tabela 3-3: Classificação quanto ao grau de coerência da rocha (Neto 2016).

Grau	Denominação	Caracterização
C1	Rocha muito coerente	Rocha com som metálico, quebra com dificuldades ao golpe do martelo. Sua superfície dificilmente é riscada pelo aço.
C2	Rocha coerente	Rocha com som fraco, quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo. Ao ser riscada pelo aço, deixa sulcos superficiais.
C3	Rocha mediamente coerente	Rocha com som oco, quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo e com fragmentos dificilmente quebradiços à pressão dos dedos. Sulco leve ao risco de aço.
C4	Rocha pouco coerente (quebradiça)	Rocha quebra com facilidade ao golpe com martelo, bordas dos fragmentos quebram com relativa facilidade manualmente. Sulcos profundos ao risco do aço.
C5	Rocha incoerente (friável)	Rocha esfarela-se ao golpe do martelo, desagregando-se com a pressão dos dedos. Pode ser cortada com o aço, sendo riscada com a unha.

É possível classificar também quanto ao grau de fraturamento, pouco fraturada a muito fraturada (fragmentada) analisando quanto a relação da quantidade de discontinuidades por metro. As discontinuidades como falha e fraturas/juntas, principalmente em minas subterrâneas, condicionam as propriedades de estabilidade do maciço e conseqüentemente a compartimentação (ISRM 1983) e são originadas devido a anisotropia de camadas e esforços tectônicos com campos de tensões heterogêneos.



Junta: paralelo ao plano $\sigma_1 - \sigma_2$;

Falhas conjugadas normais: Ângulo entre σ_1 e os planos conjugados varia de 25° a 40° sendo em geral de 30° ;

Junta estilolítica: perpendicular a σ_1 .

Figura 3.35: Análise das tensões de confinamento de um maciço com faces livres. Lacazette (2000). Retirado de Endo (2014).

O número de descontinuidades por metro influencia diretamente no volume de blocos gerados (Palmström, 1995). Por exemplo, um maciço muito fraturado com distância entre as descontinuidades baixo gera blocos menores com baixa estabilidade, porém um maciço com grau de fraturamento baixo e com estruturas persistentes, geram blocos com volumes maiores e grandes potências de risco.

Tabela 3-4: Classificação do talude quanto ao grau de fraturamento de acordo com a distribuição volumétrica, adaptado de Palmström (1995), Retirado de Pinheiro (2014)

Grau de fraturamento	Volume de bloco
Extremamente alto	$< 0,000001\text{m}^3$
Muito alto	$0,000001 - 0,0002\text{m}^3$
Alto	$0,0002 - 0,010\text{m}^3$
Moderado	$0,010 - 0,2\text{m}^3$
Baixo	$0,2 - 10\text{m}^3$
Muito baixo	$10 - 200\text{m}^3$
Extremamente baixo	$> 200\text{m}^3$

Já em rochas brandas, com características intermediárias entre rochas sãs e solos, possuem fraca resistência à esforços uniaxiais (Pinho 2003). Essa denominação de rochas brandas pode se relacionar também ao alto grau de fraturamento, conseqüentemente ocorre maior percolação de água e, com isso, um nível de intemperismo mais elevado. A resistência das rochas sã (dura), branda e solos podem ser ranqueadas com base em resistência à compressão uniaxial.



Figura 3.36: Espectro geotécnico dos materiais geológicos, demonstrando os limites entre solos, rochas brandas e rochas duras. Retirado de Horta (2019).

Nas rochas brandas, os fatores condicionantes para o abatimento das edificações são a menor resistência do material à compressão e o acunhamento de fraturas, além da leve interferência da água no fenômeno. Essa classe tem predominância do litotipo quartzo-sericita xisto e é marcada pelo deslocamento observado no teto das cavidades. A sobrecarga das construções, associado à percolação de água e alteração da rocha, contribui para o colapso. Já se tratando de rochas duras, a condição mais agravante está relacionada diretamente aos planos de descontinuidades, que favorecem a perda de coesão do material. De forma geral, a maior resistência da rocha à compressão retarda o possível colapso da estrutura (Horta, 2019).

Compilando esses parâmetros de análise do maciço é possível prevenir e/ou investigar a causa dos movimentos de massa. Segundo Varnes (1978) e a classificação pelo IPT (2014), os movimentos de massa podem ser divididos em (Tabela 3-5): escorregamentos, quedas, tombamentos, rastejo e corridas ou fluxos. Os movimentos que se caracterizam por combinações de mais de um tipo são chamados de complexos.

Tabela 3-5: Classificação de movimentos de massa. Retirado de Tavares (2018).

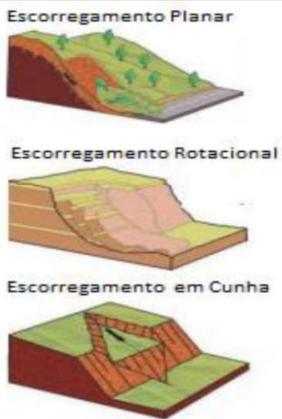
<i>Movimento de Massa</i>	<i>Imagem</i>	<i>Descrição</i>
Rastejos (Creep)	 <p>USGS (2008)</p>	<p>Vários planos de deslocamento (internos);</p> <p>Velocidades muito baixas e decrescentes com a profundidade;</p> <p>Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes;</p> <p>Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada;</p> <p>Geometria indefinida;</p>
Conceito		
<p><i>Segundo Freire (1995), os processos de rastejo e sua ocorrência estão associados a alguns mecanismos que, individual ou conjuntamente, atuam no seu desenvolvimento, tais como: o inchamento e a contração do solo devido às variações de umidade; a ação constante da gravidade, que em períodos chuvosos é intensificada pelo aumento de peso do solo e o consequente aumento das tensões cisalhantes; a formação de pressões positivas de percolação da água durante chuvas intensas; a redução da coesão do solo pelo aumento da umidade; e o efeito da variação térmica que resulta no deslocamento de material.</i></p>		
<i>Movimento de Massa</i>	<i>Imagem</i>	<i>Descrição</i>
Deslizamentos ou Escorregamentos (landslides)	 <p>Tominaga (2009)</p>	<p>Poucos planos de deslocamento;</p> <p>Velocidades médias e altas;</p> <p>Pequenos e grandes volumes de material;</p> <p>Geometria e materiais variáveis;</p>
Conceitos		
<p><i>Segundo Oliveira (2004), os escorregamentos planares ou translacionais apresentam superfície de ruptura em forma planar, que acompanha descontinuidades mecânicas e hidrológicas já existentes no material. Deste modo, em períodos de maior pluviosidade, a superfície de contato do solo com a rocha sã, que já está fragilizada pelas descontinuidades citadas, rompe-se rapidamente. A massa de solo que se movimenta apresenta morfologia rasa e na maioria das vezes com maior extensão no comprimento.</i></p>		
<p><i>Os escorregamentos circulares ou rotacionais apresentam superfície de ruptura circular, ao longo da qual ocorre o movimento de rotação do maciço de solo, incidindo, sobretudo em solos espessos e homogêneos. Este é um tipo de processo muito comum em estradas e rodovias, devido, sobretudo, à construção de taludes artificiais. (Oliveira, 2004).</i></p>		
<p><i>Os escorregamentos em cunha têm sua ocorrência associada a regiões que apresentam um relevo fortemente controlado por estruturas geológicas, como maciços rochosos pouco ou muito alterados, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condiciona o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de interseção destes planos (Tominaga, 2009)</i></p>		

Tabela 3-6: (continuação): Classificação de movimentos de massa. Retirado de Tavares (2018).

Movimento de Massa	Imagem	Descrição
<p>Quedas (Falls)</p>	 <p>USGS (2008)</p>	<p>sem planos de deslocamento; queda livre ou rolamento através de plano inclinado; velocidades muito altas (vários m/s); material rochoso; pequenos e médios volumes; geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.; Rolamento de matacão; Tombamento.</p>
<p style="text-align: center;">Conceitos</p> <p><i>Segundo Varnes (1978), as quedas são definidas como movimentos muito rápidos (variando entre 0,3 e 30 m/s) em que uma massa de qualquer tamanho, de solo e/ou rocha é destacada da área contígua do talude onde está situada, envolvendo normalmente queda de detritos precedendo a ruptura. O deslocamento ocorre principalmente por queda livre, por rolamento ou salto do material.</i></p> <p><i>As causas das quedas são diversas: alternância de congelamento e degelo ao longo de fraturas e juntas em regiões frias, variação térmica do maciço rochoso, perda de sustentação dos blocos por ação erosiva da água, desconfinamento lateral do maciço rochoso devido a entalhes recentes, alívio de tensões de origem tectônica, vibrações e outras, Tominaga (2009).</i></p>		

3.3.3 Serra de Ouro Preto: geomorfologia, geologia e registro das atividades coloniais da mineração do ouro

3.3.3.1 Geomorfologia

A malha urbana de Ouro Preto está localizada num vale delimitado resumidamente por duas serras: serra de Ouro Preto, a norte, e serra do Itacolomi, a sul, além de duas grandes bacias de drenagem regionais: a bacia do rio das Velhas e a bacia do rio Doce (Fonseca e Sobreira, 2001). Segundo Fontes (2011), os vales que permeiam toda a encosta da Serra de Ouro Preto condicionam a drenagem das águas que descem em direção às partes baixas da cidade (Ribeirão Tripuí), constituindo-se tributários da bacia do rio Doce.

O traço do relevo acidentado com vertentes bem íngremes e vales profundos e encaixados tornam a geomorfologia depende da geologia local. Com camadas bem deformadas, a cidade localiza-se no flanco sul do Anticlinal de Mariana. As formações geológicas regionais

orientam-se de um modo geral na direção leste-oeste, com mergulhos para sul, na ordem dos 30° (Sobreira & Fonseca 2001). Cerca de 40% da área urbana exibe feições com declividades entre 20 e 45% e apenas 30% com declividades ente 5 e 20%. Zonas escarpadas são comuns em toda a área urbana (Gomes *et al.*, 1998).

Segundo Oliveira (2010), utilizando a metodologia de “Técnica de Avaliação de Terreno”, a região urbana de Ouro Preto foi diferenciada em 6 unidades geomorfológicas: escarpas (abruptas e altamente dissecadas), vales (grandes e abertos com encostas côncavas), colinas aplainadas (baixa densidades de canais), colinas (vertentes convexas dissecadas com topos ondulados), morros (vertentes convexas dissecadas com topos ondulados) e morros dissecados (topos angulosos e vertentes côncavas).

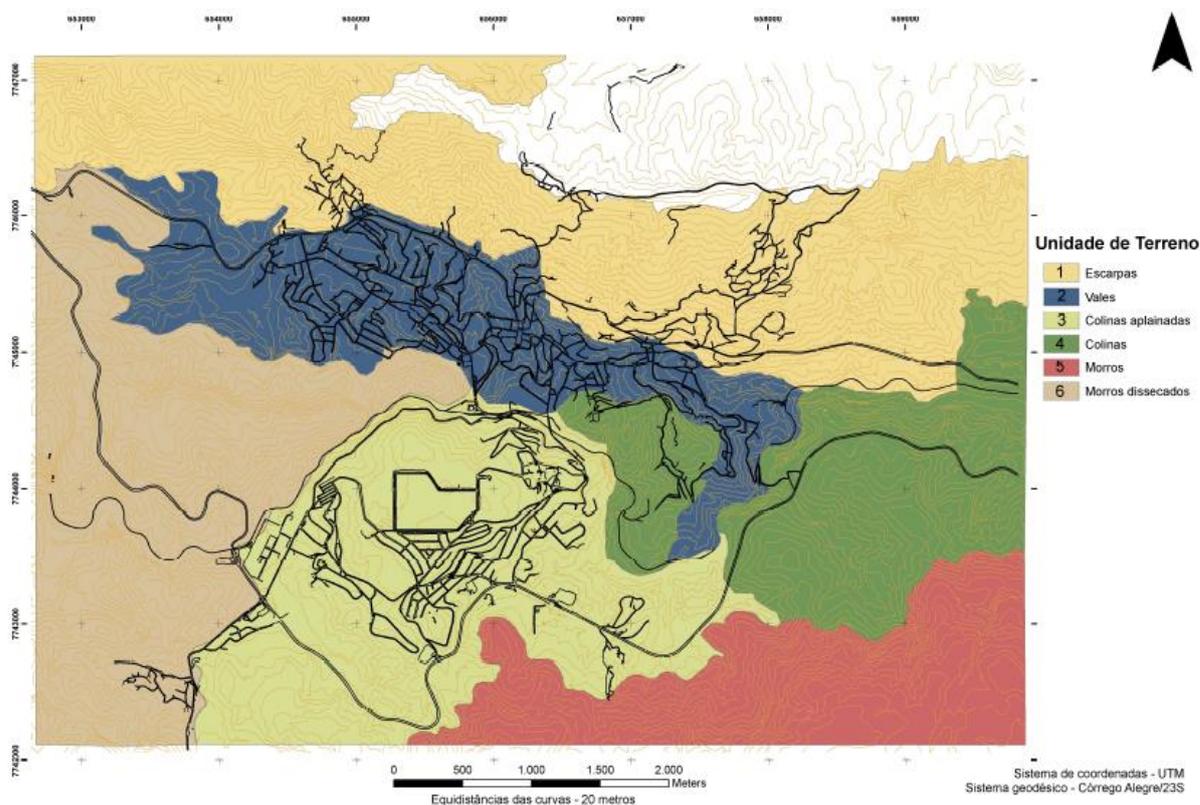


Figura 3.37: Mapa das unidades de terreno na malha urbana de Ouro Preto. Retirado de Oliveira (2010)

3.3.3.2 Geologia

A diversidade litológica da cidade de Ouro Preto é uma das características que colocam a região em grandes destaques para bases de estudos. Souza (1996) apresenta uma tabela com os graus de alteração e arranjos estruturais complexos de cada área, de acordo com as litologias

presentes na região de Ouro Preto, evidenciando que as rochas podem ter comportamento geotécnico diferenciado em um mesmo perfil, como foi observado por Oliveira (2010). Quanto ao solo, segundo Bonuccelli & Zuquette (1999), não se apresentam muito desenvolvidos, com espessuras variam entre, 0,5m a 15 m, o que não é muito comum em solos tropicais. Entretanto, as rochas aflorantes apresentam perfis bem desenvolvidos, segundo o grau de alteração.

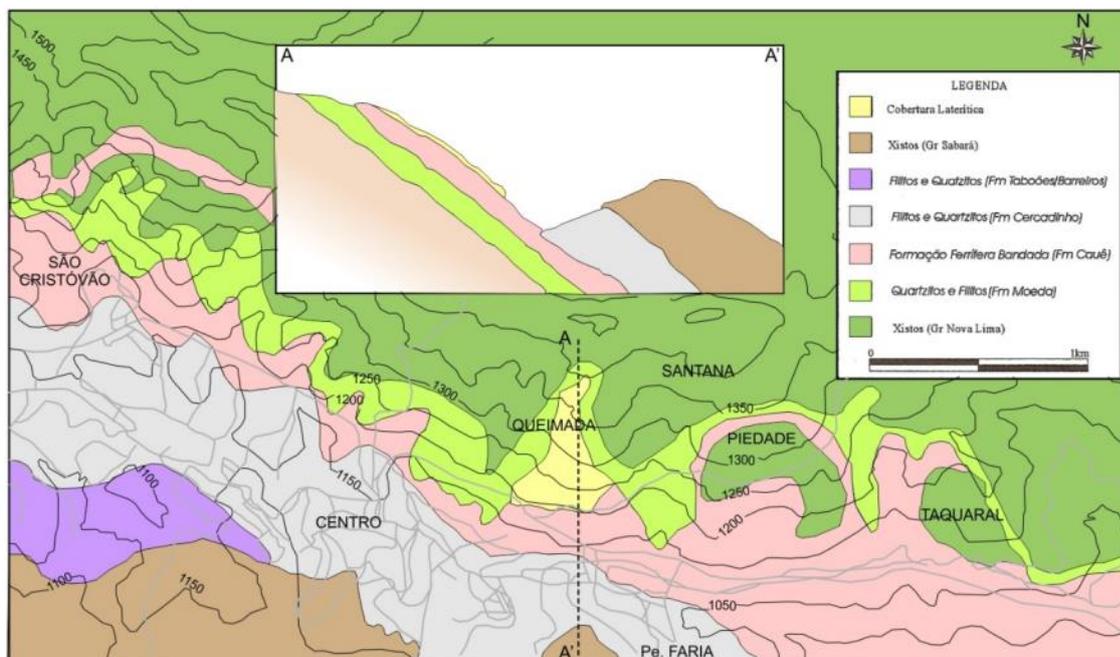


Figura 3.38: Geologia de parte da serra de Ouro Preto e perfil geológico representativo (adaptado de Sobreira & Fonseca 2001 e retirado de Sobreira 2014).

Em relação a classificação geotécnica das litologias presentes na região de Ouro Preto, destacam-se a foliação metamórfica controlada pelo Anticlinal de Mariana e o Sinclinal Dom Bosco, falhas como a de Água Quente, Itacolomi e São Vicente e fraturas que influenciam profundamente o comportamento geotécnico contribuindo com o estado de alteração e o intenso fraturamento das rochas locais (Sobreira & Fonseca 2001). Além disso, nos topos e nas vertentes dos morros comumente ocorrem as “cangas”, coberturas lateríticas (exemplificada no Roteiro 2, utilizadas para infraestrutura minerária) de idade terciária-quartenária que ocorrem como produtos de alteração supergênica em climas tropicais. Já os solos são poucos espessos e em algumas partes inexistentes, como consequência, a cidade apresenta condições geológicas e geomorfológicas predisponentes a ocorrência de movimentos de massa e processos erosivos (Sobreira, 1991). As unidades litológicas regionais podem ser classificadas quanto a estabilidade em relação aos parâmetros de infiltração, escoamento superficial, erodibilidade e estabilidade da encosta, como sugere a tabela de Tavares (2018).

Tabela 3-6: Parâmetros que caracterizam a estabilidade dos maciços com base em sua unidade litológica. Retirado de Tavares (2018).

	Infiltração	Escoamento Superficial	Erodibilidade	Estabilidade da Encosta
<i>Canga</i>	Moderadamente rápido para muito rápido	Devagar para moderado	Muito devagar	Pobre para boa. Estabilidade controlada pelas fraturas e tipo de material subjacente. É arriscado fazer cortes que exponha o itabirito friável ou outro material de baixa capacidade de carga
<i>Xisto Sabará</i>	Insignificante na rocha ou nas fraturas	Moderado para rápido	Moderadamente resistente	Se o material estiver intemperizado ele pode suportar estruturas leves. Estruturas pesadas devem assentar sobre a rocha sã.
<i>Filito Barreiro</i>	Devagar na rocha e fraturas	Rápido	Moderadamente erodível	Pobre a normal e controlada pela posição da foliação e grau de intemperismo. Há risco quando a foliação mergulha no corte, ou quando a rocha é muito fraturada ou muito intemperizada
<i>Quartzito Taubões</i>	Moderado a rápido na rocha e nas fraturas	Moderado a devagar	Muito erodível	Muito pobre devido a alta friabilidade dessa rocha.
<i>Filito Fecho do Funil</i>	Insignificante na rocha ou nas fraturas	Rápido a moderado	Moderadamente erodível	Pobre a boa. Controlado pela direção da foliação e das fraturas.
<i>Filito Quartzito Cercadinho</i>	Moderado a rápido	moderado a devagar	Moderadamente erodível	Apresenta risco devido ao alto grau de faturamento dessas rochas
<i>Dolomito Gandarela</i>	Insignificante na rocha, devagar nas fraturas	Rápido	Muito resistente	Boa a excelente, controlado pela direção dos estratos e fraturas.
<i>Itabirito Cauê</i>	moderado a rápido através das fraturas	moderado a devagar	Geralmente muito erodível quando friável	Pobre a boa. Controlado pela direção da foliação, fraturas e friabilidade. É potencialmente perigoso quando a camada superficial mergulha na direção do corte, ou quando a rocha é muito fraturada ou friável.
<i>Filito Batatal</i>	Devagar próximo a superfície através de fraturas, insignificante em profundidade.	Moderado a rápido.	Erodível quando intemperizado, moderadamente resistente quando a rocha é nova.	Pobre a boa. Controlado pela direção da foliação, fraturas e grau de intemperismo. Oferece risco quando a foliação mergulha no corte ou quando a rocha é muito fraturada ou intemperizada
<i>Quartzito Moeda</i>	Moderado a rápido	Moderado a devagar	Resistente	Boa a excelente para o quartzito são. Nesse caso, alto fraturamento na rocha e encostas íngremes podem causar a queda de blocos.
<i>Xisto Nova Lima</i>	Insignificante na rocha ou nas fraturas	Rápido a moderado	Moderadamente erodível a muito erodível	Normal a arriscado; moderado a alto risco de escorregamentos. Salvo onde o ângulo de corte na encosta é controlado pela direção da foliação e fraturas.

3.3.3.3 Registro das atividades coloniais e ocupações urbanas em antigas áreas de mineração de ouro.

As características da mineração do ouro ocorridas nos séculos XVII e XVIII na Serra de Ouro Preto, apontam que áreas de atividades minerárias interferiram na paisagem regional e guardam registros como ruínas, escavações subterrâneas, buracos de sarilho, mundéus, canais de condução de água e até artefatos usados no processo de extração do ouro. Os efeitos dessas atividades não apenas mudaram a paisagem, mas também o sistema de drenagens, criando grandes contaminantes, blocos de material a meia encosta e criando taludes instáveis, além de acelerar os processos erosivos (Sobreira, 2014).



Figura 3.39: Exemplos de mineração a céu aberto (a) no bairro Veloso e de galeria subterrâneas (b) no bairro Lages.

Essa ampliação do território urbano ocorreu em algumas áreas já predisposta a movimentos de massa, como a região da serra de Ouro Preto que expõe as rochas do Supergrupo Minas, possuindo um elevado número de movimentos gravitacionais nestas litologias. Entende-se, portanto, que o crescimento da cidade ocorreu em áreas com sensibilidade média à alta aos movimentos de massa e que essa ocupação desorganizada, que ocorreu após a publicação da carta escrita por Carvalho (1982), autor da primeira carta geotécnica de Ouro Preto, foi

responsável pela mudança na dinâmica das encostas, adicionando à suscetibilidade natural os fatores antrópicos que contribuem para que essas regiões sejam as de maior risco à população. Entre os processos utilizados, o desmonte hidráulico era o processo mais comum, aproveitando águas de chuva e de nascente da serra de Ouro Preto (Tavares, 2018).

O centro histórico de Ouro Preto possui um planejamento de ocupação da área e normas patrimoniais que além de manter o aspecto histórico do local garante sua segurança, ao contrário do restante da cidade que cresceu pelas encostas e vales em núcleos em torno das lavras, ocupados, principalmente, por escravos (Carvalho, 1982). À medida que o ouro se exauria e as lavras migravam esta população periférica também se mudava, abandonando suas casas, que eram destruídas com o tempo. Ainda hoje, podem ser observadas muitas ruínas e bases destas casas antigas, sendo o Morro da Queimada o mais importante conjunto de ruínas ainda preservado.

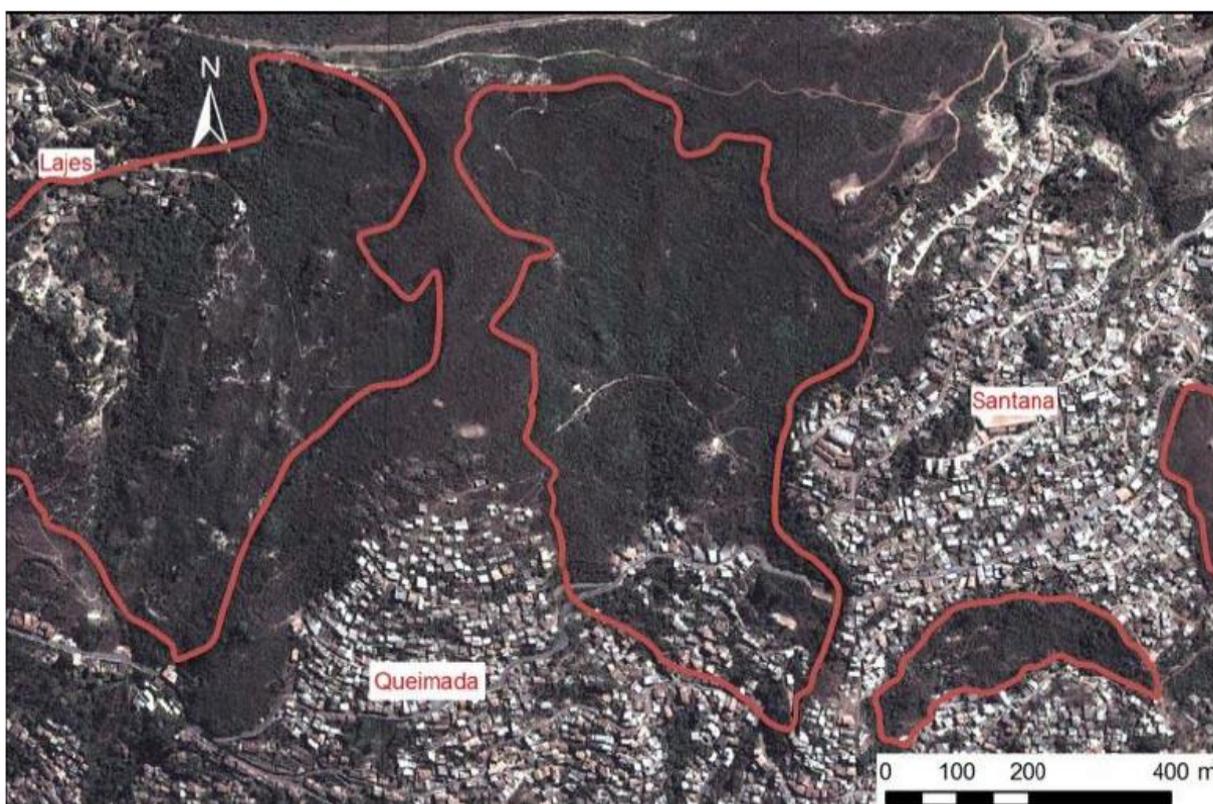


Figura 3.40: Vista aérea das escavações no entorno dos bairros Queimada, Santana e Lajes, ao longo da Serra de Ouro Preto. Retirado de Sobreira (2014).

Por causa de acidentes por deslizamentos de terra no passado, a região possui algumas restrições quanto ao uso e ocupação do solo. Segundo Sobreira e Fonseca (2001), a ocupação urbana desordenada se inicia quando algumas ações são ainda feitas, tais como: ocupações de

locais de antigas lavras de ouro, utilização de locais com alta declividade, ocupação em zonas de passagem de águas pluviais, uso de bota-foras que causam a interrupção de canais de drenagem e progressiva remoção da vegetação. Essas ocupações acarretam não somente na degradação do patrimônio arqueológico, mas sobretudo na instabilidade dos terrenos alterados pela mineração (Tavares, 2018).

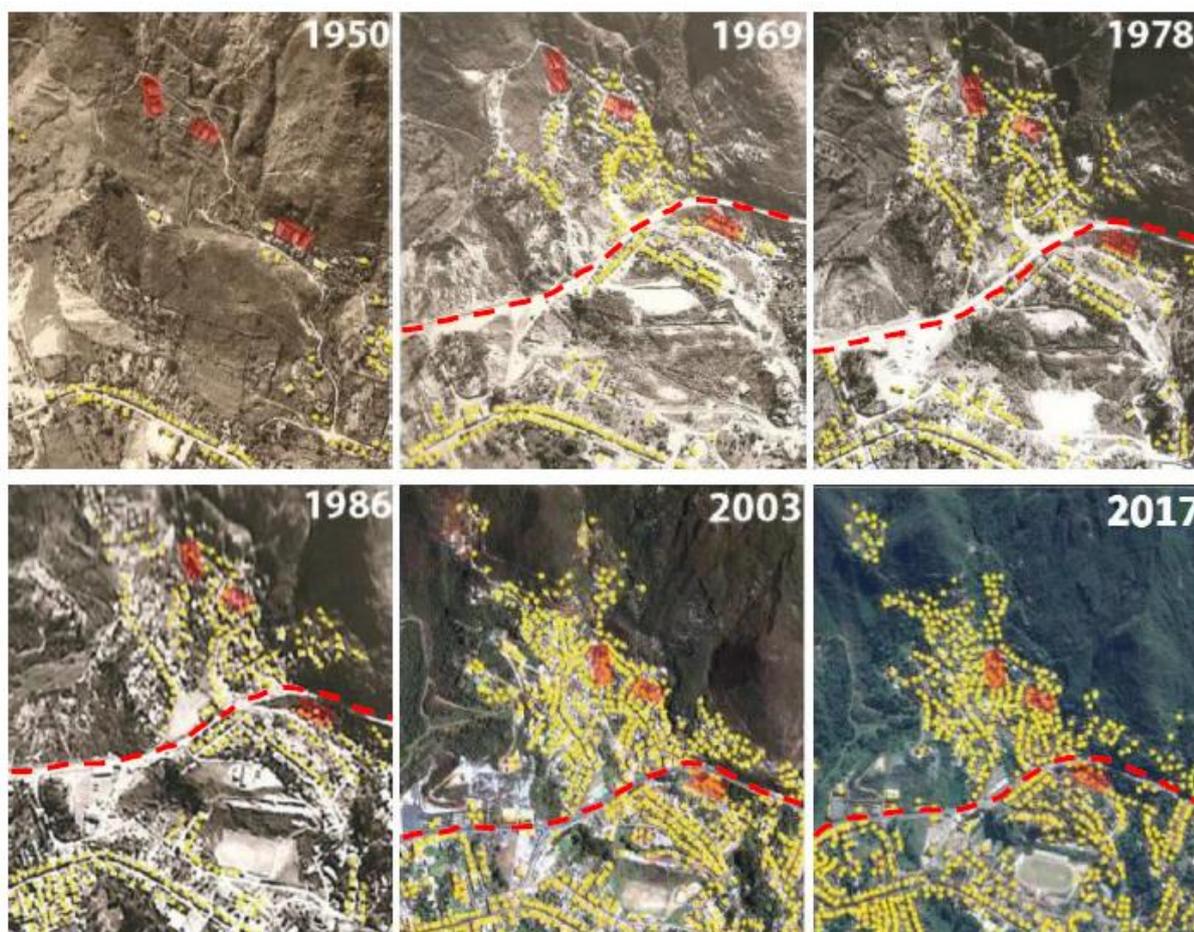


Figura 3.41: Evolução da ocupação urbana (destacado em amarelo) na área de estudo de 1950 a 2017. Estão destacados em vermelho os três grandes conjuntos de mundéus existentes e a Rua Padre Rolim. Modificado de Teixeira (2015), retirado de Ferreira (2017).

3.3.4 Contextualização geológica-geotécnica do Roteiro 3.

As atividades minerárias ainda estão presentes atualmente na região de Ouro Preto e impactam diretamente nos condicionantes geotécnicos. Como visto anteriormente, cada litologia se comporta de forma geotecnicamente distintas, seja por diferença reológica ou por estado de intemperismo. Este roteiro visa apresentar o comportamento geotécnico diferencial segundo a reologia de cada litotipo e como as antigas atividades provocaram maior

susceptibilidade a riscos geotécnicos na região urbana de Ouro Preto. A trilha percorre duas das principais vias da cidade, as ruas Conselheiro Quintiliano e Padre Rolim, onde já ocorreram muitas rupturas no passado, as quais podem ser comprovadas pelas diversas cicatrizes existentes. Na área ocorreu extração intensa de ouro no período colonial, como mostram as ruínas de antigas minas de ouro encontradas na região que fragilizam consideravelmente o terreno, aumentando o risco de abatimentos e a chance de escorregamentos. Um agravante a esta situação é que algumas das aberturas subterrâneas, que serviram para a extração de ouro no passado, são hoje utilizadas para descarte de esgoto e lixo dos moradores da região, piorando ainda mais as condições de estabilidade.

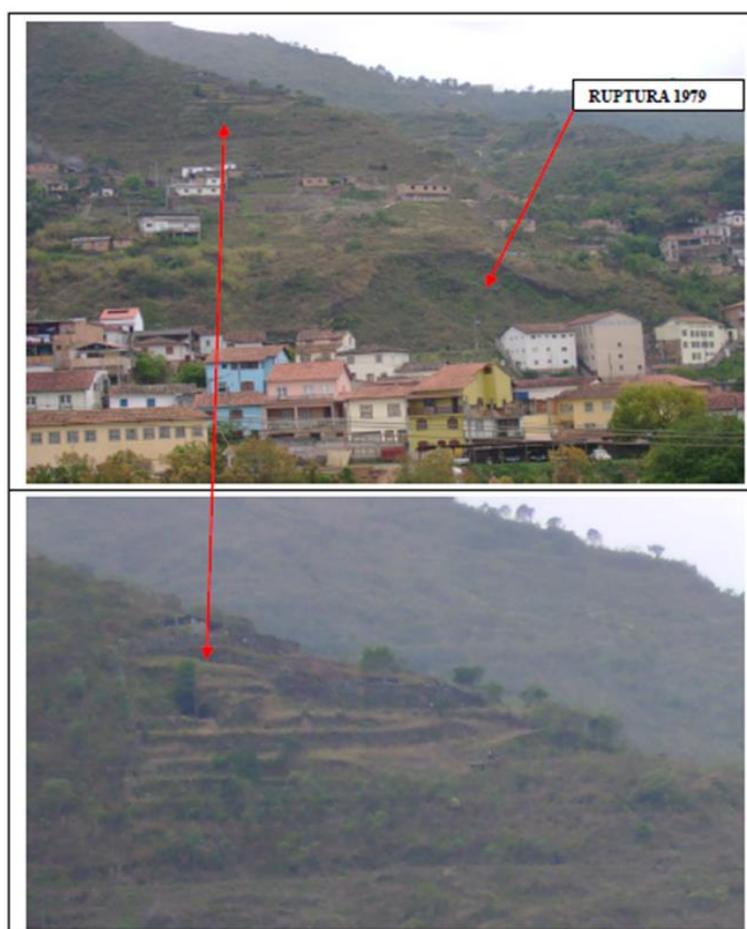


Figura 3.42: Nos bairros que margeiam a Rua Padre Rolim ocorreram muitas rupturas no passado. A região possui restrições quanto ao uso e ocupação do solo pois contém registros de atividades minerárias do passado.

O roteiro inicia-se num exemplo de extração atual, no ponto 3.1, tem-se a extração de quartzitos da Formação Moeda para ornamentação, localizada no bairro das Lages. A rocha encontra-se maciça, com apenas alterações de coloração superficiais, ocasionadas pela oxidação. As estruturas persistentes neste maciço são a foliação regional e mais duas famílias

de fratura originadas por esforços cisalhantes pertencentes a estrutura regional do Anticlinal de Mariana. Em vista aérea (Figura 3.43) é possível notar que ao redor desse local também já ocorreram extrações do mesmo material em épocas passadas, deixando cicatrizes e um passivo ambiental para as populações recentes. O início da extração do quartzito para ornamentação foi posterior ao do ouro. Para se chegar à zona mineralizada (grande parte na base da formação ferrífera), era retirar toda crosta laterítica canga, descartando esse material a montante da serra ou por vezes acumulados em pilhas, que em alguns pontos atingiram dimensões consideráveis, com alturas entre 20 e 30 metros (Sobreira & Fonseca 2001). Quando toda canga juntamente com a formação ferrífera era removida, expunha o quartzito da Formação Moeda (Sobreira, 2014).

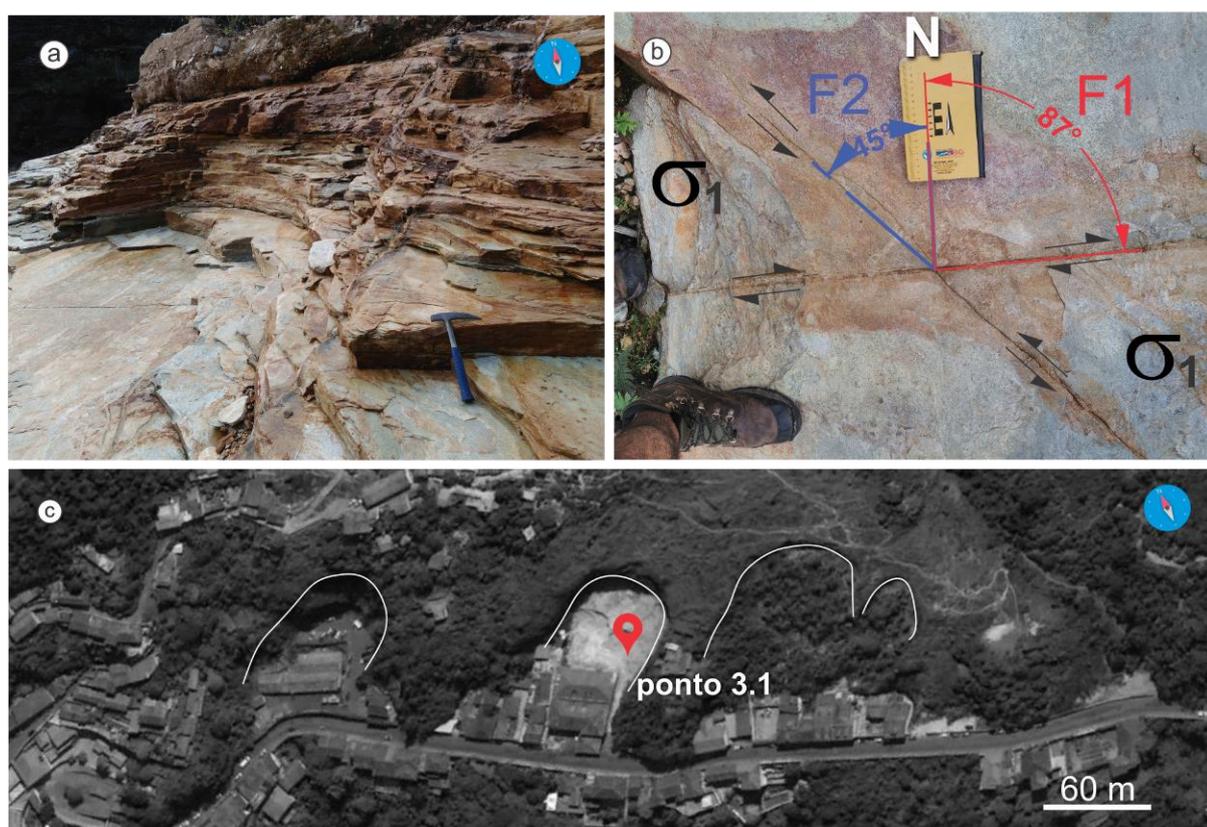


Figura 3.43: (a) Área de extração de quartzitos para ornamentação. (b) Famílias de discontinuidades geradas por esforços cisalhantes correspondentes ao contexto geológico regional. (c) Vista aérea dos arredores do Batalhão de Corpo de Bombeiros com destaque para as cicatrizes côncavas de antigas minerações de quartzitos na região.

O maciço apresenta três tipos de discontinuidades: foliação F1: 212/25, fratura (1) Fr1: 87/90 e fratura (2) Fr2: 315/90. As direções das discontinuidades podem ocasionar tanto escorregamentos planares quanto em cunha, com a foliação sendo relevante em ambas as possibilidades. Além disso, é possível notar a percolação de água por entre as fraturas, típico

deste litotipo nesta região, apresentando alta infiltração por causa do maior fraturamento. Já na Figura 3.44 (Corpo de Bombeiros), ao lado do ponto 3.2, apesar da boa estabilidade para o quartzito quanto a deslizamentos, tem-se o risco de queda de blocos, devido ao alto ângulo de corte do talude e a intensidade de faturamento do maciço.



Figura 3.44: Talude íngreme de quartzito da Fm. Moeda com famílias de fraturas persistentes aos arredores do Corpo de Bombeiros.

Outro exemplo do comportamento geotécnico diferencial é mostrado na Figura 3.45 do Ponto 3.2, que apresenta o contato entre as formações Moeda e Batatal. Estas formações são de origem distintas quanto ao sistema de deposição (granulometria, composição e espessuras das camadas) que, hoje, influenciam no comportamento geotécnico. Os filitos da Fm. Batatal são de natureza pelítica e apresentam moderada estabilidade nas encostas pois sendo controlado pela direção da foliação, fraturas e grau de intemperismo, pode oferecer risco geotécnico quando a foliação mergulha na mesma direção da declividade do terreno. ou quando a rocha é muito fraturada ou intemperizada. Nesse afloramento, a atitude da camada é: $F \sim 250/30$, direção oblíqua ao corte. Já o quartzito, maciço e mais resistente a erodibilidade, não apresenta risco de deslizamento por apresentar fraturas secundárias de menor persistência e extensão.



Figura 3.45: Contato litológico do filito da Fm. Batatal com o quartzito da Fm. Moeda

Já no grupo Gandarela, Zenóbio (2000) caracterizou o comportamento geotécnico dos itabiritos da Formação Cauê na região de Ouro Preto por meio de suas principais descontinuidades, tais como foliação e sistemas de fraturas. A ocorrência na rua Padre Rolim apresenta resistência mecânica média e o maciço encontra-se parcialmente alterado.

Pinheiro (2014) fez um estudo detalhado nesta mesma localidade, caracterizando os diagramas de frequência para xistosidade (média igual a 207/46) e a frequência para as famílias de fraturas. A concentração de polos indica pouca variação na atitude da xistosidade, com apenas dobras locais. Já nas fraturas, o autor orienta que se evite a medição em zonas intensamente fraturadas para não gerar uma interpretação errônea das famílias de descontinuidades. A disposição planar dos afloramentos associados aos itabiritos da Formação Cauê propicia a ocorrência de planos lisos e com faces livres, ocorrendo um intenso faturamento, sendo difícil a delimitação famílias de fraturas individualmente.

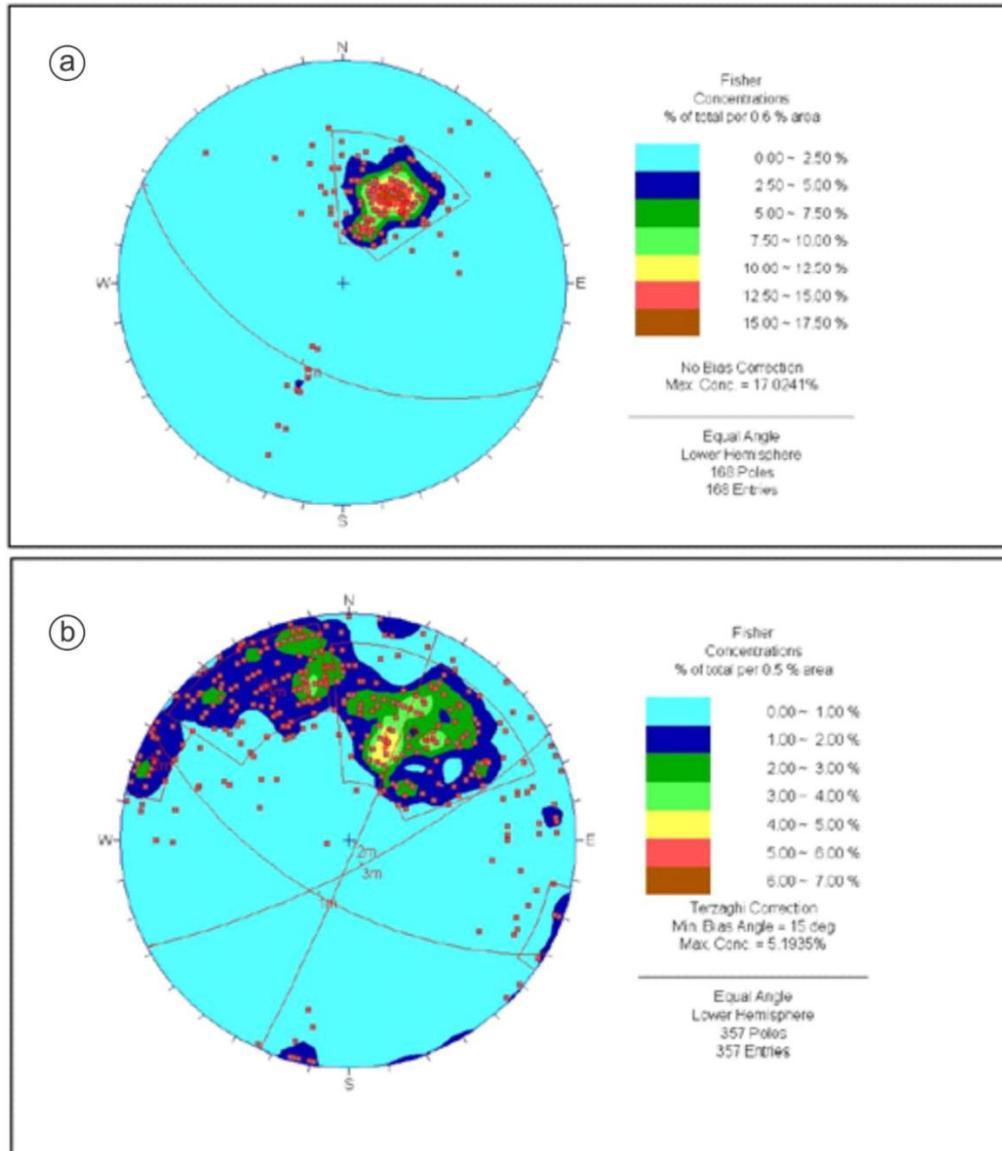


Figura 3.46: Diagrama de frequência para foliação (a) e fraturas (b). Retirado de Pinheiro (2014).

Percorrendo a rua Padre Rolim, próximo ao Museu Bouliou (~100 metros da Rodoviária) a inclinação do talude está oblíqua ao corte da rua, com atitude de 210/45. Segundo o estudo apresentado por Pinheiro (2014), três famílias principais de discontinuidades podem ser interpretadas nesse local: F1(foliação): 210/59 e as fraturas F2: 113/86 e F3:152/76. Fazendo-se uma análise cinemática dessas discontinuidades é possível identificar os mecanismos de rupturas planares e em cunha. Tanto as rupturas planares quanto em cunha são formadas pela foliação mais uma das famílias de fraturas F2 e/ou F3. Dessa forma, a foliação é a discontinuidade persistente mais relevante pois está presente nos dois tipos possíveis de ruptura nessa região.



Figura 3.47: Foliação do Itabirito da Fm. Cauê com direção de caimento perpendicular ao corte da rua Padre Rolim.

Segundo Tavares (2018), os cálculos feitos nos afloramentos presentes na rua Padre Rolim sugerem que, considerando somente carregamento gravitacional, os blocos menores seriam estáveis, porém, com o avanço da ocupação desordenada, essas condições podem variar. O mesmo não acontece com os blocos maiores que, em condições saturadas, há movimentação de pequenos blocos, gerando desconfinamento e face livre para que outros blocos maiores se movimentem como mostrado na figura 3.49 do Ponto 3.5.



Figura 3.48: Exposição do itabirito da Fm. Cauê na rua Padre Rolim. É possível notar que o volume de blocos gerados no eixo do dobramento é menor que nos dois flancos da dobra.

Utilizando-se a tabela de Palmström (1995, *In*: Pinheiro, 2014), onde é feita uma correlação entre a distribuição volumétrica e o grau de fraturamento do maciço, permite enquadrar o afloramento do Ponto 3.5 na classificação de maciço com grau de fraturamento

moderado, pois as principais instabilizações envolvem os blocos pequenos gerando desconfinamento para blocos maiores (Pinheiro, 2014).



Figura 3.49: Exemplos de ocupação desordenada e riscos geológicos que a população está suscetível.

Em períodos de chuvas prolongada, como é o caso da região de Ouro Preto, os itabiritos apresentam alta permeabilidade o que facilita a infiltração e percolação de água através do maciço (Tavares, 2018). Entretanto, os filitos que possuem baixa permeabilidade, posicionados na lapa, têm tendência de redução da percolação. Assim, a água acumula e percorre no contato entre as unidades (figura 3.50). Além disso, favorece o aumento da poropressão e consequentemente a redução da coesão entre as partículas que formam as rochas e os solos, o que contribui para o início dos processos de movimentação de massa (Tavares, 2018). Com isso, essas características favorecem a instabilidade do maciço e, associado com o mergulho das rochas no mesmo sentido das encostas, ocorrem rastejos e deslizamentos nessa região.

Em maciços que apresentam alto grau de fraturamento ocorre um caminho preferencial para a percolação da água segundo as fraturas, acarretando a aceleração do processo de alteração e também o aumento das pressões neutras o que leva à diminuição da resistência do

maciço, agravando as condições de instabilidade com o decorrer do tempo de exposição e devido às novas condições de carregamento as quais o talude está sujeito com o avanço da ocupação.

Apesar da alta contribuição de algumas formações para a desestabilização local, alguns autores consideram a existência de algumas unidades mais estáveis. IGA (1994) apud Castro (2006), por exemplo, aponta os itabiritos revestidos por canga, da Formação Cauê, como unidades estáveis, porém os levantamentos estatísticos deste trabalho apontam que muitos movimentos acontecem justamente nos itabiritos, o que pode estar associado ao alto grau de intemperismo destas rochas ou por um contato com outras unidades litológicas, como por exemplo os filitos, gerando uma superfície de fraqueza em períodos de chuvas intensas, uma vez que o itabirito é muito permeável, porém o mesmo não ocorre no filito .

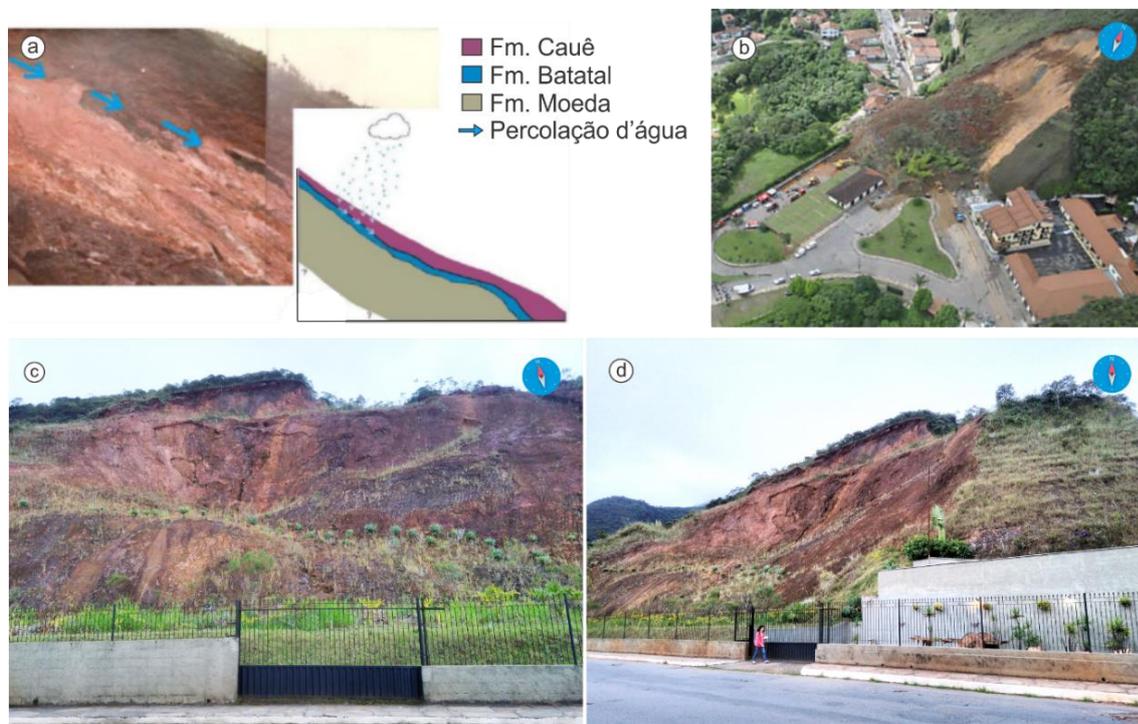


Figura 3.50: Deslizamento ocorrido em 2012 próximo a rodoviária de Ouro Preto. Retirada de Tavares (2018).

Um dos exemplos desse processo foi o deslizamento ocorrido próximo a rodoviária de Ouro Preto. O talude apresenta superfície de ruptura em forma planar (translacional), que acompanha as discontinuidades mecânicas e hidrológicas já existentes no material. O deslizamento de terra moveu cerca de 60 mil toneladas de material inconsolidado, além de atingir parte da rodoviária. A movimentação de massa também danificou uma casa, um hotel e um posto de gasolina, deixando duas vítimas fatais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou contribuir com os papéis didáticos das atividades de campo, no que se refere a ilustração, motivação das excursões, treinamento de campo e geração de discussões com base nas informações disponíveis, como sugere Carneiro & Campanha (1979). Como a região urbana de Ouro Preto e adjacências possuem grande potencial para excursões geológicas, este trabalho apresentou os afloramentos de relevância geológica admitida, reconhecendo seu patrimônio geológico através de uma caracterização de lugares de interesse geológicos.

O Roteiro 1 aborda o contexto geológico regional do flanco sul do Anticlinal de Mariana em seus aspectos estratigráficos e estruturais. Uma das características mais marcantes desta região é a presença de diferentes estruturas boudinadas em escala de afloramento e de imagens aéreas. Os *boudins* simétricos observados no Roteiro 1 são do tipo “*drawn boudins*” (Goscombe *et al.* 2004), além dos sub-tipos “*necked boudin blocks*” ou *boudins* “clássicos”, com formato bi-convexo e preenchimento por quartzo de veio da zona do *neck*, e os *tapering boudins*, com zona *inter-boudin* estrangulada e quase que desconectada, apresentando terminação dupla.

É possível correlacionar as estruturas boudinadas com os eventos de deformação, levando-se em consideração as estruturas lineares que se formam durante o evento. O eixo de estiramento teórico associado com a boudinagem L_e é normal aos eixos dos *boudins* L_b envelopados pela foliação, orientando-se de maneira regular no espaço, sendo ainda sub-paralelo a lineação de estiramento mineral L_p produzida durante um mesmo evento de deformação. Sob esta ótica, o padrão de boudinagem da região abrangida pelo Roteiro 1 aparente ser, pelo menos em parte, oriundo da deformação de *boudins* previamente formados.

O levantamento estratigráfico da Formação Cercadinho agrega dados de mesma natureza aos estudos de Dutra (2018) e Dutra *et al.* (2019), realizado na Formação Cercadinho nos arredores da antiga Fábrica de Tecidos de Ouro Preto, ao longo da ferrovia Ouro Preto – Mariana. Apresentada no Roteiro 1, a estratigrafia é composta por uma associação rítmica entre metarenitos maciços ou pobremente estratificados, com metarenitos finos, metapelitos ferruginosos e metasiltitos, separados em quatro associações de litofácies, designadas de FA, FB, FC e FD. O conjunto é cortado por uma rocha intrusiva (meta)máfica concordante com os estratos.

O roteiro 2 apresenta a complexidade do sistema hidrotermal presente na Serra de Ouro Preto, mais precisamente no flanco sul do Anticlinal de Mariana, quanto ao modo de ocorrência das mineralizações auríferas (tipologia e controles geológicos dos depósitos) e subordinadamente os métodos de extração, armazenamento e beneficiamento. O Morro da Queimada, juntamente com Lages

e Veloso, próximas ao centro de Ouro Preto, compõem as melhores exposições deste roteiro. As mineralizações a longo da serra são catalogadas como de diferentes idades. A primeira é do final do Arqueano/início do Paleoproterozóico (2606 ± 47 Ma, Machado et.al. 1996), atribuída ao fechamento da bacia Rio das Velhas e restrito a veios de quartzo-sulfeto presentes nessa mesma unidade, compondo os depósitos da antiga Mina da Passagem. A segunda é significativamente mais nova ($496,3 \pm 2,0$ Ma, Cabral et al. 2013), e abrange ambos os tipos, quartzo-sulfeto e os turmalínicos tipo carvoeira, presentes na serra de Ouro Preto. Os turmalinitos possuem associação direta com os veios de quartzo em diferentes litologias e sua formação resulta da interação de fluidos hidrotermais com as rochas hospedeiras.

São observadas quatro formas distintas de ocorrência dos turmalinitos nos contatos:

(i) entre o Grupo Nova Lima e a Formação Moeda, o contato superior é fortemente tectonizado com o quartzito da Fm. Moeda, contendo veios de quartzo intensamente deformados (boudinagem, dobras e fraturas) e foliação com aspecto milonítico. Os veios são de quartzo-turmalina com caulim próximo às porções turmalinizadas.

(ii) entre as Formações Moeda e Batatal e (iii) sob a forma de corpos secantes às formações Moeda e Batatal: a turmalina ocorre associada, principalmente, às bordas dos veios e a arsenopirita forma buchos em meio à massa de quartzo. O caimento (*plunge*) destes veios é paralelo à lineação de crenulação, que por sua vez mergulha na mesma direção da foliação principal S_0 . Estes veios podem ter-se originado devido ao fraturamento hidráulico relacionado ao afundamento da bacia que pode estar relacionado a uma tectônica extensional.

(iv) entre as Formações Batatal e Cauê, comumente em regiões onde o terreno apresenta-se mais alterado ou friável, para facilitação do desmonte. Nessa região podem ocorrer corpos de minério do tipo turmalinito estratiforme, de aproximadamente 2,0 metros de espessura (Cavalcanti, 2003) e/ou veios de quartzo sulfetado, ambos situado na base da formação ferrífera. As suas porções mais deformadas estão fortemente foliadas, crenuladas e dobradas. Nos níveis mais profundos é comum a ocorrência de veios de quartzo-turmalina-arsenopirita encaixados, principalmente nos xistos e filitos carbonáceos da Formação Batatal, onde também é comum a presença de halos de turmalinização.

O Roteiro 3 caracterizou o comportamento geotécnico diferencial segundo cada reologia presente ao longo da Serra de Ouro Preto e como as antigas atividades provocaram maior susceptibilidade a riscos geotécnicos na região. Separadamente o quartzito da Fm. Moeda apresenta-se ao longo do roteiro pouco suscetível a erodibilidade, sendo a rocha com maior competência caracterizada nesta trilha. Ao contrário disso, o filito da Fm. Batatal e o itabirito da Fm. Cauê são classificados, no percurso deste roteiro, como na faixa das rochas brandas, suscetíveis ao intemperismo

e com um número alto de fraturas, podendo ocasionar múltiplos movimentos de massa, enquanto o quartzito evidencia risco de tombamentos e deslizamentos planares.

Na região ocorreu extração intensa de ouro no período colonial, como mostram as ruínas de antigas minas de ouro encontradas na região que fragilizam consideravelmente o terreno, aumentando o risco de abatimentos e a chance de escorregamentos. Alinhado a isso, a ocupação urbana na região ocorreu em áreas já propensas a ocorrência de acidentes geotécnicos, seja pelas cicatrizes deixadas pelas antigas minerações no local ou pela litologia presente ao longo da Serra de Ouro Preto (Formação Moeda, Batatal e Cauê) que possuem um número alto de registros de movimentos de massa.

Os itabiritos apresentam alta permeabilidade se comparado aos filitos sobrepostos, que possuem baixa permeabilidade. Assim, a água acumula e percorre no contato entre as unidades, favorecendo o aumento da poropressão e consequentemente a redução da coesão entre as partículas que formam as rochas e os solos, o que contribuindo para instabilidade do maciço. Logo, a susceptibilidade natural somada a fatores antrópicos de ocupação desordenada dessas áreas pode ter sido responsável por modificar as encostas locais, contribuindo para que essas regiões sejam as de maior risco à população.

O estudo feito na região urbana de Ouro Preto e Passagem de Mariana possibilitou a elaboração de 3 roteiros temáticos e 1 empilhamento estratigráfico para apoiar as excursões geológicas didáticas. O grande potencial da região da região para receber tais excursões permitiu definir as seguintes conclusões:

- Ao todo foram inventariados 22 pontos divididos em 3 roteiros geológicos e 1 empilhamento estratigráfico, com o propósito de caracterizar lugares de interesse geológicos ainda pouco divulgados,
- Cada roteiro temático seguiu um caminhamento específico de forma a torna-lo operacionalmente viável para um dia de campo a pé, evitando o problema de deslocamentos constantes em diferentes pontos com veículos. Alguns pontos são de responsabilidade da cidade e outros de propriedade privada, logo poderão ser alterados caso não se preserve. Também, alguns pontos apresentam alta susceptibilidade a risco geotécnico, tendo potencial de modificar pontos caracterizados neste trabalho.
- A ficha de inventariação dos pontos seguiu como base o trabalho de Ostanello (2012), na qual a autora caracteriza lugares de interesses geológicos compondo também trilhas no Parque Estadual do Pico do Itacolomi. Assim este trabalho poderá agregar a potencialidade de roteiros geológicos na região de Ouro Preto e Mariana. A ficha também pode ser incrementada para adaptação de cada roteiro temático, de acordo com a abordagem.
- O inventario dos pontos revelou que com pouco deslocamento dentro da malha urbana é possível realizar um apanhando de informações para uma excursão temática completa,

ou seja, a cidade oferece notadamente um laboratório natural com exposições rochosas e antrópicas (extrativismo colonial do ouro) divulgando e valorizando o patrimônio geológico da região. Assim, a malha urbana de Ouro Preto abrange numerosos locais a serem descritos e que podem compor, possivelmente, outros roteiros geológicos. Dessa forma, este guia não constitui um produto final, permanecendo aberto para torná-lo mais completo com maiores pesquisas na região.

Este guia oferece de maneira objetiva a caracterização e apresentação de alguns poucos locais de muitos ainda que podem compor roteiros geológicos. Servindo como material de orientação para excursões temáticas no município de Ouro Preto composto por rochas de baixo grau metamórfico, alto grau estrutural e alterações superficiais, na região do Quadrilátero Ferrífero.

Como produto desta monografia, destaca-se a proposta alcançada de confeccionar um guia direcionado exclusivamente para as excursões de campo das faculdades de geologia na região urbana de Ouro Preto. A construção destas trilhas teve como visão a promoção da interação dos ensinamentos do curso de Geologia e Engenharia Geológica com a prática em campo, com roteiros que contextualizam evolução paleoambiental e sedimentar, geologia estrutural e geologia econômica regional do QF. Além disso, a divulgação deste trabalho é uma forma de valorizar e preservar os sítios geológicos da região de Ouro Preto, contribuindo com a disseminação do conhecimento por meio de uma abordagem científica sobre as temáticas apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKMIM, Fernando F.; MARSHAK, Stephen. Transamazonian orogeny in the Southern Sao Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, v. 90, n. 1-2, p. 29-58, 1998.

ALKMIM, FF de. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, p. 17-34, 2004.

ALKMIM, Fernando F.; MARTINS-NETO, Marcelo A. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, v. 33, n. 1, p. 127-139, 2012.

ALKMIM, F. F.; NOCE, C. M. The Paleoproterozoic Record of the São Francisco Craton. In: IGCP 509 Field workshop, Bahia and Minas Gerais, Brazil. *Field Guide & Abstracts*. 2006. p. 114.

ALKMIM, Fernando F.; TEIXEIRA, Wilson. The paleoproterozoic mineiro belt and the quadrilátero ferrífero. In: *São Francisco Craton, Eastern Brazil*. Springer, Cham, 2017. p. 71-94.

ALMEIDA, L. G. Evolução tectônica da porção central do sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero-Minas Gerais. Dep. de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de mestrado, 110p, 2004.

ALMEIDA, Luciene Gonçalves et al. Grupo Sabará no sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero: uma revisão estratigráfica. 2005. *Geociencia*. 35(2):177-186.

BABINSKI, M.; CHEMALE JR, F.; VAN SCHMUS, W. R. Geocronologia Pb/Pb em rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *SBGq, Congr. Bras. Geoquímica*, v. 3, p. 628-631, 1991.

BALTAZAR, O. F.; ZUCCHETTI, Márcia. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. *Ore Geology Reviews*, v. 32, n. 3-4, p. 471-499, 2007.

BARBOSA, A. L. M. (1969b). Mapa Geológico da Quadrícula de Mariana e Rio das Bandeiras, Minas Gerais. USGS/DNPM. Professional Paper 641-A10. 1:25.000.

BEKKER, A. et al. Chemostratigraphy of carbonates from the Minas Supergroup, Quadrilátero Ferrífero (Iron Quadrangle), Brazil: A stratigraphic record of early proterozoic atmospheric, biogeochemical and climatic change. *American Journal of Science*, v. 303, n. 10, p. 865-904, 2003.

BOIRON, Marie-Christine et al. Detailed determination of palaeofluid chemistry: an integrated study of sulphate-volatile rich brines and aquo-carbonic fluids in quartz veins from Ouro Fino (Brazil). *Chemical Geology*, v. 154, n. 1-4, p. 179-192, 1999.

BONUCCELLI, T.; ZUQUETTE, L. V. Movimentos gravitacionais de massa e erosões na cidade histórica de Ouro Preto, Brasil. *Revista Portuguesa de Geotecnia*, v. 85, p. 59-80, 1999.

BOUMA, Arnold H. Key controls on the characteristics of turbidite systems. *Geological Society, London, Special Publications*, v. 222, n. 1, p. 9-22, 2004.

BRILHA, J. B. Património geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. *Palimage*, 2005.

CABRAL, Alexandre Raphael et al. Mineralização de ouro paladiado em itabiritos: a jacutinga de Gongo Soco, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 1996.

CABRAL, Alexandre Raphael et al. Regional sulfate–hematite–sulfide zoning in the auriferous Mariana anticline, Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil. *Mineralium Deposita*, v. 48, n. 7, p. 805-816, 2013.

CABRAL, Alexandre Raphael et al. Platiniferous gold–tourmaline aggregates in the gold–palladium belt of Minas Gerais, Brazil: implications for regional boron metasomatism. *Mineralogy and Petrology*, v. 111, n. 6, p. 807-819, 2017.

CARNEIRO, Maurício Antonio. O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, MG): Litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1992.

CASSINO, L. F. Distribuição de idades U-Pb de zircões detríticos dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas na Serra de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, MG–Implicações para a evolução sedimentar e tectônica. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto. Unpubl. Graduation Thesis, 52p, 2014.

CASTRO, E. C.; FERREIRA, J. E.; CASTRO, P. T. A. Formação Cata Preta: uma nova unidade litoestratigráfica, definida em rochas cenozóicas, no extremo leste do Quadrilátero Ferrífero. CONG. BRAS. GEOL, v. 40, p. 81, 1988.

CASTRO, E. C.; FERREIRA, J. E.; CASTRO, P. T. A... Unidades litoestratigráficas Cenozóicas que ocorrem na borda leste do Quadrilátero Ferrífero, MG. Congresso Brasileiro de Geologia, 40, EXPOGEO - "Geologia e Desenvolvimento" - Belo Horizonte, Anais, p.: 92. 1998b

CASTRO, E. C. C.; FERREIRA, J. E. Aspectos estratigráficos, sedimentares e estruturais dos sedimentos cenozóicos da borda leste do Quadrilátero Ferrífero entre Santa Rita Durão e Fonseca, Minas Gerais. Trabalho de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 1997.

CASTRO, Paulo de Tarso Amorim; DE AZEVEDO RUCHKYS, Úrsula. Iniciativas sobre patrimônio geológico e temas correlatos no Quadrilátero Ferrífero, MG/Initiatives on geological heritage and related topics in Quadrilátero Ferrífero, MG. Caderno de Geografia, v. 27, n. 2, p. 314-331, 2017.

CASTRO, Paulo de Tarso Amorim; AZEVEDO, Úrsula Ruchkys de; PAULA, Suzana Fernandes de. O patrimônio geológico e o potencial educativo do Geopark Quadrilátero Ferrífero para o ensino de ciências e geografia. 2017.

CAVALCANTI, Jose Adilson Dias et al. Origem dos turmalinitos auríferos da região sudeste do Quadrilátero Ferrífero-MG: evidências de campo, petrografia, química mineral e dados isotópicos de Nd e Sr. UNICAMP. 2003.

CAVALCANTI, José Adilson Dias; SHRANK, A. Controles litoestratigráficos dos turmalinitos auríferos na região de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero-MG. Revista da Escola de Minas, v. 52, n. 2, p. 100-108, 1999.

CHEMALE JR, FARID; ROSIÉRE, CARLOS ALBERTO; ENDO, ISSAMU. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais-Um modelo. Pesquisas em Geociências, v. 18, n. 2, p. 104-127, 1991.

COMPIANI, Mauricio. A relevância das atividades de campo no ensino de geologia na formação de professores de ciências. Cadernos do IG/Unicamp, v. 1, n. 2, p. 2-25, 1991.

COMPIANI, Mauricio; CARNEIRO, Celso Dal Ré. Os papéis didáticos das excursões geológicas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, v. 1, n. 2, p. 90-97, 1993.

ROSEN, O. M. et al. Archean and Early Proterozoic evolution of the Siberian craton: a preliminary assessment. In: *Developments in Precambrian geology*. Elsevier, 1994. p. 411-459.

COSTA, Emanuel Melo Franco Neves. 35 anos da primeira carta geotécnica de Ouro Preto: uma análise do seu legado. Monografia. Escola de Minas – UFOP. 2018.

DAVIS, George H.; REYNOLDS, Stephen J.; KLUTH, Charles F. *Structural geology of rocks and regions*. John Wiley & Sons, 2011.

DERBY, Orville A. The Serra do Espinhaço, Brazil. *The Journal of Geology*, v. 14, n. 5, p. 374-401, 1906.

DOPICO, Carmen I. Martínez et al. U–Pb ages and Hf-isotope data of detrital zircons from the late Neoproterozoic–Paleoproterozoic Minas Basin, SE Brazil. *Precambrian Research*, v. 291, p. 143-161, 2017.

DORR, John Van Nostrand. *Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. US Government Printing Office, 1969.

DORR, John Van Nostrand. *Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero*. 1957.

DUTRA, Luiz Fernandes. *Caracterização geocronológica U-Th-Pb de zircões detríticos na porção nordeste do sinclinal Gandarela—implicações para evolução sedimentar e geotectônica do Quadrilátero Ferrífero*. 2017.

DUTRA, Luiz Fernandes et al. Detrital zircon records of the Paleo-Mesoproterozoic rift-sag Tamanduá Group in its type-section, Northern Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, v. 50, n. 1, 2020.

DUTRA, Luiz Fernandes; MARTINS, Maximiliano; LANA, Cristiano. Sedimentary and U-Pb detrital zircons provenance of the Paleoproterozoic Piracicaba and Sabará groups, Quadrilátero Ferrífero, Southern São Francisco craton, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, v. 49, n. 2, 2019.

ENDO, I.; MACHADO, R. Regimes tectônicos no segmento meridional do Cráton do São Francisco: Região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Simpósio de Geologia de Minas Gerais, v. 9, 1997.

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

ENDO, I.; CARNEIRO, M. A. O regime tectônico Neoarqueano no Quadrilátero Ferrífero: um modelo transpressional. Congr. Bras. de Geologia, v. 39, p. 414-416, 1996.

ENDO, Issamu; ROSIÈRE, Carlos Alberto; CHEMALE JÚNIOR, Farid. Roteiro da excursão geológica no Quadrilátero Ferrífero e regiões adjacentes. 1992.

FARINA, Federico; ALBERT, Capucine; LANA, Cristiano. The Neoproterozoic transition between medium- and high-K granitoids: Clues from the Southern São Francisco Craton (Brazil). Precambrian Research, v. 266, p. 375-394, 2015.

FARINA, Federico et al. The Archean–Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brazil): Current models and open questions. Journal of South American Earth Sciences, v. 68, p. 4-21, 2016.

FERREIRA, Eduardo Evangelista. Patrimônio mineiro na Serra do Veloso em Ouro Preto-MG: registro, análise e proposição de circuitos geoturísticos interpretativos. Mestrado. Departamento de Geologia, Escola de Minas – UFOP. 2017.

FONTES, Michel Moreira Morandini. Contribuição para o desenvolvimento da metodologia de análise, gestão e controle de riscos geotécnicos para a área urbana da cidade de Ouro Preto. 2011.

GAIR J.E. The Sabará Formation. Symposium on Stratigraphy of Minas Series in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. São Paulo, 7 (2): 68-69. 1958.

GAIR, Jacob Eugene. Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil. 1962.

GALBIATTI, Henry F. et al. "Ouro preto" found at Timbopeba iron-ore deposit, Minas Gerais, Brazil. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen, v. 253, n. 1, p. 15-23, 2009.

- GOSCOMBE, Ben D.; PASSCHIER, Cees W.; HAND, Martin. Boudinage classification: end-member boudin types and modified boudin structures. *Journal of structural Geology*, v. 26, n. 4, p. 739-763, 2004.
- GROVES, David I. et al. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore geology reviews*, v. 13, n. 1-5, p. 7-27, 1998.
- HARDER, E. C.; CHAMBERLIN, R. T. The geology of central Minas Geraes, Brazil. *The Journal of Geology*, v. 23, n. 5, p. 385-424, 1915.
- HARMSWORTH, R. A. et al. BIF-derived iron ores of the Hamersley Province. *Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea*, v. 1, p. 617-642, 1990.
- HASUI, Yociteru et al. (Ed.). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca, 2012.
- HERZ, Norman. Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS/DNPM. Professional Paper 641-B. 57p. 1970.
- HORTA, Dorval Coelho. Identificação e análise de perigo de abatimento das edificações sobre cavidades oriundas da exploração minerária no distrito sede do município de Ouro Preto—Minas Gerais. Monografia (Graduação em Engenharia Geológica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 97 f. 2019.
- ISRM: International Society for Rock Mechanics. Characterization of Swelling Rock. Disponível em <https://www.isrm.net/gca/?id=1020>. 1983. Acessado em 20 de Março 2020.
- JOHNSTON, I. W. Soft rock engineering. *Comprehensive rock engineering*, v. 1, p. 367-393, 1993.
- KARHU, Juha A.; HOLLAND, Heinrich D. Carbon isotopes and the rise of atmospheric oxygen. *Geology*, v. 24, n. 10, p. 867-870, 1996.
- KASTING, James F. What caused the rise of atmospheric O₂?. *Chemical Geology*, v. 362, p. 13-25, 2013.
- KASTING, James F.; ONO, Shuhei. Palaeoclimates: the first two billion years. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 361, n. 1470, p. 917-929, 2006.

KATTAH, Júlio César. Arcabouço tectono-estratigráfico da região periclinal da Anticlinal de Mariana-Quadrilátero Ferrífero, MG. (Graduação em Engenharia Geológica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 122 f. 2018.

LACOURT, F. Resumo da geologia da Folha de Ouro Preto. Anais da Escola de Minas de Ouro Preto. N°28, p.103-139. 1935.

LACOURT, F. Anticlinal de São Bartolomeu – Passagem. Revista Mineração e Metalurgia, n.15, pp.147-151. 1938.

LANA, Cristiano et al. The ancestry and magmatic evolution of Archaean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. Precambrian Research, v. 231, p. 157-173, 2013.

LOHEST, Max. De l'origine des veines et des géodes des terrains primaires de Belgique. Ann. Soc. Geol. Belgique., v. 36, p. B275-282, 1909.

MACHADO, N. et al. U-Pb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco craton, Brazil. Geological Society of America Bulletin, v. 104, n. 9, p. 1221-1227, 1992.

MADEIRA, Mariana de Resende. Evolução sedimentar e história deformacional da Formação Moeda ao longo da junção entre o Sinclinal da Moeda e o Homoclinal da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, MG. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2018.

MADEIRA, Mariana R. et al. Caracterização faciológica e evolução sedimentar da Formação Moeda (Supergrupo Minas) na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Geologia USP. Série Científica, v. 19, n. 3, p. 129-148. 2019.

MARSHAK, Stephen; ALKMIM, Fernando F. Proterozoic contraction/extension tectonics of the southern São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. Tectonics, v. 8, n. 3, p. 555-571. 1989.

MATSUMURA, Willian Mikio Kurita et al. ROTEIRO GEOLÓGICO NOS MUNICÍPIOS DE CASTRO E TIBAGI, PR–BRASIL. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) Programa de Pós-Graduação em Geografia, UEPG). 2010.

MAXWELL, C. H.; SIMMONS, G. C. The batatal formation. Soc. Bras. Geol. Bol, v. 7, n. 2, p. 60-61, 1958.

MENDES, Mônica de Cássia Oliveira et al. Datação U-Pb in situ por LA-ICPMS em zircões detríticos da Formação Cercadinho, Supergrupo Minas. *Geologia USP. Série Científica*, v. 14, n. 1, p. 55-68, 2014.

MUTTI, Emiliano et al. (Ed.). *An Introduction to the Analysis of Ancient Turbidite Basins from an Outcrop Perspective: AAPG Continuing Education Course Note, No. 39*. AAPG, 1999.

NALINI JÚNIOR, Hermínio Arias; ROSIÈRE, Carlos Alberto; ENDO, Issamu. Sobre a geologia estrutural do anticlinal de Mariana, região sudeste do Quadrilátero Ferrífero Minas Gerais: uma revisão. *Revista da Escola de Minas, Ouro Preto*, 45(1 e 2): 15-17. 1992

NASCIMENTO, Stênio Toledo; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim; AZEVEDO, Úrsula Ruchkys de. *Geodiversidade dos compartimentos geomorfológicos do anticlinal de Mariana, Minas Gerais*. 2018.

NETO, Virginio Mantesso et al. Patrimônio geológico no estado de São Paulo. *Boletim paranaense de geociências*, v. 70, 2013.

NICHOLS, Gary. *Sedimentology and stratigraphy*. John Wiley & Sons, 2009.

NOCE, Carlos Mauricio. *Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. 1995. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NUNES, Filipe Silva. *Contribuição à estratigrafia e geocronologia U-Pb de zircões detríticos da Formação Moeda (Grupo Caraça, Supergrupo Minas) na Serra do Caraça, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. 2016.

O'ROURKE, J. E. *The stratigraphy of metamorphic rocks of the Rio de Pedras and Gandarela quadrangles. Minas Gerais, Brazil (PhD thesis), University of Wisconsin, Wisconsin (106 pp.)*, 1957.

OLIVEIRA, Leandro Duque de. *Ocupação urbana de Ouro Preto de 1950 a 2004 e atuais tendências*. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2010.

OSTANELLO, Mariana Cristina Pereira. *Patrimônio geológico do Parque Estadual do Itacolomi (Quadrilátero Ferrífero, MG): inventariação e análise de lugares de interesse geológicos e trilhas geoturísticas*. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 204 f. 2012.

PECHORKIN, I. A. Engineering geological aspects of study of karst deposits. In: International association of engineering geology. International congress. 5p. 637-641. 1986

PINHEIRO, Antônio Luiz. Influência das descontinuidades no comportamento geomecânico e nos modos de ruptura em taludes escavados em rochas brandas. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 192 f. 2014.

PINHO, António Bastos; CARVALHO, José Alcino Rodrigues; UNIVERSIDADE DE ÉVORA. Caracterização geotécnica de maciços rochosos de baixa resistência: o flysch do baixo alentejo. 2003.

PIRES, Paulo Fernando Ravacci et al. Genese dos depositos auriferos em metaconglomerados da formação moeda, Quadrilátero Ferrífero, MG: o papel do metamorfismo e associação com a matéria carbonosa. 2005.

POMERENE, J. B. Cercadinho Formation, Taboões Quartzite, Barreiro Formation. In: SBG, Symposium on the Stratigraphy of the Minas Séries in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil, Boletim. p. 64-65. 1958.

QUEIROZ, Yanne da Silva et al. Pseudosection modeling and U-Pb geochronology on Piranga schists: role of Brasiliano Orogeny in the Southeastern Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Brazilian Journal of Geology, v. 49, n. 3, 2019.

RAMSAY, A. C. The geology of North Wales [2nd edn]. Mem. Geol. Surv. GB, v. 3, 1881.

DOS REIS, Sérgio F. et al. Geographic variation in cranial morphology in *Thrichomys apereoides* (Rodentia: Echimyidae). II. Geographic units, morphological discontinuities, and sampling gaps. Journal of Mammalogy, v. 83, n. 2, p. 345-353, 2002.

RENGER, Friedrich E. et al. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Geonomos, 1994.

RENGER, Friedrich E.; KNAUER, Luiz Guilherme. Espinhaço-quo vadis?(onde está?-aonde vai?) a evolução dos conhecimentos sobre a Cordilheira do Espinhaço meridional em Minas Gerais entre 1979 e 1995. Geonomos, 1995.

ROCHA, D.; BRILHA, J.; SÁ, A. A. A. Inventariação e a avaliação do património geológico na fundamentação científica do Geoparque Arouca (norte de Portugal). Memórias e Notícias— Publicação do Departamento Ciências Terra e do Museu Mineralogia e Geologia da Universidade de Coimbra, v. 3, 2008.

ROLFF, P.A.M.A. Notas sobre a geologia estrutural do município de Ouro Preto. Revista de Escola de Minas. Ano XIV. N°4. 1949.

ROMANO, Rafael et al. Stabilization of the southern portion of the São Francisco craton, SE Brazil, through a long-lived period of potassic magmatism. Precambrian Research, v. 224, p. 143-159, 2013.

ROSIÈRE, Carlos A.; CHEMALE JR, Farid. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero—uma visão geral e discussão. Geonomos, 2000.

ROSIÈRE, Carlos Alberto; RIOS, Francisco Javier. The origin of hematite in high-grade iron ores based on infrared microscopy and fluid inclusion studies: the example of the Conceição mine, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Economic Geology, v. 99, n. 3, p. 611-624, 2004.

ROSIÈRE, Carlos Alberto et al. The iron formations of the South American platform. In: Geology of southwest Gondwana. Springer, Cham, p. 493-526. 2018.

ROSIÈRE, Carlos A. et al. Microstructures, textures and deformation mechanisms in hematite. Journal of Structural Geology, v. 23, n. 9, p. 1429-1440, 2001.

ROSSI, Daniel Quinaud. Estratigrafia e arcabouço estrutural da região de Fábrica Nova, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustale Recursos Naturais, DEGEO, UFOP. Ouro Preto. 2014.

RUCHKYS, Úrsula Azevedo; MACHADO, Maria Márcia Magela. Patrimônio geológico e mineiro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais—Caracterização e iniciativas de uso para educação e geoturismo. Boletim Paranaense de Geociências, v. 70, 2013.

SANTOS, Gisele Barbosa; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim. Proposta de roteiro de campo para o ensino de Geociências—Trajeto entre os municípios de Ouro Preto e Mariana/MG—O patrimônio geológico local como ferramenta didática empreendedora. Geonomos, 2013.

SCHOBENHAUS, Carlos et al. Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. Brasília: DNPM, CPRM, SIGEP, 2002.

SILVA, Adalene Moreira et al. Mafic dyke swarms of quadrilatero Ferrífero and southern Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. Brazilian Journal of Geology, v. 25, n. 2, p. 124-137, 1995.

SIMMONS, George Clarke. Geology and iron deposits of the western Serra do Curral, Minas Gerais, Brazil. USGS Prof. Paper, 341- G, 57 p. 1968.

SOBREIRA, Frederico. Mineração do ouro no período colonial: alterações paisagísticas antrópicas na serra de Ouro Preto, Minas Gerais. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 5, n. 1, 2014.

SOBREIRA, Frederico Garcia; FONSECA, Marco Antônio. Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto, Brasil. *Revista Geotecnia* n° 92, p.5 27. 2001.

SOUZA, Aline Rocha; DA COSTA MACHADO, Deusana Maria; DE OLIVEIRA PONCIANO, Luiza Corral Marins. Geoconservação: a preservação e valorização do patrimônio geológico. *Paleontologia: Cenários de Vida*. Editora Interciência, v. 2, p. 79-88. 2007.

SOUZA, Y. A. F., Mapa geológico de detalhe (escala 1:5000) da região de Ouro Preto. Monografia do Trabalho Final de Graduação n°85, 28p. DEGEO, UFOP, Ouro Preto. 2014.

TARDY, Yves et al. *Petrology of laterites and tropical soils*. Balkema, Rotterdam. 408 pp. 1997.

TAVARES, Vera Lúcia Silva. Proposta de metodologia para índice de risco (ir) no distrito sede do município de Ouro Preto/MG: uma contribuição para a hierarquização das áreas de risco e as tomadas de decisões. NUGEO, UFOP. Ouro Preto. 2018.

TEIXEIRA, Wilson et al. Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archaean evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research*, v. 78, n. 1-3, p. 151-164, 1996.

TEIXEIRA, W. et al. Archean and Paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco craton, Brazil. In: *Tectonic Evolution of South America*. SBG Rio de Janeiro, Brazil, p. 101-137. 2000

UHLEIN, A.; NOCE, C. A. Quadrilátero Ferrífero. HASuY, Y.; CAR-NEIRO, CD; AIMEIDA, FFM de, p. 228-236, 2012.

VARNES, David J. Slope movement types and processes. *Special report*, v. 176, p. 11-33, 1978.

VILLAÇA, J. N. Alguns aspectos sedimentares da Formação Moeda. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia de Minas Gerais*, v. 2, p. 93-137, 1981.

WALLACE, R. M. The Moeda Formation. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 59-60, 1958.

ZENÓBIO, Ângelo Almeida. Avaliação geológica-geotécnica de encostas naturais rochosas por meio de classificações geomecânicas: área urbana de Ouro Preto (MG) Escala 1: 5.000. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2000.

ZUCCHETTI, Marcia; LOBATO, Lydia M.; BALTAZAR, Orivaldo F. Volcanic and volcanoclastic features in archean rocks and their tectonic environments, Rio Das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Mg-Brazil. Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 3, p. 388-392, 2017.

Anexos



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



Percursos: Geologia estrutural do flanco sul do Anticlinal de Mariana e boudinagens associadas

Identificação: 1.1 **Coordenadas:** 23k x:0662180 y:7745579 **Altitude:** 1233m

Nomeação: Fechamento do Anticlinal de Mariana

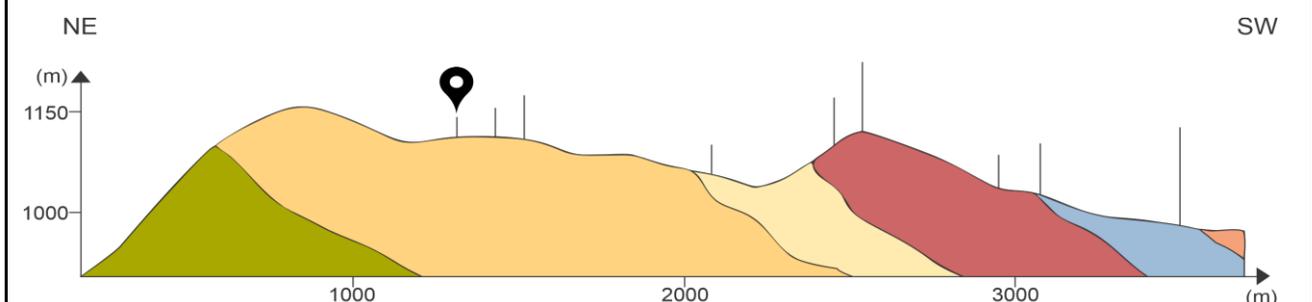
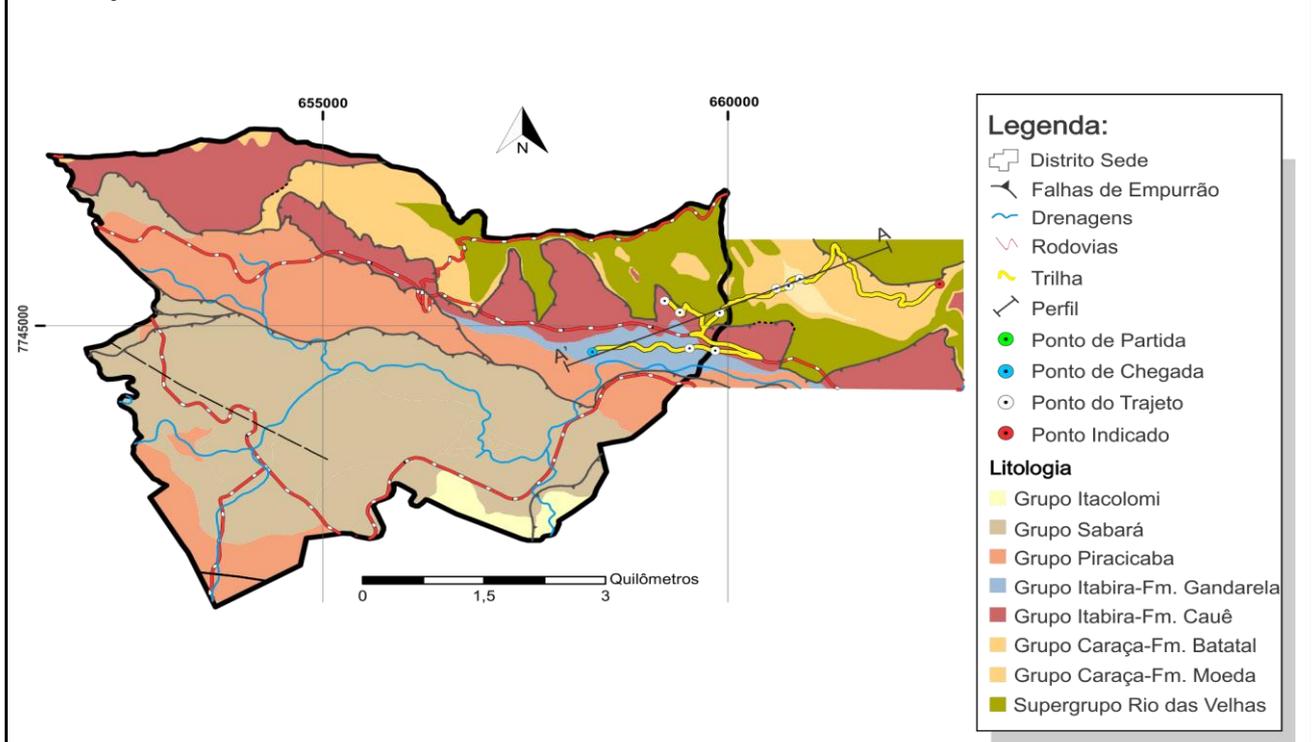
Acesso: Saindo do Centro Histórico de Ouro Preto, siga pela Rua Barão de Camargos. Siga no mesmo sentido agora na Rua Conselheiro Quintiliano e a Rua Mariana. Após 3,4km, vire na Rua Presidente Joao Goulart. Ao atravessar a Capela Bom Jesus das Flores, vire a esquerda e siga reto pela estrada sem pavimentação por 1,5km e vire a direita seguindo o percurso de 2,0km até o afloramento de quartzito, onde está localizado o primeiro ponto do perfil transversal a serra.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Estrutural, Petrológico e Econômico

Tipologia: Área

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~2.5 G.a.
Minas	Caraça	Moeda	Quartzito	

Descrição:

Quartzito pertencente a Formação Moeda do Grupo Caraça (Supergrupo Minas). A rocha apresenta coloração variada, de esbranquiçada a acinzentada, composta por quartzo, óxidos e sericita, possuindo ainda textura granoblástica e granulação fina a média. O acamamento é marcado por um bandamento composicional, em que bandas de no máximo 5 centímetros de material escuro, possivelmente óxidos, se intercalam na matriz quartzo-sericítica. Acamamento (S0) encontra se paralelamente disposto a uma foliação penetrativa, de caráter milonítica. Chama a atenção o aspecto boudinado da foliação milonítica, acompanhada também por veios de quartzo com a mesma estruturação. Sn (foliação milonítica): 110/22, 140/21. Le (lineação de estiramento mineral dada pela sericita): 160/06. Steps de falha: sentido de movimentação de SSE para NNW.

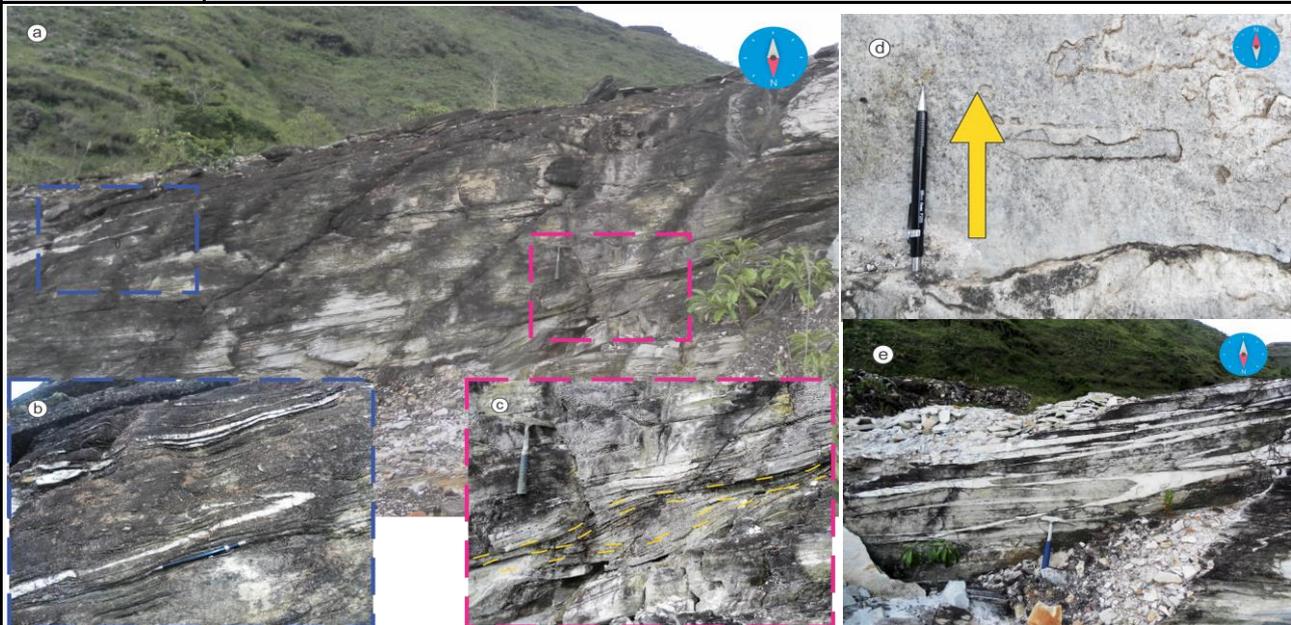
Aspectos relevantes:

O ponto descrito encontra se na zona de charneira da anticlinal de Mariana, uma dobra regional cujo traço axial se dá ao longo da direção WNW-ESE, com caimento suave do eixo para ESE. A Fm. Moeda neste local possui formato de “bumerangue” assimétrico, com concavidade voltada para WNW e adelgaçamento de seu braço oriental para norte; o braço ocidental é contínuo e segue aproximadamente a direção EW.

Observação:

Esta é uma zona de fechamento da grande estrutura de fechamento da anticlinal de Mariana, logo no campo da geologia econômica, é uma zona propícia para escape de fluidos e precipitação de metais. Dessa forma, nesse local ainda encontra se trabalhadores retirando o material para ‘lavagem’ e separação de Ouro.

Ilustrações:



a) local de extração de quartzitos para lavagem e de ouro em filões de quartzo; b) veios de quartzo fino, dobrado com orientação de Sn+1; c) boudin de foliação, expondo o sentido de cisalhamento; d) steps de falha com vergencia de sul para norte; e) abundância de veios de quartzo dobrado no mesmo sentido WNW-ESE.



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



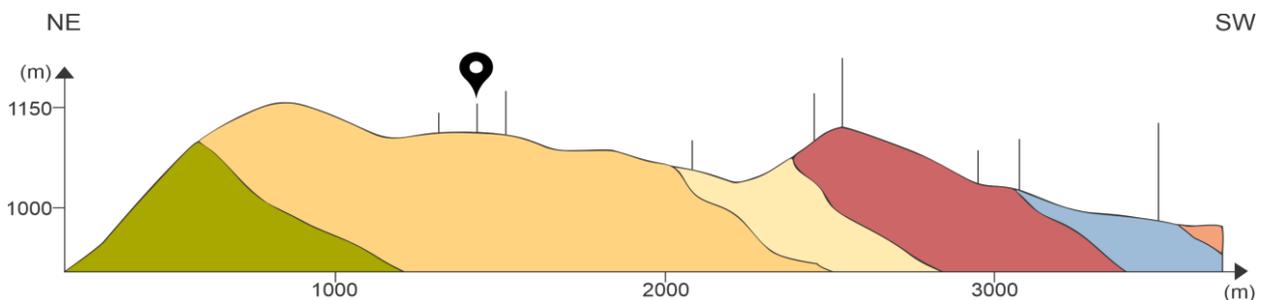
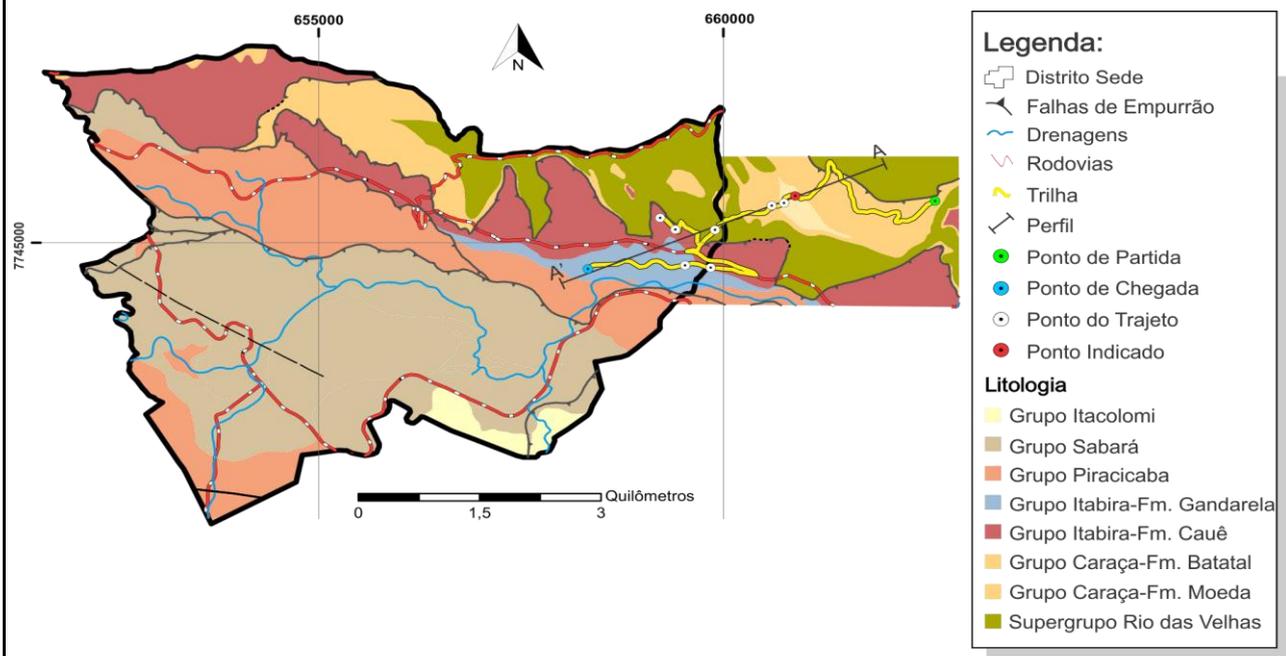
Percursos: Geologia estrutural do flanco sul do Anticlinal de Mariana e boudinagens associadas
Identificação: 1.2 **Coordenadas:** 23k x:0660541 y:7745645 **Altitude:** 1090m
Nomeação: Exemplo de Boudinagem de Foliação Simétrica
Acesso: A partir do ponto 1.1, siga na direção oeste (caminho de volta) por 900 metros e vire a esquerda e siga por 1,0 km até o afloramento a direita da estrada de terra.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Estrutural e Petrológico

Tipologia: Local isolado

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~2.5 G.a
Minas	Caraça	Moeda	Quartzito	

Descrição:

O quartzito da Fm. Moeda apresenta-se maciço e homogêneo, logo usado para ornamentação. As estruturas rúpteis são evidentes como o *steps* de falha. O intemperismo atua na forma de oxidação, gerando uma alteração na cor (ocre a avermelhada). Quartzito de granulação média a grossa com *boudin* de foliação do tipo “drawn boudins” evidenciando alto esforço tensional.

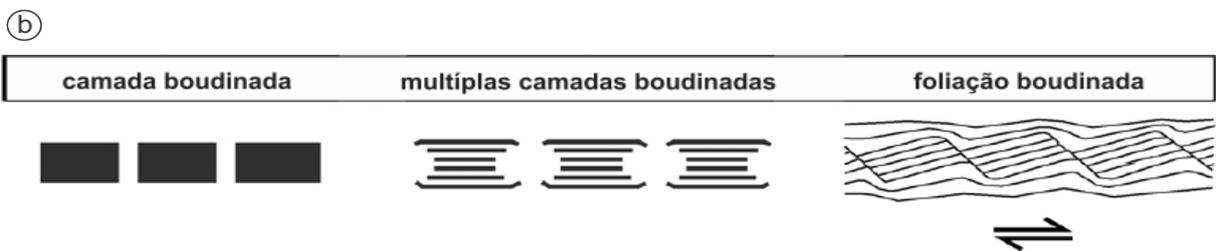
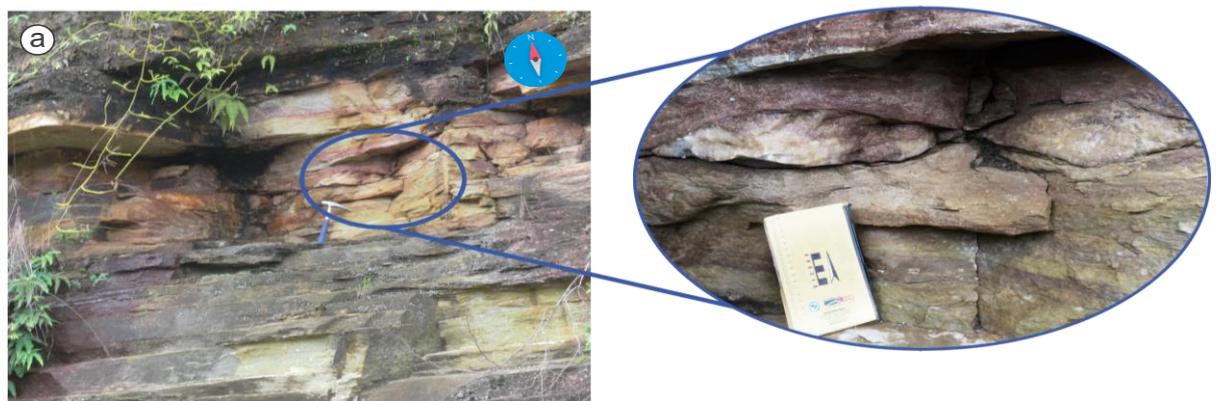
Aspectos relevantes:

As estruturas em *boudin* foram primeiras descritas por Ramsay (1881) e nomeadas por Lohest (1909), que definiu como uma ruptura de camadas, corpos ou planos de foliação dentro de uma massa rochosa, resultando em blocos de *boudin*. Coscombe et. al. (2004) ilustra em seu trabalho os tipos de formação de *boudin*, e no que se refere a este ponto, a foliação boudinada. Como visto em campo, a boudinagem de foliação não ocorre com contraste de viscosidade, pois se trata do mesmo material, mas sim da anisotropia de foliação alinhada com um alto esforço tectônico, justificado pela proximidade do ponto com o fechamento da anticlinal. Os “drawn boudins” assemelham se aos do subtipo tapering boudins, com zona inter-boudin estrangulada e quase que desconectada, apresentando terminação dupla.

Observação:

Observa-se que não há diferença de viscosidade ou mineralógica entre os *boudins* e a matriz.

Ilustrações:



a) Afloramento do quartzito da Fm. Moeda com detalhe para boudinagem de foliação evidente; b) classificação de boudins em rochas foliadas.



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



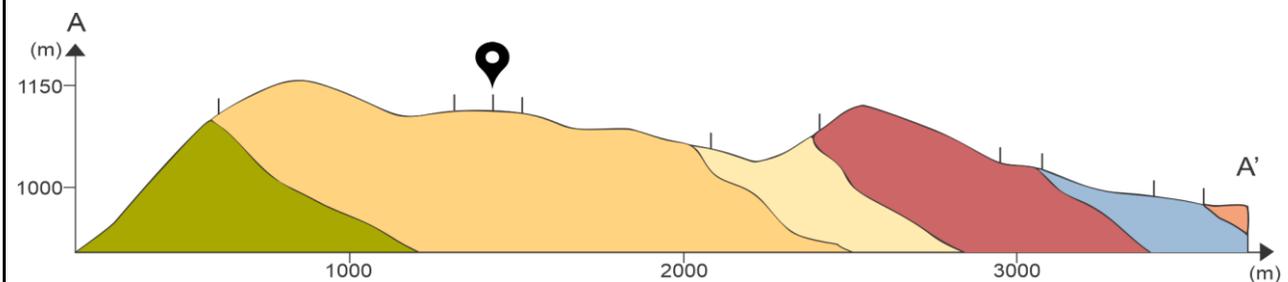
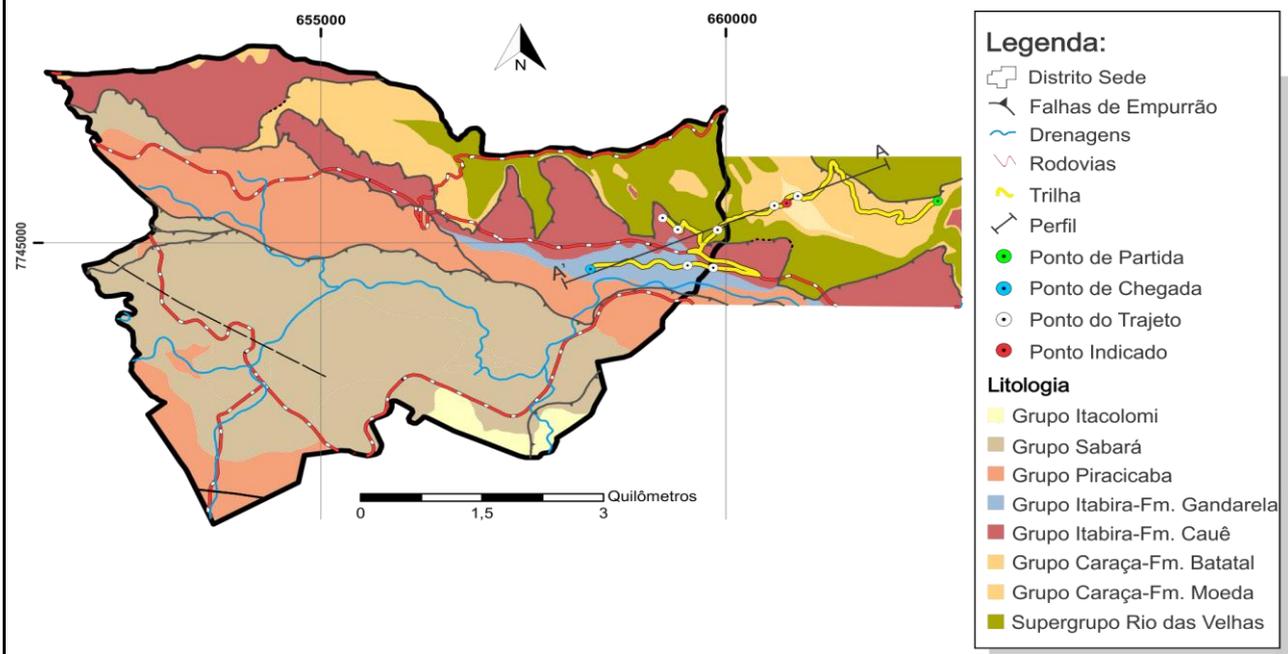
Percursos: Geologia estrutural do flanco sul do Anticlinal de Mariana e boudinagens associadas
Identificação: 1.3 **Coordenadas:** 23k x:0660411 y:7745551 **Altitude:** 1090m
Nomeação: Contato do Supergrupo Minas com Supergrupo Rio das Velhas
Acesso: Siga pela estrada não pavimentada atrás da Capela Bom Jesus das Flores por 1,5km e vire a direita seguindo o percurso de 2,0km até o afloramento de quartzito.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Estrutural e Petroológico

Tipologia: Área

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~2.7 G.a./ ~2.5 G.a.
Rio das Velhas / Minas	N. Lima / Caraça	Nova Lima / Moeda	Xisto Ferruginoso e Quartzito	

Descrição:

Neste ponto identifica-se o contato (Figura B) de dois grupos, Grupo Nova Lima e Grupo Caraça, com rocha representativas: xisto ferroginoso de coloração ocre a avermelhado com intemperização (Figura A) e quartzito fino fracamente intemperizado das formações Nova Lima e Moeda respectivamente. É possível notar na Figura C e D, formações ferríferas presentes no xisto com foliações controladas por sistema de dobras fechadas: Sn (190/20) e Sn+1// (10/10).

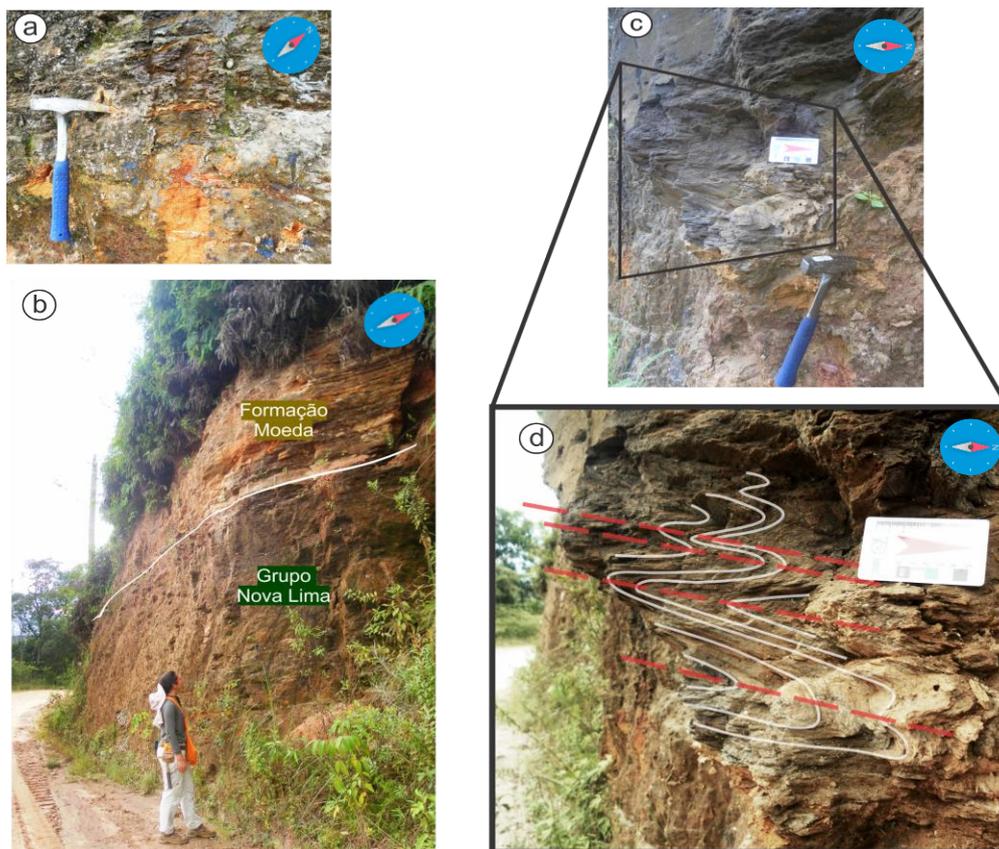
Aspectos relevantes:

Nessa região é possível notar a alternância das camadas de diferentes formações, externando a complexidade estrutural. Por foto-interpretção, observa-se o sistema de falha por zona de cisalhamento associado a dobras regionais, permitindo essa alternância de camadas e o deslocamento do xisto ferruginoso do Gr. Nova Lima para esta localidade.

Observação:

Esta interpretação está exemplificada no xisto com textura fractal, representando o sistema de dobras fechadas.

Ilustrações:



a) Xisto ferruginoso do Grupo Nova Lima com oxidação alterando sua coloração; b) contato entre o Grupo Nova Lima e Grupo Caraça (Formação Moeda); c) formação ferrífera com foliações controladas por dobras fechadas; d) desenho esquemático com as direções das foliações: Sn em branco e Sn+1 em vermelho;



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
 Trabalho de Monografia TCC-402
 Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



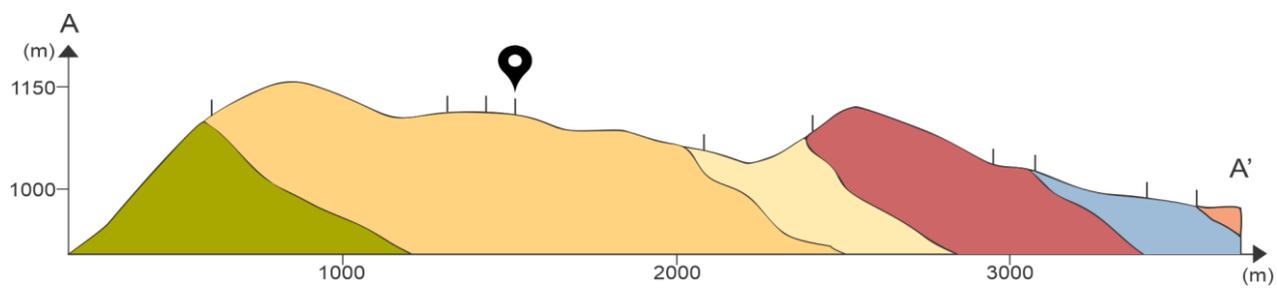
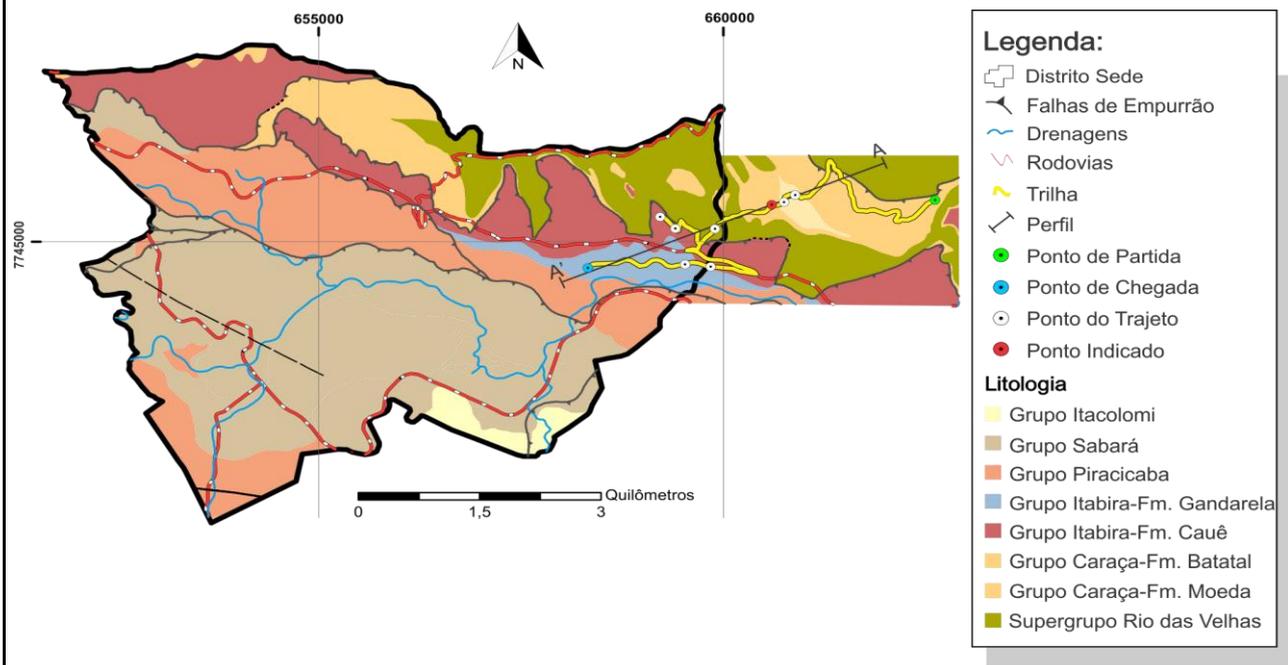
Percursos: Geologia estrutural do flanco sul do Anticlinal de Mariana e boudinagens associadas
Identificação: 1.4 **Coordenadas:** 23k x:0660264 y:7745520 **Altitude:** 1080m
Nomeação: Antiga Pedreira
Acesso: Saindo do ponto 1.3, siga por 200m pela estrada de terra em direção ao centro da cidade.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Estrutural, Petrológico, Econômico e Geomorfológico

Tipologia: Área

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~2.5 G.a.
Minas	Caraça	Moeda	Quartzito	

Descrição:

Neste ponto tem-se uma exposição do quartzitos de textura granoblástica com alteração na coloração devido a oxidação na superfície, com veios de quartzo de grande extensão e espessura métrica penetrando o quartzito na direção NE/SW.

Aspectos relevantes:

Este ponto expõem a presença de boudins de foliação com um sistema de veios na direção NE-SW, pertencente a deformação do evento Transamazônico. Nota-se *steps* de falha com sentido NE, mesmo do sistema de veios, logo mostra cisalhamento sinistral que permitiu a percolação de fluidos.

Observação:

Esta região expõe o quartzito da Formação Moeda com a mineralogia e textura mais homogênea. Com isso, tem-se uma pedreira de quartzito usado para ornamentação, avistado deste ponto (figura B).

Ilustrações:



a) afloramento de quartzito com veios penetrantes a rocha; b) vista para pedreira Quartzitos Brasil.



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



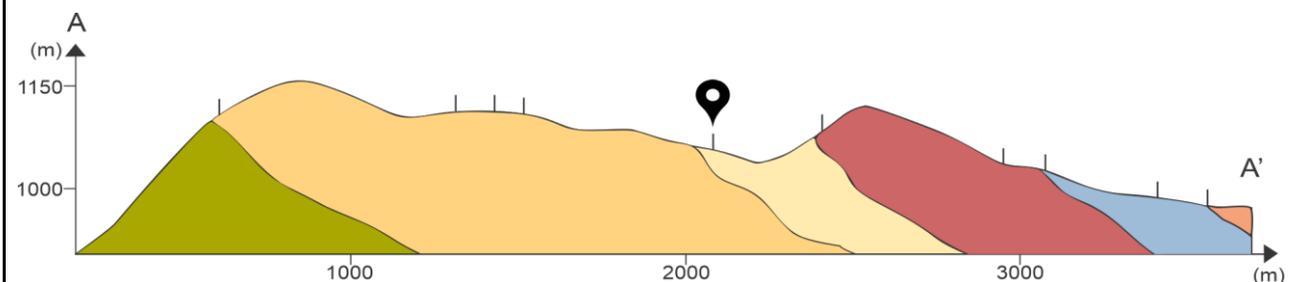
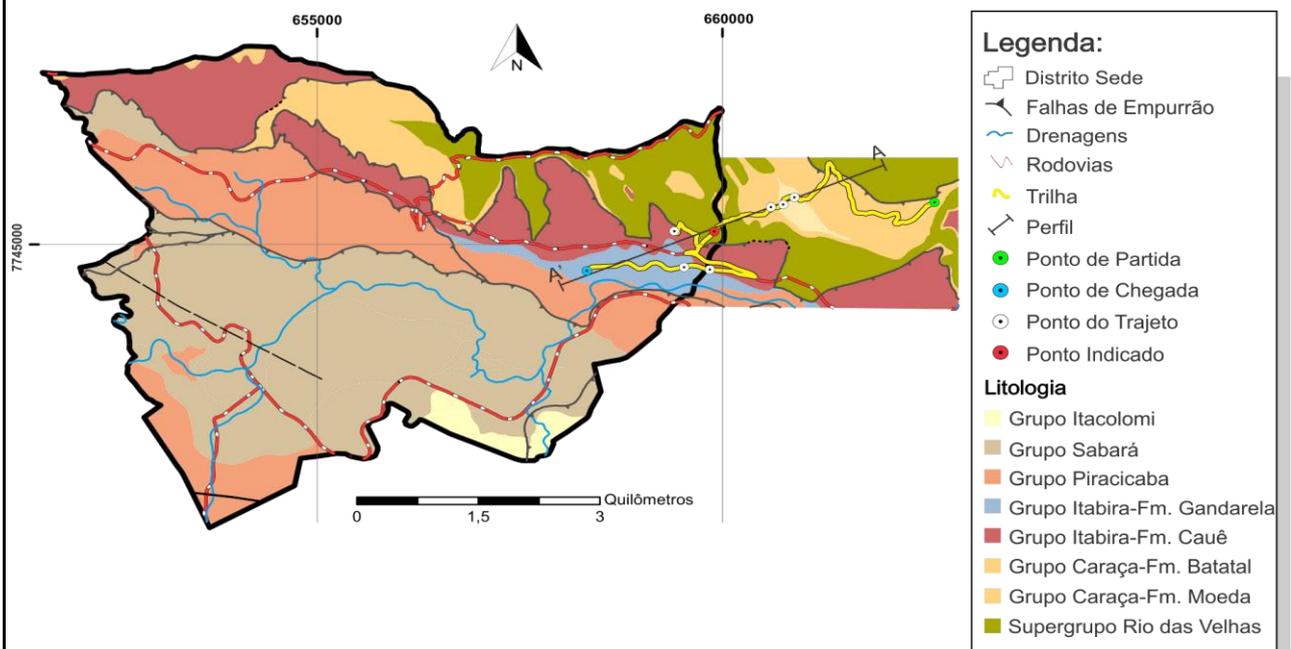
Percurso: Geologia estrutural do flanco sul do Anticlinal de Mariana e boudinagens associadas
Identificação: 1.5 **Coordenadas:** 23k x:0659600 y:7745200 **Altitude:** 1180m
Nomeação: Formação Batatal
Acesso: De frente para Capela Bom Jesus das Flores (entrada primeiro ponto) siga sentido norte por 750m até o córrego.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Petrológico e Mineralógico

Tipologia: Local isolado

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~ 2.5 G.a.
Minas	Caraça	Batatal	Filito	

Descrição:

Neste ponto, é descrito primeiramente nessa trilha as rochas da Formação Batatal. A litologia consiste em filitos sericíticos, textura lepidoblástica de coloração cinza a amarelo ocre com granulagem fina. É possível observar lineação de interseção (figura B) sentido SE.

Aspectos relevantes:

A Formação Batatal marca o início da subsidência da bacia Minas, com deposição de sedimentos finos. Também é de pouca espessura, segundo Farina et al. (2016), esta formação varia entre 30-200 metros.

Ilustrações:



a) filito sericítico da formação Batatal; b) lineação de interseção marcada na superfície do afloramento.



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
 Trabalho de Monografia TCC-402
 Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



Percursos: Geologia estrutural do flanco sul do Anticlinal de Mariana e boudinagens associadas

Identificação: 1.6 **Coordenadas:** 23k x:0659136 y:7745204 **Altitude:** 1125m

Nomeação: Formação Cauê

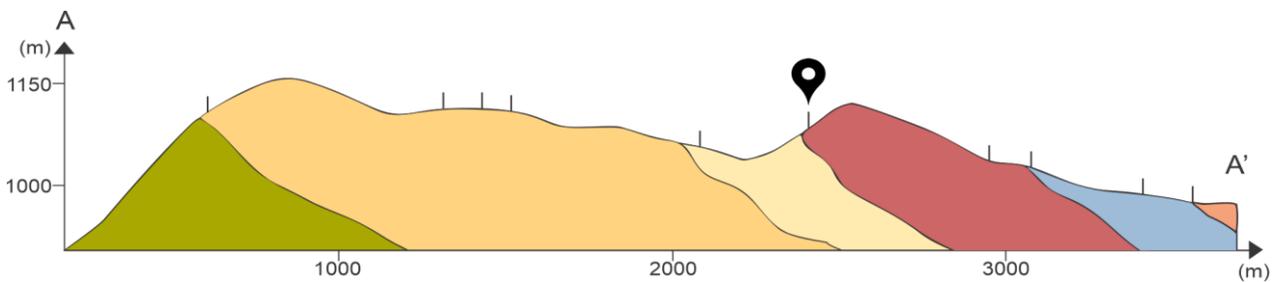
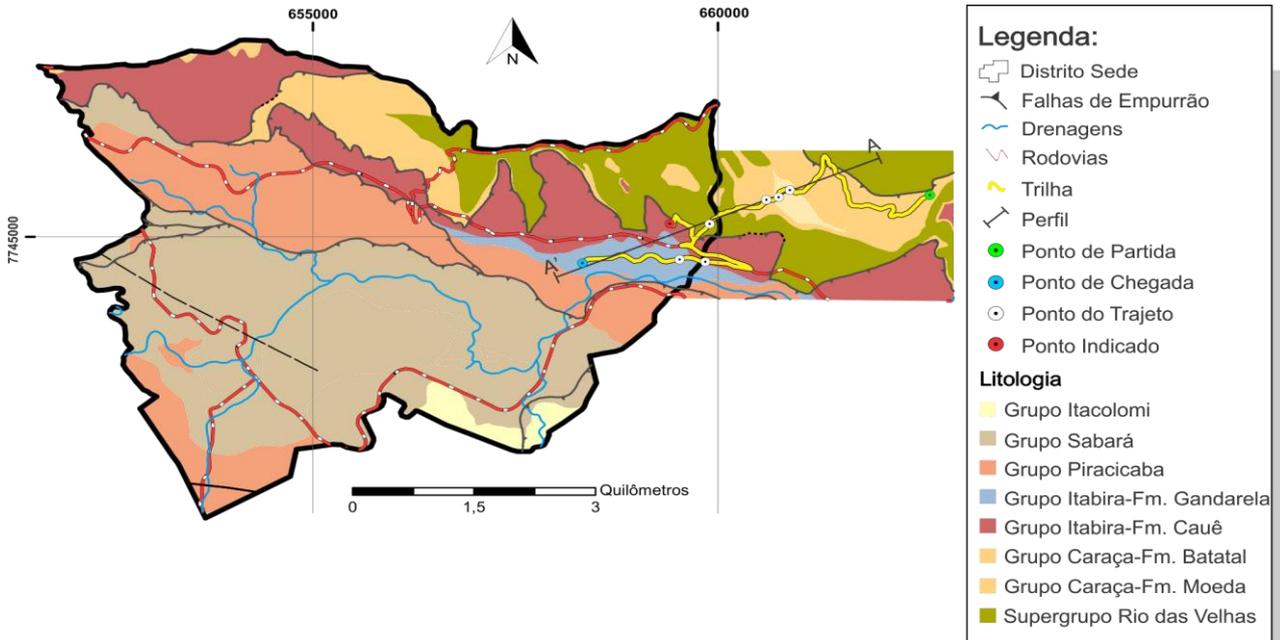
Acesso: Após o ponto 1.4, siga pela direção sudoeste por 1,1 km. Faça a curva acentuada para direita e siga por 450m. Vire a direita e siga por 100m até o final da estrada ao lado de uma residência.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Estrutural, Petrologico, Geomorfológico e Estratigrafico

Tipologia: Sítio Misto

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~ 2.4 G.a
Minas	Itabira	Cauê	Itabirito	

Descrição:

Este ponto tem-se rochas representativas da Formação Cauê do Grupo Itabira. O litotipo dessa região é composto por itabiritos com óxidos de ferro (magnetita e hematita), hidróxidos de ferro (goethita) e quartzo em sua mineralogia. Neste afloramento, o itabirito apresenta dobras abundantes em direção N-S. Também é possível observar a partir deste afloramento com visada para o Pico do Itacolomi, o empilhamento estratigráfico dos grupos: Itabira, Piracicaba, Sabará e Itacolomi.

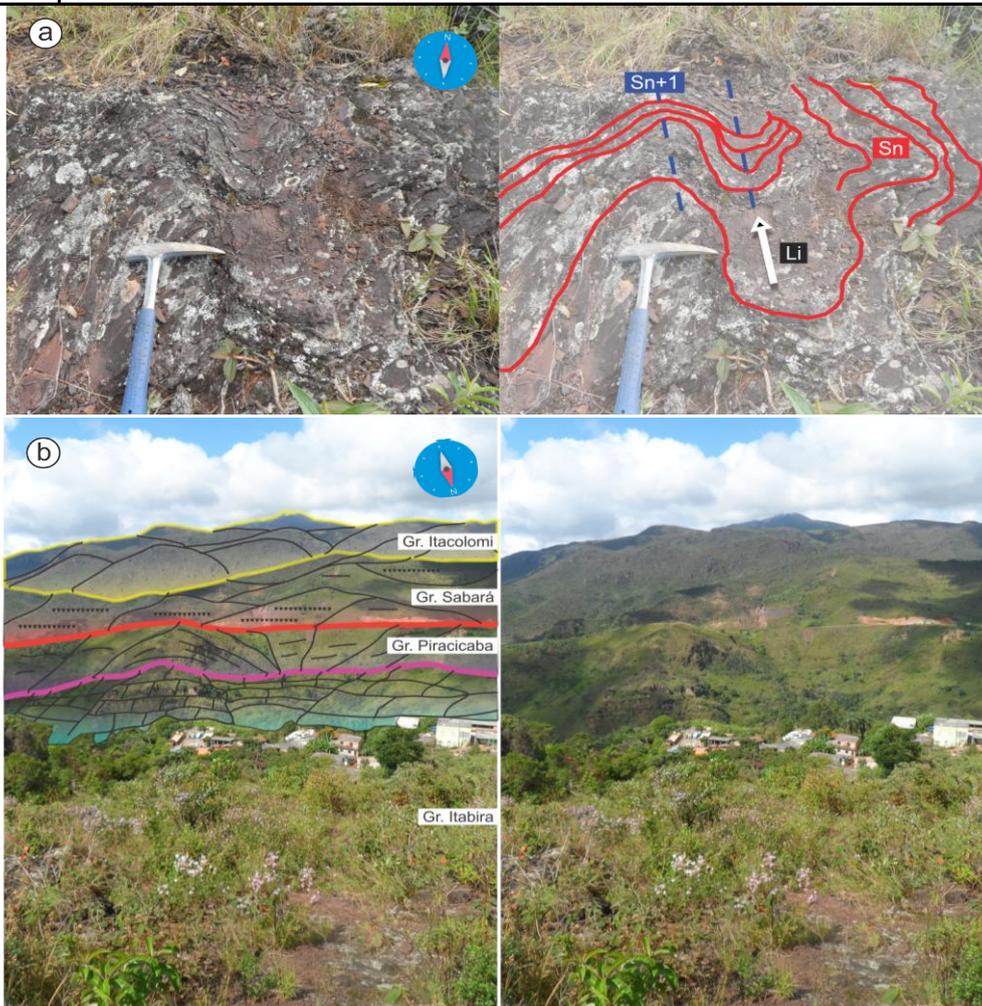
Aspectos relevantes:

Esta litologia é menos competente e mais dúctil, como consequência reage mais aos esforços aplicados. Foliação está dobrada por S_{n+1} com o eixo de dobra paralelo a lineação de interseção exposto na superfície.

Observação:

Vista para o Pico do Itacolomi com rochas do Supergrupo Minas sobrepostas, com detalhes do relevo destacado no desenho esquemático.

Ilustrações:



a) itabirito com dobras em superfície e erosão diferencial; b) vista para Pico do Itacolomi com empilhamento estratigráfico do Supergrupo Minas.

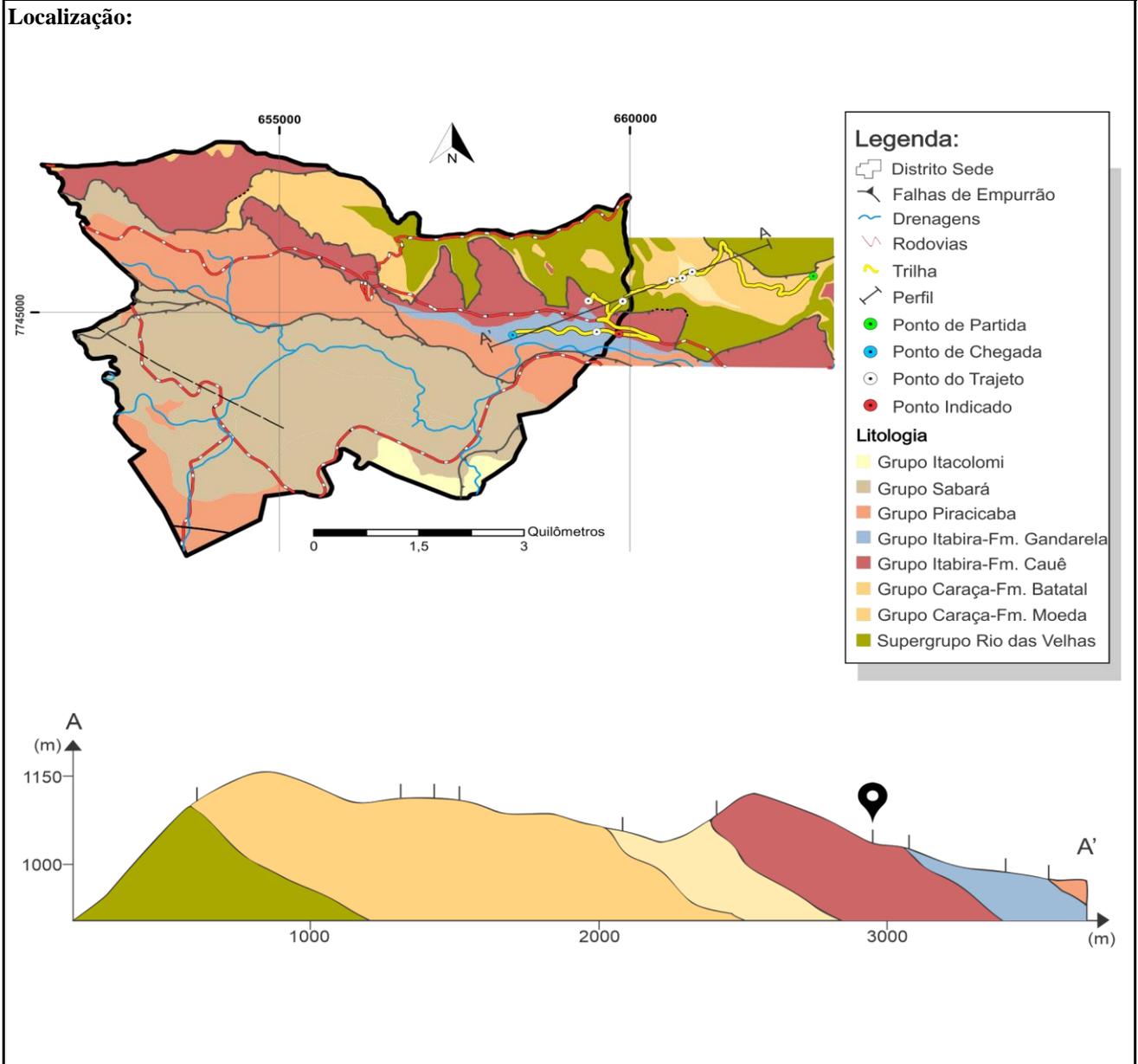


Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



Percursos:	Geologia estrutural do flanco sul do Anticlinal de Mariana e boudinagens associadas		
Identificação:	1.7	Coordenadas:	23k x:0659552 y:7744704 Altitude: 973m
Nomeação:	<i>Necked boudins</i>		
Acesso:	Após o ponto 1.6 siga pela rua da entrada da capela Bom Jesus, vire e desça a esquerda para entrar na rodovia sentido Mariana (Rodovia Conselheiro Quintino Maciel). Siga por 750m até o viaduto sobre a linha férrea e siga o caminho sobre a linha férrea sentido Ouro Preto (Oeste). O afloramento encontra-se a 500m.		

Acessibilidade:	<input type="checkbox"/> Ônibus	<input type="checkbox"/> Carro	<input checked="" type="checkbox"/> A pé
Interesse:	Estrutural, Petrológico e Estratigráfico		
Tipologia:	Área		



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	
Minas	Itabira	Cauê	Itabirito	~ 2.5 G.a.

Descrição:

A Formação Cauê presente nos itabiritos localizados ao longo da linha férrea, tem em evidência o bandamento composicional da formação ferrífera (figura B): banda escura rica em óxidos de ferro e bandas avermelhadas e claras rica em quartzo oxidado. Nota-se uma boudinagem de foliação (figura C) do tipo *neck* (Arslan et. al. 2008) com um veio de quartzo preenchendo a descontinuidade por ente os boundins.

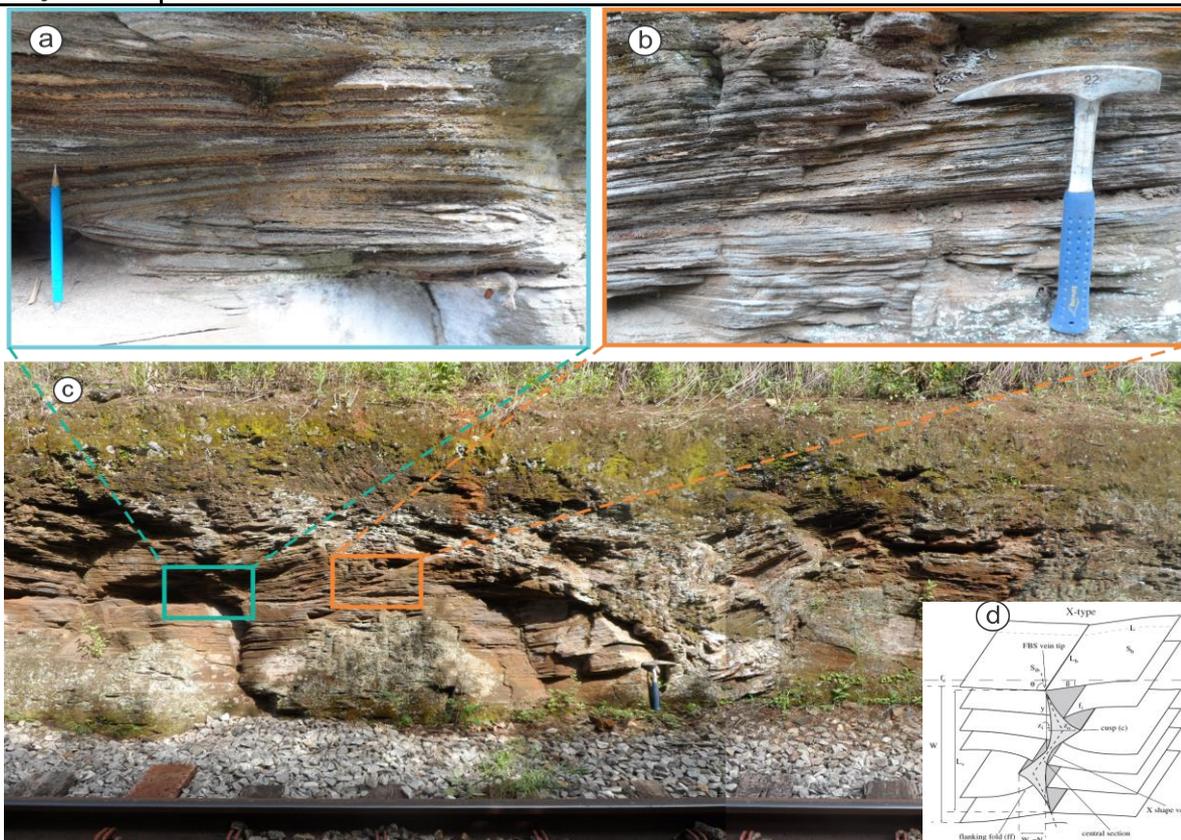
Aspectos relevantes:

Nessa região os boudins assemelham-se aos do subtipo “necked boudin blocks”, ou boudins “clássicos”, com formato bi-convexo e preenchimento por quartzo de veio da zona do neck. Este tipo de estrutura ocorre como estruturas abertas com preenchimento de veios e também mostra a transição para uma geometria tipo *fishmouth* (boca de peixe). Essas estruturas de foliação boudinada se formam por deformação dúctil adjacente a fraturas quebradiças e espaços abertos com penetração de fluidos em rochas metamórficas.

Observação:

Neste local há bastante interferência magnética por causa da linha férrea e a própria formação ferrífera bandada.

Ilustrações:



a) boundin de menor magnitude dentro da estrutura maior; b) alternância do bandamento da formação ferrífera; c) foto-mosaico da estrutura de boudinagem de foliação; d) desenho esquemático de boudinagem de foliação do tipo *neck* (Arslan, 2008);



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



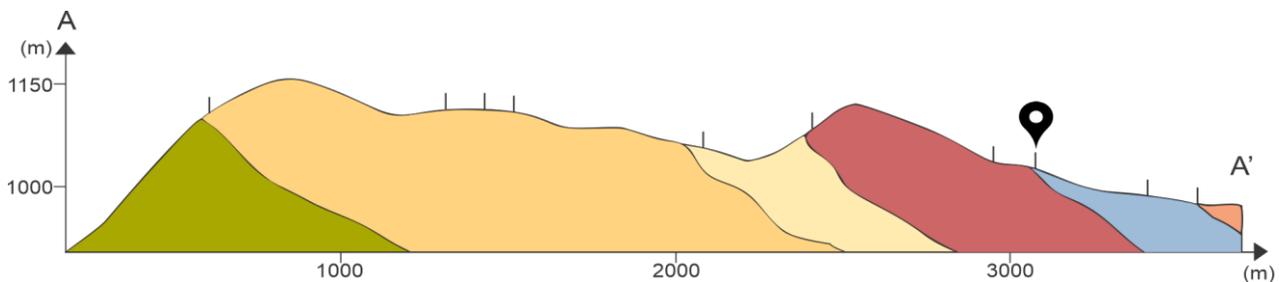
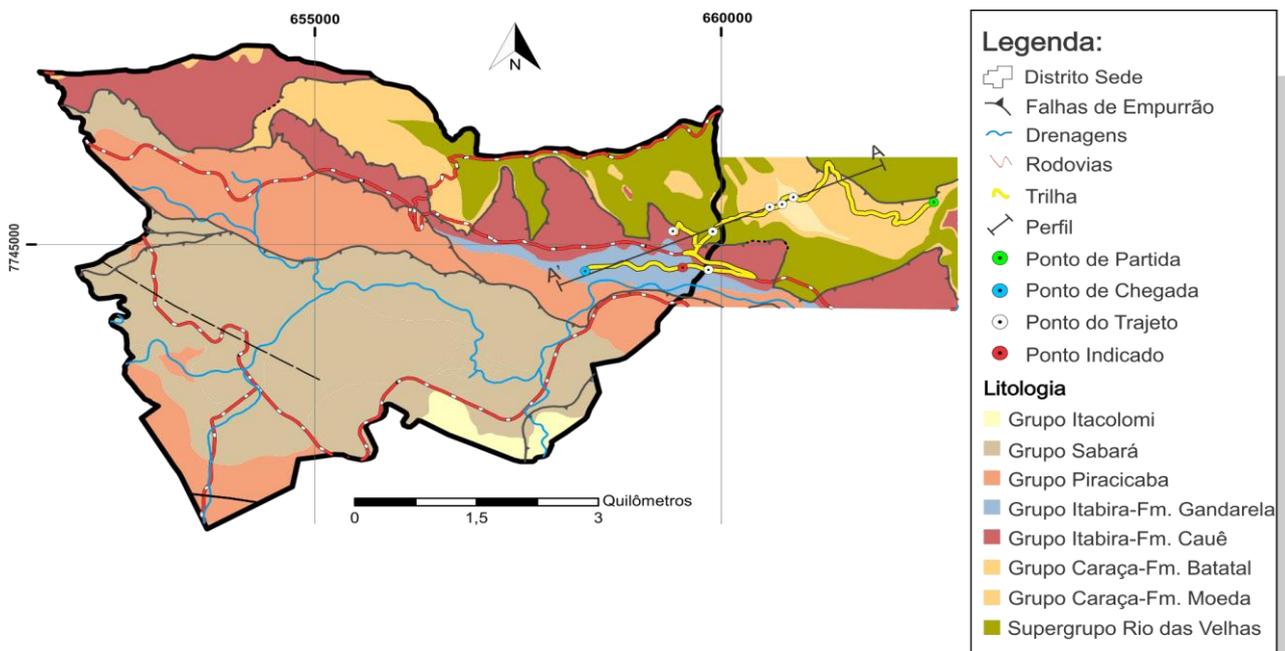
Percurso: Geologia estrutural do flanco sul do Anticlinal de Mariana e boudinagens associadas
Identificação: 1.8 **Coordenadas:** 23k x:0659249 y:7744734 **Altitude:** 970m
Nomeação: Formação Gandarela
Acesso: Após o ponto 1.7 siga sob os trilhos por 300m em direção a Leste.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Petrológico e Mineralógico.

Tipologia: Local Isolado

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~ 2.4 G.a.
Minas	Itabira	Gandarela	Dolomito	

Descrição:

Este ponto tem-se a primeira exposição rochosa da Formação Gandarela neste roteiro. Essa litologia é caracterizada por dolomito-mármore contendo dolomita, calcita e mica em sua mineralogia. Neste afloramento, a beira da linha férrea, está com intercalação de formação ferrífera da Formação Cauê. É possível notar microdobras e zonas fraturas em um contraste reológico com os dolomitos com direção de foliação Sn: E-W.

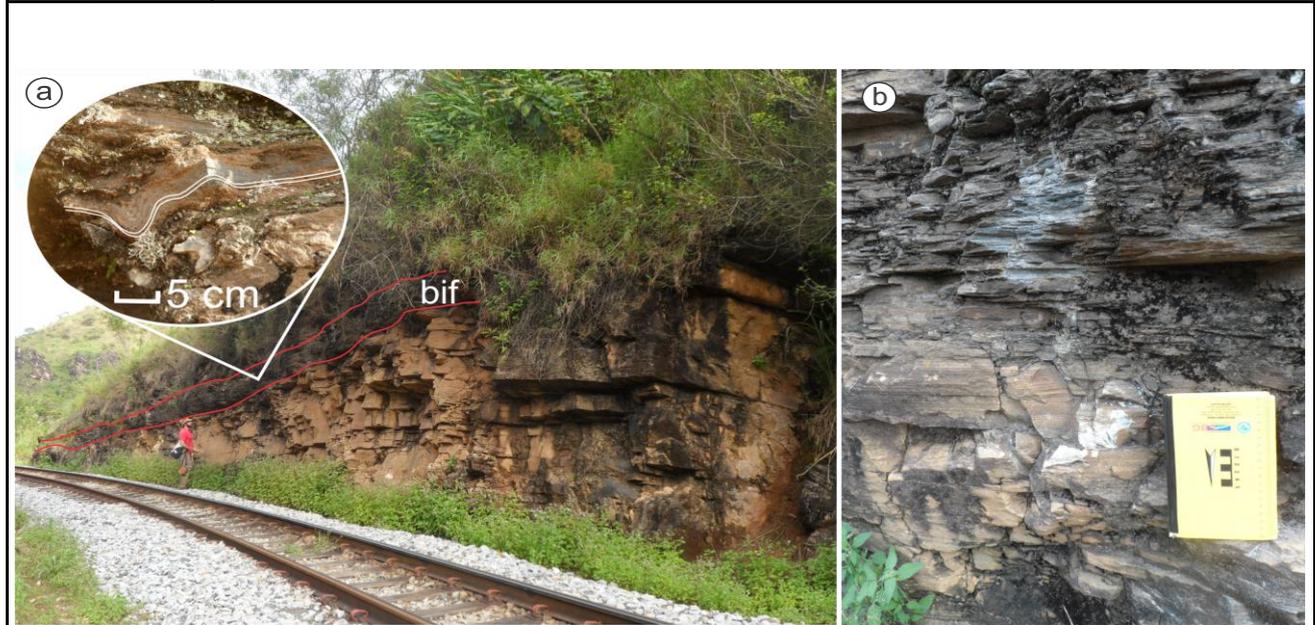
Aspectos relevantes:

Aqui temos uma alternância de ambiente deposicionais que, dependendo do corte do afloramento, se tem uma ideia de inversão estratigráfica. Esta alternância entre deposição sedimentar e química é bem evidente perto do contato entre as formações Cauê e Gandarela, evidenciando uma transgressão marinha da bacia Minas.

Observação:

Na foto (figura A) temos um pacote de bif se comportando como uma soleira no maciço de dolomito mármore, porém trata-se de uma intercalação de deposições.

Ilustrações:



a) Formação Gandarela com lente de formação ferrífera acima; b) intercalação de duas litologias: BIF, menos competente e de granulação fina e dolomito mármore abaixo;



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



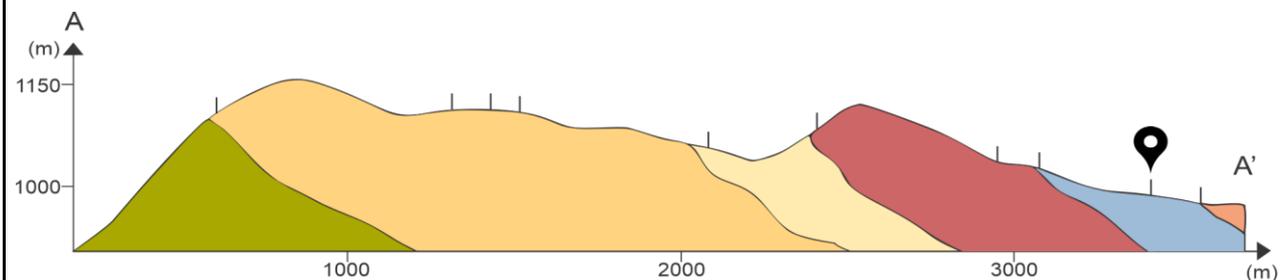
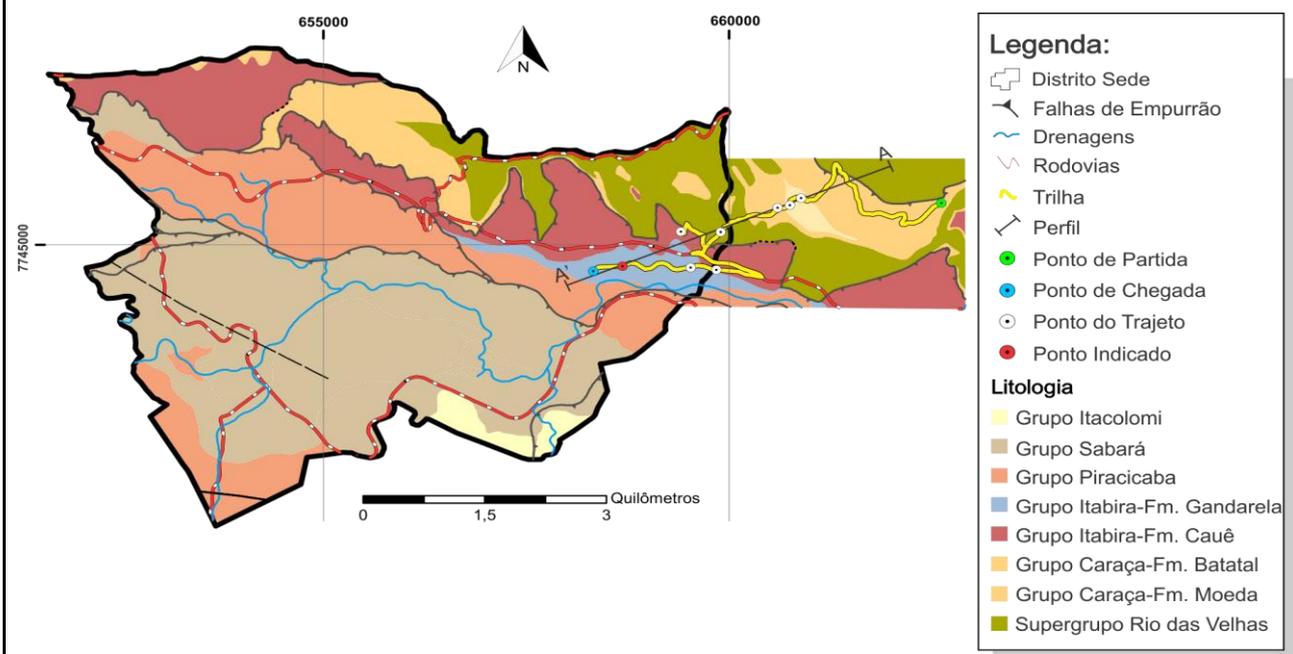
Percursos: Geologia estrutural do flanco sul do Anticlinal de Mariana e boudinagens associadas
Identificação: 1.9 **Coordenadas:** 23k x:658448 y:7744751 **Altitude:** 970m
Nomeação: Precipitação de sulfetos associados a boudinagem de foliação
Acesso: Após o ponto 1.8, siga por 900m sob a linha férrea em direção a Leste.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Petroológico, Mineralógico, Estrutural e Econômico

Tipologia: Local Isolado

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~ 2.4 G.a.
Minas	Itabira	Gandarela	Dolomito	

Descrição:

Afloramento representativo da formação gandarela, ocorrendo ainda intercalações de bif porém pouco expressivas. Nota-se foliação boudinada também presente nesta litologia, assim como desde o início deste roteiro. É possível observar níveis de ferro com precipitação de pirita (já oxidada para limonita).

Atitude da acamamento: ~190/10.

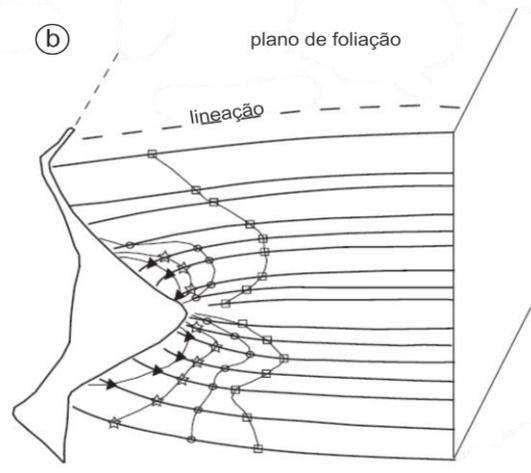
Aspectos relevantes:

A foliação boudinada, também presente nos dolomitos da Formação Gandarela, reflete o contexto tectônico desta região que submeteu a um grande esforço, gerando fissuras por entre a foliação associado a anisotropia por entre as camadas. Assim, é possível observar essa repetição de estruturas ao longo deste roteiro.

Observação:

Por esse carbonato ser rico em pirita, aos arredores do ponto, funcionava uma antiga pedreira, para extração dos sulfetos presentes para fabricação de pólvora.

Ilustrações:



a) afloramento de dolomito-mármore com foliação boudinada; b) desenho esquemático ilustrando foliação boudinada do tipo *cusped*, preenchida por quartzo *fishmouth* (adaptado de Arslan, 2008);



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



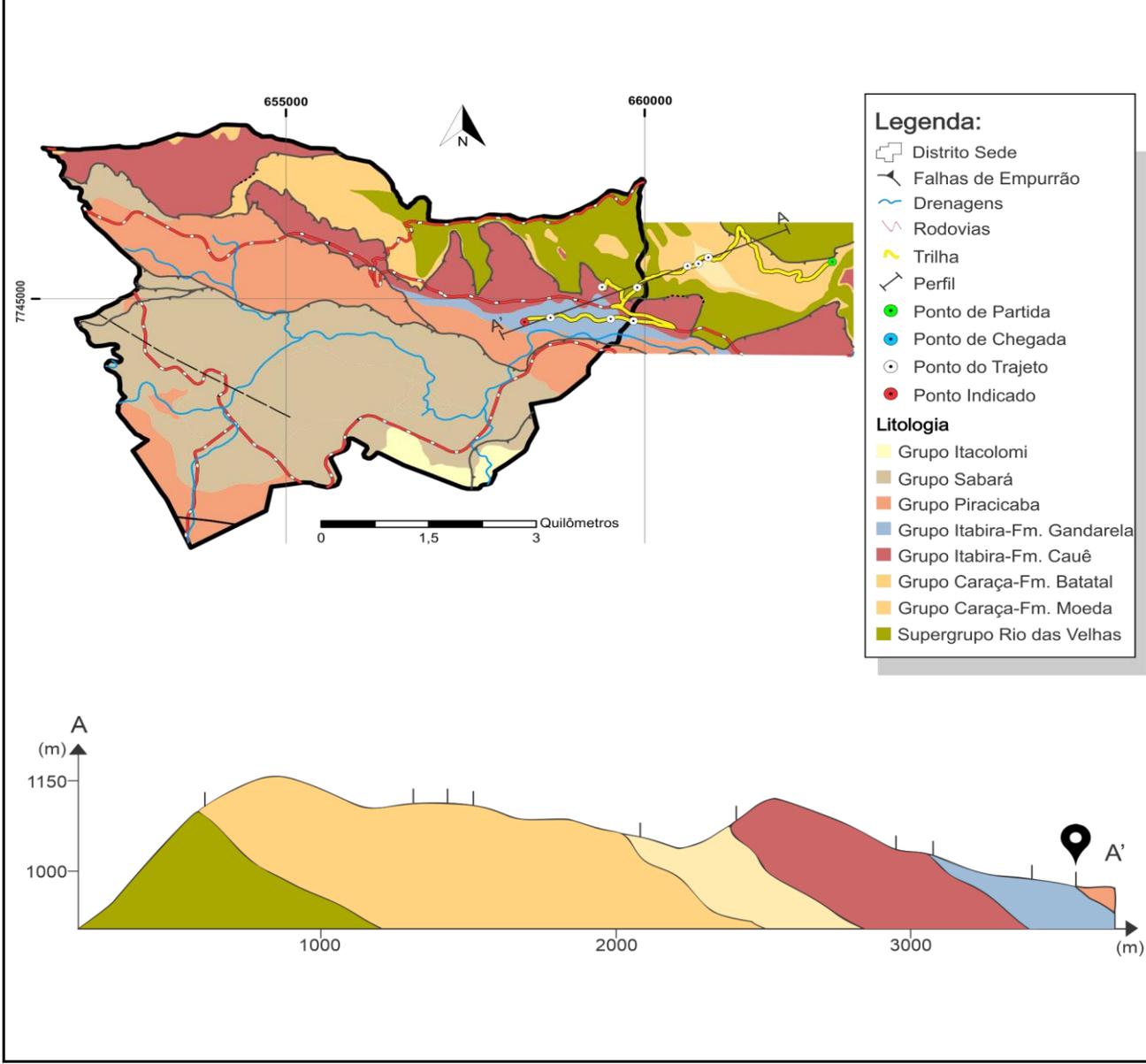
Percursos: Geologia estrutural do flanco sul do Anticlinal de Mariana e boudinagens associadas
Identificação: 1.10 **Coordenadas:** 23k x:0658106 y:7744658 **Altitude:** 970m
Nomeação: Discordância erosiva no contato com o Gr. Piracicaba
Acesso: Após o ponto 1.10, siga por 320m sob a linha férrea em direção Leste.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Petrológico, Mineralógico, Estrutural e Estratigráfico.

Tipologia: Local Isolado

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~ 2.4 G.a
Minas	Itabira e Piracicaba	Gandarela e Cercadinho	Dolomito e Metapelito	

Descrição:

O último ponto deste roteiro também é o início do próximo, pois neste afloramento está o contato entre a Formação Gandarela (Grupo Itabira) e a Formação Cercadinho (Grupo Piracicaba). Este afloramento contém um empilhamento de camadas de diferentes texturas, granulação e mineralogia, da base para o topo: tem-se o dolomito-mármore maciço da formação Gandarela, logo acima uma camada fina de Manganês (ocorre quando se há pouca energia no sistema de deposição), sobreposto ocorre uma camada abundante de quartzo-clorita-xisto fino, uma camada de quartzos boudinados que separa a última camada (com intercalações de quartzo-clorita-xisto) de material ferruginoso fino.

Aspectos relevantes:

A sedimentação da Formação Cercadinho marca profundo remodelamento da bacia Minas, fato este documentado pela emersão de parte da sequência do Grupo Itabira, sua erosão e redeposição em forma de seixos. Desta forma alguma perturbação tectônica ocorre na bacia Minas refletindo uma mudança drástica no registro sedimentológico da mesma, possivelmente durante a transição entre o Riáciano e o Sideriano.

Observação:

Esta interpretação do empilhamento estratigráfico é feita no corpo de texto deste trabalho.

Ilustrações:



a) Empilhamento estratigráfico no contato entre os grupos Itabira e Piracicaba.



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



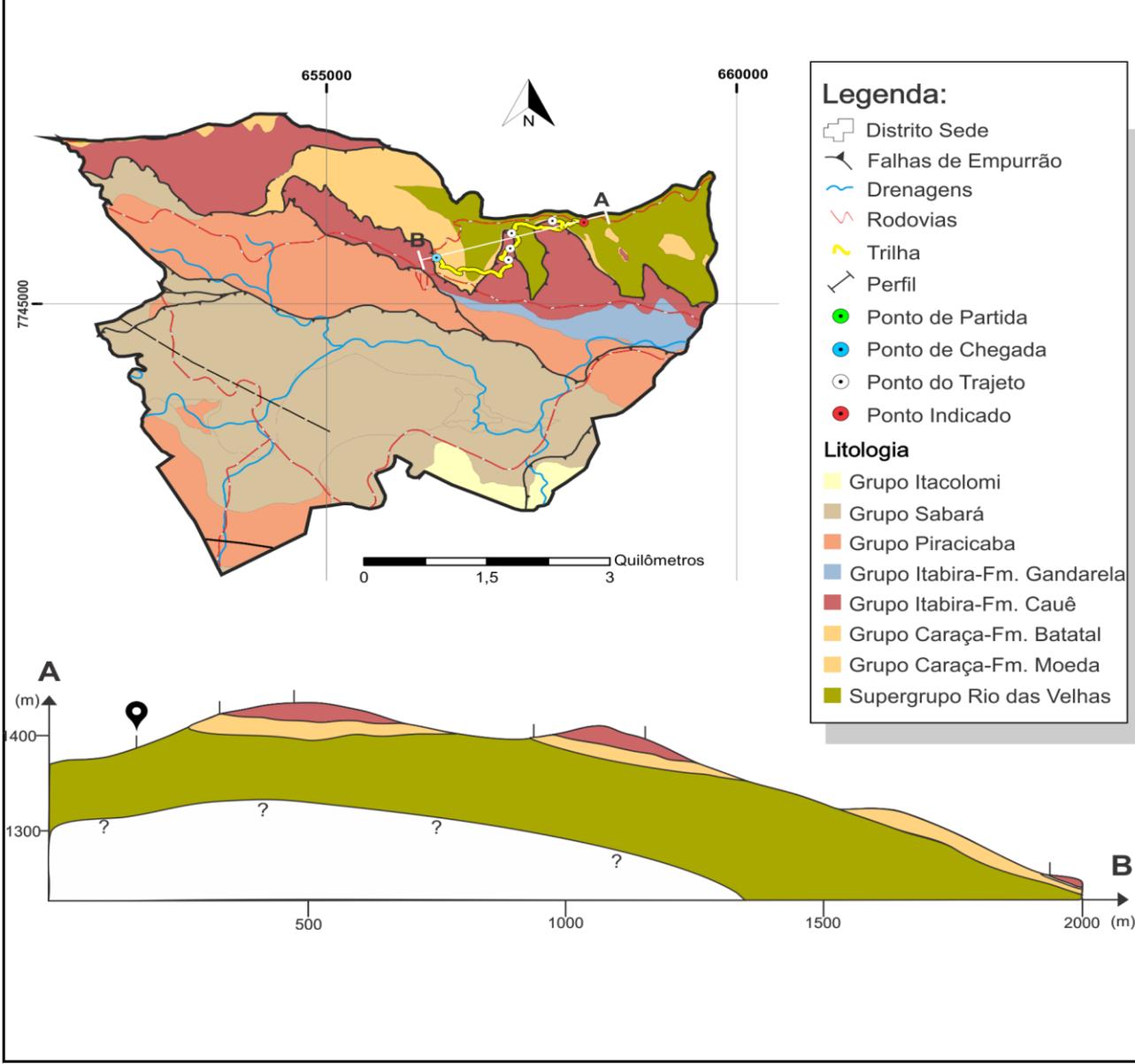
Percursos:	Geologia econômica das mineralizações auríferas e registros históricos.				
Identificação:	2.1	Coordenadas:	23k x:0658001 y:7746121	Altitude:	1273m
Nomeação:	Capela São João Batista				
Acesso:	Partindo da Praça Tiradentes, siga subindo à esquerda da Escola de Minas pela Rua Henri Gorceix por 120 metros e depois suba a Ladeira João de Paiva. Percorra 1,4 km e depois vire a direita pela Rua Rio Piracicaba e siga por 1,5 km até a Rua 24 de Junho.				

Acessibilidade:	<input checked="" type="checkbox"/> Ônibus	<input checked="" type="checkbox"/> Carro	<input checked="" type="checkbox"/> A pé
------------------------	--	---	--

Interesse:	Petrológico e Histórico
-------------------	-------------------------

Tipologia:	Área
-------------------	------

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~2.7 G.a.
Rio das Velhas	Nova Lima	Nova Lima	Quartzo-Sericita-Xisto	

Descrição:

Este afloramento encontra-se na praça aos arredores da Capela São João Batista. Neste local aflora Xisto da Formação Nova Lima, de granulação fina, textura lepidoblástica (marcada pela sericita) e recristalização de quartzo. Atitude da foliação é de F: 225/20.

Aspectos relevantes:

A trilha se inicia no Morro da Queimada, local hoje tombado como Patrimônio Histórico Nacional. Também conhecido como Morro do Paschoal ou Arraial do Ouro Podre, foi um dos primeiros arraiais mineradores que deram origem à então Vila Rica. As descobertas de ouro aluvionar e posteriormente nas escarpas da serra de Ouro Preto no final do século XVII trouxe a visibilidade nacional para essa região (Fonseca & Sobreira, 2001). No contexto regional, a lapa da zona de mineralização é constituída pelos quartzo-sericita xistos do Grupo Nova Lima com o contato superior no quartzito da Formação Moeda. O contato superior é fortemente tectonizado com o quartzito da Fm. Moeda, contendo veios de quartzo intensamente deformados (boudinagem, dobras e fraturas) e foliação com aspecto milonítico. Os veios são de quartzo-turmalina com caulim próximo às porções turmalinizadas.

Observação:

A capela São João Batista (figura B) se localiza entre as nascentes do Rio das Velhas e do Rio Piracicaba e toda feita por canga, refugio da mineração na região e é um exemplo clássico da arquitetura colonial portuguesa dos primeiros tempos do Brasil.

Ilustrações:



a) afloramento da formação Nova Lima totalmente intemperizado, no alto da Serra de Ouro Preto; b) Capela São João Batista, primeira igreja de Ouro Preto (Mario Pinheiro, março 2020); c) afloramento de quartzito próximo a capela.



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



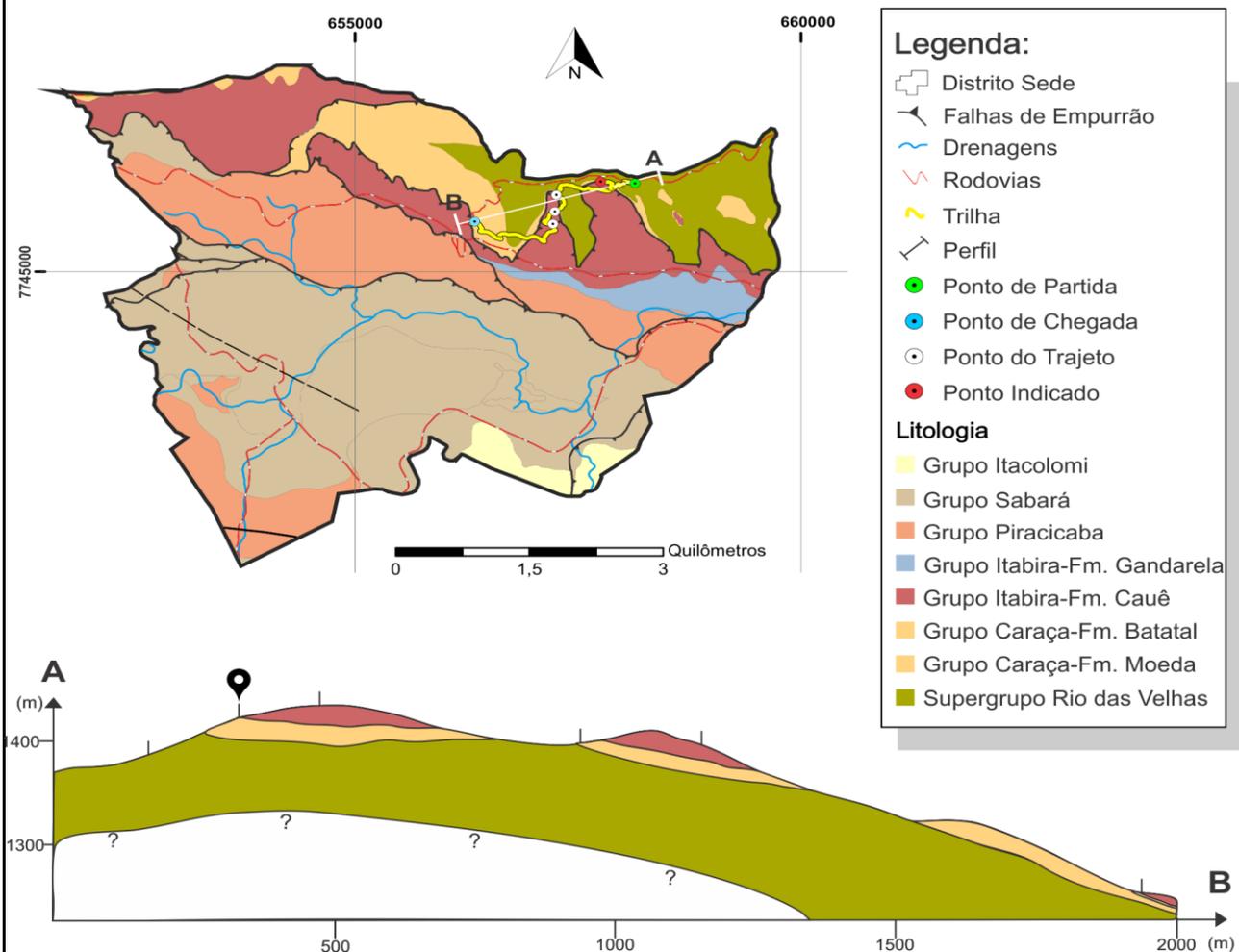
Percorso: Geologia econômica das mineralizações auríferas e registros históricos.
Identificação: 2.2 **Coordenadas:** 23k x:0657737 y:7746165 **Altitude:** 1434m
Nomeação: Estratifrafia do alto da Serra de Ouro Preto
Acesso: Siga pela frente da Capela São Joao Batista pela rua sem pavimentação por 50 metros e vire a direita subindo a ladeira. Após 150 metros vire a direita e siga por este caminho por 200 metros.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Estrutural, Petrológico e Geomorfológico

Tipologia: Sítio Misto

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~2.5 a ~2.4 G.a.
Minas	Caraça e Itabira	Moeda, Batatal e Cauê	Quartzito, Filito e Itabirito	

Descrição:

Neste ponto destaca-se o contato bem definido entre três litologias: quartzito maciço com foliação direção E-W, lineações de intersecção e crenulação bem evidentes da Formação Moeda; filito com pequena espessura (2 metros) e totalmente intemperizado, com foliação F: 180/15, lepidoblástica marcada pela sericita, da Formação Batatal; e os itabiritos com microdobras e bandamentos ferríferos com atitudes F: ~210/20 e alta interferência magnética da Formação Cauê.

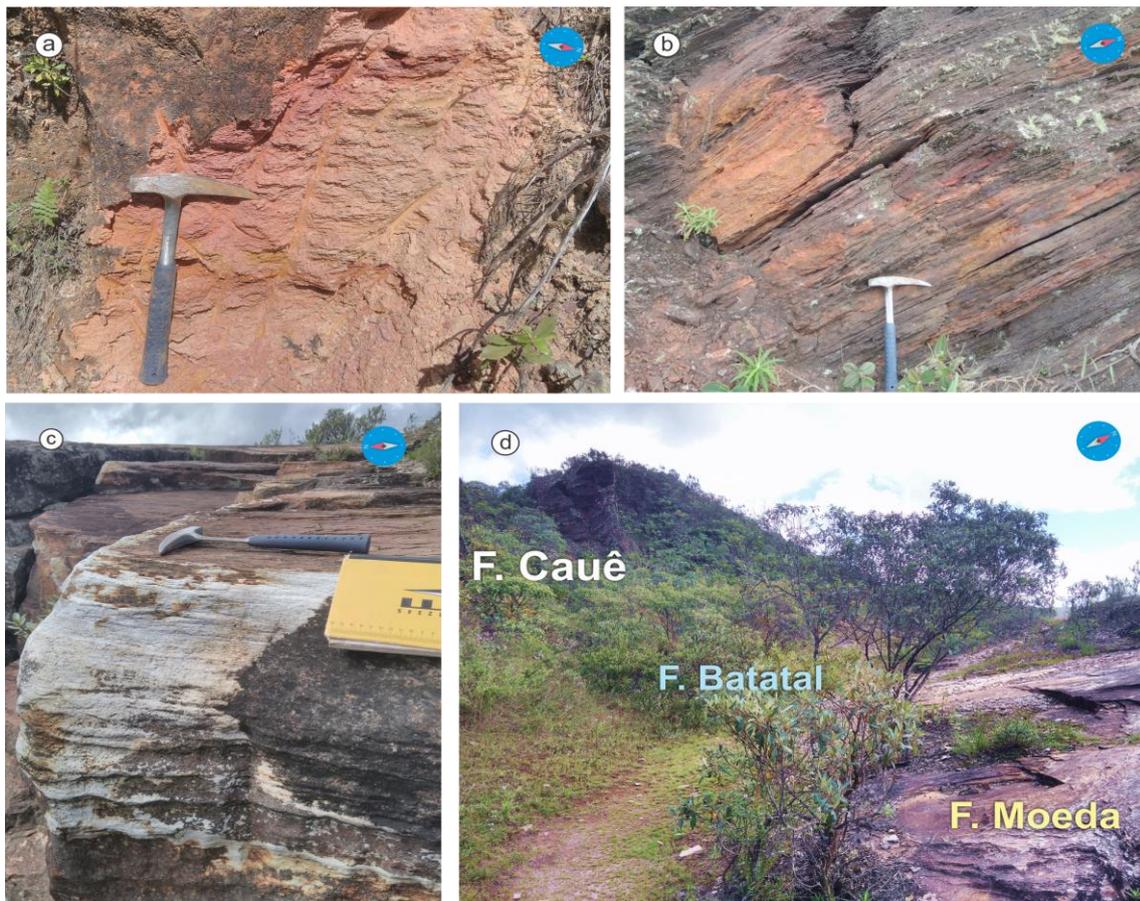
Aspectos relevantes:

Este ponto está localizado na borda do flanco sul da Anticlinal de Marina, com litologias bem definidas (diferentemente da região de charneira do Anticlinal de Mariana) e com baixo caimento, variando entre 10° e 25° graus.

Observação:

A trilha foi aberta exatamente no contato Moeda-Batatal-Itabirito, porém o filito é pouco evidente e espessura fina. Já o quartzito bem maciço e fraturado, contém *steps* de falha e algumas evidências de furos para retirada de blocos.

Ilustrações:



a) afloramento intemperizado e oxidado em superfície, da Formação Batatal; b) itabirito da Formação Cauê com discontinuidades causadas pela erosão diferencial; c) quartzitos com camadas bem marcadas e erosão diferencial; d) visada com exposição das três litologias distintas.



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



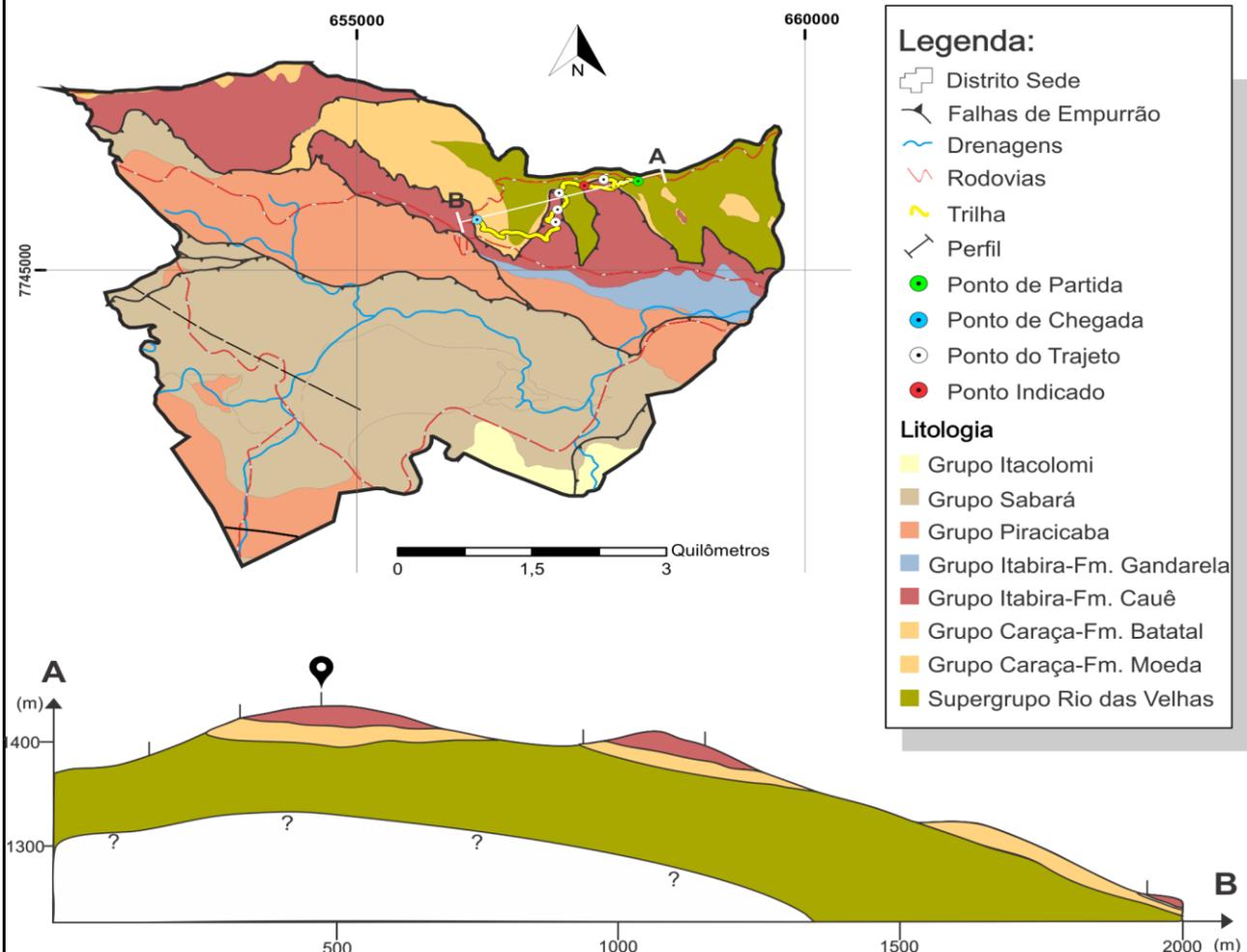
Percurso: Geologia econômica das mineralizações auríferas e registros históricos.
Identificação: 2.3 **Coordenadas:** 23k x:0657642 y:7746139 **Altitude:** 1466m
Nomeação: Moinho de Vento
Acesso: Após o ultimo ponto, desça por uma trilha ao sul por 110 metros até encontrar a estrada de terra e vire a direita. Siga por 100 metros, vire a direita e suba a trilha para o Moinho de Vento (50 metros).

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Geomorfológico e Petrológico

Tipologia: Local Panorâmico

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~2.7 a 2.05 G.a.
Minas / Rio das Velhas	-	-	-	

Descrição:

Este ponto é para contemplação da paisagem e observação das diferentes litologias, como elas influenciam na morfologia e textura da paisagem. Na figura "A" temos o mais antigo moinho de vento do Brasil. É provável, contudo, que tratasse de um maquinismo destinado a triturar rochas retiradas das galerias e minas a céu aberto da Serra de Ouro Preto. O moinho é um dos pontos mais altos da serra e é possível observar a cidade de Ouro Preto e o Pico do Itacolomi a sul (figura B) e a cadeia de montanhas da Anticlinal de Mariana a norte (figura C).

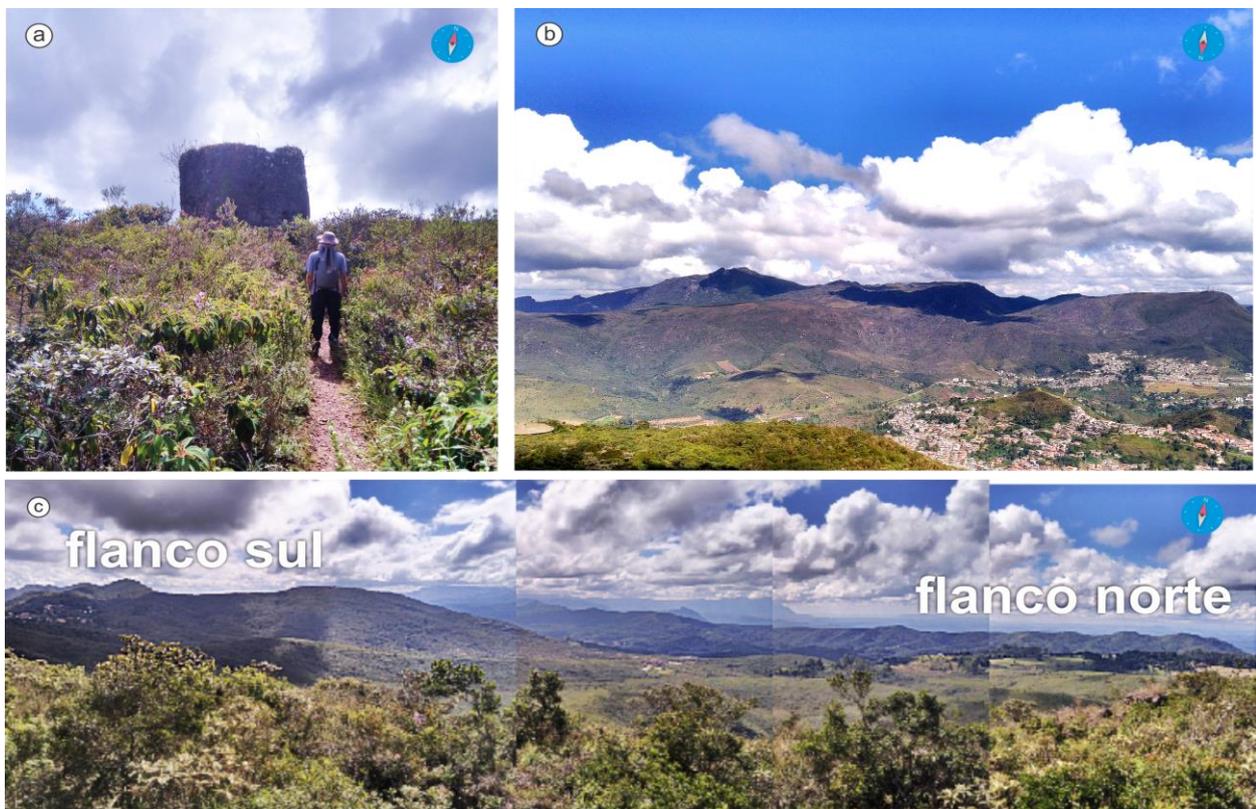
Aspectos relevantes:

É nítida a interferência que a litologia causa na textura e morfologia da paisagem da região. Na serra de Ouro Preto, inserida na Anticlinal de Marina, observa-se um relevo caracterizado por altas montanhas de desenvolvimento linear, constituída por metassedimentos de idade paleoproterozoica, afetado por eventos tectônicos e com estrutura regional orientada em direção E-W. Observando o lado oposto, região do Pico do Itacolomi se mostra com textura mais rugosa, marcada pelos metaquartzo-arenito, muito resistentes ao intemperismo, com rochas expostas e, alguns locais, com relevo cárstico por perclação de água.

Observação:

As descobertas de ouro aluvionar no final do século XVII trouxe a visibilidade nacional para essa região (Fonseca & Sobreira, 2001) que, com escassez deste tipo de minério, migrou-se para as escarpas das montanhas. Logo, locais como a Serra de Ouro Preto e do Itacolomi foram procurados.

Ilustrações:



a) Moinho de Vento do Morro da Queimada; b) Vista parcial para cidade de Ouro Preto com o Pico do Itacolomi ao fundo; c) Foto-mosaico dos dois flancos da estrutura regional do Anticlinal de Mariana;



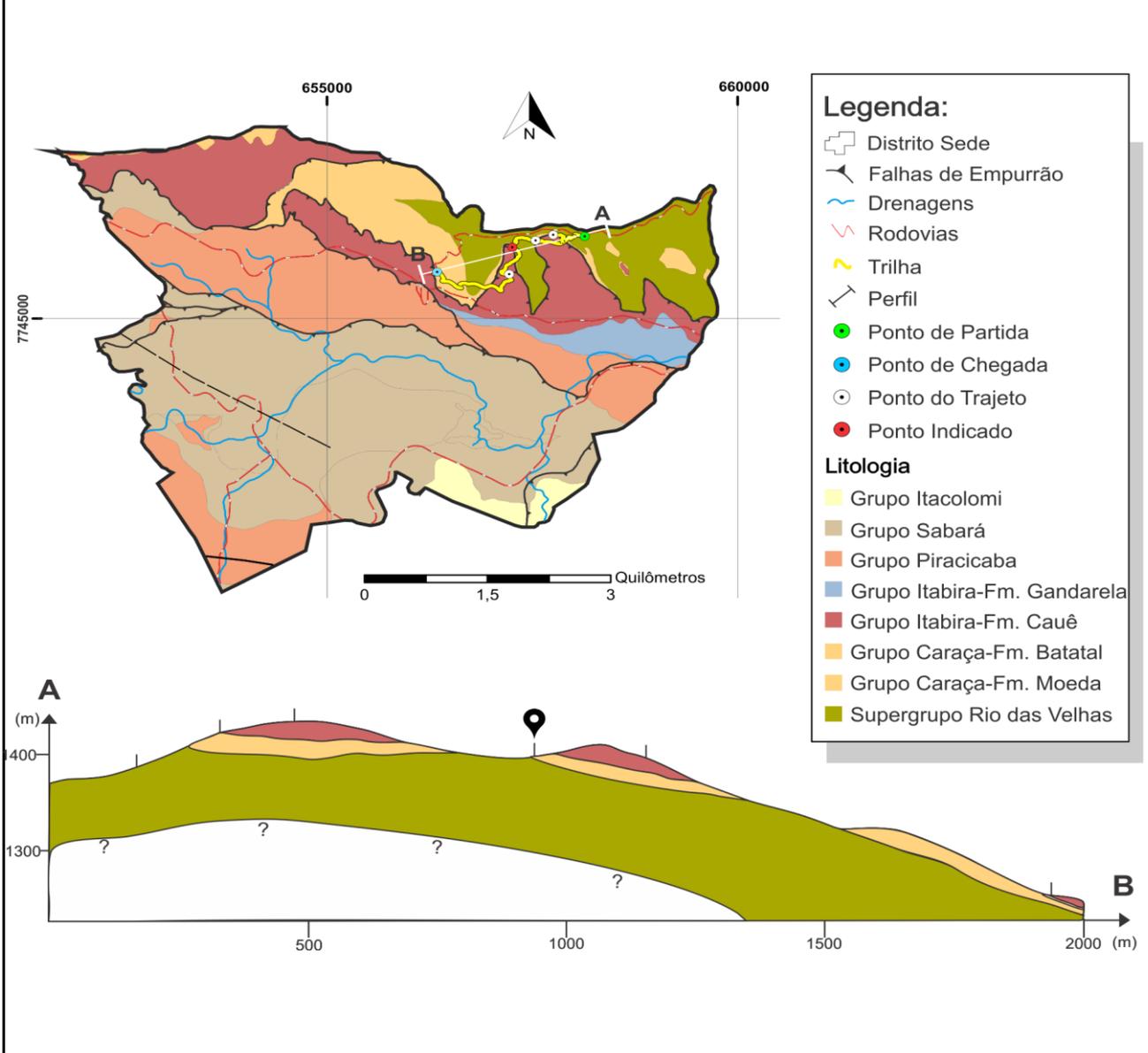
Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



Percursos:	Geologia econômica das mineralizações auríferas e registros históricos.		
Identificação:	2.4	Coordenadas:	23k x:657234 y:7745995 Altitude: 1427m
Nomeação:	Minerações secundárias		
Acesso:	Partindo do Moinho de Vento, retorne a estrada de terra e siga pela direita por 150 metros e vire a esquerda para um trilha. Siga por 260 metros em meio a trilha na mata até encontrar um afloramento de quartzito friável.		

Acessibilidade:	<input type="checkbox"/> Ônibus	<input type="checkbox"/> Carro	<input checked="" type="checkbox"/> A pé
Interesse:	Petroológico e Econômico		
Tipologia:	Local Isolado		

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~ 2.4 G.a.
Minas	Caraça	Moeda	Quartzito	

Descrição:

Na trilha dentro do Parque Arqueológico do Morro da Queimada é possível encontrar variações litológicas, como é o caso deste afloramento. Trata-se de um quartzito, friável, de granulação fina, com lentes pelíticas levemente dobradas. É possível observar na superfície, lineação de crenulação bem definida na direção N-S.

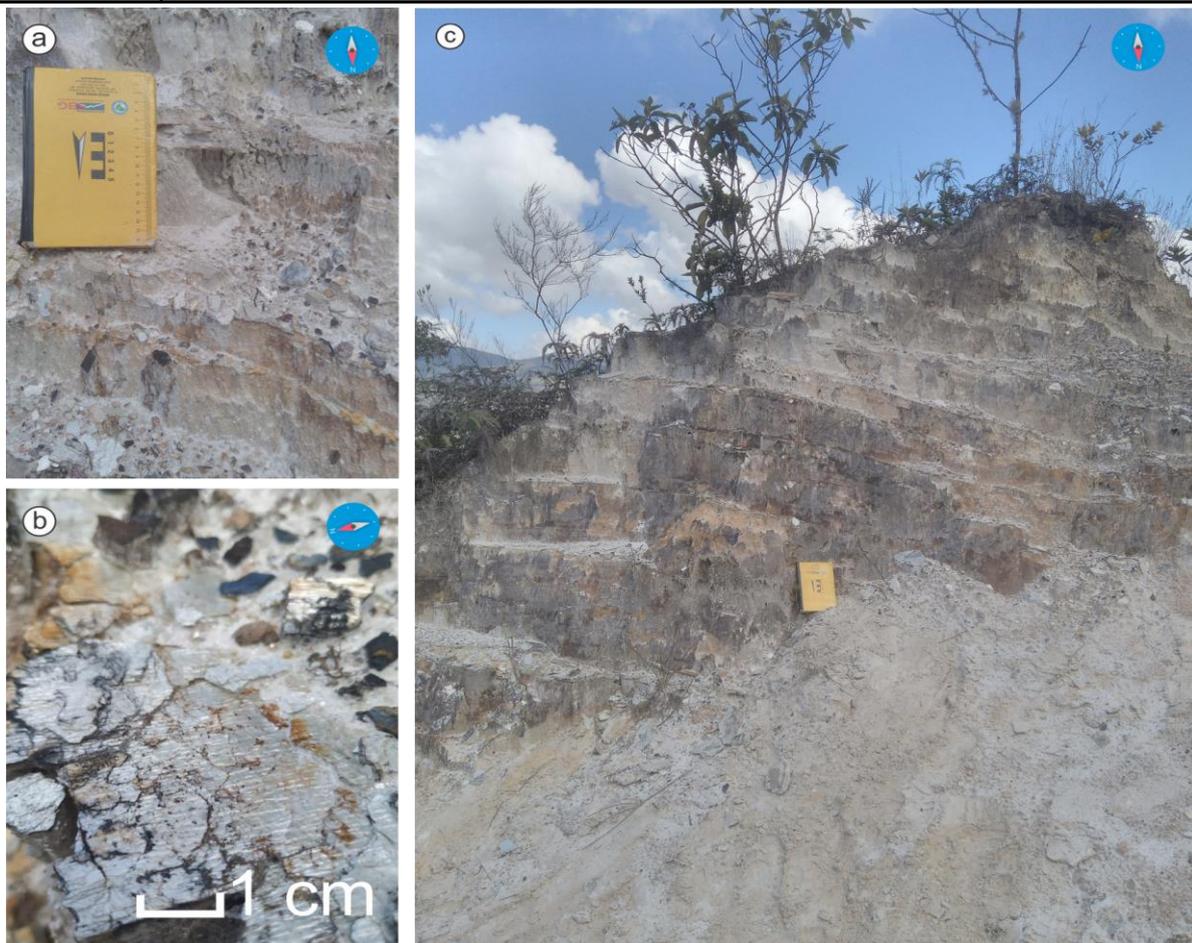
Aspetos relevantes:

Ao longo da Serra de Ouro Preto é possível se deparar com essas mudanças litológicas devido ao relevo acidentado por vales e nascentes que moldam as encostas da serra. Assim, camadas sobrepostas ficam expostas em alguns locais. Nesse local, a extração de quartzito é feita atualmente para uso na construção civil

Observação:

Este local possivelmente funciona uma lavra devido aos vestígios de ação antrópica, como bancadas e clareiras.

Ilustrações:



a, b, c) afloramento de quartzito friável, com lentes pelíticas e lineação de crenulação na superfície;



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



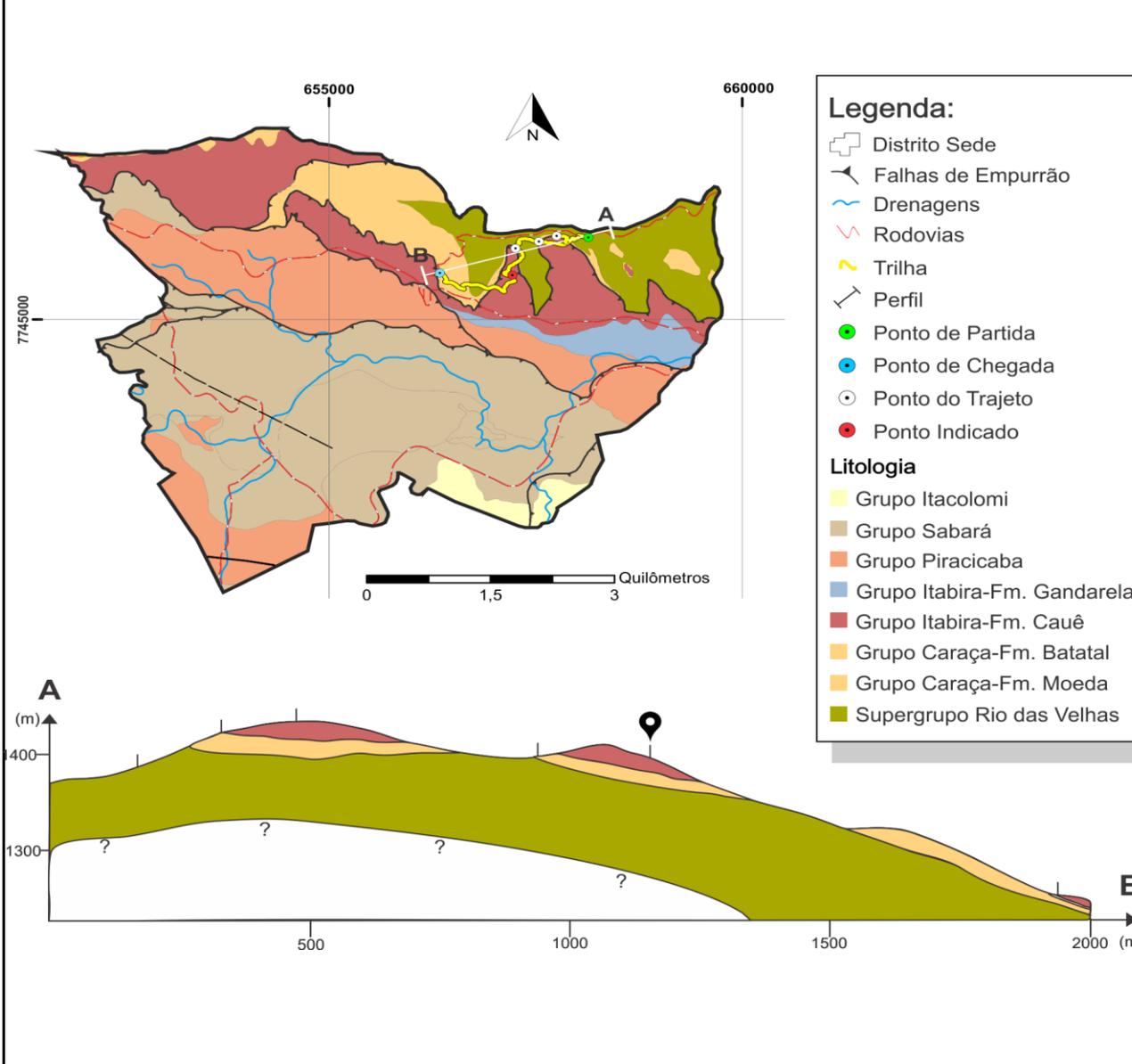
Percursos: Geologia econômica das mineralizações auríferas e registros históricos.
Identificação: 2.5 **Coordenadas:** 23k x:657219 y:7745787 **Altitude:** 1399 m
Nomeação: Ruínas do Morro da Queimada
Acesso: Após o último ponto, siga descendo por 200 metros pela trilha demarcada, é possível avistar os primeiros mundéos. Deve-se atentar ao piso deste local pois existem mundeos cobertos por vegetação.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Geomorfológico e Econômico

Tipologia: Área

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~ 2.4 G.a.
Minas	Itabira	Cauê	Itabirito e canga laterítica	

Descrição:

Este ponto observa-se ruínas de antigos mundéos e alguns sarrilhos obstruídos por vegetação. As construções antigas são todas feitas de canga e revestidas com argila preparada. Na figura "C", é possível observar a disposição dos mundéos ao longo da encosta.

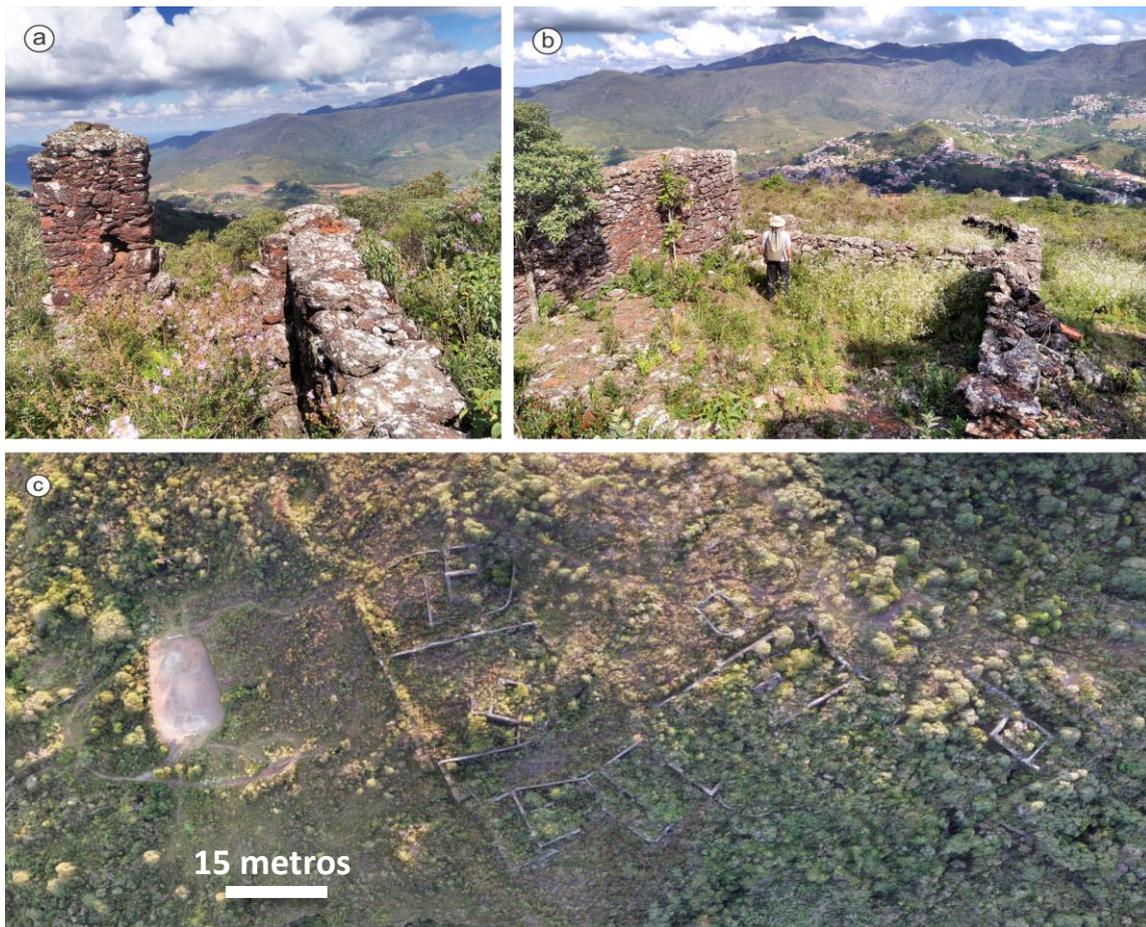
Aspectos relevantes:

As atividades realizadas nesses locais buscavam a extração do ouro que ocorria disseminado ou em estratos na BIF, comumente em regiões onde o terreno apresentava-se mais alterado ou friável, para facilitação do desmonte. O desmonte das rochas era feito de forma hidráulica, aproveitando as águas das chuvas ou pelos archedutos construídos para captar água das nascentes. Para se chegar a essa camada mineralizada da BIF, era necessário retirar toda crosta laterítica (canga). Esses blocos e fragmentos, quando não jogados encosta abaixo, eram usados para construção desses mundéos apresentados neste ponto. Os mundéos são barragens de pedra dispostas ao longo da encosta, onde o material retirado da lavra era acumulado.

Observações:

Algumas destas ruínas eram usadas não somente para mineração como também para moradias, sendo possível observar pequenos espaços na construção usados como "janelas" para ventilação do local.

Ilustrações:



a, b) ruínas de mundéos feitos de canga retirada da crosta laterítica; c) foto-aérea feita por drone na área descrita. Foto: Rolling Drone Geotecnologias, 2018.



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



Percursos: Geologia econômica das mineralizações auríferas e registros históricos.

Identificação: 2.6 **Coordenadas:** 23k x:656317 y:7745661 **Altitude:** 1197 m

Nomeação: Mina do Alberto

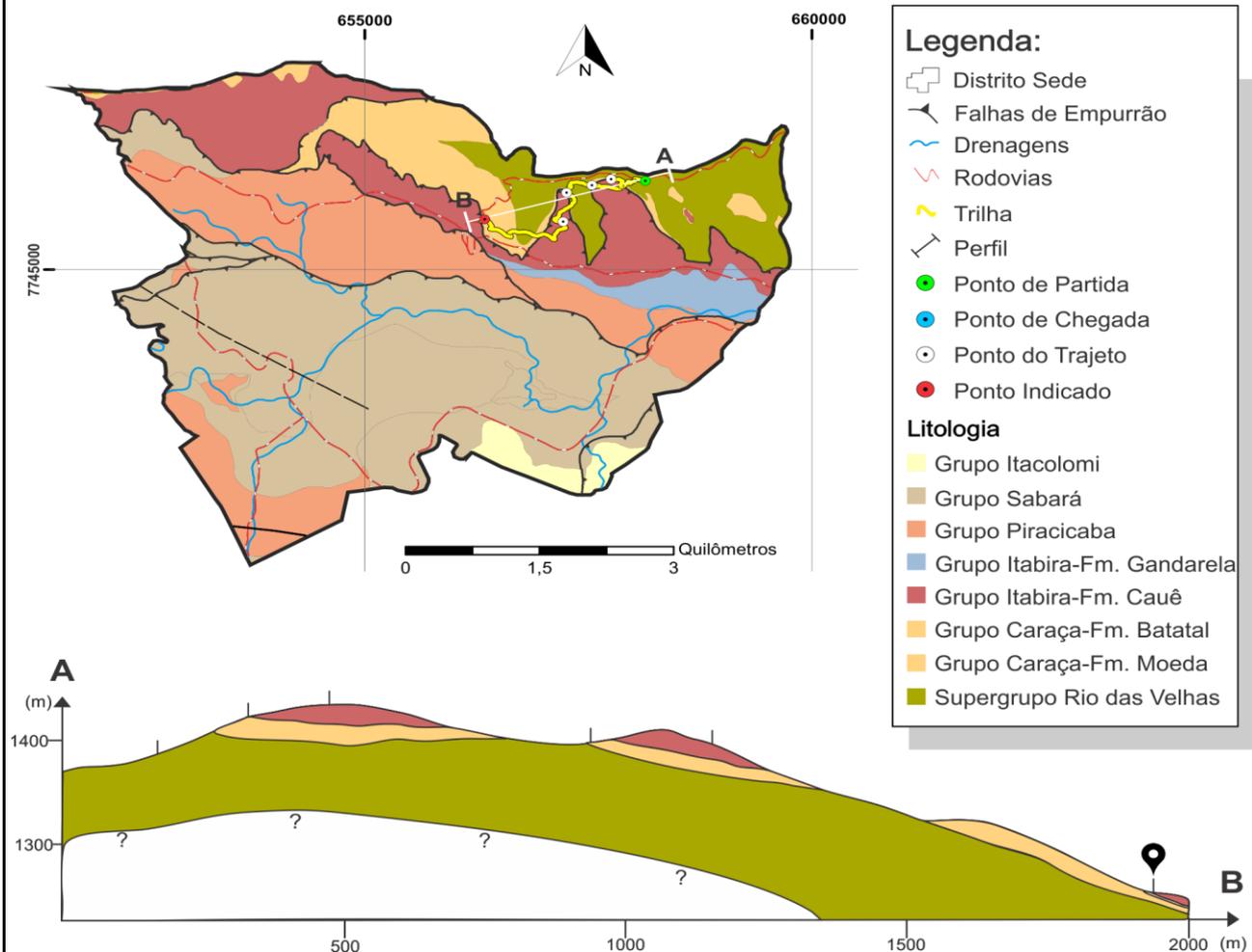
Acesso: Esse ponto exemplifica a mineração subterrânea, adentrando a Serra de Ouro Preto. Para chegar a essa mina, deve-se retornar ao centro da cidade. Partindo da Praça Tiradentes, siga pela rua Henri Gorceix e suba a Ladeira João de Paiva por 270 metros e vire a direita, continue por 55 metros. A mina encontra-se no fundo da residência do Alberto Fonseca.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Estrutural, Petroológico, Econômico e Histórico

Tipologia: Área

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~2.4 G.a.
Minas	Caraça	Moeda e Batatal	Filito e Quartzito	

Descrição:

A mina se desenvolve primeiramente buscando o veio de quartzo no filito da Formação Batatal, de textura lepidoblástica e friável e no contato entre esta formação com a formação ferrífera bandada (Formação Cauê). Este tipo de galeria era de difícil captação de água, por isso, alguns sarrilhos e condutos pequenos dentro da galeria foram escavados para direcionamento da água como mostrado na foto da figura "E". A mina se desenvolvia no contato das duas Formações e quando os mineradores encontravam os bolsões de quartzo mineralizado, abriam-se grandes salões (figura A).

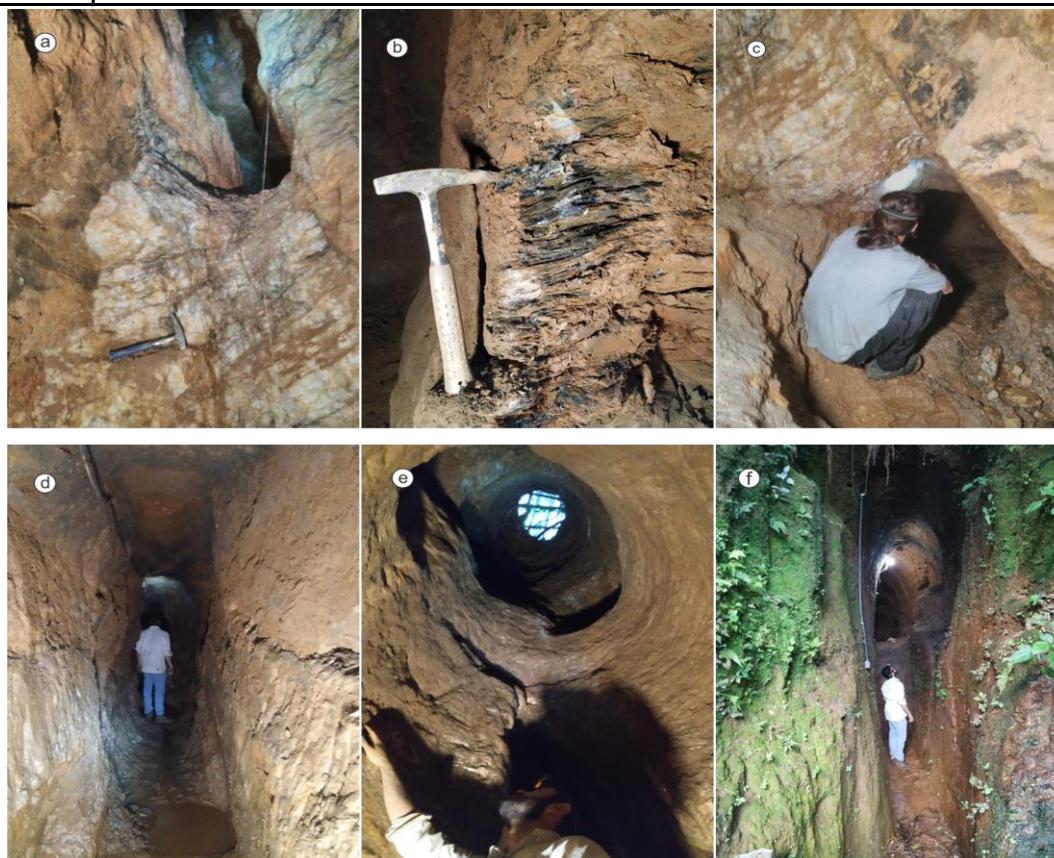
Aspectos relevantes:

A abertura de poços e galerias pelos garimpeiros do século XVIII, tinham como objetivo atingir a mineralização primária na base da sequência metassedimentar de idade proterozóica (Supergrupo Minas). Há vários níveis onde se localiza a mineralização do ouro, principalmente nos veios de quartzo (filões) discordantes da foliação e sulfetação (arsenopirita) no contato de base de toda sequência e os níveis de bif com mineralização interna (Sobreira e Fonseca, 2001). As galerias tem orientação principal E-W e o maior salão está no contato com a Fm. Moeda com um veio de ~1,10m de espessura modal cortando a galeria no sentido NE-SW, provavelmente o local da lavra.

Observações:

Segundo o trabalho de Cavalcanti (1999) estes veios possuem ocorrência restrita ao Quartzito Moeda e Filito Batatal. Possuem orientação constante na direção 230-240°, sub-vertical. A turmalina ocorre associada, principalmente, às bordas dos veios e a arsenopirita forma buchos em meio à massa de quartzo. O caimento (plunge) destes veios é paralelo à lineação de crenulação, que por sua vez mergulha na mesma direção da foliação principal S0. Estes veios podem ter-se originado devido ao fraturamento hidráulico relacionado ao afundamento da bacia que pode estar relacionado a uma tectônica extensional.

Ilustrações:



a, b, c, d, e, f) fotos da Mina do Alberto, no morro São Sebastião, exemplificando a mineração subterrânea do século XVIII;



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
 Trabalho de Monografia TCC-402
 Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



Percursos: Áreas de Risco em Ouro Preto

Identificação: 3.1 **Coordenadas:** 23k x:662180 y:7745579 **Altitude:** 1184m

Nomeação: Posto das Lajes

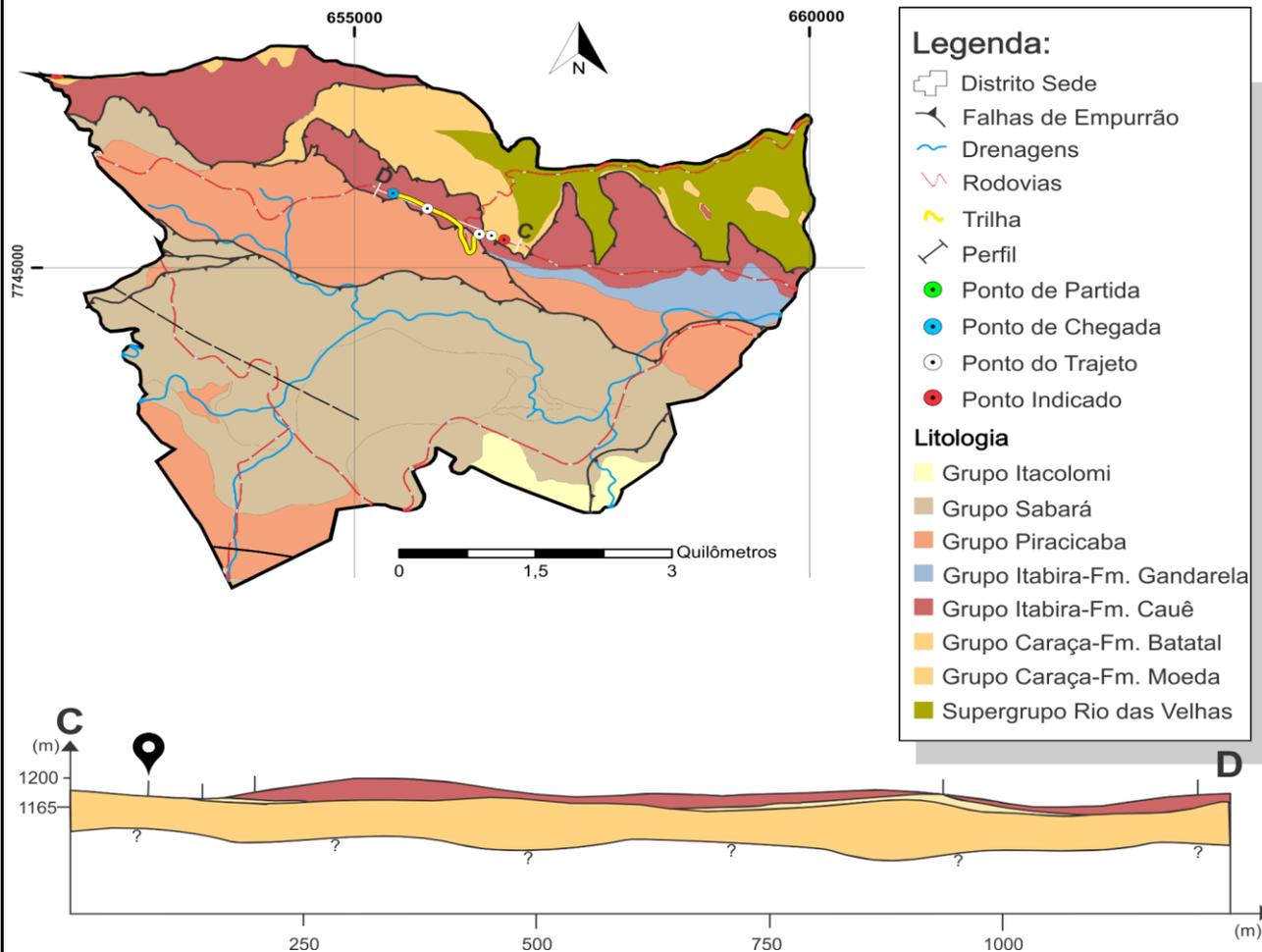
Acesso: Saindo do Centro Histórico de Ouro Preto, pegue a Rua Barão de Camargos. Siga no mesmo sentido agora na Rua Conselheiro Quintiliano, o afloramento se encontra nos fundos do posto. A mesma litologia tipo se repete aos fundos do Corpo de Bombeiros.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Estrutural, Petrologico e Geotécnico

Tipologia: Área

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~2.5 G.a.
Minas	Caraça	Moeda	Quartzito	

Descrição:

Este afloramento de quartzito se encontra em uma encosta atrás do posto de combustível a 20 metros da rua. Funciona uma pequena extração de blocos de quartzito para ornamentação. A rocha se apresenta exposta devido ao trabalho neste local, maciça, competente, e ocorre percolação de água por entre as fraturas. São observados 2 famílias de fraturas mais a foliação: Fr1 (foliação): ~210/25; Fr2: ~225/70; Fr3: ~90/80.

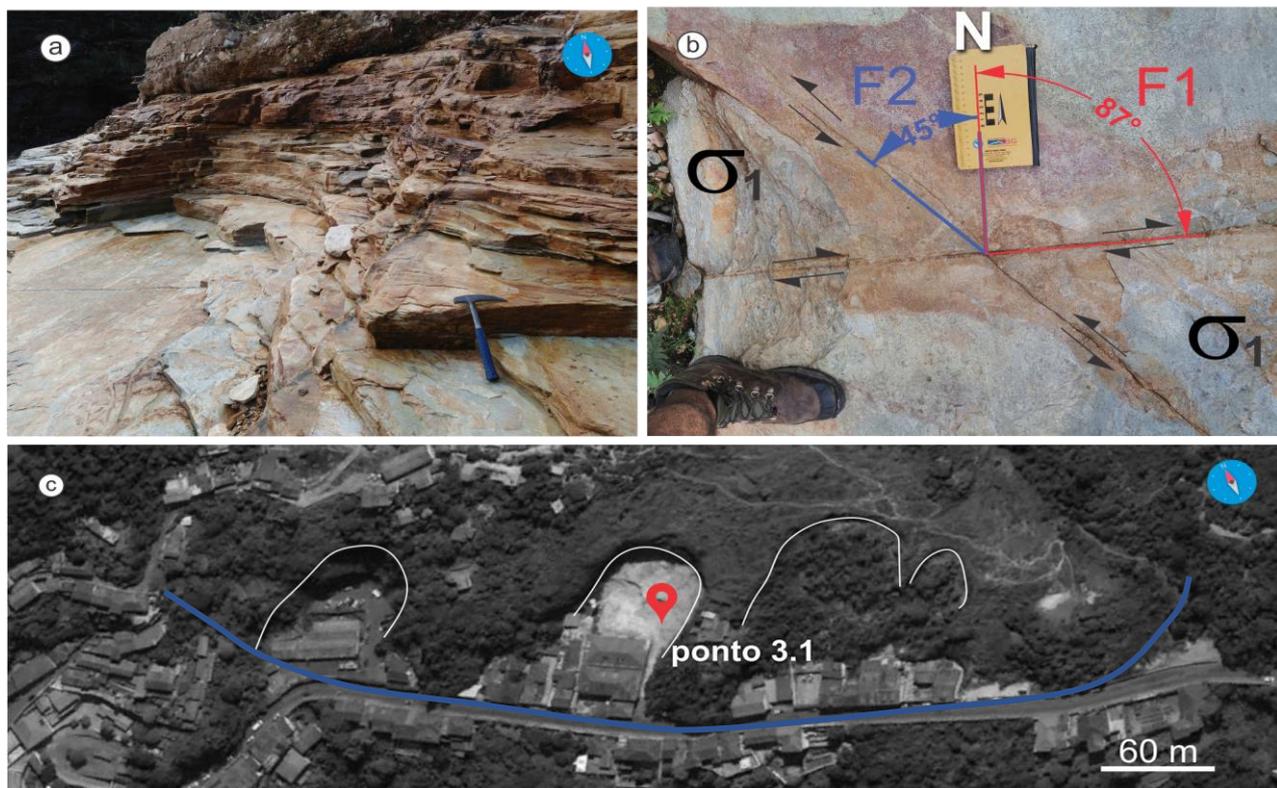
Aspectos relevantes:

Nesse maciço ocorre o risco de queda de blocos devido ao ângulo do talude e as famílias de fraturas que contém. A orientação preferencial das fraturas e discontinuidades é uma consequência das tensões geológicas atuantes durante a formação das estruturas. Tais discontinuidades se conectam (figura B) favorecendo o aumento da percolação de água no maciço, como visto na figura A. Por esse motivo o fluxo que percola no maciço rochoso está ligado às discontinuidades presentes.

Observação:

Pela foto aérea é possível observar mais três antigos locais de extração de quartzito com a geometria côncava (linha branca) em uma paisagem natural de geometria convexa (linha azul). Esses locais ficaram com cicatrizes e "paredões" na paisagem, que podem levar risco a comunidade presente. Um desses locais funciona hoje o Corpo de Bombeiros.

Ilustrações:



a) faces livres ocasionado pela retirada de blocos de quartzito para ornamentação com percolação de água; b) famílias de fraturas se interceptando. A bissetriz dos ângulos agudos formados pelas duas fraturas é paralelo a direção de maior esforço (sigma 1); c) foto-aérea do ponto descrito, mostrando outros locais adjacentes usados antigamente com a mesma finalidade.



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
 Trabalho de Monografia TCC-402
 Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



Percursos: Áreas de Risco de Ouro Preto

Identificação: 3.2 **Coordenadas:** 23k x:656384 y:7745422 **Altitude:** 1158m

Nomeação: Contraste reológico do Grupo Caraça

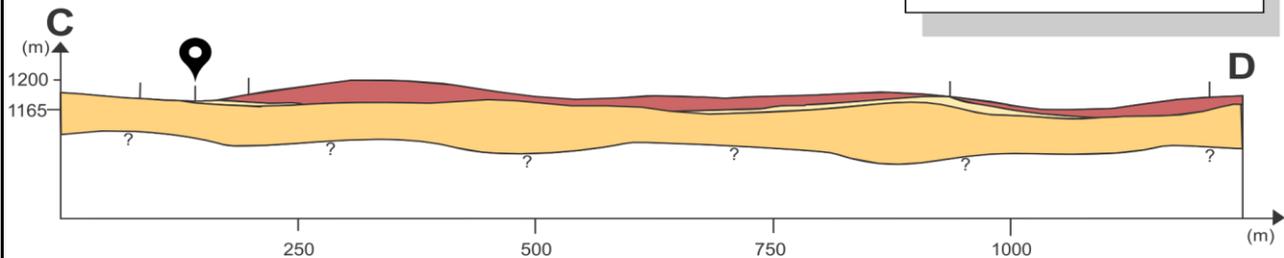
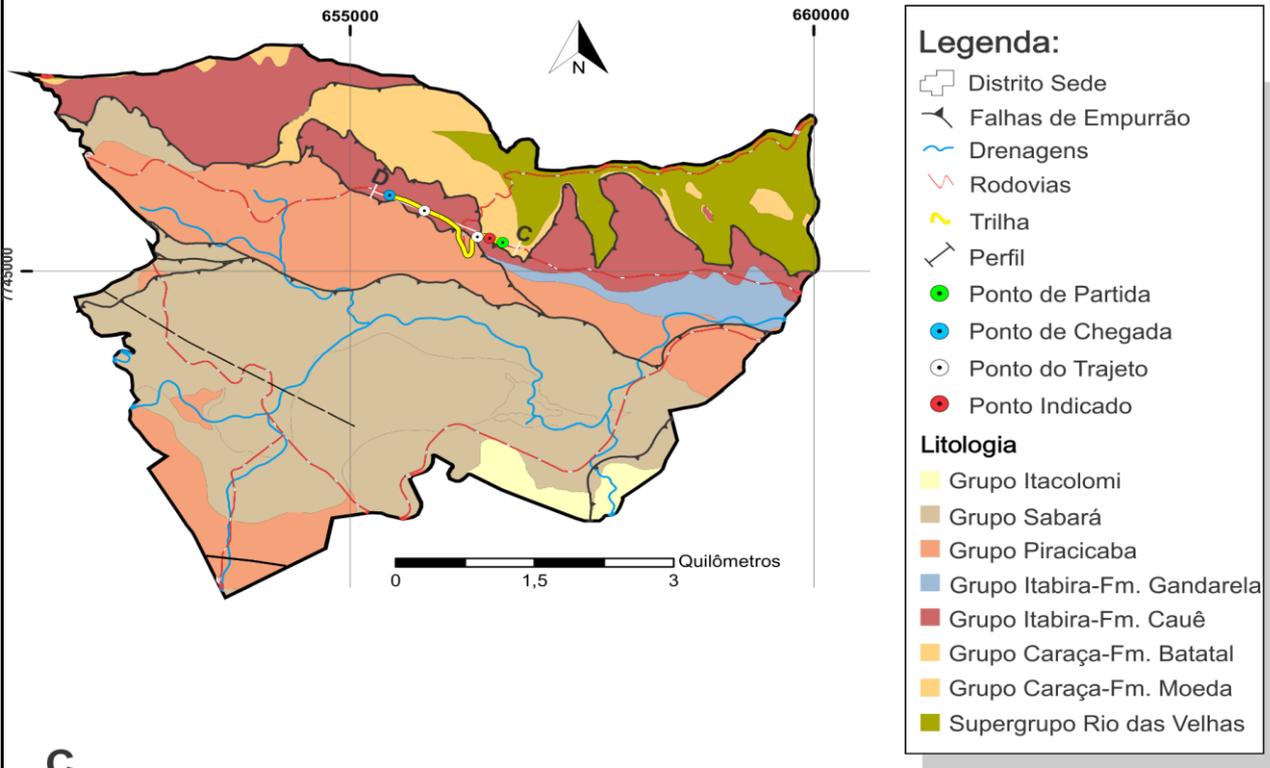
Acesso: Voltando do primeiro ponto do posto das lajes, siga sentido Praça Tiradentes. O afloramento está no corte da rua entre o Posto das Lajes e o Corpo de Bombeiros.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Estrutural, Petrológico e Geotécnico

Tipologia: Local Isolado

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~2.4 G.a.
Minas	Caraça	Moeda / Batatal	Quartzito / Filito	

Descrição:

Nesse local há o contato abrupto do quartzito da Formação Moeda com o filito de coloração prateada da Formação Batatal. O filito, rocha menos competente, apresenta-se com microdobras e com a superfície mais intemperizada em relação ao quartzito maciço. Entre contato das duas litologias com parâmetros geotécnicos distintos, há o preenchimento de veio de quartzo fraturado.

Aspectos relevantes:

O contato entre as formações Moeda e Batatal, é de um contexto de transgressão marinha, com sedimentos de ambiente predominantemente continental para um ambiente marinho raso (Moraes, 1985). Assim, os filitos da Fm. Batatal são de natureza pelítica, que influenciam no comportamento geotécnico tornando-o mais erodível quando intemperizado e oferece risco quando a foliação mergulha no sentido perpendicular ao corte de estrada. Nesse afloramento a atitude da camada é: $F \sim 250/30$, ou seja, direção oblíqua ao corte. Já o quartzito, maciço e resistivo a erodibilidade, não apresenta risco neste afloramento pois apresenta fraturas secundárias de menor persistência e extensão menor neste contato.

Observação:

Características litológicas e geomorfológicas da região permitem comportamentos geotécnicos diferentes nas rochas em um só perfil.

Ilustrações:



a) corte de estrada expondo o contato entre as formações Batatal e Moeda, com diferentes comportamentos geotécnicos;



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



Percursos: Áreas de risco de Ouro Preto

Identificação: 3.3 **Coordenadas:** 23k x:656286 y:7745433 **Altitude:** 1151m

Nomeação: Desenvolvimento rubano em antigas áreas de mineração

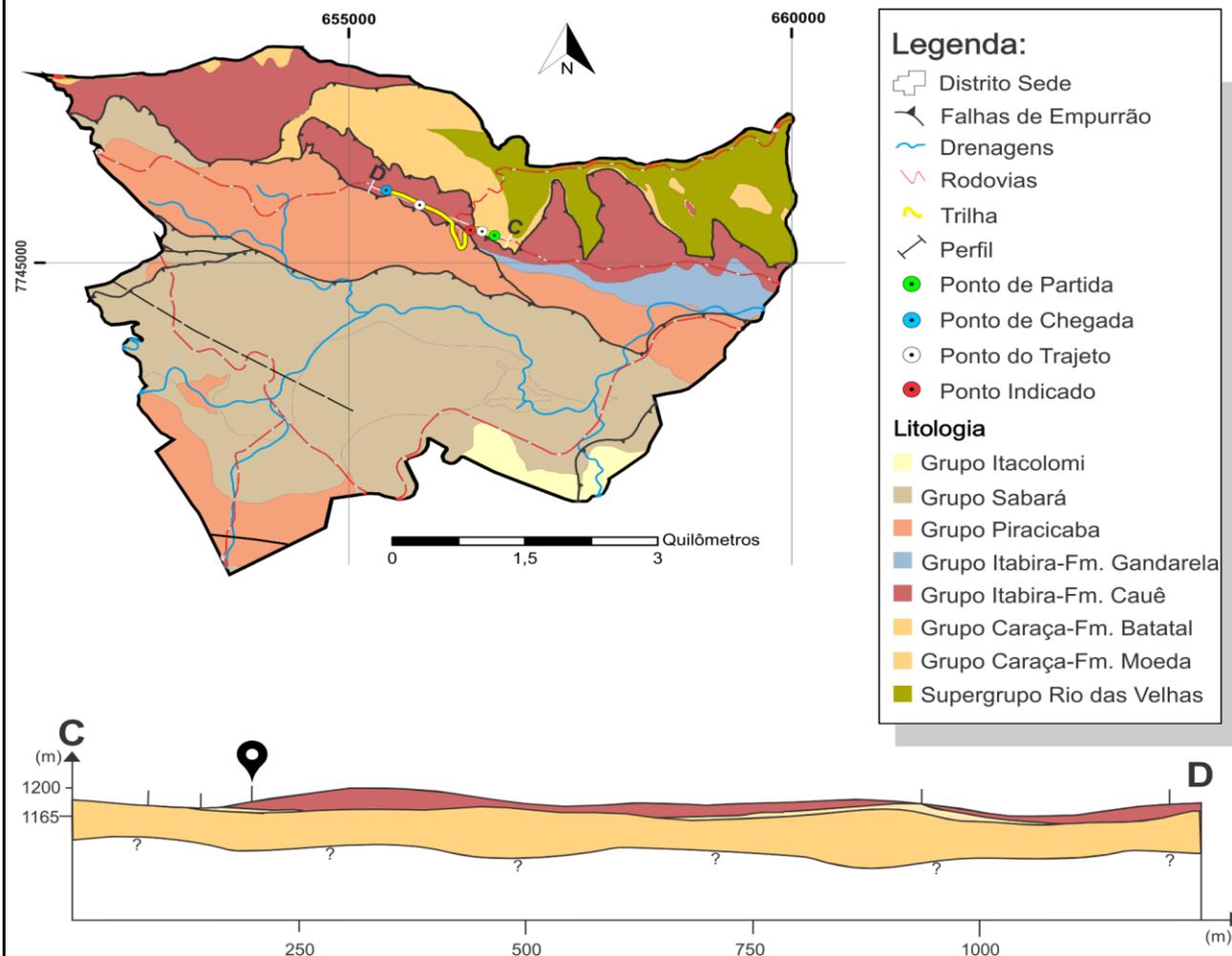
Acesso: Siga sentido Praça Tiradentes, após o corpo de bombeiros, o afloramento se encontra a direita da rua como encosta.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Econômico, Estrutural, Petrológico e Geotécnico

Tipologia: Área

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~ 2.4 G.a.
Minas	Itabira	Cauê	Itabirito	

Descrição:

Este ponto aflora o itabirito da Formação Cauê, com a foliação bem marcada e veios de quartzo com dobras de cisalhamento dextral. O itabirito na figura A e B, apresenta dois tipos de coloração: acima do veio, cinza e laminada, marcada pela magnetita e abaixo do veio, avermelhada, argiloso, rico em hematita. No local existe uma boca de mina de pequena extensão logo adjacente a rua.

Aspectos relevantes:

Nesta região que se encontra este afloramento, a principal mineralização aurífera constitui por veios de quartzo sulfetado, mais precisamente veios de quartzo-pirita-calcopirita-turmalina que estão encaixados no Itabirito Cauê (figura A, B e C). O controle desse minério é devido a estrutura regional e resultante de sistemas hidrotermais (Cavalcanti, 1999). Assim, as antigas minerações subterrâneas buscavam, nessa região, este tipo de mineralização e abriam-se galerias sem o devido planejamento, somente visando a máxima extração de minério. Como consequência, alinhado com o avanço da ocupação urbana desses locais, a estabilidade das galerias em regiões próximas a superfície topográfica são muito susceptíveis a desabamentos, causando problemas geotécnicos como: residências com trincas e recalque das estruturas de casas e rua adjacentes (Fonseca e Sobreira, 2001).

Observação:

A boca da mina exemplifica a busca dos mineradores pelos veios encaixados na formação ferrífera. Caso tal local não fosse economicamente viável, o mesmo era abandonado e usado como descarte de ferramentas e pertences pessoais.

Ilustrações:



a, b) veio de quartzo encaixado no itabirito Cauê, um exemplo de mineralização regional; c) foto-mosaico do corte da rua com a boca da mina ao lado.



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



Percursos: Áreas de risco de Ouro Preto

Identificação: 3.4 **Coordenadas:** 23k x:655730 y:7745737 **Altitude:** 1180m

Nomeação: Rodoviária

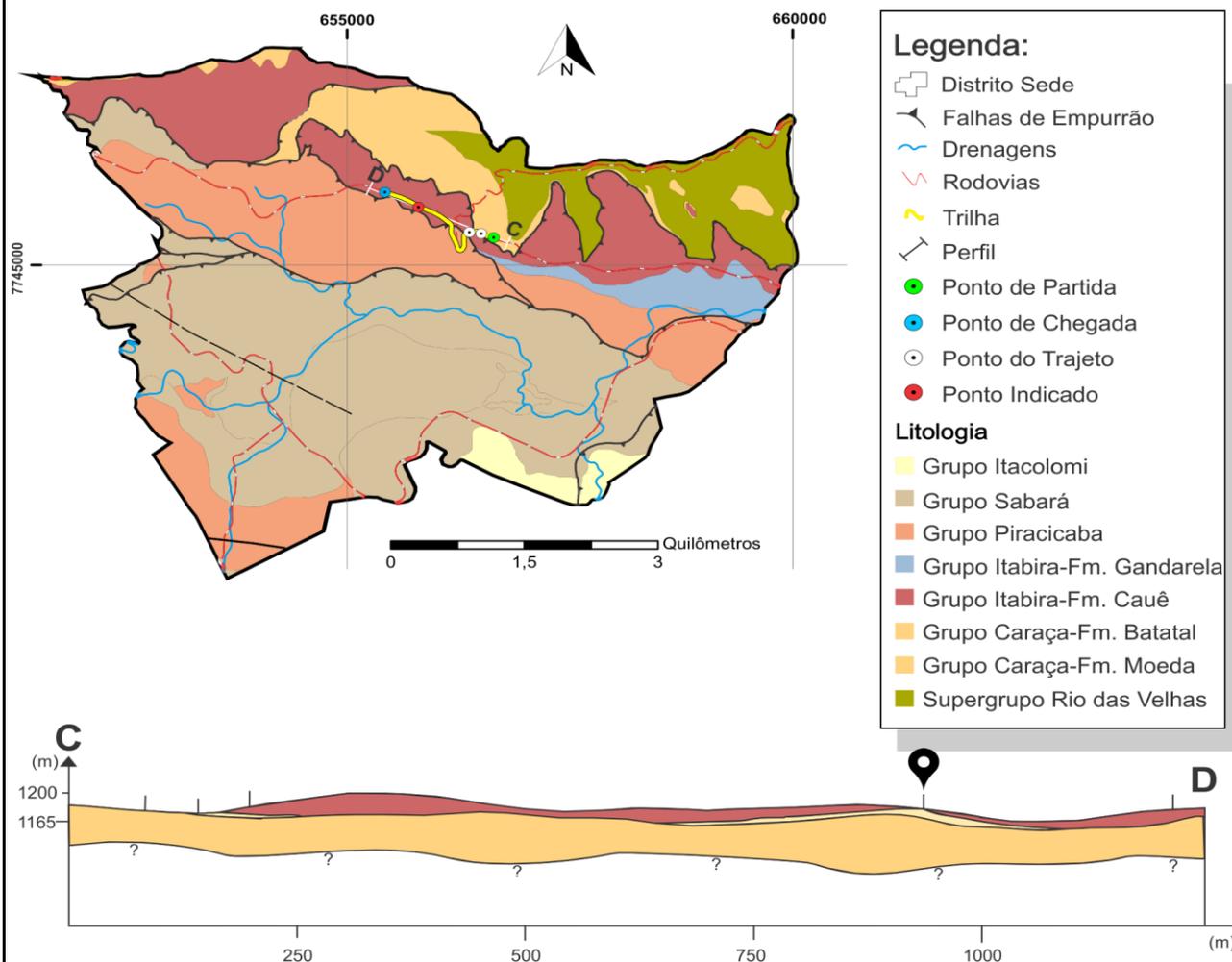
Acesso: A partir da praça Tiradentes, siga sentido a cidade de Belo Horizonte pela rua Padre Rolim. Afloramento com cicatriz bem exposta próximo a rotatória da rodoviária.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Geomorfológico, Petrológico e Geotécnico

Tipologia: Local Panorâmico

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~ 2.5 a 2.4 G.a.
Minas	Caraça / Itabira	Batatal / Cauê	Filito / Itabirito	

Descrição:

Este ponto apresenta a cicatriz deixada na paisagem pelo escorregamento de encosta ocorrido no dia 3 de janeiro de 2012. Segundo o Corpo de Bombeiros do município, o maior acidente geológico na história de Ouro Preto. A encosta é composta por rochas itabirito-Cauê, porém na cicatriz do local acidentado, expõe o filito Batatal no contato de base. Segundo Sobreira (1990) este local está inserido no domínio morfológico da Serra de Ouro Preto, com encostas onde o pendor é concordante com o mergulho das rochas.

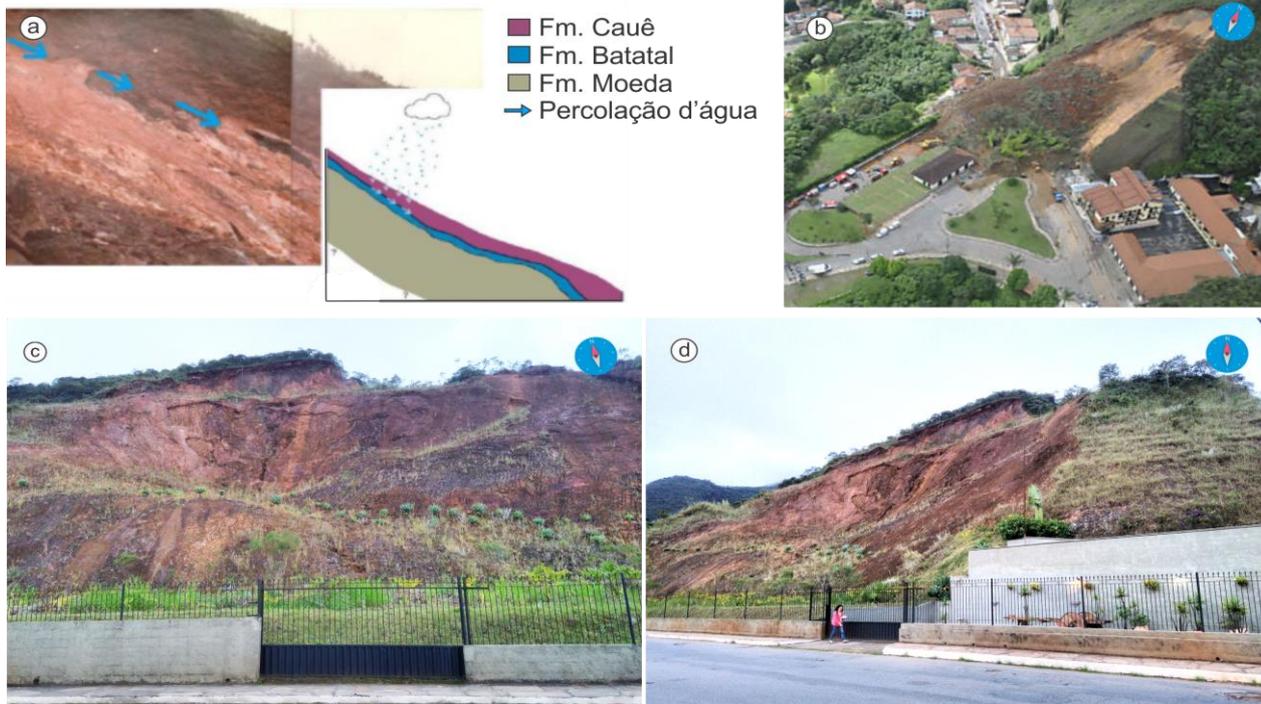
Aspectos relevantes:

A região de Ouro Preto é submetida a um clima tropical de altitude, com período de chuvas prolongados. Nesses períodos o itabirito, apresentando alta permeabilidade, facilita a infiltração e percolação de água pelo maciço (Tavares, 2018). Entretanto, como os filitos estão abaixo das camadas de itabirito e com baixa permeabilidade, ocorre a tendência de redução da percolação. Assim, a água acumula e percorre no contato entre as duas unidades (figura A). Além disso, favorece o aumento da poropressão e consequentemente a redução da coesão entre as partículas que formam as rochas e os solos, o que contribui para o início dos processos de movimentação de massa (Tavares, 2018). Com tudo isso, associado com o mergulho das rochas no mesmo sentido das encostas, facilitam a instabilidade, ocorrendo especialmente rastejos e deslizamentos nessa região.

Observação:

Nessa ocasião, o deslizamento de terra moveu cerca de 60 mil toneladas de material inconsolidado. Além de atingir parte da rodoviária, a movimentação de massa também danificou uma casa, um hotel e um posto de gasolina, deixando duas vítimas fatais.

Ilustrações:



a) desenho esquemático exemplificando a infiltração d'água da chuva no itabirito com alta permeabilidade e percolando no contato com o filito de baixa permeabilidade; b) foto-aérea registrada no dia do acidente. Foto: Folha de São Paulo, 2012; c) visão frontal do local acidentado; d) visão lateral do local acidentado.



Roteiro Geológico na Região Urbana de Ouro Preto
Trabalho de Monografia TCC-402
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Ouro Preto



Percursos: Áreas de risco de Ouro Preto

Identificação: 3.5 **Coordenadas:** 23k x:655378 y:7745898 **Altitude:** 1178m

Nomeação: Áreas com alta suscetibilidade à riscos geotécnicos

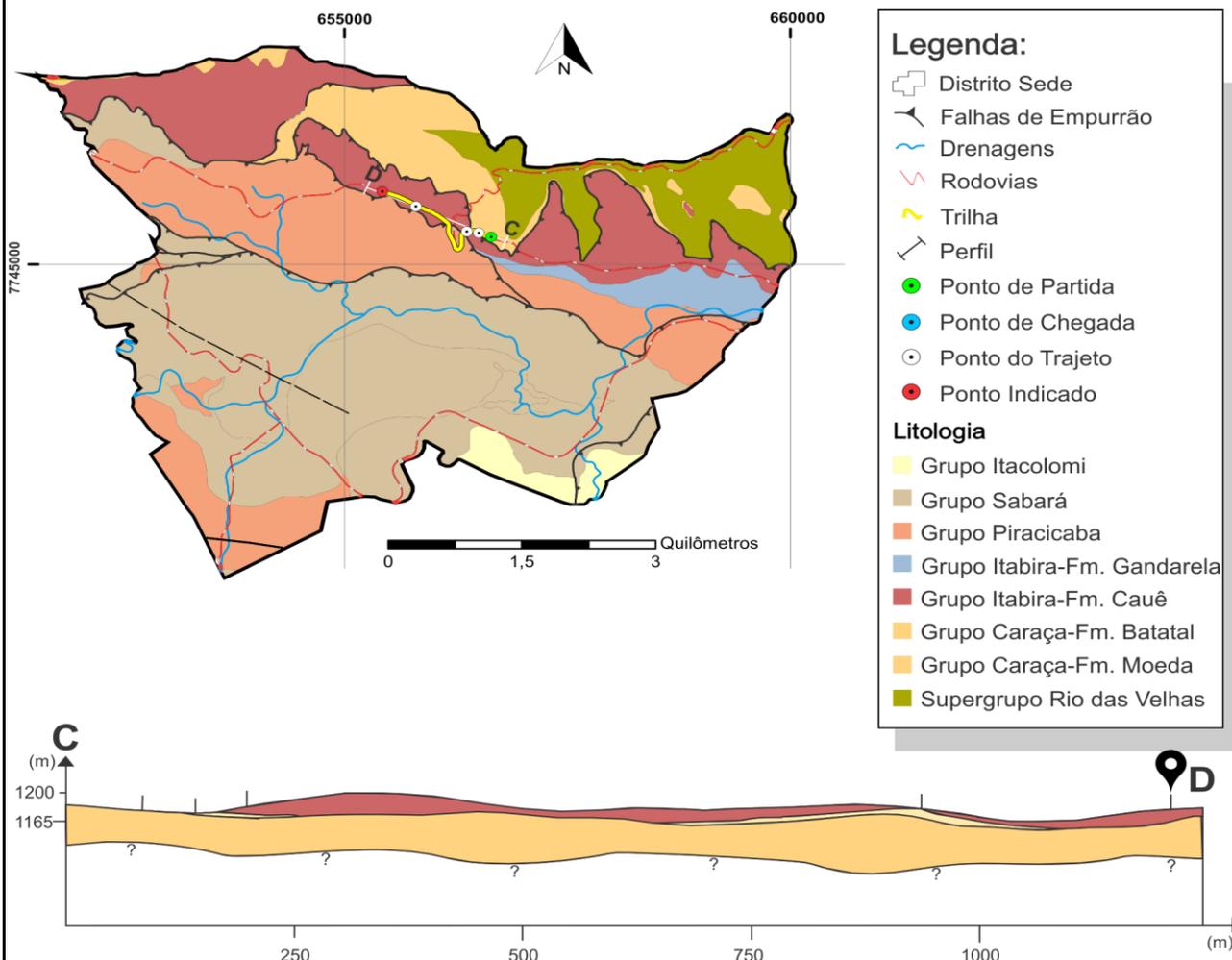
Acesso: A partir da praça Tiradentes, siga sentido a cidade de Belo Horizonte pela rua Padre Rolim. Afloramento esta no ponto de ônibus da linha urbana esquina para entrada da pousada Miguel Arcanjo.

Acessibilidade: Ônibus Carro A pé

Interesse: Estrutural, Petrológico e Getécnico

Tipologia: Área

Localização:



Unidade Litoestratigráfica				Idade
Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	~ 2.4 G.a.
Minas	Itabira	Cauê	Itabirito	

Descrição:

Neste ponto e ao longo da rua Parde Rolim, aflora-se itabiritos da Formação Cauê. Apresenta-se de cor cinza (níveis de oxido de ferro, hematita + magnetita) e vermelho (níveis com quartzo oxidado em superfície). Este maciço encontra-se com fraturas e descontinuidades destacadas pela foliação dobrada, deformando a rocha que, influencia diretamente nos mecanismos de ruptura. Há também uma superfície de canga em alguns pontos da rua. Trata-se de uma rocha branda, parcialmente intemperizada, tendo como família principal de fraturas a foliação.

Aspectos relevantes:

Por causa de acidentes por deslizamentos de terra no passado, a região possui algumas restrições quanto ao uso e ocupação do solo. Segundo Tavares (2018) os calculos feitos neste afloramento sugerem que, considerando somente carregamento gravitacional, os blocos menores como mostrado na figura 'A' seriam estáveis, porém, com o avanço da ocupação desordenada, essas condições podem variar. No entanto, não acontece o mesmo com os blocos maiores (figura C). Quando em condições saturadas, há movimentação de pequenos blocos, gerando desconfinamento e face livre para que outros blocos maiores se movimentem. Segundo o trabalho de Tavares (2018), os mecanismos típicos de ruptura foram identificados, envolvendo tanto rupturas planares segundo a xistosidade, quanto rupturas em cunha formadas pela xistosidade com uma das famílias de fraturas 2m e/ou 3m.

Observação:

Em 1979, ocorreu nessa região um grande escorregamento de terra. Contudo, observou-se um processo de aceleração da ocupação urbana desde entao (Oliveira, 2010). Dessa forma, torna-se necessário o monitoramento e atualização dos levantamentos geotécnicos.

Ilustrações:



a) escorregamento de blocos menores, desconfinando e expondo blocos maiores; b) camadas com mergulho em direção a rua e com residências no local; c) blocos maiores rolados a beira da encosta, com declive para rua e ao fundo o exemplo de ocupação desordenada nessa região.