

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia

Gabriel Faria Gonçalves

**ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS E PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR DO
SUPERGRUPO MINAS E GRUPO ITACOLOMI NO QUADRILÁTERO
FERRÍFERO, MG, BRASIL**

Gabriel Faria Gonçalves

**ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS E PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR DO
SUPERGRUPO MINAS E GRUPO ITACOLOMI NO QUADRILÁTERO
FERRÍFERO, MG, BRASIL**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geologia.

Área de concentração: Geologia Regional
Orientador: Prof. Dr. Alexandre Uhlein

Belo Horizonte

2021

G635e
2021

Gonçalves, Gabriel Faria.

Estratigrafia de seqüências e proveniência sedimentar do Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi no Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil [manuscrito] / Gabriel Faria Gonçalves. – 2021.

138 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientador: Alexandre Uhlein.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2021.

Área de concentração: Geologia Regional.

Bibliografia: f. 73-84.

Inclui apêndices.

1. Sedimentos (Geologia) – Quadrilátero Ferrífero (MG) – Teses. 2. Geologia estratigráfica – Teses. 3. Rochas sedimentares – Quadrilátero Ferrífero (MG) – Teses. I. Uhlein, Alexandre. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 551.3.051(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS E PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR DO SUPERGRUPO MINAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG, BRASIL

GABRIEL FARIA GONÇALVES

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA REGIONAL, pelo Programa de Pós-graduação em Geologia da UFMG.

Aprovada em 30 de novembro de 2021, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Alexandre Uhlein - Orientador
UFMG

Prof. Gabriel Jubé Uhlein
UFMG

Prof. Maximiliano de Souza Martins
UFOP

Belo Horizonte, 30 de novembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, e aos meus pais e irmã por todo o apoio e paciência desde sempre.

Agradeço à Pró-reitoria de Pós-graduação (PRPG) da UFMG e ao Programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências (IGC) da UFMG pelo apoio à pesquisa.

Agradeço ao Prof. Alexandre Uhlein pelos conhecimentos compartilhados, pela paciência e trabalho em equipe. Agradeço aos Professores Gabriel Uhlein e Maximiliano de Souza Martins pelas discussões sobre Estratigrafia de Sequências e comentários preciosos. Ao geólogo sênior Marco Aurélio da Costa, agradeço pelas suas importantes contribuições (amostras, sugestões de afloramentos, discussões e bibliografia).

Agradeço também à geóloga Leísa Alvarenga Resende, por toda ajuda e comentários pertinentes enquanto o trabalho estava sendo feito, além do seu apoio e colaboração em trabalhos de campo.

Aos geólogos Rafaela Machado e Gilberto Mendes da Cunha Jr., agradeço pelo trabalho em equipe no campo e pela descrição petrográfica no microscópio de luz transmitida.

Ao Dennis Freitas Santos, agradeço pelo trabalho artístico nos blocos diagramas deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*“Qualquer que seja o caminho no qual enveredemos, nosso destino estará
indissoluvelmente ligado à ciência.”*

Carl Sagan

RESUMO

A megassequência Paleoproterozoica Minas-Itacolomi, que está inserida na província metalogenética do Quadrilátero Ferrífero, sudeste do Brasil, registra uma transição de rifte continental para margem passiva e posteriormente, para uma bacia *foreland*. A partir da ótica da estratigrafia de sequências, cinco sequências deposicionais puderam ser determinadas, que fornecem informações acerca das variações eustáticas paleoproterozoicas, representadas na carta estratigráfica da bacia Minas-Itacolomi. O principal evento global registrado nessas unidades metassedimentares é o Grande Evento de Oxigenação. Inicialmente, procedeu-se o reconhecimento sistemático de fácies sedimentares (41 ao todo), suas associações, e a identificação de sistemas deposicionais (9 sistemas reincidentes, ao todo), tratos de sistemas (também um total de 9), e de sequências sedimentares (nesta ordem). Os Grupos Caraça e Itabira correspondem a primeira Sequência Depositional, onde foram identificados os tratos de Mar Baixo, Transgressivo e Mar Alto. O Grupo Piracicaba é constituído por duas Sequências Depositionais e quatro tratos deposicionais. Os Grupos Sabará e Itacolomi constituem as duas sequências deposicionais de topo, relacionadas a evolução de uma bacia *foreland*, onde foi possível reconhecer os tratos deposicionais *underfilled* e *overfilled*. A proveniência sedimentar das unidades estratigráficas da bacia Minas-Itacolomi foi baseada principalmente em dados geocronológicos pelo método U-Pb em zircões detríticos existentes na literatura e, secundariamente, a partir de paleocorrentes e variações de espessura. Todas as unidades estratigráficas da bacia Minas-Itacolomi possuem zircões detríticos de fontes Arqueanas, provenientes do Supergrupo Rio das Velhas e do embasamento cristalino. Apenas os Grupos Sabará e Itacolomi mostram histogramas de idades U-Pb em zircões detríticos com distribuição bimodal, indicando proveniência arqueana e paleoproterozóica. A proveniência paleoproterozóica significa a inversão tectônica do Cinturão Mineiro, situado a sudeste do Quadrilátero Ferrífero.

Palavras-chave: Fácies Sedimentares; Bacia Paleoproterozoica Minas-Itacolomi; Estratigrafia de Sequências; Geologia Sedimentar.

ABSTRACT

The Minas-Itacolomi is a palaeoproterozoic meta-sedimentary megasequence in the Iron Quadrangle (Quadrilátero Ferrífero) metallogenic province in southeastern Brazil. It records a continental rift to passive margin to foreland basin transition. From the perspective of sequence stratigraphy, five sequences could be determined, providing information of the Palaeoproterozoic relative sea-level changes, summarized in the Minas-Itacolomi Basin stratigraphic chart. The main global event recorded in these meta-sedimentary units is the Great Oxidation Event. The interpretations were made possible through the systematic facies recognition (41 in total), followed by their associations, and the identification of depositional systems (9 repeating, in total), system tracts (also 9), and sequences (in that order). Caraça and Itabira Groups correspond to the first depositional sequence, where Lowstand, Transgressive, and Highstand System Tracts were identified. The Piracicaba Group hosts two Depositional Sequences and four system tracts. Sabará and Itacolomi Groups are the two top sequences, both related to a foreland basin development, where the underfilled and overfilled system tracts could be recognized. Sedimentary provenance for the stratigraphic units of Minas-Itacolomi Basin was mainly based on detrital zircon U-Pb age spectra of previous authors' databases, and also based on palaeocurrent field data and thickness variations. All of the stratigraphic units of Minas-Itacolomi Basin share detrital zircons from Archaean sources, from both Rio das Velhas Supergroup and crystalline basement. Only Sabará and Itacolomi Groups presented bimodal U-Pb age histograms thus indicating Archaean and Palaeoproterozoic provenances. The later provenance is directly related to the tectonic inversion due to the Mineiro Belt in Southeastern Iron Quadrangle.

Keywords: Sedimentary Facies; Palaeoproterozoic Minas-Itacolomi Basin; Sequence Stratigraphy; Sedimentary Geology.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de localização no contexto geotectônico do Cráton São Francisco, evidenciando a posição relativa do Quadrilátero Ferrífero na sua porção Meridional. Adaptado de Cordani et al, 2016.	18
Figura 2.	Mapa de localização municipal e de acessos por rodovias federais do Quadrilátero Ferrífero. Imagem de fundo é de relevo sombreado a partir de modelo digital de terreno. Adaptado de NASA LP DAAC, 2016 e IBGE/DGC 2019.....	19
Figura 3.	Resumo da evolução de uma sequência deposicional, seus diferentes tratos e superfícies. Segundo Catuneanu (2006); Catuneanu et al (2011). Adaptado de Holz, 2012.....	23
Figura 4.	Relação temporal, de variação eustática e de taxa de sedimentação gerando os diferentes tratos de sistemas e superfícies de estratigrafia de sequências. TR = Transgressão; NR = Regressão Normal; FR = Regressão Forçada. Adaptado de Catuneanu, 2006.	24
Figura 5.	Mapa de zonas climáticas e de índice de umidade Thornthwaite do estado de Minas Gerais, com detalhe para o Quadrilátero Ferrífero. Adaptado de IBGE, 2002 e SISEMA, 2019.	29
Figura 6.	Mapa geomorfológico do estado de Minas Gerais, com detalhe para o Quadrilátero Ferrífero. Escala original 1:250.000. Adaptado de IBGE, 2018 e SISEMA, 2019.....	30
Figura 7.	Mapa de bacias hidrográficas e de unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos (UPGRH) do estado de Minas Gerais, com detalhe para o Quadrilátero Ferrífero. Adaptado de IGAM, 2010 e SISEMA, 2019. ...	31
Figura 8.	Mapa de biomas do Brasil, com detalhes para o estado de Minas Gerais e para o Quadrilátero Ferrífero. Escala original 1:250.000. Adaptado de IBGE, 2019b.....	32
Figura 9.	Mapa de solos do estado de Minas Gerais, com detalhe para o Quadrilátero Ferrífero. Escala original 1:650.000. Adaptado de UFV-CETEC-UFLA-FEAM, 2010.....	33

- Figura 10. Mapa de vegetação do estado de Minas Gerais, com detalhe para o Quadrilátero Ferrífero. Escala original 1:250.000. Adaptado de BDiA-IBGE, 2020.....34
- Figura 11. Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero com sua localização no Cráton São Francisco (A) e localização com o Cinturão Mineiro (B). QF = Quadrilátero Ferrífero; BH = Belo Horizonte; OP = Ouro Preto; SB = Santa Bárbara; SJ = São João Del Rey. Adaptado de Dorr II, 1969; Lobato et al., 2005; NASA LP DAAC, 2016; Alkmim & Teixeira, 2017; e IBGE/DGC, 2019.....36
- Figura 12. Principais eventos geológicos no Quadrilátero Ferrífero (gráfico complementar da Tabela 2).....40
- Figura 13. Grupo Caraça: A) Fácies MOE1 – conglomerado polimítico em afloramento (X=605.202 Y=7.775.277 Z=1.384 m); B) Amostra de mão de conglomerado aurífero com piratas detríticas (Fácies MOE2), Mina Ouro Fino - Jaguar Mining Inc.; C) Fácies MOE4 – afloramento de arenito mal selecionado com estratificação cruzada acanalada (X=609.027,087; Y=7.756.449,81; Z=1.243.7 m); D) Fácies MOE3 – afloramento de arenito mal selecionado com estratificação cruzada tabular (X=604.540,709; Y=7.779.506,869; Z=1.343,9 m). Coordenadas estão em UTM e datum WGS84.....42
- Figura 14. Grupo Itabira: A) Fácies CAU1 – itabirito (X=638.416,18; Y=7.,807.618,25; Z=1.713 m); B) Fácies GDR1 e GDR3 – dolomito e pelito dolomítico (X=643.411,603; Y=7.746.329,701; Z=1.081,6 m); C) Fácies GDR1 – dolomito ferruginoso (X=638.900,029; Y=7.781.831,391; Z=1.383,2 m); D) Fácies GDR2 – amostra de mão de microbialito algálico dolomítico com estromatólitos e oncólitos com domos e hemisferoides bem preservados (X=638.928,07; Y=7.781.028,66; Z=1.270 m). Coordenadas estão em UTM e datum WGS84.44
- Figura 15. Grupo Piracicaba: A) Fácies CCD1, CCD4, e CCD5 – folhelho carbonoso, arenito ferruginoso, e arenito quartzoso (X=640.038,668; Y=7.741.900,304; Z=1.274,5 m); B) Fácies CCD6 – ritmito com estratificação hummocky (X=611.172,722; Y=7.792.421,984; Z=1.107,6 m); C & D) Amostra de mão de estromatólito da fácies FF2 (X=636.590,210; Y=7.742.150,558; Z=1.103,0 m); E) Fácies FF4 – ritmito

com estratificação hummocky (X=612.218,012; Y=7.768.982,647; Z=1.245,2 m); F) Fácies FF2 e FF1 – lente de dolomito em pelitos (X=645.411,412; Y=7.745.965,808; Z=1.145,5 m). Coordenadas estão em UTM e datum WGS84.46

Figura 16. Grupo Sabará: A) Fácies SAB5 – ritmito bem crenulado, ou turbidito distal (X=655.490,229; Y=7.741.168,287; Z=1.365,5 m); B) Fácies SAB3 e SAB5 - pelitos e ritmitos laminados, ou turbiditos distais (X=655.498,996; Y=7.741.106,157; Z=1.384,3 m); C) Contato entre as fácies SAB4 (arenito / grauvasca) e SAB2 (diamictito) (X=655.498,996; Y=7.741.106,157; Z=1.384,3 m); D) Conglomerado cascalhoso SAB1 com estratificação gradacional, depositado por correntes de turbidez (X=614.564,714; Y=7.767.873,112; Z=1.241,1 m). Coordenadas estão em UTM e datum WGS84.47

Figura 17. Grupo Itacolomi: A) Fácies ITA3 – arenito conglomerático com estratificação planar (X=657.277,655; Y=7.739.784,725; Z=1.586,1 m); B) Fácies ITA5 – arenito conglomerático com estratificação cruzada acanalada (X=641.790,022; Y=7.731.895,969; Z=1.322,7 m). Coordenadas estão em UTM e datum WGS84.48

Figura 18. Fase Rifte da Bacia Minas: Formação Moeda. Pontos cardeais e diagrama de rosas indicam direções de fluxo de sedimentos baseado em localizações geográficas atuais (A é oriunda do Sinclinal Moeda; B, da Serra do Curral; C, do Sinclinal Gandarela). Paleovetores são provenientes tanto da etapa de trabalho de campo (sem restauração estrutural), quanto de Villaça, 1981.50

Figura 19. Sedimentação de margem passiva na Bacia Minas. Unidades estratigráficas: BTT = Fm. Batatal; CAU = Fm. Cauê; GDR = Fm. Gandarela; CCD = Fm. Cercadinho; FF = Fm. Fecho do Funil; TAB = Fm. Taboões; BRR = Fm. Barreiro.54

Figura 20. Sedimentação flysch do Grupo Sabará (Bacia Foreland). Pontos cardeais indicam direções de fluxo de sedimentos baseado em localizações geográficas atuais.55

Figura 21. Sedimentação molasse do Grupo Itacolomi (Bacia Foreland). Pontos cardeais indicam direções de fluxo de sedimentos baseado em

localizações geográficas atuais. BR = Braided Rivers (rios entrelaçados).

-56
- Figura 22. Proposição de Estratigrafia de Sequências para Bacias Foreland e sua aplicação nos Grupos Sabará e Itacolomi, da Bacia Minas (Underfilled e Overfilled Foreland, respectivamente). Inspirado em Sinclair & Allen, 1992; Crampton & Allen, 1995; Catuneanu, 2004.60
- Figura 23. Carta Cronoestratigráfica das Bacias Minas-Itacolomi. Idades das unidades cronoestratigráficas estão conforme Alkmim & Martins Neto, 2012. Triângulos na cor preta representam subida (triângulos apontando para cima) e queda do nível do mar (triângulos apontando para baixo).62
- Figura 24. Estatística (N=380) de idades U-Pb de zircões detríticos da Fm. Moeda: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Machado et al., 1996; Hartmann et al., 2006 e Koglin et al., 2014.64
- Figura 25. Estatística (N=774) de idades U-Pb de zircões detríticos da Fm. Moeda: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Nunes, 2016.....64
- Figura 26. Estatística (N=826) de idades U-Pb de zircões detríticos da Fm. Moeda: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Dopico et al., 2017.65
- Figura 27. Estatística total (N=1980) de idades U-Pb de zircões detríticos da Fase Rifte (Fm. Moeda): estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDE).

Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Machado et al., 1996; Hartmann et al., 2006; Koglin et al., 2014; Nunes, 2016 e Dopico et al., 2017.....65

Figura 28. Estatística (N=21) de idades U-Pb de zircões detríticos da Fm. Batatal: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Dopico et al., 2017.66

Figura 29. Estatística (N=92) de idades U-Pb de zircões detríticos da Fm. Cauê: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Dopico et al., 2017.67

Figura 30. Estatística (N=128) de idades U-Pb de zircões detríticos da Fm. Cercadinho: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Machado et al., 1996; Dopico et al., 2017 e Dutra, 2017.67

Figura 31. Estatística total (N=241) de idades U-Pb de zircões detríticos da Fase Margem Passiva: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII =

Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Machado et al., 1996; Dopico et al., 2017 e Dutra, 2017.68

Figura 32. Estatística (N=189) de idades U-Pb de zircões detríticos do Gr. Sabará: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Machado et al. 1992; Machado et al., 1996; Hartmann et al., 2006; Dopico et al., 2017 e Dutra et al., 2019.....69

Figura 33. Estatística (N=526) de idades U-Pb de zircões detríticos do Gr. Itacolomi: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Machado et al., 1996; Hartmann et al., 2006; Jordt-Evangelista et al., 2015 e Duque, 2018. ...70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Resumo da litoestratigrafia do Quadrilátero Ferrífero. Adaptado de Dorr II, 1969; Alkmim & Marshak, 1998; Almeida et al., 2005; Alkmim & Martins-Neto, 2012.....	37
Tabela 2.	Principais eventos geológicos no Quadrilátero Ferrífero (tabela). Referências: [1] Dorr II, 1969; [2] Machado et al., 1992; [3] Renger et al., 1994; [4] Silva et al., 1995; [5] Machado et al., 1996; [6] Alkmim & Marshak, 1998; [7] Endo & Machado, 2002; [8] Noce et al., 2005; [9] Hartmann et al., 2006; [10] Alkmim & Martins-Neto, 2012; [11] Lana et al., 2013; [12] Romano et al., 2013; [13] Sanglard et al., 2014; [14] Farina et al., 2015; [15] Teixeira et al. 2015; [16] Farina et al., 2016; [17] Aguilar et al. 2017; [18] Albert, 2017; [19] Dopico et al. 2017; [20] Dutra, 2017; [21] Cutts et al., 2019; [22] Dutra et al 2019.	39
Tabela 3.	Fácies e processos sedimentares do Grupo Caraça.....	42
Tabela 4.	Fácies e processos sedimentares do Grupo Itabira.	43
Tabela 5.	Fácies e processos sedimentares do Grupo Piracicaba.	45
Tabela 6.	Fácies e processos sedimentares do Grupo Sabará.....	47
Tabela 7.	Fácies e processos sedimentares do Grupo Itacolomi.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Objetivos.....	16
1.2	Localização e vias de acesso.....	17
1.3	Metodologia.....	19
1.4	Noções de estratigrafia de sequências.....	20
1.5	Limitações do método de estratigrafia de sequências em rochas pré-cambrianas deformadas.....	25
2	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	28
2.1	Clima.....	28
2.2	Geomorfologia e relevo.....	29
2.3	Hidrografia.....	30
2.4	Vegetação e solo.....	31
3	SÍNTESE DA EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	35
4	FÁCIES SEDIMENTARES.....	41
4.1	Grupo Caraça.....	41
4.2	Grupo Itabira.....	43
4.3	Grupo Piracicaba.....	44
4.4	Grupo Sabará.....	46
4.5	Grupo Itacolomi.....	48
5	ARCABOUÇO DE ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS PARA O SUPERGRUPO MINAS E GRUPO ITACOLOMI.....	49
5.1	Fácies sedimentares e sistemas deposicionais.....	49
5.2	Tratos de sistemas e sequências.....	56
6	PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR ATRAVÉS DE GEOCRONOLOGIA U-Pb ..	63
7	CONCLUSÕES.....	71
	REFERÊNCIAS.....	73
	APÊNDICE A – TABELA DE PONTOS DE CAMPO.....	85
	APÊNDICE B – SUBMISSÃO DE ARTIGO.....	104
	APÊNDICE C – MANUSCRITO DO ARTIGO SUBMETIDO.....	105

1. INTRODUÇÃO

O Quadrilátero Ferrífero é uma das principais províncias metalogenéticas do Brasil, tanto pelos seus recursos minerais, quanto pela história do Brasil, uma vez que a própria colonização interior do país e expedições bandeirantes foram bastante motivadas pela exploração mineral. Sob a ótica geológica, sabe-se hoje que o Quadrilátero Ferrífero representa uma aglutinação Proterozoica de núcleos Arqueanos, sobre onde se desenvolveram bacias sedimentares que originaram as rochas dos Supergrupos Minas e Grupo Itacolomi (Dorr II, 1969; Alkmim & Marshak, 1998). No entanto, um fator que dificulta a compreensão das relações temporais nessa megassequência estratigráfica é a raridade (e/ou ausência) de fósseis-guia e rochas ígneas intrusivas penecontemporâneas para datações relativas e absolutas (Noce, 2000; Dopico *et al.*, 2017; Dutra *et al.*, 2019).

Na tentativa de superar esta dificuldade, a inserção da abordagem da estratigrafia de sequências pode ser uma boa solução, principalmente se aliada à investigação de proveniência sedimentar daquelas rochas, por meio de estruturas sedimentares e estatística populacional de idades U-Pb de zircões detríticos (Machado *et al.*, 1992; Machado *et al.*, 1996; Hartmann *et al.*, 2006; Koglin *et al.*, 2014; Jordt-Evangelista *et al.*, 2015; Nunes, 2016; Dopico *et al.*, 2017; Dutra, 2017; Duque, 2018; Dutra *et al.*, 2019).

1.1. Objetivos

- Objetivo Geral:
 - Aplicar os conceitos de Estratigrafia de Sequências e Proveniência Sedimentar no Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi do Quadrilátero Ferrífero.
- Objetivos Específicos
 - Levantar perfis geológicos regionais.
 - Reconhecer fácies sedimentares e medir paleocorrentes (orientação de estratificações cruzadas).
 - Reconhecer associações de fácies ou sistemas deposicionais.

- Reconhecer tratos deposicionais e separá-los em Sequências Sedimentares.
- Compilar os dados geocronológicos U-Pb de zircão detrítico existentes na bibliografia.
- Definir as principais áreas fonte de sedimentos para o Supergrupo Minas.
- Construir um modelo paleogeográfico para as bacias sedimentares.
- Propor um modelo cronoestratigráfico para o Supergrupo Minas.
- Elaboração de uma Carta Estratigráfica completa do Supergrupo Minas.

1.2. Localização e vias de acesso

O Quadrilátero Ferrífero se localiza na região central do estado de Minas Gerais e seu contexto geotectônico corresponde ao do Setor Meridional do Cráton São Francisco (Figura 1). Por se tratar de uma província metalogenética de aproximadamente 7000 km², sua extensão territorial coincide (parcial ou totalmente) com os seguintes Municípios (em ordem alfabética): Alvinópolis, Barão de Cocais, Belo Horizonte, Belo Vale, Betim, Brumadinho, Caeté, Catas Altas, Congonhas, Contagem, Ibirité, Igarapé, Itabirito, Itatiaiuçu, Itaúna, Jeceaba, Mariana, Mário Campos, Mateus Leme, Moeda, Nova Lima, Ouro Branco, Ouro Preto, Raposos, Rio Acima, Rio Manso, Sabará, Santa Bárbara, Santa Luzia, São Gonçalo do Rio Abaixo, São Joaquim de Bicas e Sarzedo (Figura 2). As principais vias de acesso são as BRs 040, 262, 356 e 381.

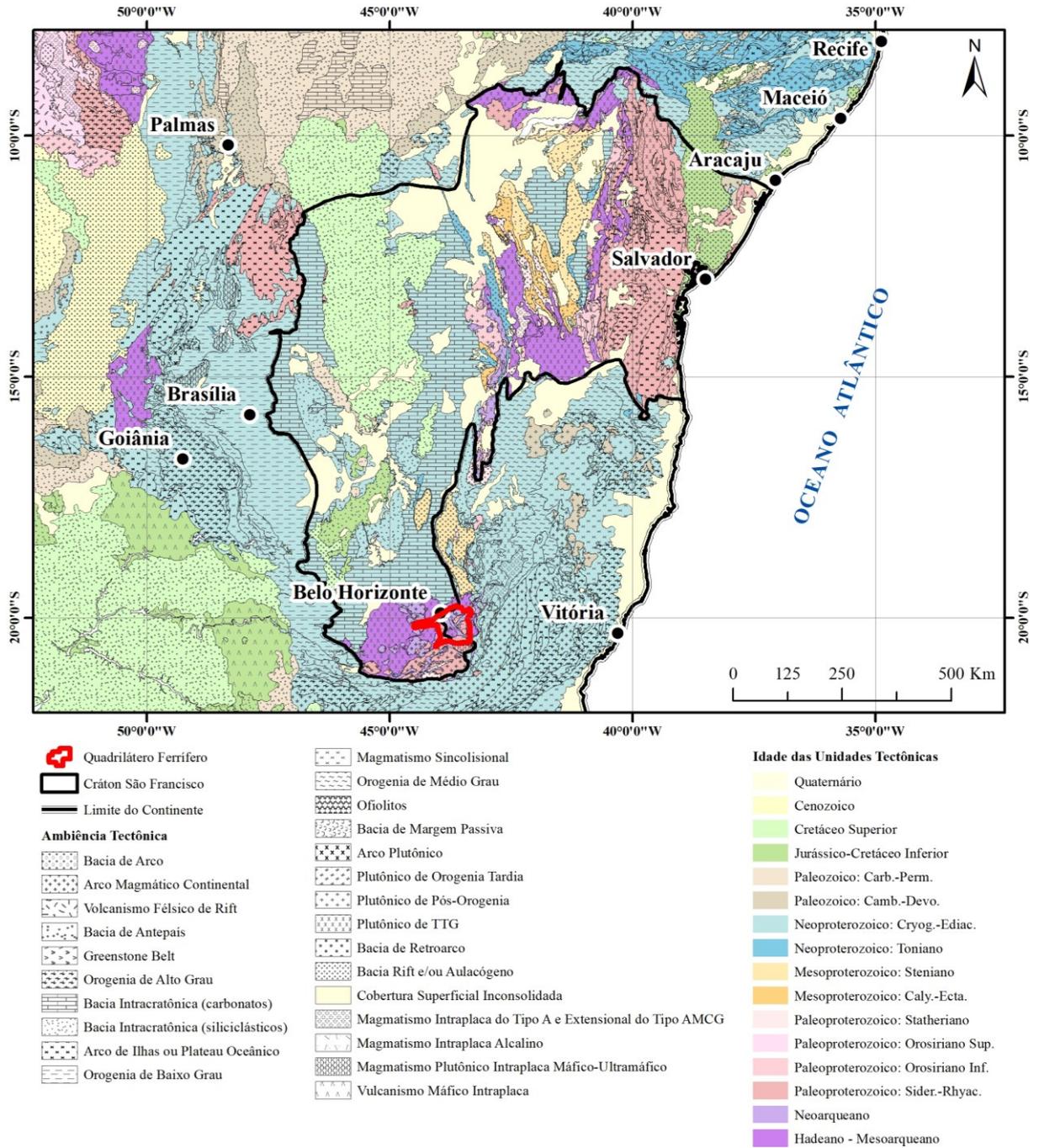


Figura 1. Mapa de localização no contexto geotectônico do Cráton São Francisco, evidenciando a posição relativa do Quadrilátero Ferrífero na sua porção Meridional. Adaptado de Cordani et al, 2016.

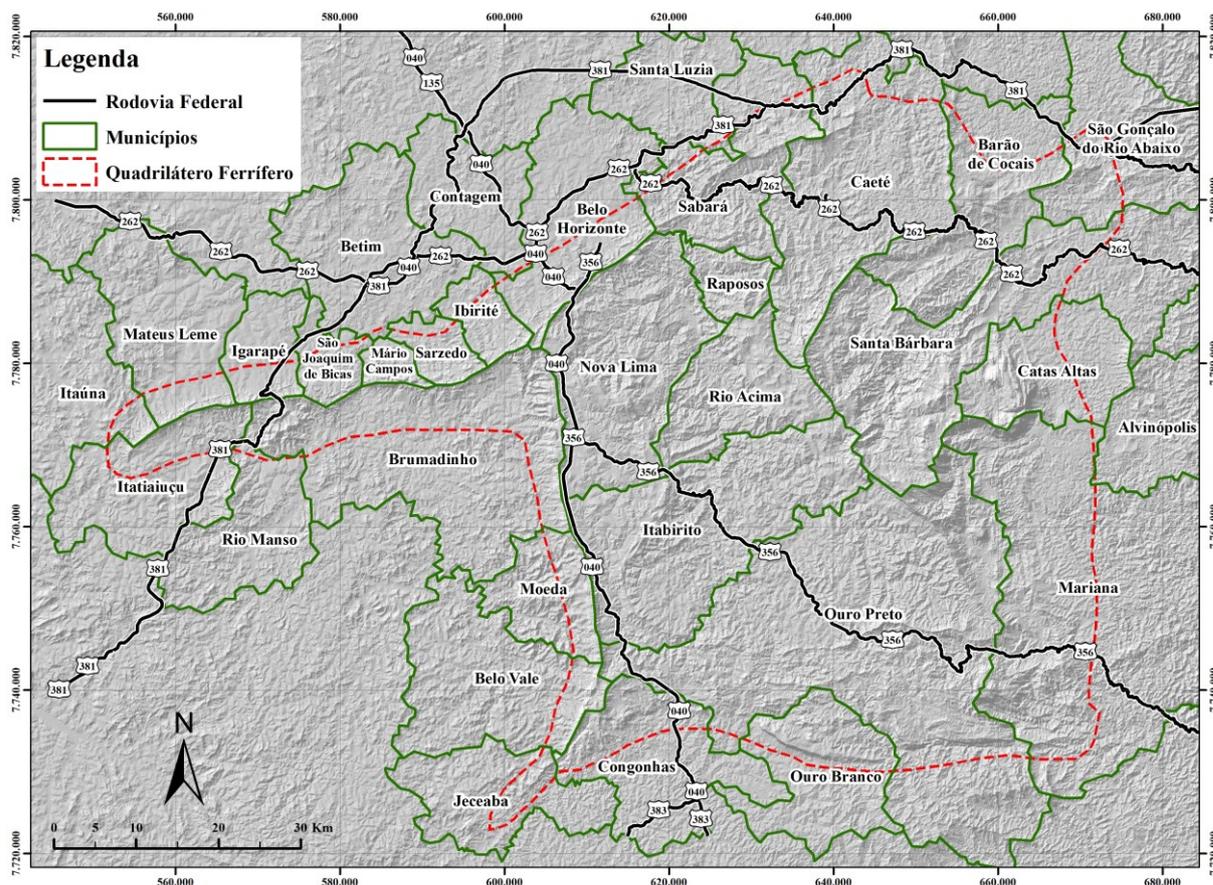


Figura 2. Mapa de localização municipal e de acessos por rodovias federais do Quadrilátero Ferrífero. Imagem de fundo é de relevo sombreado a partir de modelo digital de terreno. Adaptado de NASA LP DAAC, 2016 e IBGE/DGC 2019.

1.3. Metodologia

A primeira etapa deste presente trabalho foi a pesquisa bibliográfica, visando coletar tanto trabalhos históricos e recentes acerca da sedimentologia do Supergrupo Minas. Em seguida, vários trabalhos de campo no Quadrilátero Ferrífero foram realizados, objetivando realizar perfis regionais, reconhecendo e catalogando fácies sedimentares, bem como coletando amostras de rochas para estudos petrográficos macroscópicos e microscópicos de luz transmitida. Neste estágio do trabalho, uma atenção especial foi necessária para reconhecer e distinguir estruturas sedimentares primárias de estruturas tectônicas, como foliações, lineações e afins. A etapa seguinte do trabalho se deu por meio de uma segunda pesquisa bibliográfica para se compilarem dados geocronológicos U-Pb de zircões detríticos das unidades estratigráficas Minas-Itacolomi, e a evolução geodinâmica da bacia homônima. Após a conclusão dessas etapas supracitadas, os princípios de estratigrafia de sequências

(Catuneanu, 2006; Catuneanu *et al.*, 2005) puderam ser aplicados nas unidades metassedimentares estudadas e os resultados dessa abordagem estão apresentados na forma desta presente Dissertação de Mestrado.

Para os estudos de proveniência sedimentar, dados de paleocorrentes são de grande importância e podem ser obtidos através de vários métodos: o mais direto é a aferição em campo, com a bússola geológica de paleovetores, principalmente oriundos de estratificações cruzadas. Proveniência sedimentar também pode ser obtida através de métodos analíticos, mais precisamente de dados geocronológicos U-Pb de zircões detríticos (Cawood *et al.*, 2003; Cawood *et al.*, 2012). Por meio da interpretação da distribuição de frequência das idades dos zircões detríticos, e de testes estatísticos de multimodalidade (*i.e.*, se a rocha possui sedimentos de mais de uma fonte), é possível de se conhecer a proveniência, desde que as possíveis fontes próximas possuem idades distintas. Para este trabalho, um banco de dados de U-Pb foi compilado de vários trabalhos da literatura, para validar as interpretações realizadas. A análise estatística deste banco de dados supracitado foi realizada usando tanto o programa escrito em Java intitulado DensityPlotter (Vermeesch, 2012) quanto o pacote de software feito para integrar o programa estatístico R, intitulado Provenance (Vermeesch *et al.*, 2016).

1.4. Noções de estratigrafia de sequências

A sedimentação é comumente controlada por uma combinação de processos alogênicos e autigênicos. Os processos autigênicos atuam dentro do sistema deposicional e são comumente estudados usando os métodos convencionais da sedimentologia e da análise de fácies. Já os processos alogênicos são relevantes para estratigrafia de sequências, pois controlam, em larga escala, a arquitetura de preenchimento da bacia. Os processos alogênicos são controlados pela tectônica (subsidência), eustasia (variação do nível do mar), clima e suprimento (aporte sedimentar, descarga de rios, etc.).

O elemento primordial e básico na hierarquia da estratigrafia de sequências é o conceito de fácies, definido como uma combinação particular de litologia, estruturas sedimentares, geometria, espessura, paleocorrentes e atributos texturais que permitem classificar diferentes corpos de rochas sedimentares. Dessa forma, fácies é

o produto de processos sedimentares que existiram em um paleoambiente sedimentar específico. Outro importante conceito é a Lei fácies de Walther: as variações verticais de fácies correspondem a variações laterais de paleoambientes e fácies. Com base nesse princípio, a associação de fácies (i.e., grupo de fácies geneticamente relacionadas, que possuem significância ambiental) é um elemento crítico para a interpretação de sistemas deposicionais pretéritos (Dalrymple, 2010). Assim, sistema deposicional é o conjunto de fácies características de um paleoambiente deposicional.

O termo “tratos de sistemas deposicionais” é definido como a sucessão lateral de sistemas deposicionais singenéticos (ou contemporâneos) e é a unidade seguinte na hierarquia da estratigrafia de sequências. Um trato de sistemas deposicionais é simplesmente a sucessão lateral dos sistemas deposicionais depositados no mesmo intervalo de tempo. Os tratos de sistemas também podem ser divididos ou classificados conforme o padrão de empilhamento de parassequências (definidas como sucessão concordante de fácies geneticamente relacionadas e limitadas por superfícies de inundação). Este padrão de empilhamento das parassequências pode ser granocrescente (progradação, i.e., quanto a taxa de suprimento é maior que a taxa de acomodação), granodecrescente (retrogradação, i.e., quanto a taxa de suprimento é menor que a taxa de acomodação), ou manter o mesmo modelo (agradção, i.e., quanto a taxa de suprimento é igual à taxa de acomodação).

Sequência deposicional (Sloss, 1963; Posamentier & Allen, 1993), constitui a unidade de maior hierarquia e representa uma unidade cronoestratigráfica, limitada por discordância e sua conformidade correlativa, formada por estratos contemporâneos ou geneticamente relacionados (constituídos pelos tratos deposicionais, sistemas e fácies). Pode ser definida também como a reunião de diferentes tratos de sistemas deposicionais associados a um ciclo de variação do nível do mar (regressão-transgressão), marcado por variação nos *trends* deposicionais (progradação e retrogradação).

A interação entre o nível de base e a sedimentação controla as oscilações na profundidade da água, bem como as mudanças transgressivas e regressivas da linha de costa (Catuneanu, 2006). Segundo Catuneanu et al. (2011), os padrões de empilhamento dos sedimentos podem incluir *upstepping*, *forestepping*, *backstepping* e *downstepping*, de acordo com seu arranjo. Esses padrões geométricos marcam os três tipos de variação da linha de costa: regressão forçada (progradação / *forestepping* e agradção / *downstepping*), regressão normal (progradação / *forestepping* e

agradção / *upstepping*), e transgressão (retrogradação / *backstepping*). Uma transgressão é definida como a migração da linha de costa em direção ao continente. Essa migração causa mudanças nos sistemas deposicionais devido à subida do nível do mar. Transgressões resultam em padrões de empilhamento retrogradacionais, com fácies marinhas sobre fácies não marinhas. Uma regressão é definida como a migração da linha de costa em direção ao depocentro. Essa migração causa mudanças nos sistemas deposicionais devido à descida do nível do mar. Regressões resultam em padrões de empilhamento progradacionais, com fácies não marinhas sobre fácies marinhas (Catuneanu, 2006). Portanto uma transgressão ocorre quando espaço – acomodação – é criado mais rapidamente do que é preenchido pela sedimentação e, a regressão ocorre quando a taxa de sedimentação é mais rápida do que a taxa de criação de espaço. A agradção ocorre quando as taxas de aporte sedimentar e de criação de espaço de acomodação se equivalem (Catuneanu, 2006).

Os tratos que compõem uma sequência deposicional (Figura 3) são apresentados abaixo: trato de sistemas de mar baixo (predominam progradação e agradção, com discordância e conformidade correlativa como superfícies basais), trato de sistemas transgressivo (predomina retrogradação, i.e., transgressão com diminuição do suprimento, com superfície regressiva máxima e/ou superfície de ravinamento por ondas como superfícies basais); trato de sistemas de mar alto (predominam agradção e progradação – com o aumento do suprimento – sendo bastante comum a sedimentação fluvial e deltaica, com superfície de inundação máxima como superfície basal), trato de sistemas de regressão forçada (forte progradação, com regressão forçada, predomina sedimentação de leque submarino no talude, com superfície basal de regressão forçada). Diversas superfícies estratigráficas são também importantes e auxiliam a reconhecer os tratos e padrões de empilhamento (Figura 3).

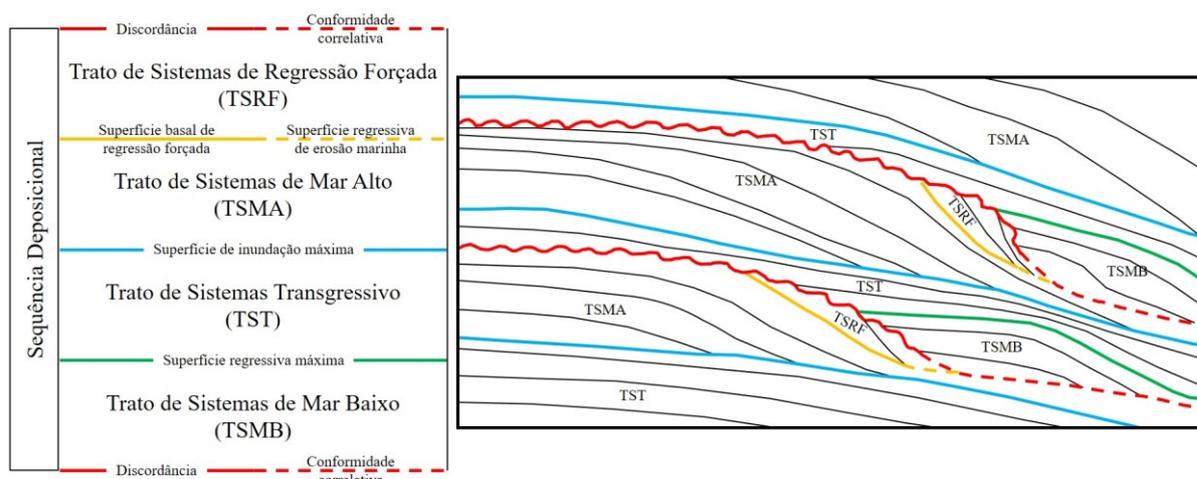


Figura 3. Resumo da evolução de uma sequência deposicional, seus diferentes tratos e superfícies. Segundo Catuneanu (2006); Catuneanu et al (2011). Adaptado de Holz, 2012.

Conforme ilustrado na Figura 4, durante uma regressão forçada (RF), o trato de sistemas de regressão forçada (TSRF, ou *falling-stage systems tract*) ocorre. Durante uma regressão normal (RN), dois tratos de sistemas são passíveis de existir, dependendo do nível eustático naquele momento: se o nível do mar estava baixo, devido ao fim de uma queda eustática (após regressão forçada), o trato de sistemas em questão é o de mar baixo (TSMB ou *lowstand systems tract*). Caso o nível do mar esteja elevado naquele momento (após subida eustática por uma transgressão), então o trato de sistemas em questão é o de mar alto (TSMA ou *highstand systems tract*). Entre esses tratos de sistemas de regressão normal, quando o nível eustático se encontra em ascensão (i.e., durante uma transgressão), o trato de sistemas correspondente é o transgressivo (TST ou *transgressive systems tract*) (Catuneanu, 2006; Catuneanu et al., 2005; Catuneanu et al., 2011).

Neste nível hierárquico (tratados de sistemas), como a eustasia possui um papel primordial no arranjo geológico da estratigrafia de sequências, ela determina a formação de grandes pacotes sedimentares com padrões de empilhamentos específicos (clinoformas em concordância, onlap, downlap, toplap, offlap, truncamento erosivo), dando origem às superfícies da estratigrafia de sequências (e.g., limites de sequências, superfícies de inundação máxima, etc.). Estas superfícies são mais fáceis de serem identificadas através da sismoestratigrafia, ou seja, através da interpretação de seções sísmicas de bacias sedimentares. Dessas superfícies, são duas (discordâncias erosivas e conformidades correlativas) que limitam as sequências formadas por estratos contemporâneos ou geneticamente relacionados, a última

unidade cronoestratigráfica. A relação temporal entre os diferentes tratos de sistemas, com suas superfícies estratigráficas que as separam, geradas por diferentes combinações entre eustasia (com sua respectiva taxa de variação) e taxa de sedimentação estão dispostas na Figura 4, adaptada de Catuneanu, 2006.

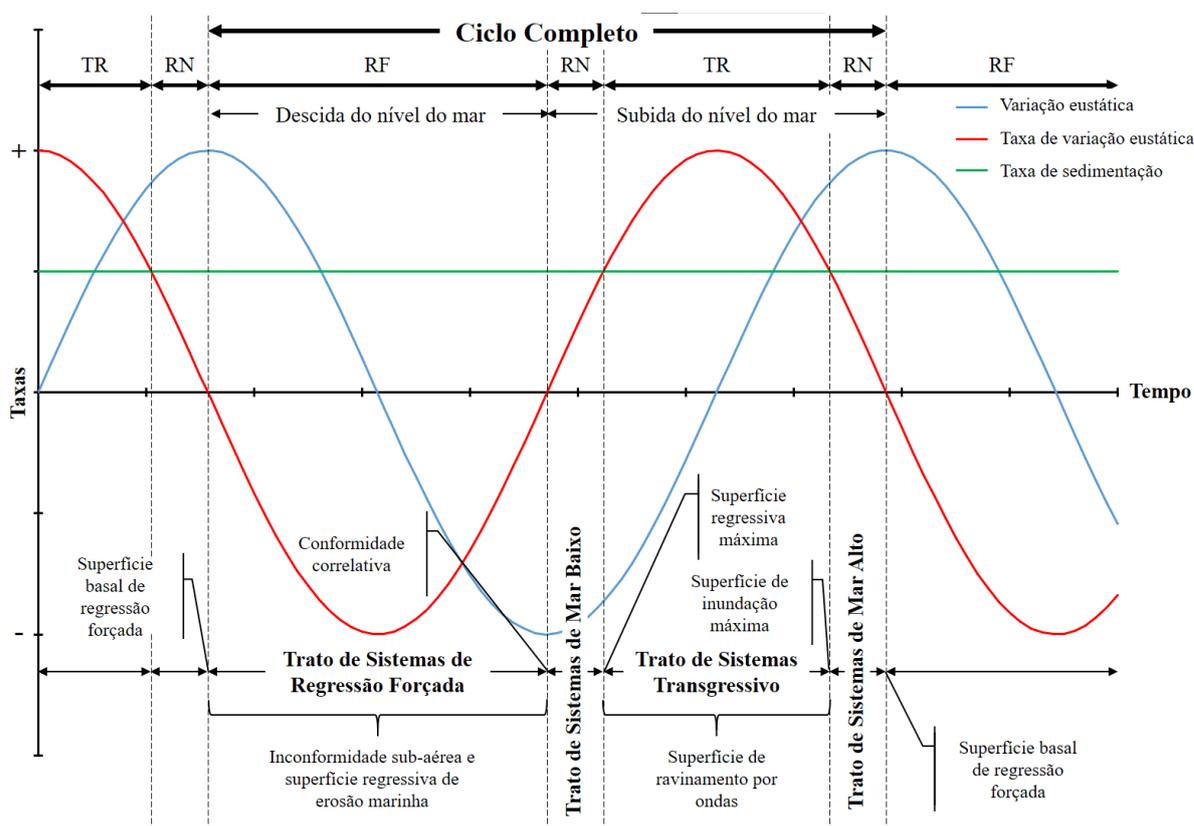


Figura 4. Relação temporal, de variação eustática e de taxa de sedimentação gerando os diferentes tratos de sistemas e superfícies de estratigrafia de seqüências. TR = Transgressão; NR = Regressão Normal; FR = Regressão Forçada. Adaptado de Catuneanu, 2006.

Discordâncias são identificadas principalmente na borda da bacia sedimentar devido a uma queda brusca do nível relativo do mar e erosão da antiga plataforma, com formação de vale inciso. A continuidade da discordância na parte profunda da bacia é referida como superfície de conformidade correlativa. A superfície de regressão máxima separa estratos prográdantes / agradacionais do trato de mar baixo em relação aos estratos retrogradantes do trato transgressivo. A superfície transgressiva basal ou superfície de ravinamento por ondas, indica a erosão por ondas durante a fase transgressiva, comumente associada a *lag* transgressivo – conglomerado fino devido a erosão costeira. A superfície de inundação máxima (SIM) marca o final do trato transgressivo, ou seja, o máximo da transgressão, com grande aumento do espaço de acomodação e pequeno aporte de suprimentos. Por fim, a

superfície basal de regressão forçada é de difícil identificação e marca a queda do nível do mar em regressão forçada (Catuneanu, 2006; Catuneanu et al, 2011).

1.5. Limitações do método de estratigrafia de sequências em rochas pré-cambrianas deformadas

A aplicação dos conceitos de estratigrafia de sequências para unidades pré-cambrianas, metassedimentares, e/ou vulcanossedimentares possui algumas limitações e, portanto, tanto as interpretações feitas durante a elaboração do trabalho, quanto as conclusões, devem ser tomadas com ressalvas. Por outro lado, a aplicação do modelo permite desenvolver melhor o preenchimento da bacia sedimentar, evidenciar discordâncias e conformidades, definir áreas-fonte (proveniência), revelar o tipo de bacia sedimentar, assim como melhor caracterizar a relação entre subsidência, suprimento e eustasia (variações do nível do mar).

Segundo Catuneanu et al (2005) as principais limitações para aplicar o modelo de estratigrafia de sequências em rochas pré-cambrianas são os seguintes: menor preservação de fácies, dificultando o reconhecimento correto de sistema deposicional e mesmo dos tratos deposicionais e ainda pouca base temporal (controle de tempo), devido à ausência de fósseis (inexistência de dados bioestratigráficos). Entretanto, recentemente, o avanço da geocronologia U-Pb em zircão detrítico tem possibilitado a elaboração de cartas cronoestratigráficas (Alkmim & Martins Neto, 2012) para bacias sedimentares pré-cambrianas, suprimindo, em parte, a falta de fósseis.

Ademais, é bastante comum que, unidades pré-cambrianas (como é o caso do Quadrilátero Ferrífero) que passaram por um ou mais eventos geológicos orogenéticos ao longo do tempo, possuam litotipos deformados e metamorfizados. Esta deformação e metamorfismo (que exigem por parte do geólogo correta identificação de protólito sedimentar) podem se sobrepor (principalmente no caso de evolução geológica complexa e polifásica), e ocasionalmente obliterar as estruturas sedimentares e outras feições faciológicas pretéritas imprescindíveis para o raciocínio estratigráfico. No caso das unidades Proterozoicas do Quadrilátero Ferrífero, segundo Pires & Bertolino, 1991, o metamorfismo predominante (porções central e oeste) é na fácies xisto verde (fácies anfíbolito apenas na sua porção leste), o que pode prejudicar o reconhecimento de estruturas e feições sedimentares pretéritas em metarenitos e

quartzitos. Entretanto, a deformação e o metamorfismo, principalmente a sudeste do QF não favorece a interpretação de paleoambientes dos filitos e metapelitos que geralmente mostram xistosidade. Assim, paleoambientes como planície de maré (que apresentam grande número de fácies pelíticas) podem ter sua identificação prejudicada. Também a correta distinção entre pelitos de água rasa e de água profunda fica bastante prejudicada devido à instalação da xistosidade mascarando diferentes laminações.

Outro cuidado ao se aplicar estratigrafia de seqüências em rochas pré-cambrianas deformadas está no mapeamento correto do contato entre unidades estratigráficas com litotipos predominantes semelhantes. Por exemplo: no contato entre Formação Cercadinho (que predominam pelitos com lentes de arenitos ferruginosos) e Formação Fecho do Funil (onde predominam pelitos com lentes dolomíticas), a rocha principal de ambas é o pelito, portanto, distingui-los corretamente e definir o contato se torna bastante desafiador.

Em algumas localidades, em função da intensidade da deformação, podem ocorrer repetições por dobramentos ou falhamentos reversos e de empurrão. Neste caso a tectônica intensa mascara estruturas sedimentares e impede a correta observação do sequenciamento estratigráfico. Seções restauradas (reconstrução palimspática) pode ser importante, tentando com isto abstrair-se as feições de deformação e restaurar seções estratigráficas originais. Em algumas situações, a tectônica deforma as estratificações cruzadas prejudicando a identificação de vetores das paleocorrentes. No entanto, para camadas com baixo mergulho, os azimutes de paleocorrentes obtidas através de estratificações cruzadas que não foram restauradas, não tendem muito a divergir dos respectivos valores restaurados estruturalmente (considerando rotação simples para um plano horizontal). Alternativamente, outra abordagem que descarta a necessidade de restauração estrutural para obtenção de paleocorrentes acuradas é a obtenção das mesmas através do mapeamento de variações faciológicas (como por exemplo, variações de granulometria, variação do tamanho de clasto de conglomerado, de matacão até seixo ou grânulo), que indicam bem a direção do depocentro da bacia sedimentar. Tal abordagem foi realizada no Quadrilátero Ferrífero por Villaça, 1981.

Outro cuidado ao se aplicar a metodologia é com relação à ação do intemperismo, principalmente em rochas de protólitos carbonáticos ou pelíticos em regiões tropicais, pois este fator também dificulta o trabalho de reconhecimento de

fácies sedimentares, que é o ponto de partida básico para a metodologia da estratigrafia de sequências. O intemperismo pode obliterar por completo estruturas sedimentares, decompor e desagregar rochas e saprólitos, prejudicando a aplicação da estratigrafia de sequências.

Por fim, e não menos importante, muitas vezes inexitem seções sísmicas que, via de regra, auxiliam na interpretação de estratigrafia de sequências, facilitando a identificação correta de superfícies estratigráficas. As seções sísmicas, quando corretamente interpretadas, devido ao reconhecimento de terminações estratais, como onlaps, downlaps, toplaps e truncamentos, favorecem o reconhecimento de sequências e superfícies limitantes. Desta forma, existem incertezas no posicionamento de superfícies estratigráficas quando não se dispõem de seções sísmicas.

2. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

2.1. Clima

O clima da região do Quadrilátero Ferrífero é classificado como Tropical Brasil Central, porém com quatro zonas climáticas distintas em temperatura média e/ou distribuição de umidade ao longo do ano (Figura 5). A saber (em ordem crescente de umidade e decrescente de temperatura média anual): [1] exclusiva da região norte do Quadrilátero, essa zona climática é classificada como subquente, com média entre 15 e 18 °C em pelo menos 1 mês, semi-úmida, com 4 a 5 meses secos; [2] no extremo leste, esta zona climática é subquente, com média entre 15 e 18 °C em pelo menos 1 mês, úmida, com 3 meses secos; [3] a principal zona climática da região do Quadrilátero localiza-se nas porções central e oeste, e é mesotérmica branda, com média entre 10 e 15 °C, semi-úmida, com 4 a 5 meses secos; [4] por fim, a zona climática mais branda está localizada na porção centro-leste, sendo mesotérmica branda, com média entre 10 e 15 °C, úmida, com 1 a 2 meses secos (IBGE, 2002).

Segundo o índice de umidade Thornthwaite, o Quadrilátero Ferrífero se enquadra nas classes B1 – Úmido (extremos norte e leste) e B2 – Úmido (classe predominante, distribuída nas regiões central e sudoeste) (SISEMA, 2019).

Paraopeba, Piracicaba e Rio das Velhas. Os principais corpos d'água existentes na região são: Represa do Rio Manso, Represa da Usina Hidrelétrica de Peti, Represa Ouro Branco (ou Barragem Soledade) e Lagoa dos Ingleses.

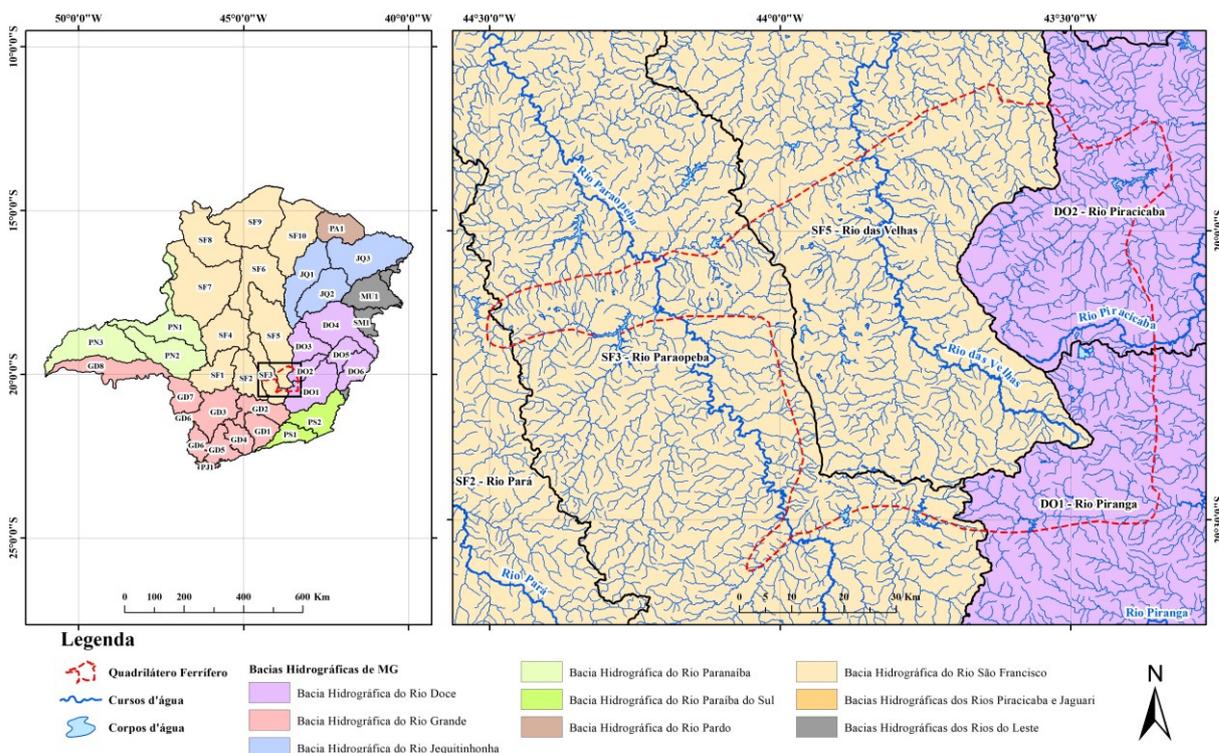


Figura 7. Mapa de bacias hidrográficas e de unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos (UPGRH) do estado de Minas Gerais, com detalhe para o Quadrilátero Ferrífero. Adaptado de IGAM, 2010 e SISEMA, 2019.

2.4. Vegetação e solo

A vegetação do Quadrilátero Ferrífero se localiza nos limites entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado (Figura 8). A Mata Atlântica (*lato sensu*) possui vegetação típica de tipologias florestais, como: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Decidual e Floresta Estacional Semidecidual. O Cerrado, por sua vez, possui vegetação de tipologias de Savana, como: Savana Florestada, Savana Arborizada, Savana Parque e Savana Gramíneo-Lenhosa (IBGE, 2019a).

Um dos principais fatores para o desenvolvimento de uma tipologia vegetal em detrimento de outra é o teor de nutrientes do solo, que seleciona naturalmente as espécies melhor adaptadas para aquela configuração pedogênica (Korman, 2008; Moreno et al., 2008). Sendo assim, solos originados de rochas básicas tendem a ser mais ricos em nutrientes, que, por sua vez, favorecem o desenvolvimento de

vegetações de tipologias florestais; e solos originados de rochas ácidas e/ou areníticas, são mais deficientes e possuem pH mais baixos, condições estas, que favorecem a seleção de espécies típicas de savanas.

Os solos da região do Quadrilátero Ferrífero (Figura 9) são dos tipos latossolo vermelho-amarelo distrófico, cambissolo háplico Tb distrófico, cambissolo háplico Tb distroférico, neossolo litólico distrófico e argissolo vermelho-amarelo distrófico, sendo todos estes, de baixo teor de nutrientes. Desta forma, apesar de mapeada majoritariamente como Mata Atlântica por IBGE, 2019b (Figura 8), a região do Quadrilátero Ferrífero possui expressiva vegetação nativa do tipo savânica (i.e., Cerrado). Isso se explica pelo fato de que esta, é uma região de transição dos dois biomas, como observada no respectivo relatório metodológico (IBGE, 2019a), com predomínio de rochas que originaram solos distróficos. Os outros tipos de vegetações presentes, além daquelas do tipo savana e excluindo-se as relacionadas à agropecuária, pastagens, silvicultura e reflorestamento, são: vegetação secundária, refúgios vegetacionais montanos, alto-montanos e floresta estacional semidecidual montana (Figura 10).

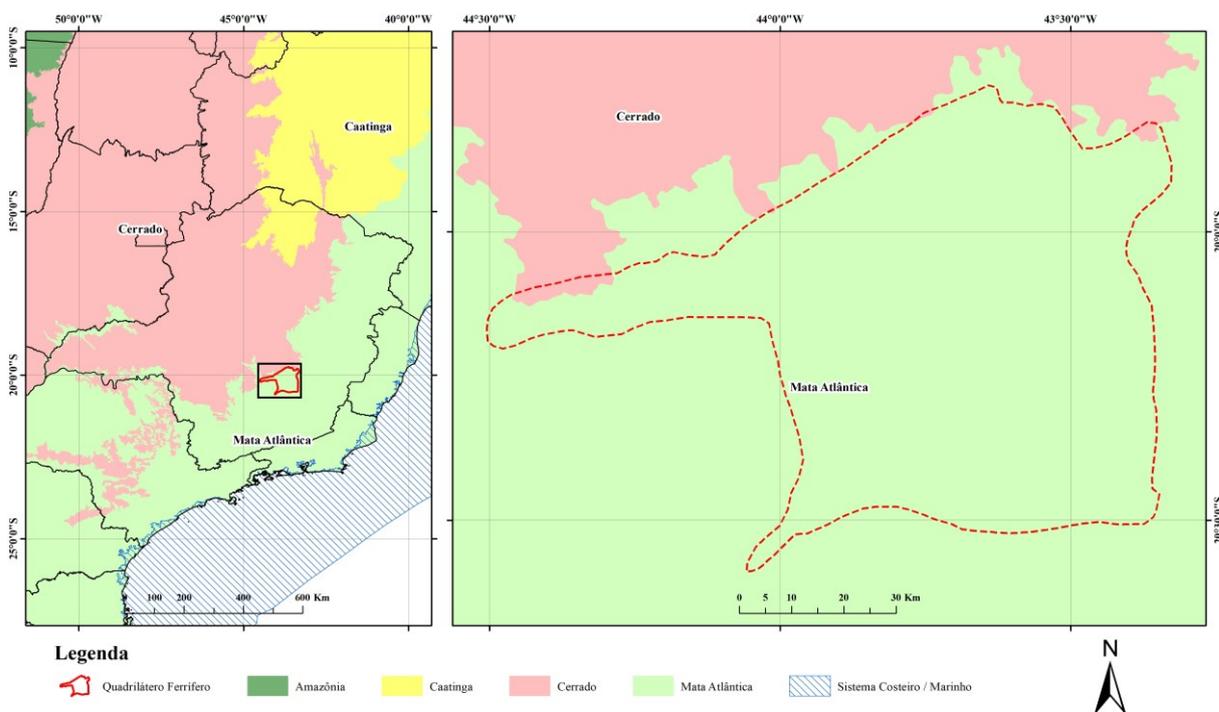


Figura 8. Mapa de biomas do Brasil, com detalhes para o estado de Minas Gerais e para o Quadrilátero Ferrífero. Escala original 1:250.000. Adaptado de IBGE, 2019b.

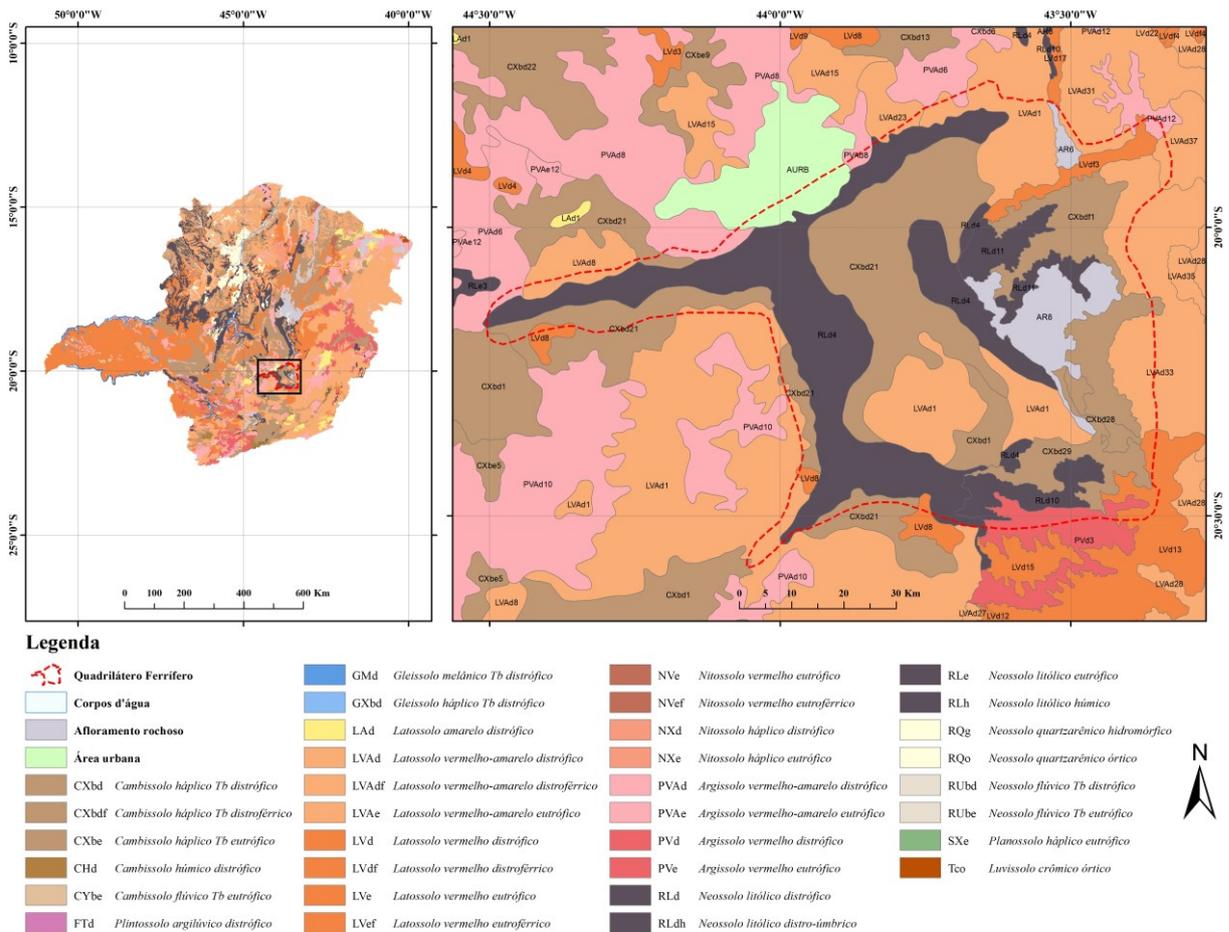
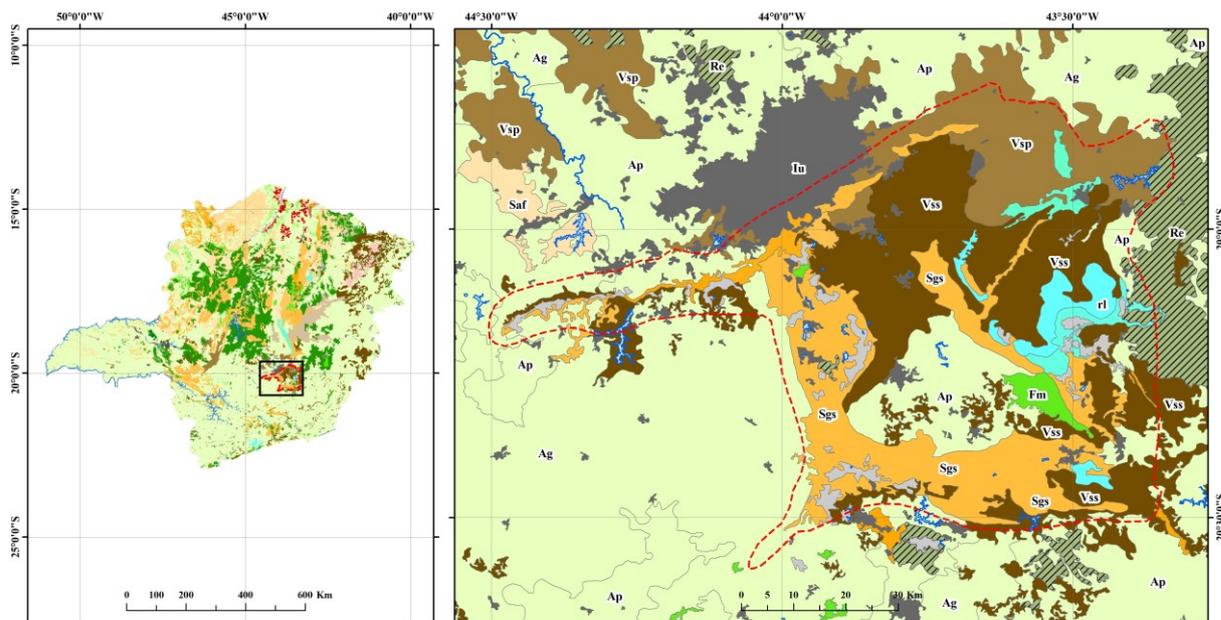


Figura 9. Mapa de solos do estado de Minas Gerais, com detalhe para o Quadrilátero Ferrífero. Escala original 1:650.000. Adaptado de UFV-CETEC-UFLA-FEAM, 2010.



Legenda

Quadrilátero Ferrífero	MI - Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana	Sas - Savana Arborizada sem floresta-de-galeria
Corpo d'água	Mm - Floresta Ombrófila Mista Montana	Ta - Savana-Estéptica Arborizada
Ai - Indiscriminada	Pa - Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	Sd - Savana Florestada
Ar - Afloramento Rochoso	Paa - Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre arbustiva	Sg - Savana Gramíneo-Lenhosa
Iu - Influência urbana	Paas - Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre arbustiva sem palmeiras	Sgf - Savana Gramíneo-Lenhosa com floresta-de-galeria
Ac - Agricultura	Pab - Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre herbácea	Sgs - Savana Gramíneo-Lenhosa sem floresta-de-galeria
Acc - Agricultura com Culturas Cíclicas	Paib - Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre herbácea sem palmeiras	Sp - Savana Parque
Acp - Agricultura com Culturas Permanentes	Pap - Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre palmeiral	Spf - Savana Parque com floresta-de-galeria
Ag - Agropecuária	R - Florestamento/Reflorestamento	Sps - Savana Parque sem floresta-de-galeria
Ap - Pecuária (pastagens)	Re - Florestamento/Reflorestamento com Eucaliptos	Vs - Vegetação Secundária
Cm - Floresta Estacional Decidual Montana	Rp - Florestamento/Reflorestamento com Pinus	Vsp - Vegetação Secundária com palmeiras
Cs - Floresta Estacional Decidual Submontana	Rs - Florestamento/Reflorestamento com Seringueiras	Vss - Vegetação Secundária sem palmeiras
Fa - Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	SNT - Contato Savana/Floresta Estacional - Ecótono	rl - Refúgio Vegetacional Alto-Montano
Fm - Floresta Estacional Semidecidual Montana	STNt - Contato Savana/Savana-Estéptica/Floresta Estacional - Ecótono	rlb - Refúgio Vegetacional Alto-Montano herbáceo
Fs - Floresta Estacional Semidecidual Submontana	STt - Contato Savana/Savana-Estéptica - Ecótono	rm - Refúgio Vegetacional Montano
DI - Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana	TNt - Contato Savana-Estéptica/Floresta Estacional - Ecótono	rmb - Refúgio Vegetacional Montano arbustivo
Dm - Floresta Ombrófila Densa Montana	Sa - Savana Arborizada	rmh - Refúgio Vegetacional Montano herbáceo
Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana	Saf - Savana Arborizada com floresta-de-galeria	

Figura 10. Mapa de vegetação do estado de Minas Gerais, com detalhe para o Quadrilátero Ferrífero. Escala original 1:250.000. Adaptado de BDIA-IBGE, 2020.

3. SÍNTESE DA EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Localizado na região sudeste do Cráton São Francisco, o Quadrilátero Ferrífero (QF) é uma província metalogênica de aproximadamente 7.000 km² (Figura 11). O QF é composto por unidades geológicas de idades arqueanas e proterozoicas. O embasamento arqueano é constituído de complexos tonalítico-granítico-gnáissicos, seguidos do Supergrupo Rio das Velhas e sobrepostos pelo Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi de idades proterozoicas.

Todas as unidades supracitadas sofreram pelo menos dois eventos tectónico-metamórficos (Orogenias Transamazônica e Brasiliana), que foram responsáveis pela deformação e evolução metamórfica complexas dessas rochas.

O Supergrupo Rio das Velhas é um *greenstone belt*, constituído pelos Grupos Nova Lima e Maquiné (da base para o topo), e possuem uma espessura estimada de 4 e 1,6 km, respectivamente. O Grupo Nova Lima hospeda os maiores depósitos de ouro orogênico que tornaram o QF famoso por seus depósitos de classe mundial, cuja mineralização é relacionada a sulfetação e podem ser tanto um produto de alteração hidrotermal com controle estrutural (como a maioria dos depósitos auríferos o são), quanto um produto de mineralização do tipo *stratabound*, como em sulfetos maciços vulcanogênicos (Ladeira, 1980; Ladeira, 1988; Lobato et al., 2001; Lobato et al., 2016; Lobato & Costa, 2018).

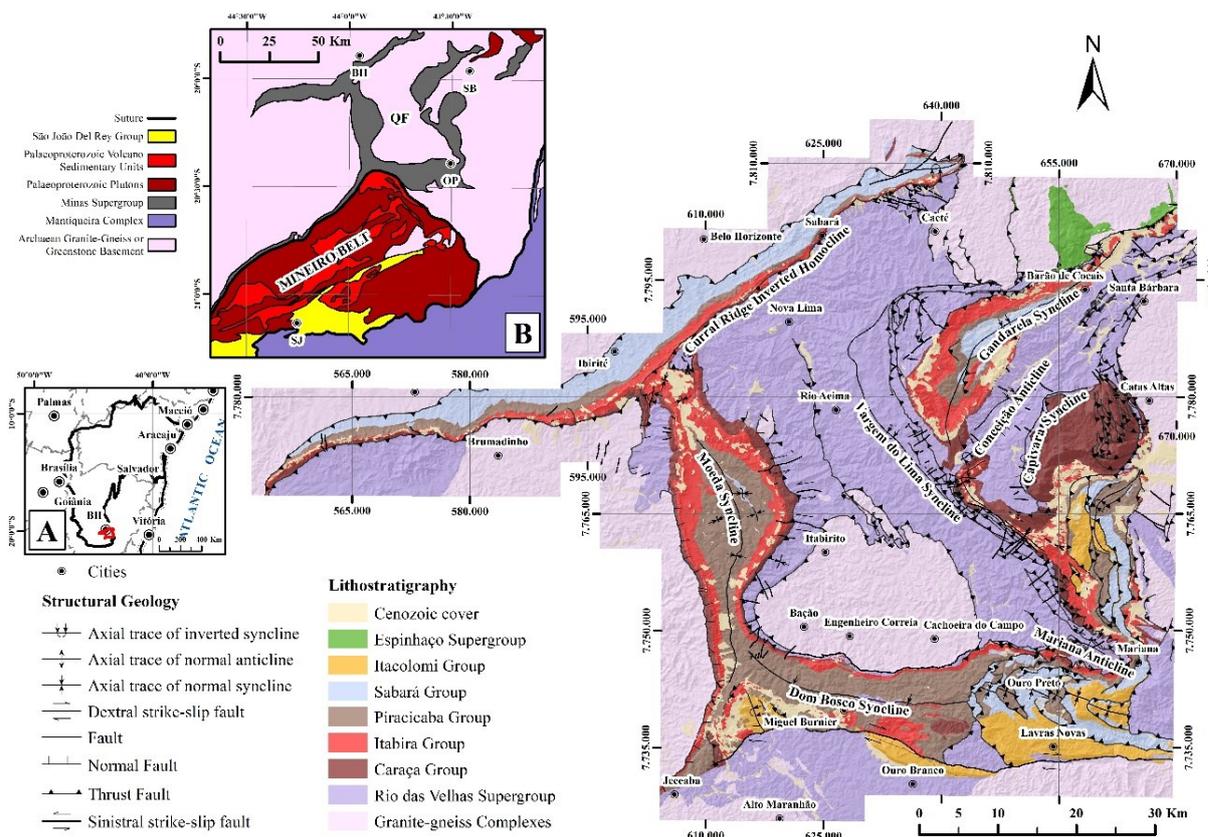


Figura 11. Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero com sua localização no Cráton São Francisco (A) e localização com o Cinturão Mineiro (B). QF = Quadrilátero Ferrífero; BH = Belo Horizonte; OP = Ouro Preto; SB = Santa Bárbara; SJ = São João Del Rey. Adaptado de Dorr II, 1969; Lobato et al., 2005; NASA LP DAAC, 2016; Alkmim & Teixeira, 2017; e IBGE/DGC, 2019.

Este supergrupo é composto principalmente de rochas máficas, ultramáficas, vulcano-sedimentares químicas, piroclásticas, e arenitos formados em sedimentação cíclica e episódica. Essas rochas registram um sistema de leques submarinos que transicionam para sedimentação continental, com intenso vulcanismo de arco de ilhas (Noce et al., 1992; Baltazar & Zucchetti, 2007; Angeli, 2015).

O Supergrupo Minas é composto pelos Grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará (da base para o topo) e registram uma sedimentação de aproximadamente 2580 a 2050 Ma (Renger et al., 1994; Machado et al., 1996; Noce, 2000; Hartmann et al., 2006; Farina et al., 2016). O Grupo Caraça basal é composto pelas Formações Moeda e Batatal, sendo a primeira majoritariamente arenítica, com conglomerados e pelitos subordinados, enquanto que a segunda é majoritariamente pelítica (Dorr II, 1969; Alkmim & Martins-Neto, 2012).

O segundo Grupo, Itabira, é composto pelas Formações Cauê e Gandarela, compostas majoritariamente de itabiritos (do tipo Lago Superior) e dolomitos, respectivamente (Dorr II, 1969; Rosière & Chemale Jr., 2000). O Terceiro Grupo,

Piracicaba, é composto de quatro Formações: Cercadinho (majoritariamente pelítica, com alguns arenitos grossos ferruginosos), Fecho do Funil (também pelítica, porém com lentes dolomíticas subordinadas), Taboões (composta de arenitos finos), e Barreiro (composição pelítica) (Dorr II, 1969; Alkmim & Marshak, 1998; Farina *et al.*, 2016).

O quarto Grupo (Sabará) e o Grupo sobrejacente (Itacolomi) são ambos sin-orogênicos. O primeiro é uma sequência *flysch* (pelitos, diamictitos, grauvacas), enquanto que o segundo é uma sequência *molasse* (arenitos e conglomerados) (Dorr II, 1969; Alkmim & Marshak, 1998; Almeida *et al.*, 2005; Alkmim & Martins-Neto, 2012). Todas as unidades litoestratigráficas do QF estão resumidas na Tabela 1.

Éon	Supergrupo	Grupo	Formação	Espessura (m)	Litologia	
Proterozoico	-	Itacolomi	Indiviso	Até 2000m	Arenitos (matriz ferruginosa), pelitos, e conglomerados	
		Sabará	Indiviso	3000 – 3500	Arenitos (grauvacas), tufos, conglomerados, diamictitos, e turbiditos	
	Minas	Piracicaba	Barreiro		Até 120m	Pelitos argilosos e carbonosos
			Taboões		Até 120m (diminui espessura para S/SE)	Arenitos
			Fecho do Funil		100 – 300 (lentes de dolomitos com mais de 30m)	Pelitos, pelitos dolomíticos, e dolomitos silicosos
			Cercadinho		100 - 500	Arenitos ferruginosos, arenitos, pelitos, e dolomitos
		Itabira	Gandarela		250 - 500	Dolomitos, pelitos dolomíticos, e calcários
			Cauê		300 – 500 (Mais de 1000m nas zonas de charneira)	Itabiritos (BIFs), itabiritos dolomíticos, e pelitos
		Caraça	Batatal		200m	Pelitos argilosos e carbonosos, cherts e itabiritos
			Moeda		30 – 300 (arenito fino pode ter até 100m)	Conglomerados, arenitos, e pelitos
	Arqueano	Rio das Velhas	Maquiné	Indiviso	Até 1600m	Arenitos, conglomerados, e pelitos
Nova Lima			Indiviso	Mais de 4000m	Rochas máficas-ultramáficas, vulcanoclásticas, cherts, BIFs, e pelitos	
Complexos Granito-Gnáissicos		-	-	(Embasamento)	Gnaisses, gnaisses migmatíticos, <i>augen</i> -gnaisses, e granitos	

Tabela 1. Resumo da litoestratigrafia do Quadrilátero Ferrífero. Adaptado de Dorr II, 1969; Alkmim & Marshak, 1998; Almeida *et al.*, 2005; Alkmim & Martins-Neto, 2012.

Os principais eventos tectono-magmáticos no QF são: vários pulsos/eventos magmáticos arqueanos (Santa Bárbara, Rio das Velhas I e II, Mamona I e II) relacionados com o embasamento (*i.e.*, complexos granito-gnáissicos e Supergrupo Rio das Velhas); Rifte Minas (tafrogênese); Orogenia Acrescionária Minas

(Transamazônico) – relacionados com a sedimentação Sabará-Itacolomi; Rifte Espinhaço (enxames de diques máficos subordinados); e Orogênese Brasileira (Faixa Araçuaí) (Machado *et al.*, 1992; Silva *et al.*, 1995; Alkmim & Marshak, 1998; Lana *et al.*, 2013; Farina *et al.*, 2015; Teixeira *et al.* 2015; Farina *et al.*, 2016; Albert, 2017). Tais eventos estão resumidos na Tabela 2 e na Figura 12.

Éon / Era	Evento	Idade (Ma)	Descrição	Referências
Fanerozoico	Lateritização, erosão e sedimentação recente	60 – 0	Eventos geológicos cenozoicos responsáveis por supergênese e modelagem do relevo recentes.	1
Proterozoico	Neo- Evento Orogenético Brasileiro	700 – 450	Evento orogênico responsável pelo cinturão de cavalgamento com vergência para oeste que reativa e sobrepõe/deforma estruturas mais antigas no Quadrilátero Ferrífero e foi responsável pela aglutinação do Gondwana.	6; 7; 22
	Meso- -	-	-	-
	Rifte Espinhaço	~ 1700	Ainda reflexo do campo de tensões distensivas que causou o colapso do orógeno, houve a intrusão de diques máficos associados ao Rifte Espinhaço.	4; 20
	Paleo- Colapso do Orógeno Acrescionário Minas; Domos e quilhas II; Deposição do Grupo Itacolomi	~ 2050	Reativação das primeiras estruturas de domos e quilhas arqueanas no final da orogênese (colapso), ocorrendo migmatização e consequente remodelagem estrutural. Em seguida, deposição do Grupo Itacolomi nas regiões intramontanas recém formadas.	21
	Orógeno Acrescionário Minas (Transamazônico)	2260 – 1860	Evento orogênico acrescionário resultante da colisão entre o proto-crátón do São Francisco e o proto-crátón do Congo.	10; 13; 15; 16; 17; 20; 21
	Deposição do Supergrupo Minas	2580 – 2100	Sedimentação do Sg. Minas.	1; 3; 10; 19; 20; 22
Arqueano	Rifte Minas	~ 2600	Evento tafrogenético do Sg. Minas.	9; 19
	Mamona II	2620 – 2580	Intrusões de granitoides e pegmatitos calcialcalinos de alto K.	12; 14; 18; 19
	Mamona I	2750 – 2700		
	Domos e quilhas I	2775 – 2730	Estruturação dos primeiros domos e quilhas na região do Quadrilátero Ferrífero no colapso do orógeno Greenstone Belt Rio das Velhas.	21
	Deposição do Sg. Rio das Velhas	2803 – 2742	Sedimentação e vulcanismo associados ao Sg. Rio das Velhas.	1; 2; 5; 8; 9; 11; 14
	Rio das Velhas II	2800 – 2760	Granitogênese de médio K também oriunda de mistura de magmas oriundos de fusão parcial de crostas oceânicas e continentais em regime orogênico (Complexos Bação, Belo Horizonte, Bonfim, Caeté)	11; 14; 16; 18
	Rio das Velhas I	2930 – 2850	Acresção de magmatismo TTG de médio K à crosta continental e aos terrenos <i>greenstone belts</i> máfico-ultramáficos: início da orogênese Meso-arqueana homônima ao Evento (Complexos Bação, Belo Horizonte, Bonfim, Cinturão Mineiro).	11; 14; 16
	Santa Bárbara	3220 – 3200	Intrusão do granito Santa Bárbara (NE do Quadrilátero Ferrífero e Cinturão Mineiro).	11; 16
	Formação de crosta continental	3500 – 3200	Cristalização dos primeiros núcleos cratônicos, i.e., crosta continental.	11; 16; 18

Tabela 2. Principais eventos geológicos no Quadrilátero Ferrífero (tabela). Referências: [1] Dorr II, 1969; [2] Machado et al., 1992; [3] Renger et al., 1994; [4] Silva et al., 1995; [5] Machado et al., 1996; [6] Alkmim & Marshak, 1998; [7] Endo & Machado, 2002; [8] Noce et al., 2005; [9] Hartmann et al., 2006; [10] Alkmim & Martins-Neto, 2012; [11] Lana et al., 2013; [12] Romano et al., 2013; [13] Sanglard et al., 2014; [14] Farina et al., 2015; [15] Teixeira et al. 2015; [16] Farina et al., 2016; [17] Aguilar et al. 2017; [18] Albert, 2017; [19] Dopico et al. 2017; [20] Dutra, 2017; [21] Cutts et al., 2019; [22] Dutra et al. 2019.

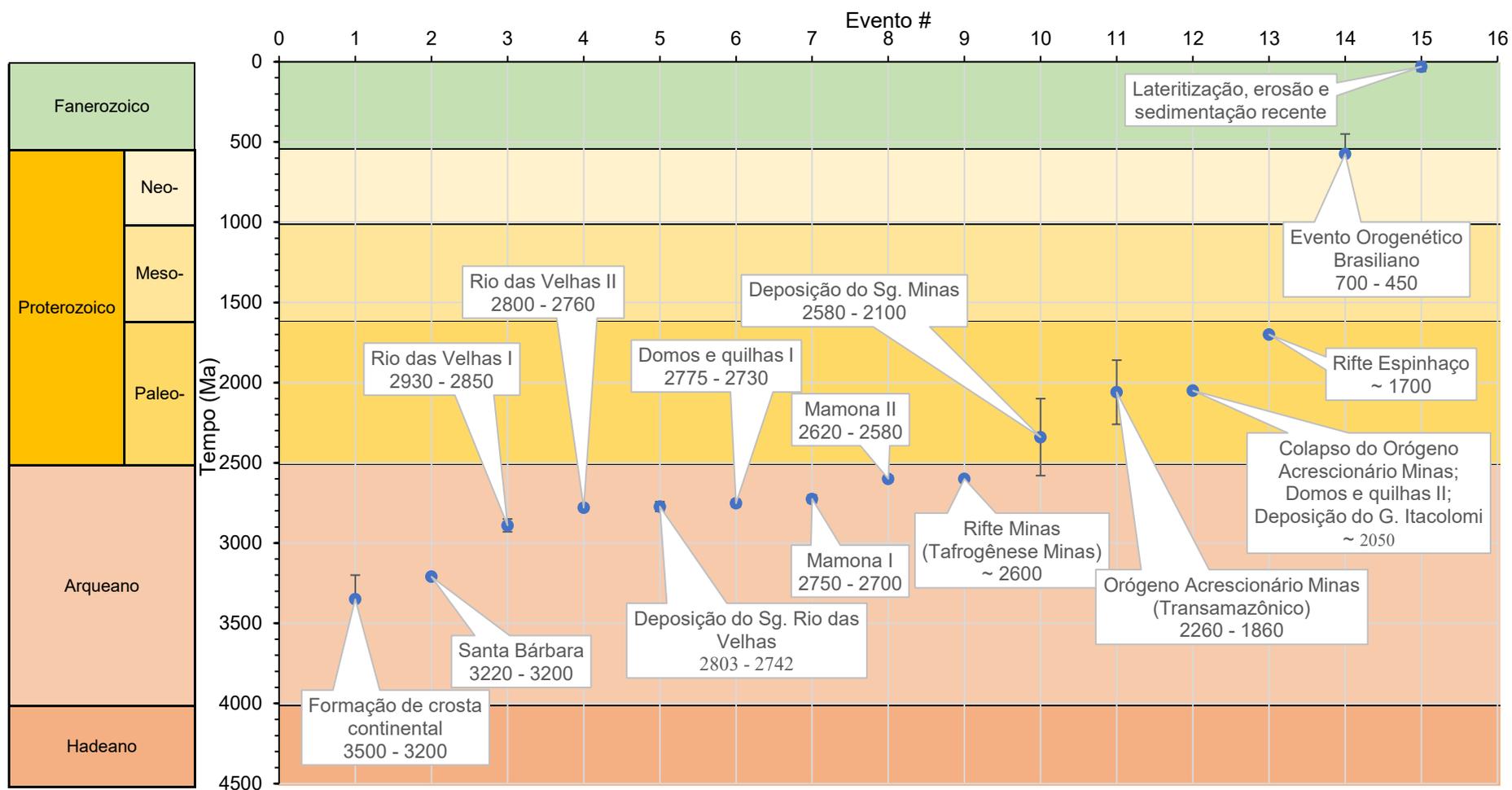


Figura 12. Principais eventos geológicos no Quadrilátero Ferrífero (gráfico complementar da Tabela 2).

4. FÁCIES SEDIMENTARES

As fácies sedimentares das Bacias Minas-Itacolomi descritas abaixo estão categorizadas de acordo com o sub-capítulo correspondente ao Grupo estratigráfico a qual elas pertencem. A nomenclatura de rochas sedimentares foi mantida, no lugar do nome metamórfico da rocha correspondente, uma vez que todas apresentam um grau de metamorfismo baixo e as estruturas sedimentares estão, em geral, bem preservadas da deformação tectônica. Algumas fácies sedimentares não foram identificadas na etapa de trabalho de campo, porém estão inclusas no texto (juntamente com suas referências correspondentes), uma vez que foram previamente descritas na literatura. A ordem na qual as fácies são catalogadas neste trabalho estão de acordo com sua posição estratigráfica, conforme observadas no campo, da base para o topo. As variações laterais são frequentes e também foram levadas em consideração, pois elas representam a evolução dos sistemas deposicionais.

4.1. Grupo Caraça

As sete fácies sedimentares catalogadas da Formação Moeda, bem como as duas fácies da Fm. Batatal estão dispostas na Tabela 3 e na Figura 13. Todas as fácies levantadas da Fm. Moeda foram também descritas previamente por Dorr II, 1969, Villaça, 1981, e Madeira *et al.*, 2018, com exceção de um arenito fino e bem selecionado com estratificação *hummocky* identificado por Canuto, 2010. Duas fácies raras adicionais da Fm. Batatal são arenito fino (ou chert), e jaspilito (BIF), segundo Dorr II (1969).

Formação	Código de Fácies	Descrição	Processos Sedimentares
Batatal	BTT2	Pelito carbonoso	Transgressão marinha com deposição de argilas e siltes com matéria orgânica sendo preservada em condições redutoras
	BTT1	Pelito	Transgressão marinha com deposição de argilas e siltes
Moeda	MOE7	Pelito laminado e arenito fino bem selecionado subordinado	Deposição por decantação de argila e tração de areias em padrão alternado

	MOE6	Siltito quartzoso laminado com pequenas camadas lenticulares subordinadas de areia muito fina	Acresção vertical e lateral, a partir da carga de suspensão
	MOE5	Arenito mal selecionado com estratificação planar	Regime de fluxo superior
	MOE4	Arenito mal selecionado com estratificação cruzada acanalada	Dunas sub-aquáticas de cristas sinuosas
	MOE3	Arenito mal selecionado com estratificação cruzada tabular	Barras arenosas transversais em dunas sub-aquáticas (<i>ripples</i> de crista reta)
	MOE2	Conglomerado quartzoso oligomítico com pirita detrítica, grânulos e cascalhos arredondados, média esfericidade e matriz de areia grossa; com estratificação cruzada acanalada presente	Barras longitudinais ou canais fluviais estreitados
	MOE1	Conglomerado quartzoso polimítico (quartzo, chert, filito, clorita xisto, rocha félsica extrusiva) com pirita detrítica.	Processos gravitacionais, como fluxo de detritos.

Tabela 3. Fácies e processos sedimentares do Grupo Caraça.

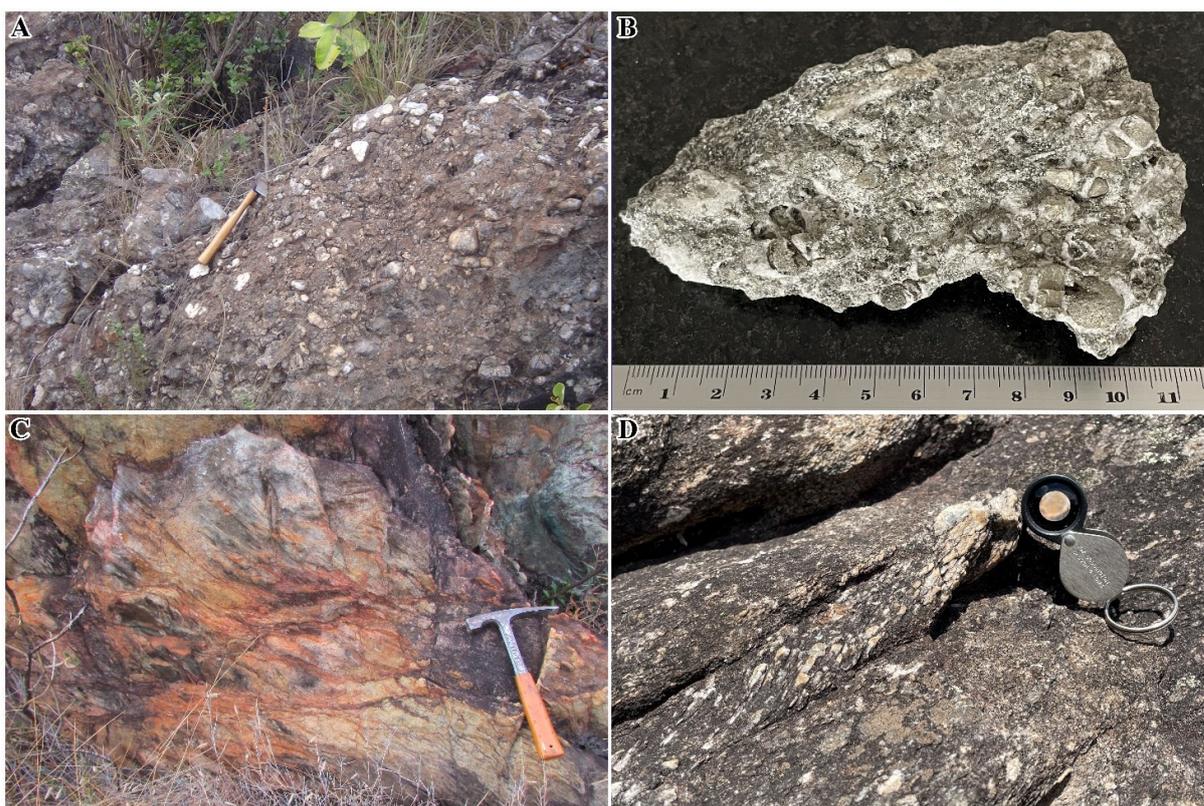


Figura 13. Grupo Caraça: A) Fácies MOE1 – conglomerado polimítico em afloramento (X=605.202 Y=7.775.277 Z=1.384 m); B) Amostra de mão de conglomerado aurífero com piritas detríticas (Fácies MOE2), Mina Ouro Fino - Jaguar Mining Inc.; C) Fácies MOE4 – afloramento de arenito mal selecionado com estratificação cruzada acanalada (X=609.027,087; Y=7.756.449,81; Z=1.243.7 m); D) Fácies MOE3 – afloramento de arenito mal selecionado com estratificação cruzada tabular (X=604.540,709; Y=7.779.506,869; Z=1.343,9 m). Coordenadas estão em UTM e datum WGS84.

4.2. Grupo Itabira

As duas fácies sedimentares catalogadas da Formação Cauê, bem como as quatro fácies da Fm. Gandarela estão dispostas na Tabela 4 e na Figura 14. Outras fácies da Fm. Cauê descritas na literatura são dois tipos de itabiritos (ricos em Mn e ricos em anfibólios), além de outras litologias raras, como camadas vulcanoclásticas argilosas ricas em Mn e Fe, carbonatos e pelitos (Dorr II, 1969; Suckau *et al.*, 2005; Cabral *et al.*, 2012). Para a Fm. Gandarela, as duas outras fácies sedimentares também descritas na literatura são camadas vulcânicas (xistos verdes compostos de 80% de clorita, com quartzo, biotita e magnetita), e calcário estromatolítico cinza (Dorr II, 1969; Souza & Müller, 1984). Os sistemas deposicionais dessas fácies são ambientes marinhos rasos (infra-maré e inter-maré) para as litologias carbonáticas e pelíticas, sedimentação do tipo *Lake Superior* (plataforma continental) para os itabiritos, e ambiente vulcanogênico para os xistos verdes e camadas vulcanoclásticas.

Formação	Código de Fácies	Descrição	Processos Sedimentares
Gandarela	GDR4	Conglomerado intraformacional (dolorrudito com clastos de dolomito e de chert em matriz dolomítica)	Retrabalhamento por correntes de maré de plataformas carbonáticas
	GDR3	Pelito dolomítico	Deposição de argilas e siltes em plataformas carbonáticas
	GDR2	Tapetes algálicos laminados em dolomito cinza	Crescimento algálico e bacteriano em plataformas carbonáticas
	GDR1	Dolomito rico em Fe por vezes intercalado com itabirito dolomítico	Precipitação química de óxidos de ferro em águas rasas
CAU2	Itabirito dolomítico		
Cauê	CAU1	Itabirito (jaspilite ou BIFs)	Grande evento de oxigenação: Fe ²⁺ oxidados a Fe ³⁺ , precipitando cristais de óxido de ferro

Tabela 4. Fácies e processos sedimentares do Grupo Itabira.

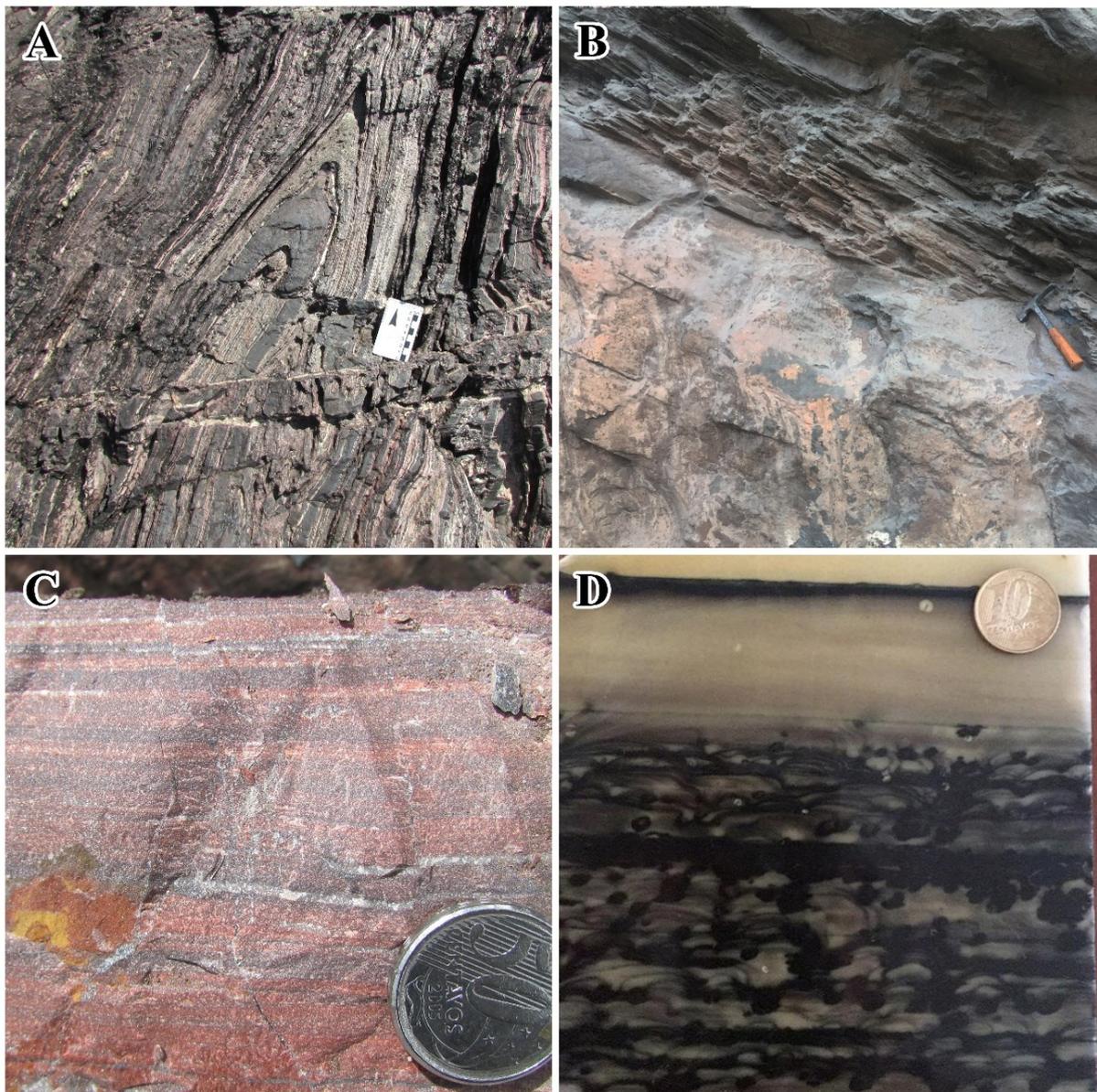


Figura 14. Grupo Itabira: A) Fácies CAU1 – itabirito ($X=638.416,18$; $Y=7.807.618,25$; $Z=1.713$ m); B) Fácies GDR1 e GDR3 – dolomito e pelito dolomítico ($X=643.411,603$; $Y=7.746.329,701$; $Z=1.081,6$ m); C) Fácies GDR1 – dolomito ferruginoso ($X=638.900,029$; $Y=7.781.831,391$; $Z=1.383,2$ m); D) Fácies GDR2 – amostra de mão de microbialito algálico dolomítico com estromatólitos e oncólitos com domos e hemisferoides bem preservados ($X=638.928,07$; $Y=7.781.028,66$; $Z=1.270$ m). Coordenadas estão em UTM e datum WGS84.

4.3. Grupo Piracicaba

As seis fácies sedimentares catalogadas da Fm. Cercadinho, as cinco fácies da Fm. Fecho do Funil, as duas fácies da Fm. Taboões, e as três fácies da Fm. Barreiro estão dispostas na Tabela 5 e na Figura 15. Dorr II (1969) também descreve duas fácies sedimentares raras na Fm. Cercadinho: um conglomerado basal, granulometria cascalho (3 a 6 cm, clastos de itabirito, quartzo e quartzito), e lentes

dolomíticas no topo da unidade. Todas as fácies catalogadas neste presente trabalho também foram previamente identificadas por Dorr II, 1969; Dardenne & Campos Neto, 1975; Cassedanne, 1976; Garcia *et al.*, 1988; e Kuchenbecker *et al.*, 2015.

Formação	Código de Fácies	Descrição	Processos Sedimentares
Barreiro	BRR3	Ritmito amarelo	Sedimentação terrígena ligeiramente mais grossa em meio à decantação de argilas e siltes na plataforma marinha
	BRR2	Pelito carbonoso	Transgressão marinha com deposição de argilas e siltes com matéria orgânica sendo preservada em condições redutoras
	BRR1	Pelito rosa	Transgressão marinha com deposição de argilas e siltes
Taboões	TAB2	Ritmito laminado (lâminas milimétricas de argila e silte alternadas com areia muito fina)	Pró-delta sub-aquoso
	TAB1	Quartzo-arenito fino e bem selecionado	Progradação deltaica (frente deltaica)
Fecho do Funil	FF5	Pelito carbonoso	Deposição de argilas e siltes com matéria orgânica na plataforma continental
	FF4	Ritmito laminado (alternância de arenitos finos avermelhados com argilitos cinza em estratificação <i>hummocky</i>)	Sedimentação de tempestitos distais
	FF3	Arenito fino a médio com estratificação cruzada tabular de baixo ângulo	Ação de ondas no <i>shoreface</i> superior ou intermediário
	FF2	Lentes de dolomito estromatolítico branco ou cinza escuro	Biohermas estromatolíticas na plataforma continental
	FF1	Pelito dolomítico laminado	Deposição de argilas e siltes na plataforma continental
Cercadinho	CCD6	Ritmito laminado (alternância de arenitos finos siltosos avermelhados com argilitos cinza com estratificação <i>hummocky</i>)	Sedimentação de tempestitos distais
	CCD5	Quartzo arenito médio a grosso com estratificação cruzada	Sedimentação de tempestitos proximais (barras de arenitos lenticulares)
	CCD4	Arenito ferruginoso médio a grosso, arredondado e em estratos lenticulares	
	CCD3	Folhelho clorítico	Sedimentação <i>offshore</i> de pelitos
	CCD2	Folhelho sericíticos ferruginoso prateado	
	CCD1	Folhelho carbonoso	

Tabela 5. Fácies e processos sedimentares do Grupo Piracicaba.



Figura 15. Grupo Piracicaba: A) Fácies CCD1, CCD4, e CCD5 – folhelho carbonoso, arenito ferruginoso, e arenito quartzoso ($X=640.038,668$; $Y=7.741.900,304$; $Z=1.274,5$ m); B) Fácies CCD6 – ritmito com estratificação hummocky ($X=611.172,722$; $Y=7.792.421,984$; $Z=1.107,6$ m); C & D) Amostra de mão de estromatólito da fácies FF2 ($X=636.590,210$; $Y=7.742.150,558$; $Z=1.103,0$ m); E) Fácies FF4 – ritmito com estratificação hummocky ($X=612.218,012$; $Y=7.768.982,647$; $Z=1.245,2$ m); F) Fácies FF2 e FF1 – lente de dolomito em pelitos ($X=645.411,412$; $Y=7.745.965,808$; $Z=1.145,5$ m). Coordenadas estão em UTM e datum WGS84.

4.4. Grupo Sabará

As cinco fácies sedimentares catalogadas do Grupo Sabará estão dispostas na Tabela 6 e na Figura 16. Todas foram identificadas previamente por Dorr II, 1969 e Reis *et al.*, 2002.

Formação	Código de Fácies	Descrição	Processos Sedimentares
Sabará	SAB5	Ritmito (argila, silte e areia), muitas vezes com matéria orgânica e bem laminado.	Turbiditos distais ou de baixa densidade
	SAB4	Arenito (grauvaca), frequentemente associado com ritmitos	Turbiditos proximais: depositados por correntes de turbidez ricas em areia, silte e argila
	SAB3	Pelito laminado	Turbiditos distais ou de baixa densidade
	SAB2	Diamictito – grânulos e pequenos seixos (até 3cm) de quartzitos e pelitos, raros calhaus e matações de quartzitos	<i>Mud flow</i> sub-aquoso
	SAB1	Ortoconglomerado de seixos e calhaus, com estratificação maciça ou gradacional	Fluxo de detritos sub-aquoso

Tabela 6. Fácies e processos sedimentares do Grupo Sabará.

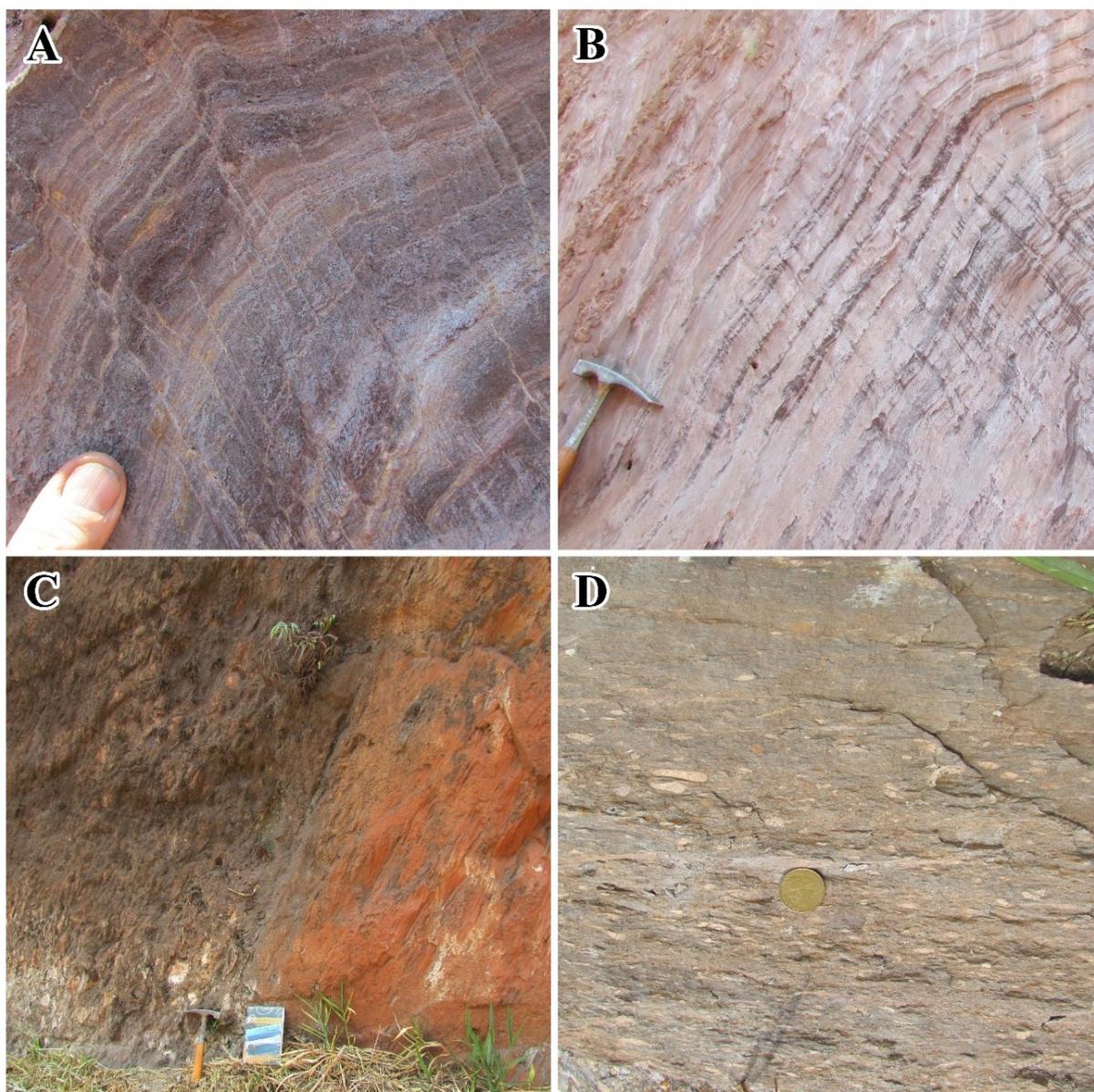


Figura 16. Grupo Sabará: A) Fácies SAB5 – ritmito bem crenulado, ou turbidito distal (X=655.490,229; Y=7.741.168,287; Z=1.365,5 m); B) Fácies SAB3 e SAB5 - pelitos e ritmitos laminados, ou turbiditos distais (X=655.498,996; Y=7.741.106,157; Z=1.384,3 m); C) Contato entre as laminados, ou turbiditos distais (X=655.498,996; Y=7.741.106,157; Z=1.384,3 m); D) Contato entre as laminados, ou turbiditos distais (X=655.498,996; Y=7.741.106,157; Z=1.384,3 m).

fácies SAB4 (arenito / gravaca) e SAB2 (diamictito) (X=655.498,996; Y=7.741.106,157; Z=1.384,3 m); D) Conglomerado cascalhoso SAB1 com estratificação gradacional, depositado por correntes de turbidez (X=614.564,714; Y=7.767.873,112; Z=1.241,1 m). Coordenadas estão em UTM e datum WGS84.

4.5. Grupo Itacolomi

As seis fácies sedimentares catalogadas para o Grupo Itacolomi estão dispostas na Tabela 7 e na Figura 17. Todas foram identificadas previamente por Alkmim (1987), Duque (2018), e Duque *et al.* (2020), porém o primeiro autor também descreve uma fácies arenítica extra (com marcas de onda e camadas de pelitos intercaladas em padrão *flaser* oriundos de uma planície de maré da localidade da Serra de Ouro Branco.

Formação	Código de Fácies	Descrição	Processos Sedimentares
Itacolomi	ITA5	Arenito conglomerático com estratificação cruzada acanalada	Dunas sub-aquáticas de cristas sinuosas
	ITA4	Arenito conglomerático com estratificação cruzada tabular de baixo ângulo	Dunas sub-aquáticas de cristas retas
	ITA3	Arenito conglomerático com estratificação planar	Regime de fluxo superior
	ITA2	Ortoconglomerado de granulometria grânulos e seixos, de matriz arenosa grossa e estratificação cruzada acanalada	Barras longitudinais ou canais fluviais entrelaçados
	ITA1	Ortoconglomerado com clastos bem arredondados e de alta esfericidade, com seixos e calhaus de quartzo e quartzito	Fluxo de detritos, sedimentação gravitacional

Tabela 7. Fácies e processos sedimentares do Grupo Itacolomi.

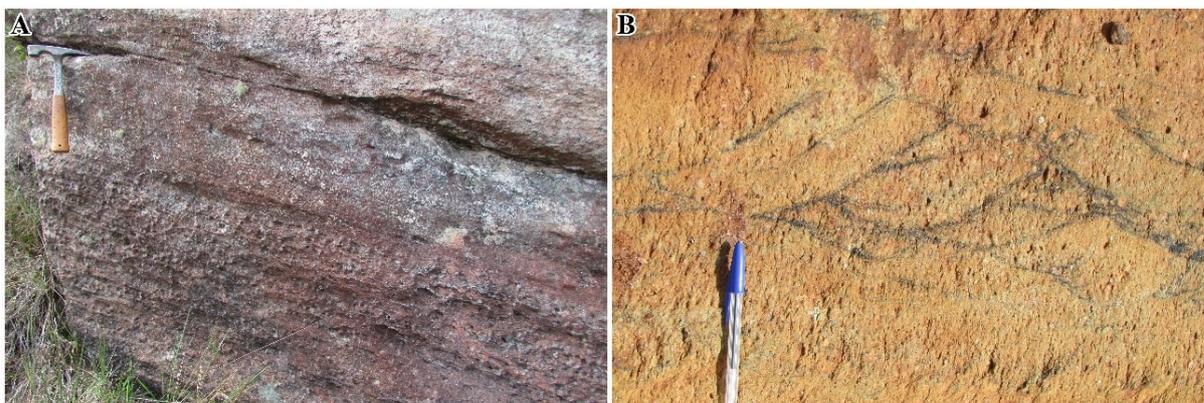


Figura 17. Grupo Itacolomi: A) Fácies ITA3 – arenito conglomerático com estratificação planar (X=657.277,655; Y=7.739.784,725; Z=1.586,1 m); B) Fácies ITA5 – arenito conglomerático com estratificação cruzada acanalada (X=641.790,022; Y=7.731.895,969; Z=1.322,7 m). Coordenadas estão em UTM e datum WGS84.

5. ARCABOUÇO DE ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS PARA O SUPERGRUPO MINAS E GRUPO ITACOLOMI

5.1. Fácies sedimentares e sistemas deposicionais

Na base do Grupo Caraça, a Formação Moeda contém camadas e lentes de quartzo arenitos e conglomerados quartzosos de granulometria seixos e calhaus. As fácies MOE1 e MOE2 (conglomerados polimíticos e oligomíticos) são encontrados em contato erosivo com o embasamento e a presença de pirita detrítica registra condições redutoras da atmosfera no período da deposição (caso fosse uma atmosfera oxidante, a pirita detrítica se transformaria em óxidos e hidróxidos de ferro na área fonte, não preservando-se em sedimentos). Esta fácies, depositada por fluxo de detritos em leques aluviais (Miall, 2010), também se assemelha aos conglomerados auríferos-uraníferos de Witwatersrand (Villaça, 1981; Minter et al., 1990; Pires, 2005).

As fácies MOE2, MOE3, MOE4 e MOE5 (conglomerados e arenitos mal selecionados) são as mais abundantes da Formação Moeda (tanto em espessura, quanto em continuidade lateral). A fácies MOE2 (conglomerado oligomítico) é composta de cascalhos depositados em barras longitudinais de rios entrelaçados, enquanto que MOE3 e MOE4 (arenitos mal selecionados com estratificações cruzadas acanaladas ou tabulares) foram depositados em dunas sub-aquáticas (de crista sinuosa e/ou reta) neste mesmo sistema fluvial entrelaçado. O arenito MOE5 de estratificação planar representa o regime de fluxo superior.

As fácies MOE6 e MOE7, que são mais raras e compostas de siltitos laminados (com pequenas lâminas de areia fina) e argilito laminado (respectivamente), representam sedimentação mais fina (pelítica) dos rios, planícies de inundação, e/ou sedimentação lacustre. Ao total, a Formação Moeda possui aproximadamente 300 m de espessura e em suma, representa tanto sedimentação de leques aluviais quanto fluvial entrelaçada (Miall, 1978; Villaça, 1981; Minter et al., 1990; Renger et al., 1994; Miall, 2010; Madeira, 2018), conforme representada na Figura 18. Os pelitos e arenitos finos, bem selecionados que afloram no sudeste do Quadrilátero Ferrífero provavelmente representam uma sedimentação lacustre.

Cada um dos três diagramas de rosas de paleocorrentes foi coletado em diferentes domínios geológicos do QF (Sinclinal Moeda, Serra do Curral e Sinclinal

Gandarela) e agrupados adequadamente. As paleocorrentes são oriundas tanto da etapa de trabalho de campo desta dissertação (e para estas, é importante ressaltar que não foi realizado o trabalho de restauração estrutural), quanto de Villaça, 1981. Ao todo, existem duas direções principais de fluxo de sedimentos: de NW para SE; e de ENE para WSW. O depocentro desta bacia rifte pode ser um sistema deposicional lacustre, com pelitos e arenitos finos bem selecionados que afloram na porção média da Fm Moeda (Villaça, 1981) e no sudeste do QF.

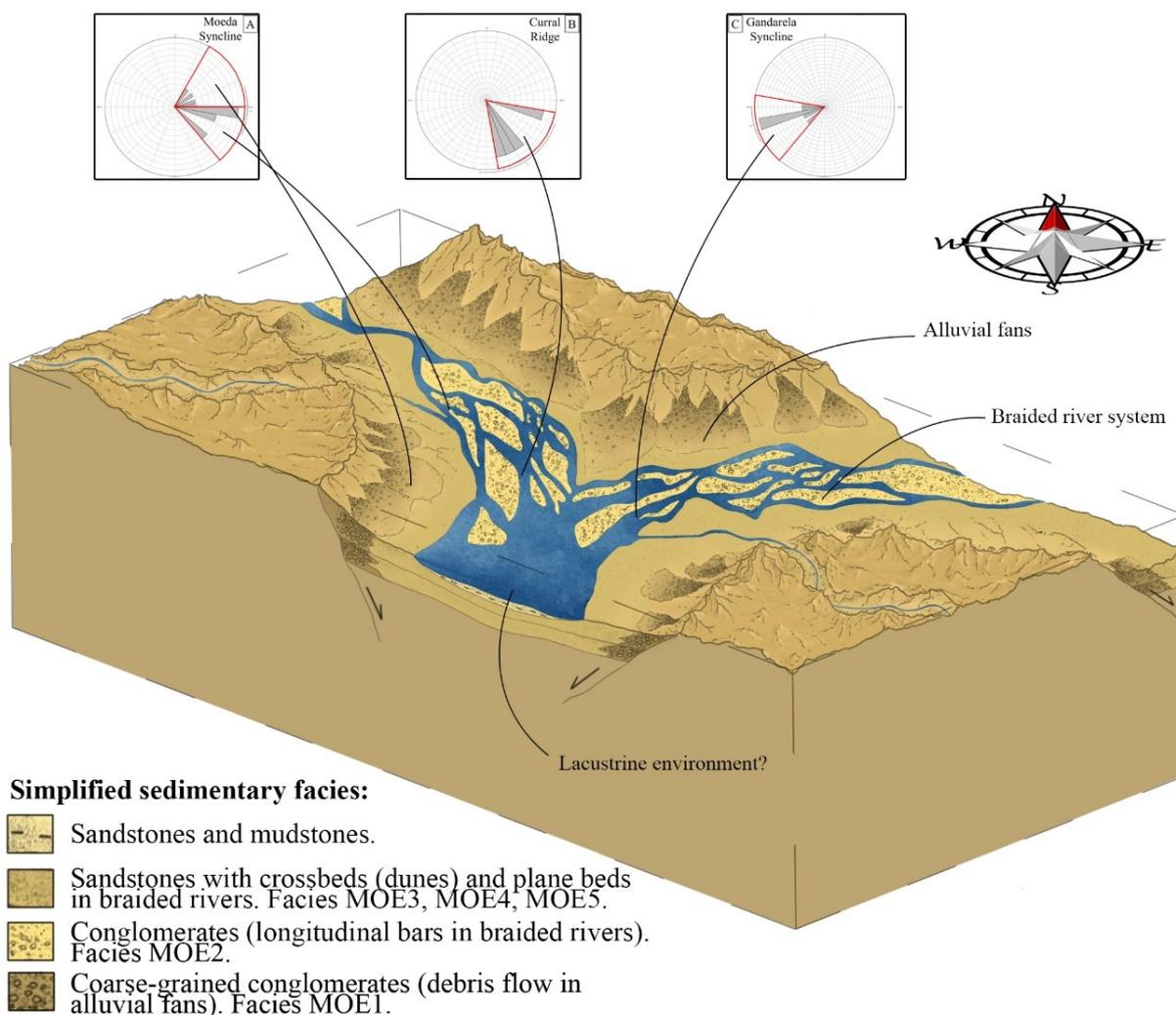


Figura 18. Fase Rife da Bacia Minas: Formação Moeda. Pontos cardeais e diagrama de rosas indicam direções de fluxo de sedimentos baseado em localizações geográficas atuais (A é oriunda do Sinclinal Moeda; B, da Serra do Curral; C, do Sinclinal Gandarela). Paleovetores são provenientes tanto da etapa de trabalho de campo (sem restauração estrutural), quanto de Villaça, 1981.

A Fm. Batatal sobrejacente, de contato localmente gradacional, contém pelitos sericíticos e carbonosos, cherts e itabiritos. As fácies BTT1 e BTT2 alternam entre si e são pelíticas (carbonosas e sericíticas, respectivamente). Ambas possuem grande

continuidade lateral e espessura estimada em 200 m e representam sedimentação marinha em contato brusco ou gradacional com a Fm. Moeda. As fácies BTT3 e BTT4, que são menos comuns, foram descritas originalmente por Dorr II (1969), e são constituídas de cherts e itabiritos. Esta última litologia representa pequenos pulsos de oxigenação que antecedem o Grande Evento de Oxigenação. Em suma, o Grupo Caraça registra uma transição de rifte a margem passiva.

O Grupo Itabira contém a Formação Cauê rica em itabiritos e a Formação Gandarela rica em carbonatos. Os pelitos na porção superior da Fm. Batatal são ferruginosos e gradam para a fácies CAU1 itabirítica. Esta fácies possui estratificação paralela e laminação, além de ser bastante homogênea, que implica uma ambiência sedimentar marinha plataformal (margem passiva). Uma vez que se trata de BIFs do tipo *Lake Superior* (Olivo *et al.*, 1995), seu sistema deposicional interpretado é o de plataforma continental. Esta fácies e a CAU2 (itabiritos dolomíticos) marcam o Grande Evento de Oxigenação na Bacia Minas, dentro de uma sucessão de estratos de aproximadamente 500 m de espessura. As fácies vulcanoclásticas raras (Dorr II, 1969; Suckau *et al.*, 2005; Cabral *et al.*, 2012) sugerem uma pequena contribuição vulcanogênica nessa sedimentação marinha. A assinatura de HREE (elementos terras raras pesados) desses litotipos sugere que os itabiritos dolomíticos se formaram em águas mais rasas, recebendo sedimentos oriundos do continente, enquanto que os itabiritos quartzosos se formaram em águas mais profundas, com contribuição hidrotermal (Spier *et al.*, 2007).

A Fm. Gandarela possui contato gradacional com a Fm. Cauê e inclui dolomitos, calcários, pelitos dolomíticos (GDR3), itabiritos dolomíticos (GDR1) e pelitos (Dorr, 1969). Carbonatos (GDR2) na porção média da Fm. Gandarela contém estruturas estromatolíticas e oncolíticas (Souza & Müller, 1984), que indicam deposição em ambientes de inter-maré a infra-maré (Bekker *et al.*, 2003). O dolorrudito GDR4 é produto de retrabalhamento intraformacional de carbonatos pela ação de ondas ou marés. Todas as fácies da Fm. Gandarela mostram uma ambiência sedimentar marinho rasa (carbonática). Similarmente à Fm. Cauê, a Fm. Gandarela também possui fácies vulcanogênicas (Dorr II, 1969). Ao todo, a espessura estimada da Fm. Gandarela é 500 m.

A Fm. Cercadinho possui seis fácies e está em contato erosional com o Grupo Itabira (Dorr II, 1969; Rossignol *et al.*, 2020). A fácies de conglomerados basais (descrita por Dorr II, 1969) é encontrada apenas na Serra do Curral e é um produto

de retrabalhamento das unidades subjacentes (o conglomerado possui cascalhos de itabiritos e arenitos). As principais fácies da Fm. Cercadinho são CCD1, CCD2 e CCD3 (folhelhos carbonosos, ferruginosos e cloríticos, respectivamente). A fácies CCD4 (arenito ferruginoso médio com grãos arredondados) se intercala frequentemente com CCD1, CCD2 e CCD3. Em geometria semelhante, a fácies CCD5 (quartzo arenito médio a grosso) forma lentes em meio aos folhelhos, assim como a fácies CCD6 (ritmitos laminados). Esta última, encontrada na Serra do Curral, apresenta estratificação cruzada do tipo *hummocky*, que indica ambiência marinha mais rasa a NW do Quadrilátero Ferrífero, com atividades de ondas de tempestade. Sedimentação marinha mais rasa também é evidenciada por raras lentes dolomíticas descritas por Dorr II (1969). Todas as seis fácies dessa Formação formam uma espessura total de aproximadamente 500 m e são interpretadas como resultado de sedimentação de barras de plataforma marinha (Garcia *et al.*, 1989) sendo sedimentadas na zona de transição entre *offshore* e *shoreface*, com arenitos lenticulares (depositados por tempestades) intercalados com pelitos e ritmitos (depositados distalmente ou em transição para calmarias, quando aumenta-se a decantação). A pequena espessura do conglomerado basal pode ser tanto resultado da discordância erosiva, quanto resultado de ondas de tempestade na plataforma ou influência de deltas com grande poder erosivo no ambiente costeiro da plataforma continental.

A fácies FF1 é a mais comum da Fm. Fecho do Funil e se trata de pelitos dolomíticos laminados. Ela frequentemente possui contato brusco com as lentes de dolomito estromatolítico branco ou cinza da fácies FF2. Subordinadamente, existem estratos de até 40 cm de arenito fino a médio (FF3) com estratificação tabular de baixo ângulo dentro de FF1. Também existem camadas de ritmitos (arenitos siltosos avermelhados e argilitos cinzas) da fácies FF4, de espessura decamétrica, com estratificação cruzada do tipo *hummocky*, que indica atividade de tempestades no ambiente marinho raso. Outra fácies bastante comum é a FF5, composta de estratos finos de pelitos carbonosos. Ao todo, a espessura total da Fm. Fecho do Funil é estimada em 300 m e sua ambiência sedimentar é marinha costeira, inframaré, com pelitos carbonáticos e carbonosos e recifes microbialíticos (biohermas), formados por estromatólitos que possuem uma ampla variedade de morfologias (Dardenne & Campos Neto, 1975). Provavelmente possuía uma área fonte de baixo relevo, com sedimentação costeira dos seus pelitos e biohermas na plataforma marinha rasa, ou até mesmo poderia se tratar de um ambiente costeiro protegido de ondas. Essa

Formação possivelmente representa um ciclo regressivo com as fácies de águas mais profundas na base (pelitos) e fácies de águas mais rasas (lentes de dolomito estromatolítico) no topo (Bekker et al, 2003).

A Formação Taboões sobrejacente (com espessura máxima de 120 m) possui a fácies TAB1, que é composta de quartzo arenito fino, muito bem selecionado e maciço, localmente laminado. Também possui a fácies TAB2 (ritmito fino) e ambas as fácies podem ser interpretadas como um resultado de um sistema deposicional deltaico, por apresentar ciclos com granocrescência e espessamento ascendente: na Serra do Curral, a fácies TAB1 (que é a predominante desta Formação) possui espessura que varia de 70 a 150 m e representa fácies de frente deltaica, enquanto que na porção central do QF (Sinclinal Moeda), os ritmitos e pelitos (TAB2) são mais frequentes, com espessura média de 30 m e representam fácies do pró-delta.

A Formação Barreiro é uma unidade estratigráfica bem homogênea, com espessura máxima de 120 m e é constituída pelas fácies BRR1, BRR2 e BRR3 que alternam entre si: pelito rosado, carbonosos e amarelado. O sistema deposicional interpretado para esta unidade é o de plataforma continental (abaixo da linha de ação de ondas).

Os sistemas deposicionais identificados para as fácies sedimentares desde a Fm. Batatal até a Fm. Barreiro são todas pertencentes à Fase de Margem Passiva e estão representadas na Figura 19.

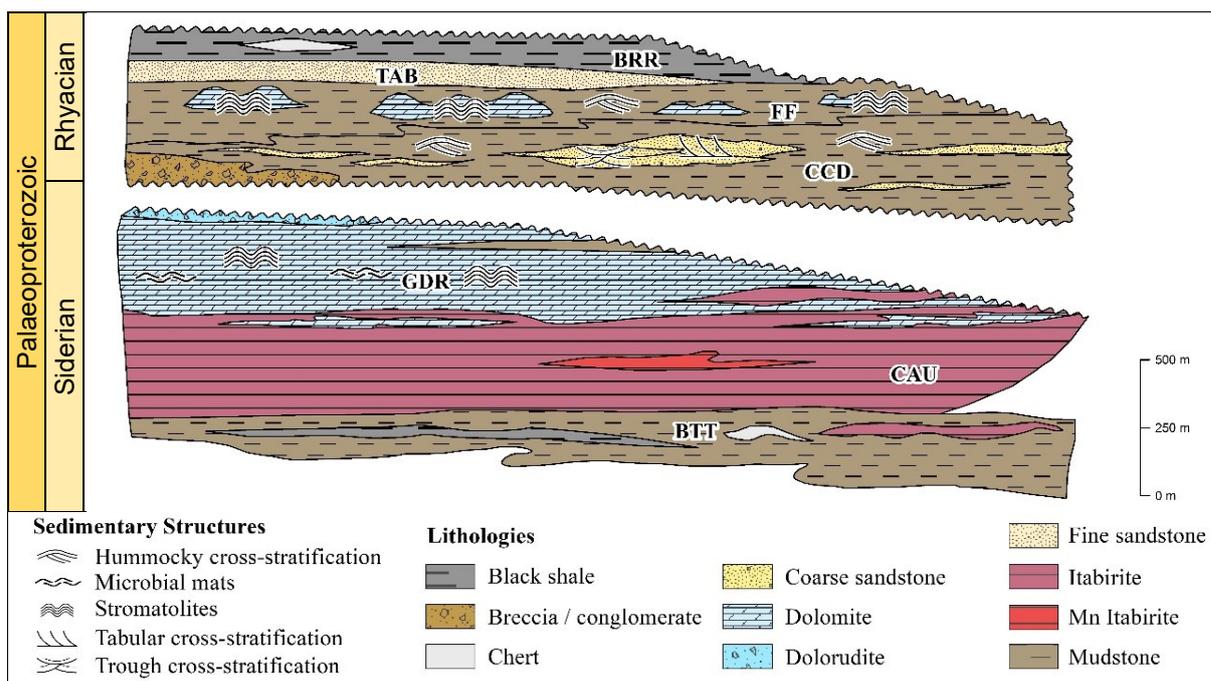


Figura 19. Sedimentação de margem passiva na Bacia Minas. Unidades estratigráficas: BTT = Fm. Batatal; CAU = Fm. Cauê; GDR = Fm. Gandarela; CCD = Fm. Cercadinho; FF = Fm. Fecho do Funil; TAB = Fm. Taboões; BRR = Fm. Barreiro.

O Grupo Sabará sobrejacente, de aproximadamente 3500 m de espessura, possui cinco fácies: conglomerados (ortoconglomerados e diamictitos), arenitos, e pelitos laminados e maciços. A fácies SAB1 (conglomerados) sobrepõe o Grupo Piracicaba com um contato erosivo e é depositado por fluxo de detritos sub-aquático. A fácies SAB2 frequentemente possui contato gradacional a partir de SAB1 e é depositada pelo mesmo mecanismo sedimentar (fluxo de detritos sub-aquoso). As fácies SAB3, SAB4 e SAB5 foram depositadas por fluxo de massa e correntes de turbidez de alta e baixa densidade, se tratando, portanto, de turbiditos proximais e distais. As fácies de fluxos de detritos são mais espessas na base do Grupo, mas ocorrem em menor espessura também na estratigrafia em direção ao topo. A fácies mais abundante é a SAB3, de pelitos laminados e, assim como a fácies SAB5 (ritmito), ambas foram depositadas por correntes de turbidez distais. A fácies SAB4 (grauvaca) foi depositada por fluxo de massa e/ou correntes de turbidez de alta densidade, e é, portanto, interpretada como turbidito proximal. Todas as cinco fácies supracitadas formam o ambiente de leques submarinos, com fluxo de detritos gravitacional sub-aquoso e sistema deposicional turbidítico (Reis *et al.*, 2002; Arnott, 2010). Como estes sedimentos pertencem a uma bacia *foreland* (zona do *foredeep*), próximos de um

orógeno ativo, o termo *flysch* (*strictu sensu*) se aplica, como previamente interpretado por Dorr II (1969) (Figura 20).

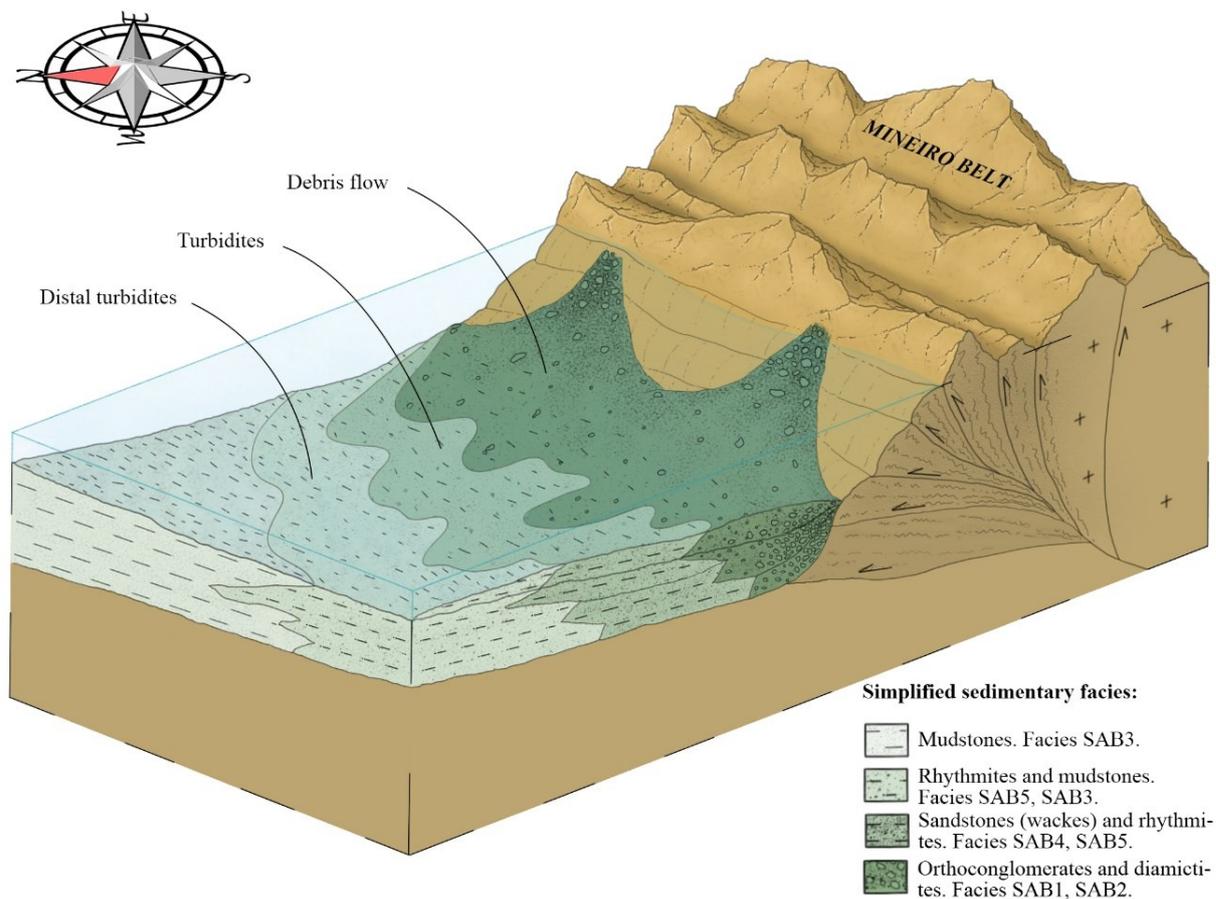


Figura 20. Sedimentação flysch do Grupo Sabará (Bacia Foreland). Pontos cardeais indicam direções de fluxo de sedimentos baseado em localizações geográficas atuais.

Por fim, o Grupo Itacolomi (espessura aproximada de 2000 m) é composto por seis fácies. As fácies ITA1 e ITA2 (ortoconglomerados) foram depositadas por leques aluviais proximais e barras longitudinais em rios entrelaçados (Miall, 1978; Miall, 2010). As fácies ITA3, ITA4 e ITA5, uma vez que se tratam de arenitos conglomeráticos mal selecionados com estratificação tanto cruzada quanto plano-paralela, a associação dessas fácies permite interpretar sistemas deposicionais de leques aluviais mediais a distais, e/ou sistemas fluviais entrelaçados (regime de fluxo superior para os estratos plano-paralelos, e regime de fluxo inferior para dunas sub-aquáticas e estratificações cruzadas). Na localidade da Serra de Ouro Branco, duas fácies sedimentares mais finas (uma das quais sugere *flaser beds*, segundo Alkmim, 1987) foram identificadas (ITA6 e ITA7) e são interpretadas como sedimentação de planície de maré. Em resumo, o Grupo Itacolomi registra sedimentação aluvial e fluvial

(entrelaçado), do tipo *molasse* em uma bacia *foreland*, com planície de maré subordinada (Figura 21).

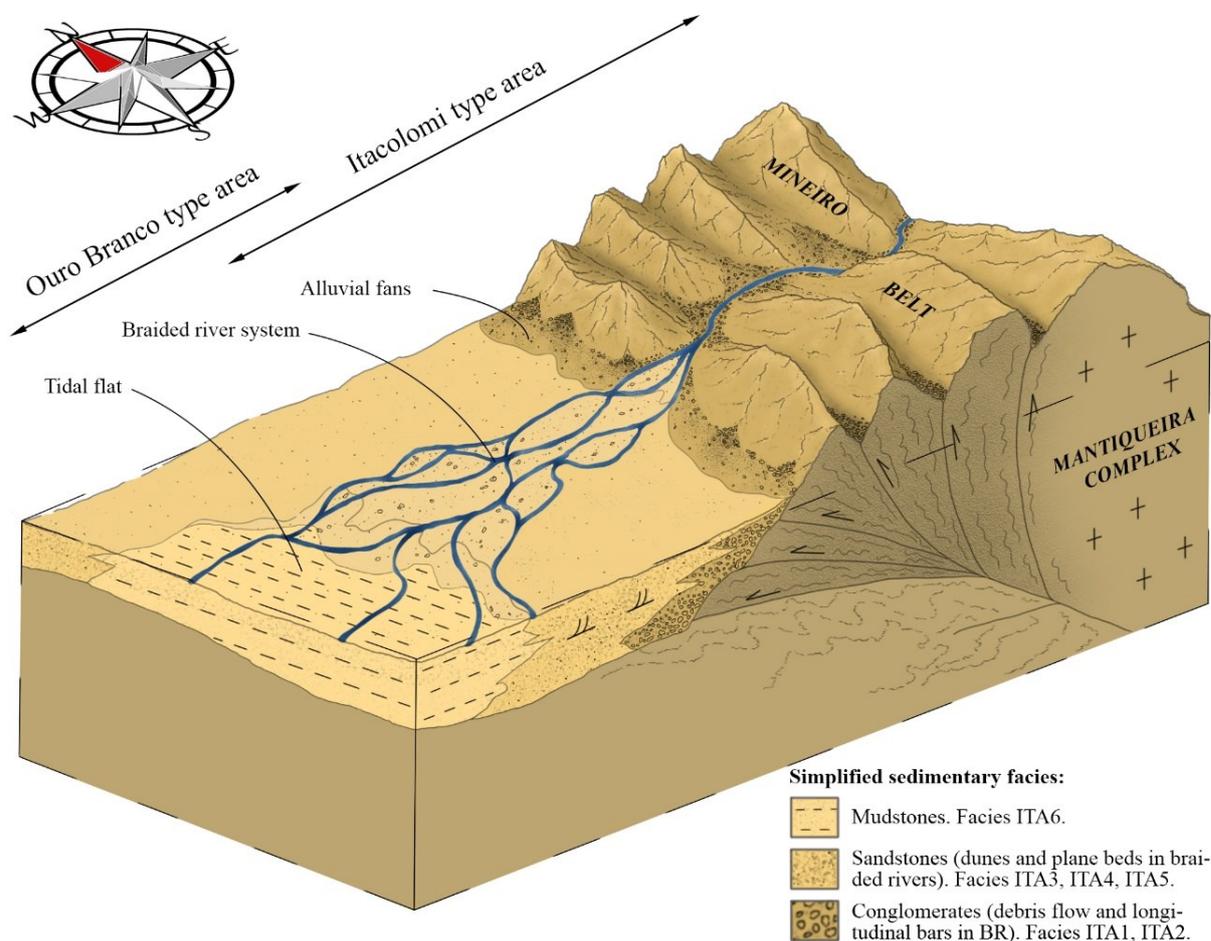


Figura 21. Sedimentação molasse do Grupo Itacolomi (Bacia Foreland). Pontos cardeais indicam direções de fluxo de sedimentos baseado em localizações geográficas atuais. BR = Braided Rivers (rios entrelaçados).

5.2. Tratos de sistemas e seqüências

Os tratos de sistemas são definidos como sucessões laterais de sistemas deposicionais e seus estratos geneticamente relacionados, que tendem a formar padrões de empilhamento estratigráfico específicos ao longo da evolução geológica (Catuneanu *et al.*, 2005; Catuneanu, 2006). Esses padrões de empilhamento são separados pelas superfícies estratigráficas e algumas delas marcam os limites das seqüências, além de serem produtos de diferentes combinações entre variações eustáticas e taxas de sedimentação. O objetivo deste sub-capítulo é apresentar as interpretações dos tratos de sistemas e superfícies estratigráficas que limitam as seqüências das bacias Minas-Itacolomi.

A Formação Moeda possui muitas fácies de leques aluviais e de sistemas fluviais entrelaçados (de alta energia) (Villaça, 1981; Madeira *et al.*, 2018). Os pelitos e arenitos finos e bem selecionados que existem nas porções central e sudeste do QF são interpretados como oriundos de um ambiente lacustre (Madeira *et al.*, 2018). Falhas normais são inferidas, para se explicar a existência dos leques aluviais espessos, e a Fm. Moeda, portanto, representa a Fase Rife (com subsidência mecânica) da Bacia Minas. Esse contexto deposicional é interpretado como um Trato de Sistemas de Mar Baixo (TSMB), uma vez que sedimentação continental predomina neste estágio da bacia.

A Formação Batatal possui principalmente fácies pelíticas e subordinadamente, cherts e itabiritos. Essa unidade compreende o início de um Trato de Sistemas Transgressivo (TST), uma vez que o nível do mar está em ascensão neste estágio, e evoluindo para uma margem passiva. Desta forma, o contato entre as Formações Moeda e Batatal é uma superfície de regressão máxima (SRM). O aporte sedimentar diminui com a subida do nível do mar, o que permite decantação em grande escala de argilas (e ocasionalmente, precipitação/sedimentação de sedimentos químicos e matéria orgânica) na bacia. Esta Formação possui contato gradacional com a Formação Cauê sobrejacente, que é bastante homogênea, com itabiritos espessos e pelitos e itabiritos dolomíticos e manganesíferos subordinados. A Fm. Cauê é uma continuidade do TST, com taxas de aporte sedimentar terrígeno cada vez menores, e predomínio de sedimentação química, onde grandes quantidades de íons Fe^{2+} são oxidados a Fe^{3+} . Segundo Spier *et al.* (2007), contribuição hidrotermal submarina foi o fator responsável por maiores concentrações de Fe^{2+} .

Uma superfície de inundação máxima (SIM) foi inferida na porção média da Fm. Cauê, imediatamente antes dos itabiritos dolomíticos e das primeiras lentes e estratos carbonáticos que representam a transição para a Fm. Gandarela, com evidente queda do nível eustático. Acima da SIM, existe um aumento gradual de sedimentação terrígena, gerando um padrão progradacional à medida que a regressão marinha se desenvolve. Este estágio corresponde ao Trato de Sistemas de Mar Alto (TSMA), que inicia-se no topo da Formação Cauê e segue por toda a Formação Gandarela. As fácies desta última unidade estratigráfica indicam a existência tanto de carbonatos de águas rasas (estromatólitos e oncólitos, Souza & Müller, 1984; Bekker *et al.*, 2003), quanto de águas profundas (pelitos também), formando, portanto, uma plataforma carbonática paleoproterozoica. A primeira sequência deposicional (Sequência 1) da

Bacia Minas compreende as quatro formações basais (Moeda, Batatal, Cauê e Gandarela), e os três tratos de sistemas supracitados (TSMB, TST, TSMA).

Entre os Grupos Itabira e Piracicaba existe uma discordância erosiva importante para a evolução da Bacia Minas, que provavelmente representa um hiato de 50 Ma ou menos. Este evento é ainda pouco compreendido, mas pode ser explicado por meio de uma queda do nível do mar e consequente erosão do Grupo Itabira, nos estágios finais do TSMA e/ou durante o Trato de Sistemas de Regressão Forçada (TSRF) subsequente não preservado. De acordo com Rossignol *et al.* (2020), a discordância é devido a tectônica, que pode significar o início da subducção, ou a primeira fase compressiva do orógeno do Cinturão Mineiro.

A Formação Cercadinho possui lentes de arenitos em meio a pelitos, na forma de barras de plataforma no ambiente marinho. Elas são tanto barras amalgamadas de areia (*shoreface*) ou isoladas dentro de pelitos da plataforma (*offshore*). Tal ambiente deposicional pertence a um TST, com diminuição de aporte sedimentar progressivo. Na base, é possível inferir uma superfície transgressiva de ravinamento (STR), no *onlap* costeiro, principalmente evidenciada pelo conglomerado basal, de granulometria cascalho (3 a 6 cm, clastos de itabirito, quartzo e quartzito) descrito por Dorr II (1969). À medida que se vai para o topo, observa-se a gradação para a Fm. Fecho do Funil, e as lentes de arenito dão lugar para lentes de dolomito. Uma SIM pode ser inferida na base da Fm. Fecho do Funil, imediatamente antes das lentes carbonáticas, onde camadas espessas (e às vezes descontínuas) de pelitos dolomíticos ocorrem. Desta forma, o topo da Fm. Fecho do Funil representa um TSMA, cujo raseamento da plataforma permitiu a deposição de lentes de dolomito estromatolítico e arenitos finos de *shoreface*.

A frente deltaica e pró-delta da Fm. Taboões sobrepõem em contato brusco os pelitos de plataforma da Fm. Fecho do Funil, o que implica uma mudança abrupta no que diz respeito a aporte sedimentar (a progradação aumenta, e o nível eustático cai progressivamente, e a linha de costa migra em direção ao depocentro da bacia), caracterizando um TSMB. Este contato geológico pode ser interpretado como uma conformidade correlativa (portanto, uma discordância interpretada, uma vez que os tratos de sistemas mudam de mar alto para mar baixo), e marca o fim da sequência 2 (que começou na base do Grupo Piracicaba). O contato entre a Fm. Taboões e Fm. Barreiro é brusco, e, à medida que Taboões afina para o depocentro, a Fm. Barreiro ocasionalmente sobrepõe diretamente a Fm. Fecho do Funil (sendo esta, mais uma

evidência para a interpretação de conformidade correlativa). Os pelitos carbonosos e ritmitos da Fm. Barreiro pertencem a um TST e são limitados no topo por um contato erosivo. Tal contato erosivo marca o fim da Sequência 3.

As sequências 4 e 5 são depositadas em uma bacia *foreland* (Alkmim & Marshak, 1998; Reis *et al.*, 2002), o que requer uma classificação de tratos de sistemas diferente daquela utilizada para sedimentos de fase margem passiva (estratigrafia de sequências clássica), pois esta última utiliza variações eustáticas e variações de taxas de sedimentação como agentes principais da arquitetura estratigráfica. No tipo de bacias *Foreland*, são a carga tectônica e o comportamento flexural da litosfera quem exercem o papel principal do controle estratigráfico, e a eustasia é um agente secundário. Por esta razão, uma classificação de tratos de sistemas diferente é proposta neste trabalho (Figura 22), e se baseia nos estágios *Underfilled*, *Filled* e *Overfilled* de Sinclair & Allen (1992), Crampton & Allen (1995) e Catuneanu (2004).

O principal agente no controle estratigráfico de uma bacia *foreland* é a carga tectônica e suas consequências flexurais na litosfera. A derivada desta propriedade (*i.e.*, a taxa de variação de carga tectônica) define pulsos orogênicos e períodos de quiescência. Ademais, é a carga tectônica a causa do deslocamento litosférico, que é função tanto de carga ou massa orogênica, quanto de rigidez flexural da litosfera. Quando a carga tectônica é positiva, se trata de subsidência; e quando é negativa, soerguimento. A derivada do deslocamento litosférico é a taxa flexural, que está diretamente relacionada com a geração de espaço de acomodação na bacia. Por fim, a taxa de sedimentação aumenta com o desenvolvimento gradual do cinturão orogênico e diminui com sua erosão. Todas essas propriedades e como elas se correlacionam ao longo do tempo criam condições geológicas específicas para os estratos serem depositados (tratros de sistemas específicos), com arranjos geométricos distintos, separados por suas respectivas superfícies estratigráficas (Figura 22).

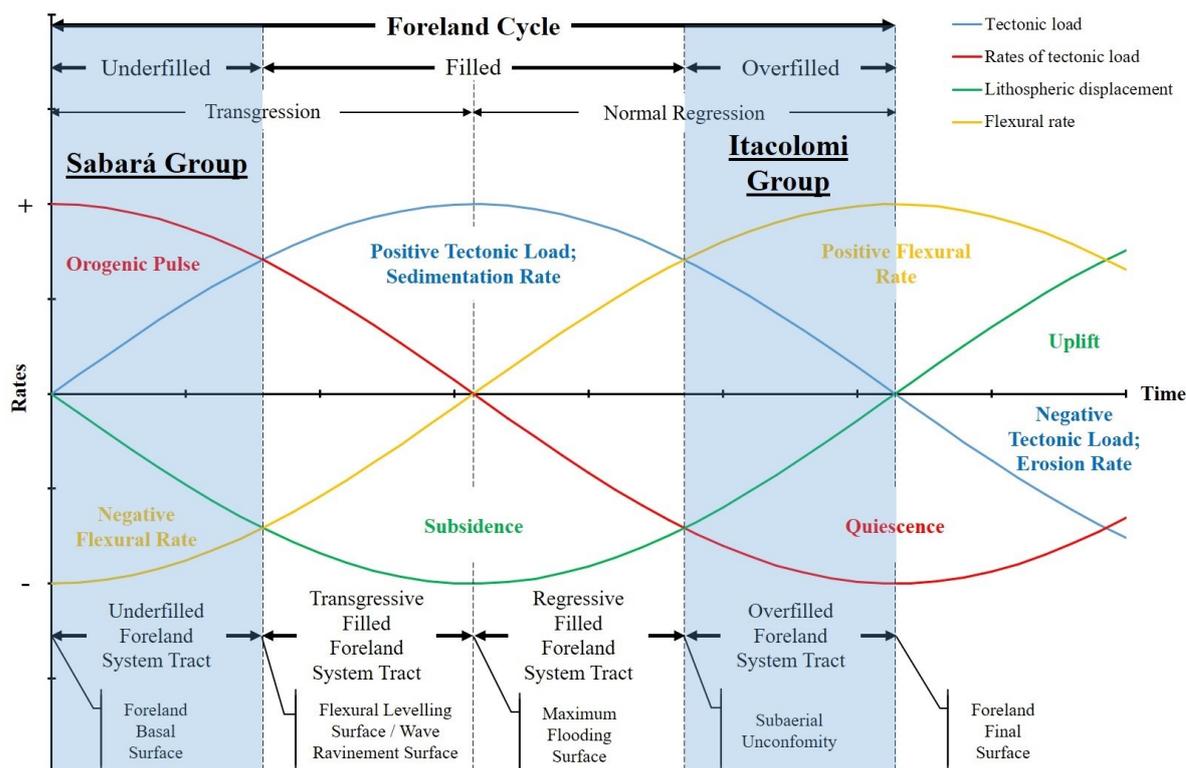


Figura 22. Proposição de Estratigrafia de Sequências para Bacias Foreland e sua aplicação nos Grupos Sabará e Itacolomi, da Bacia Minas (Underfilled e Overfilled Foreland, respectivamente). Inspirado em Sinclair & Allen, 1992; Crampton & Allen, 1995; Catuneanu, 2004.

No Grupo Sabará, cujo sistema deposicional é composto por leques submarinos, com fluxo de detritos, fluxo de massas, e frequentes sedimentação turbidíticas (fácies SAB1 a SAB5), o Trato de Sistemas identificado é o *Underfilled Foreland* (TSUF), uma vez que ele diz respeito ao período de tempo no qual o pulso orogênico era maior do que a taxa de sedimentação. O Grupo Itacolomi, por sua vez, compreende um Trato de Sistemas *Overfilled Foreland* (TSOF), uma vez que ele é majoritariamente composto por sedimentos aluviais e fluviais *molasse* (Alkmim, 1987; Alkmim & Martins Neto, 2012). Esses sedimentos foram depositados quando tanto a carga tectônica e a taxa de sedimentação eram menores do que a taxa flexural (*i.e.*, quando a geração de espaço de acomodação estava em declínio, ao mesmo tempo que o orógeno era progressivamente erodido, “superpreenchendo” a bacia *foreland*). A fase *Filled* do ciclo *Foreland* foi provavelmente erodida, à medida que o estágio *Overfilled* se desenvolvia, correspondendo assim ao contato erosivo entre os Grupos Sabará e Itacolomi. Além do mais, é da natureza deste estágio senil da bacia *foreland*, retrabalhar um pouco (ou por completo) os sedimentos marinhos finais da bacia, à medida que a subsidência inicial gradualmente diminuiu-se pela compensação isostática da erosão do cinturão orogênico.

A carta cronoestratigráfica das Bacias Minas-Itacolomi (Figura 23) esquematiza todos os resultados e interpretações do trabalho de catalogação de fácies sedimentares.

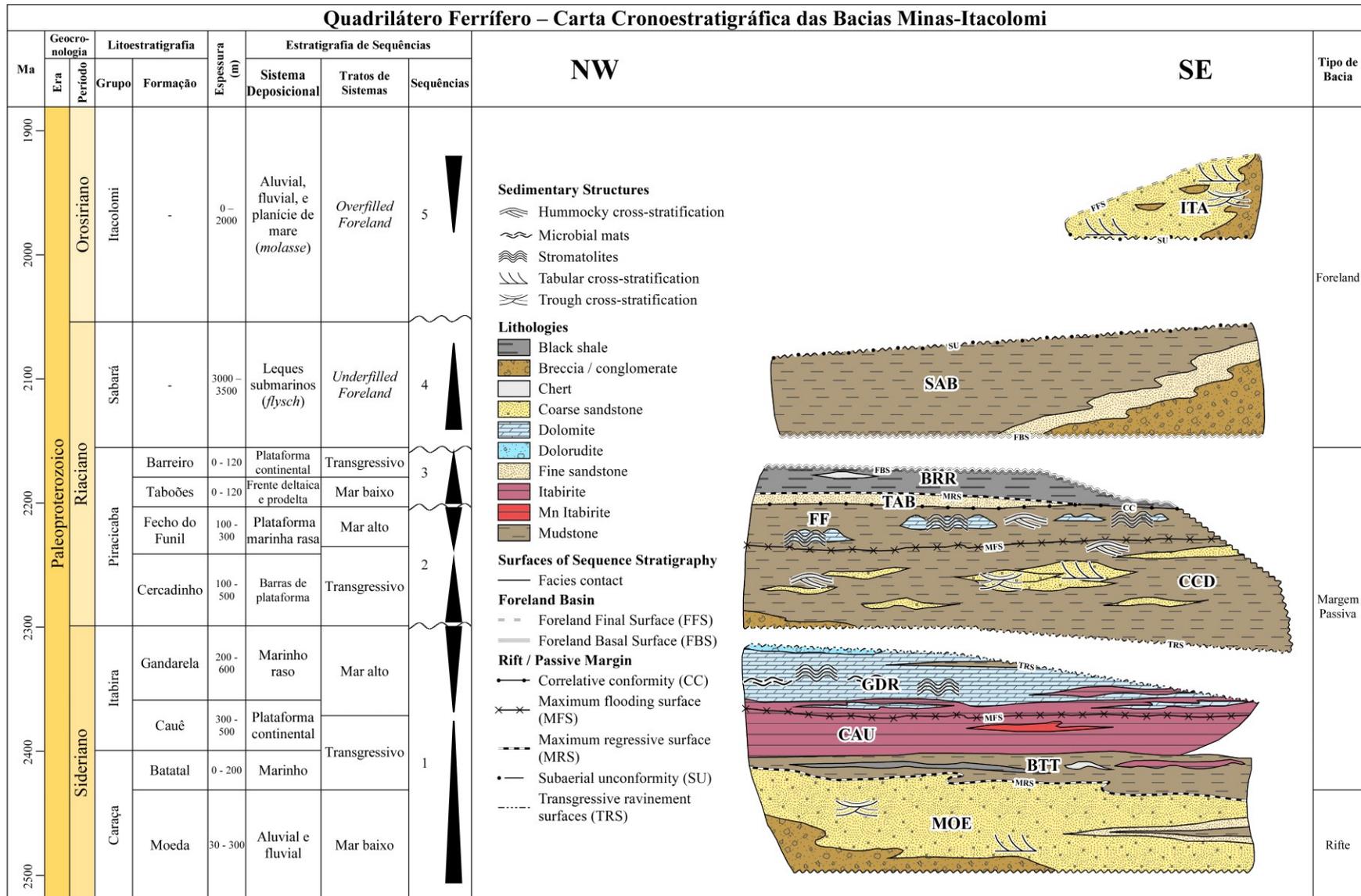


Figura 23. Carta Cronoestratigráfica das Bacias Minas-Itacolomi. Idades das unidades cronoestratigráficas estão conforme Alkmim & Martins Neto, 2012. Triângulos na cor preta representam subida (triângulos apontando para cima) e queda do nível do mar (triângulos apontando para baixo).

6. PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR ATRAVÉS DE GEOCROLOGIA U-Pb

Uma análise estatística das idades U-Pb de zircões detríticos das unidades estratigráficas das bacias Minas-Itacolomi foi realizada, por meio de histogramas, estimativas de densidade Kernel adaptativas (KDEs) e funções densidade de probabilidade (PDPs) obtidas no *software Java-based DensityPlotter* (Vermeesch, 2012). Os dados geocronológicos foram compilados de Machado *et al.* 1992; Machado *et al.*, 1996; Hartmann *et al.*, 2006; Koglin *et al.*, 2014; Jordt-Evangelista *et al.*, 2015; Nunes, 2016; Dopico *et al.*, 2017; Dutra, 2017; Duque, 2018; e Dutra *et al.*, 2019. O PDP e histograma da compilação de todas as idades U-Pb de zircões pertencentes a Formação Moeda não foram realizados, devido à grande quantidade de amostras estatísticas (N = 1980), pois nesse caso (para N > 1000), a função densidade de probabilidade tende a ficar suavizada em excesso (Vermeesch, 2012). Para esse espaço amostral foi realizado o KDE por meio do *Provenance R software package* (Vermeesch, 2016), uma vez que esse método tende a retornar resultados mais confiáveis. Apenas as idades com 95% ou mais de grau de concordância foram utilizados nos histogramas, com a exceção dos dados de Machado *et al.*, 1996, cujo grau de concordância não é mencionado na literatura original, mas ainda sim foram contabilizados. As referências dos principais eventos geológicos no Quadrilátero Ferrífero se encontram na Tabela 2, do Capítulo 3.

A fase Rife (Formação Moeda) mostra pelo menos três modas na sua distribuição de idades de zircões detríticos: a primeira (e de menor frequência) é simultânea com a idade do plúton Santa Bárbara (2750 a 2700 Ma) do embasamento; a segunda (e de maior probabilidade relativa) se correlaciona com o evento Rio das Velhas I (RdVI - 2930 a 2850 Ma); e a última moda se correlaciona tanto com a idade do evento Domos e Quilhas I (D&KI - 2775 a 2730 Ma) quanto com a idade do evento Mamona I (MI - 2750 a 2700 Ma). Os histogramas correspondentes a esta unidade estratigráfica são os da Figura 24 (N = 380; Machado *et al.*, 1996; Hartmann *et al.*, 2006; Koglin *et al.*, 2014), Figura 25 (N = 774; Nunes, 2016) e Figura 26 (N = 826; Dopico *et al.*, 2017). A fase Rife (N = 1980; somatório de todos os zircões supracitados) foi compilada na Figura 27.

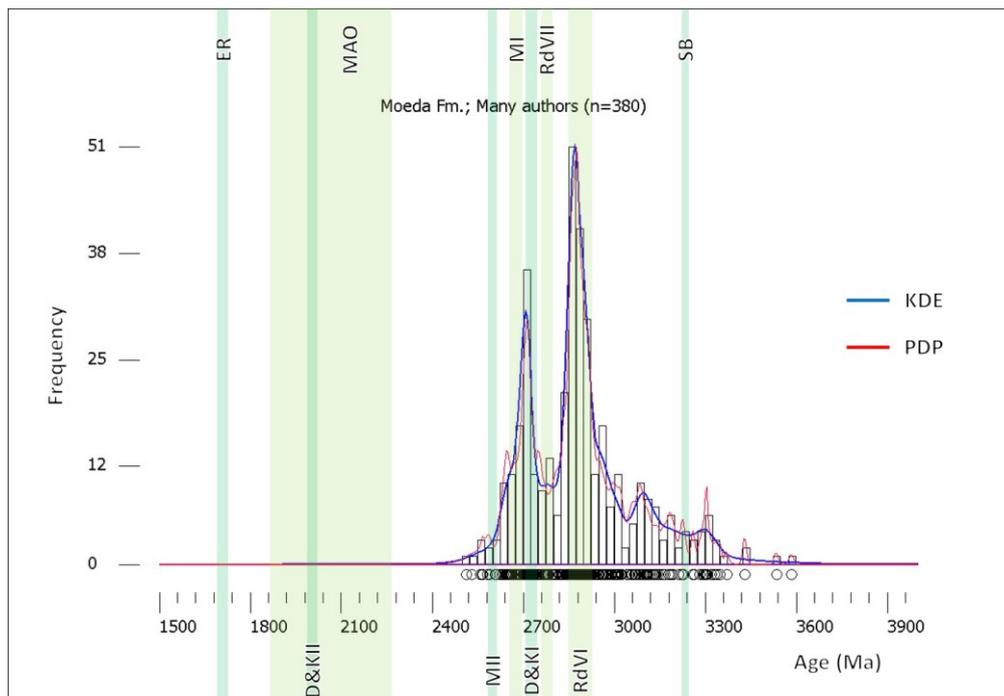


Figura 24. Estatística ($N=380$) de idades U-Pb de zircões detriticos da Fm. Moeda: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rife Espinhaço. Dados geocronológicos de Machado et al., 1996; Hartmann et al., 2006 e Koglin et al., 2014.

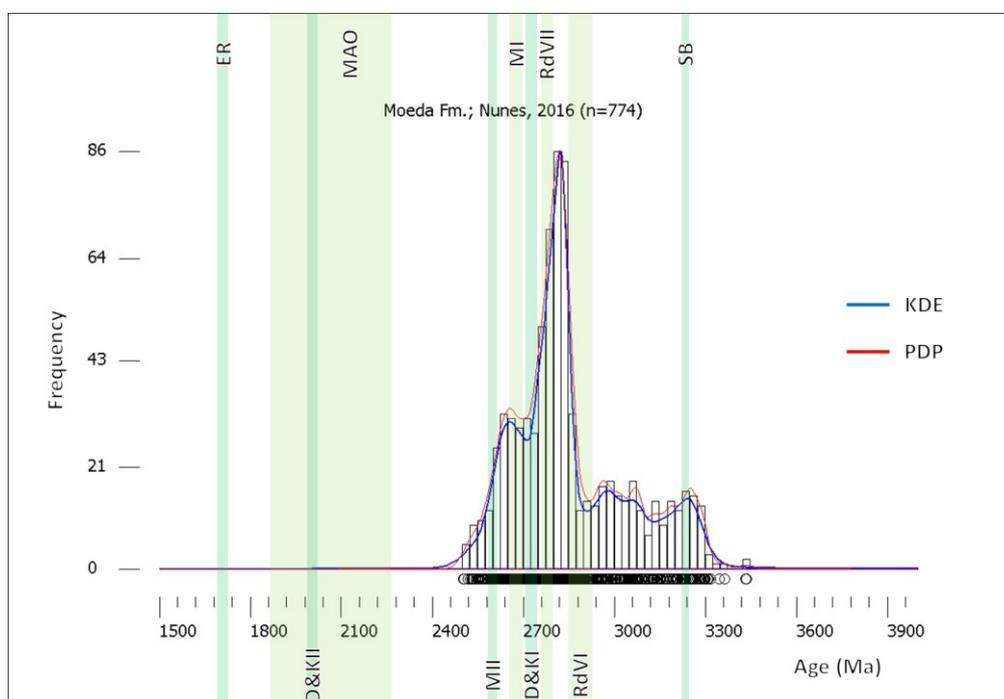


Figura 25. Estatística ($N=774$) de idades U-Pb de zircões detriticos da Fm. Moeda: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rife Espinhaço. Dados geocronológicos de Nunes, 2016.

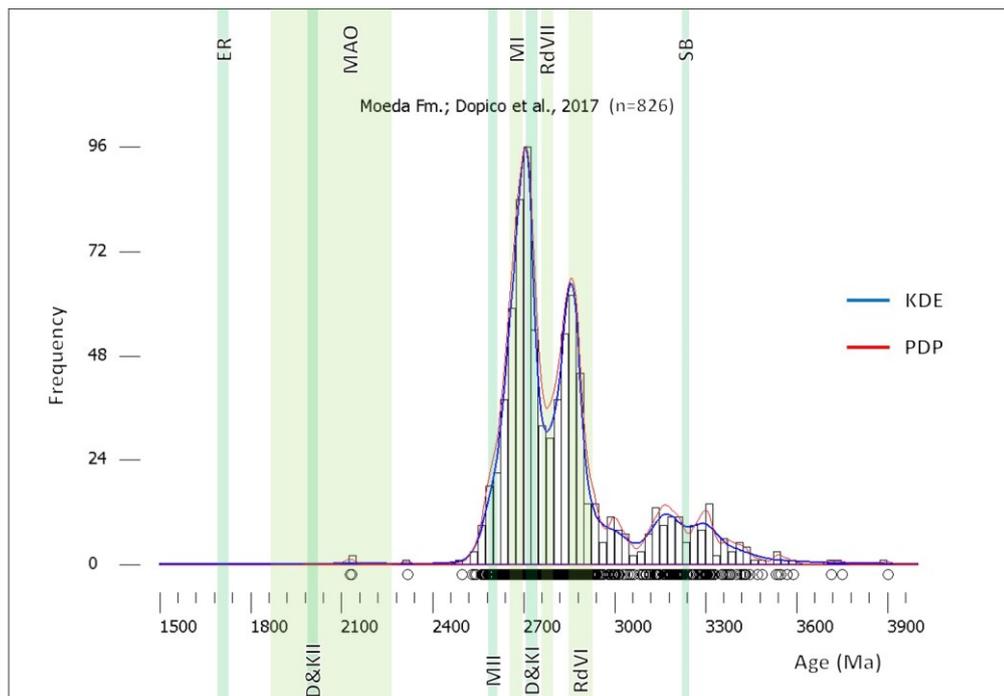


Figura 26. Estatística ($N=826$) de idades U-Pb de zircões detriticos da Fm. Moeda: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Dopico et al., 2017.

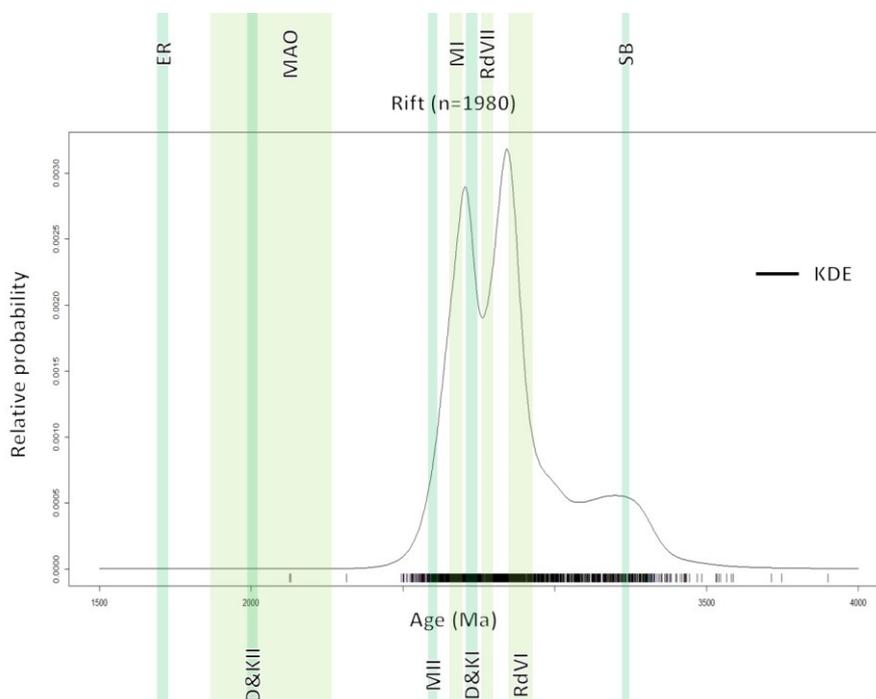


Figura 27. Estatística total ($N=1980$) de idades U-Pb de zircões detriticos da Fase Rifte (Fm. Moeda): estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDE). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Machado et al., 1996; Hartmann et al., 2006; Koglin et al., 2014; Nunes, 2016 e Dopico et al., 2017.

A fase Margem Passiva, aqui representada pelas Formações Batatal (Figura 28; N = 21; Dopico *et al.*, 2017), Cauê (Figura 29; N = 92; Dopico *et al.*, 2017) e Cercadinho (Figura 30; N = 128; Machado *et al.*, 1996; Dopico *et al.*, 2017 e Dutra, 2017), apresenta padrão semelhante (compilada na Figura 31, N = 241), uma vez que é a própria evolução da fase Rifte. A estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDE) apresenta um pico em cada um dos principais eventos do QF de 3.2 Ga a 2.4 Ga, indicando as seguintes proveniências: Santa Bárbara (SB - 2750 a 2700 Ma); Rio das Velhas I (RdVI - 2930 a 2850 Ma), Rio das Velhas II (RdVII - 2800 a 2760 Ma), Domos e Quilhas I (D&KI - 2775 a 2730 Ma), Mamona I (MI - 2750 a 2700 Ma), Mamona II (MII - 2620 a 2580 Ma).

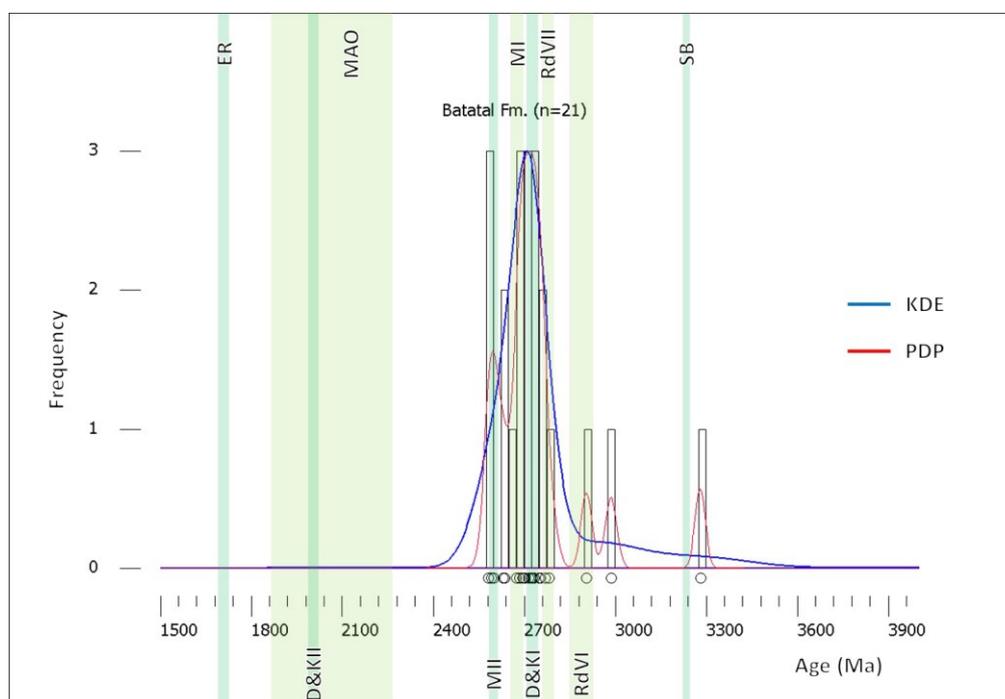


Figura 28. Estatística (N=21) de idades U-Pb de zircões detríticos da Fm. Batatal: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Dopico *et al.*, 2017.

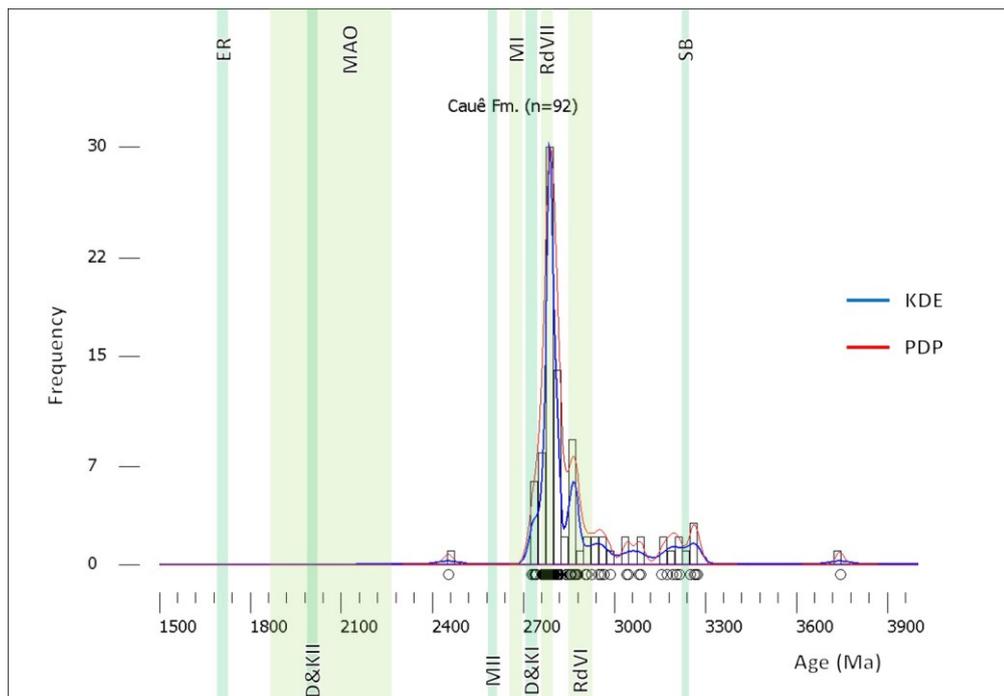


Figura 29. Estatística (N=92) de idades U-Pb de zircões detríticos da Fm. Cauê: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rife Espinhaço. Dados geocronológicos de Dopico et al., 2017.

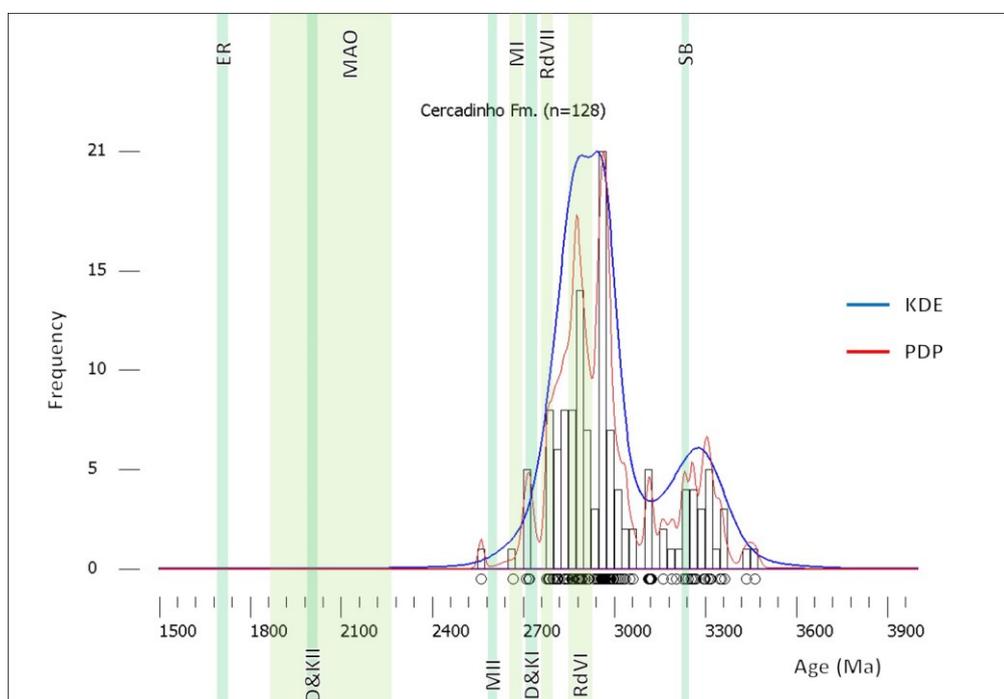


Figura 30. Estatística (N=128) de idades U-Pb de zircões detríticos da Fm. Cercadinho: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rife Espinhaço. Dados geocronológicos de Machado et al., 1996; Dopico et al., 2017 e Dutra, 2017.

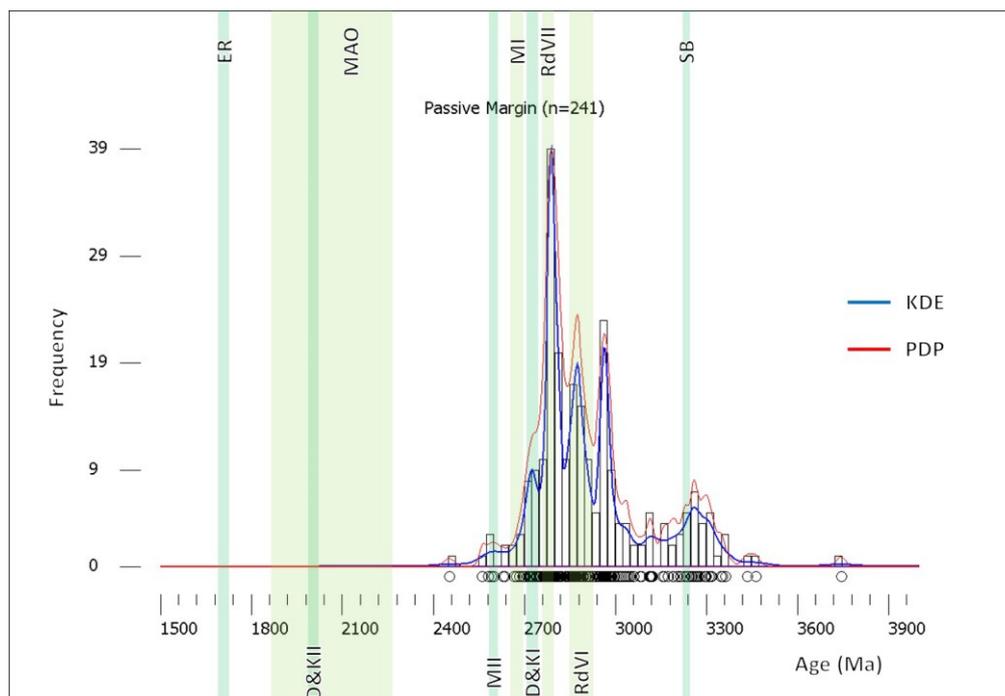


Figura 31. Estatística total (N=241) de idades U-Pb de zircões detríticos da Fase Margem Passiva: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rife Espinhaço. Dados geocronológicos de Machado *et al.*, 1996; Dopico *et al.*, 2017 e Dutra, 2017.

A distribuição de idades U-Pb de zircões do Grupo Sabará (Figura 32; N = 189; Machado *et al.*, 1992; Machado *et al.*, 1996; Hartmann *et al.*, 2006; Dopico *et al.*, 2017 e Dutra *et al.*, 2019) apresenta um comportamento bimodal, com o primeiro pico similar ao da Margem Passiva, e o segundo, de idade coincidente com a Orogenia Acrescionária Minas (MAO – Transamazônico, *i.e.*, Complexo Mantiqueira – Cutts *et al.*, 2020). Esse padrão bimodal registra a inversão das Bacias Minas-Itacolomi, com o retrabalhamento dos sedimentos da margem passiva, além de uma nova fonte (de idade relativamente mais jovem, 2260 a 1860 Ma) do orógeno adjacente (zircões provenientes de granitoides, rochas vulcânicas e demais litotipos do Cinturão Mineiro).

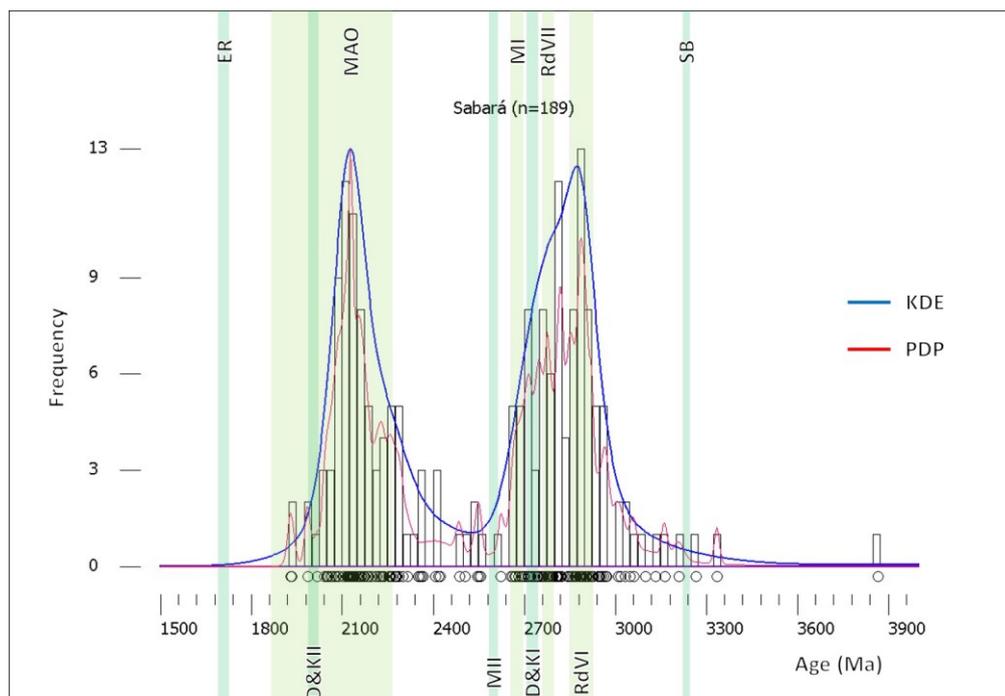


Figura 32. Estatística (N=189) de idades U-Pb de zircões detriticos do Gr. Sabará: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rifte Espinhaço. Dados geocronológicos de Machado et al 1992; Machado et al., 1996; Hartmann et al., 2006; Dopico et al., 2017 e Dutra et al., 2019.

O Grupo Itacolomi (Figura 33; N = 526; Machado et al., 1996; Hartmann et al., 2006; Jordt-Evangelista et al., 2015 e Duque, 2018) continua com o retrabalhamento das rochas subjacentes do Supergrupo Minas (que possuem a assinatura geocronológica de zircões detriticos arqueanos), porém o avanço do Orógeno Paleoproterozoico (2260 a 1860 Ma) faz com que os zircões detriticos provenientes dele se tornem mais importantes e, portanto, mais frequentes nos histogramas.

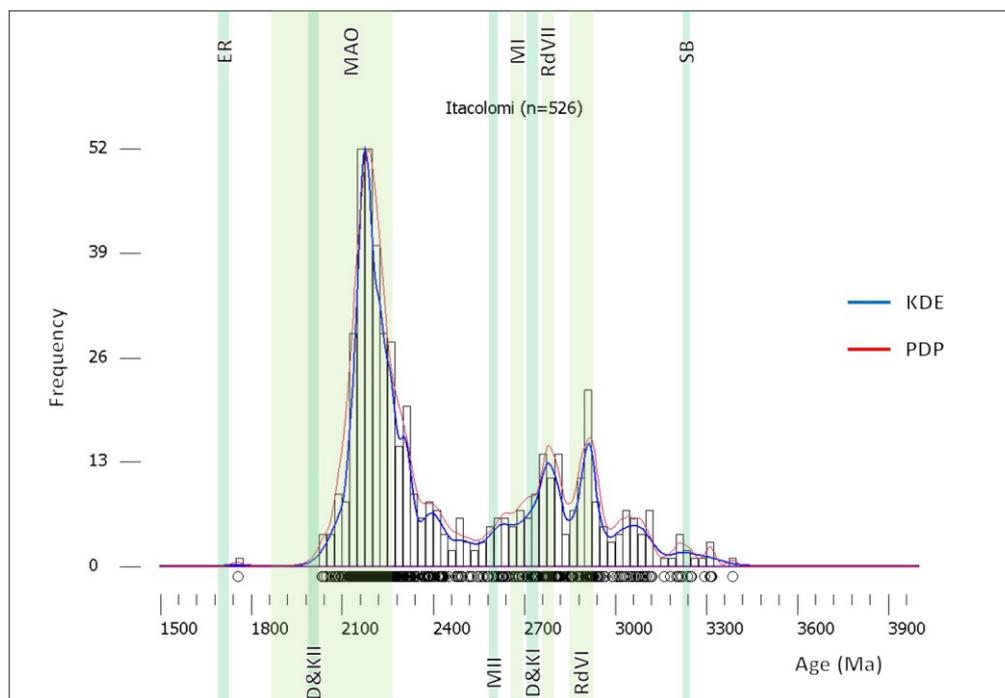


Figura 33. Estatística (N=526) de idades U-Pb de zircões detríticos do Gr. Itacolomi: histogramas, estimativa de densidade Kernel adaptativa (KDEs) e função densidade de probabilidade (PDPs). Principais eventos geológicos: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domos e Quilhas I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Orogênese Acrescionária Minas (Transamazônico); D&KII = Domos e Quilhas II; ER = Rife Espinhaço. Dados geocronológicos de Machado et al., 1996; Hartmann et al., 2006; Jordt-Evangelista et al., 2015 e Duque, 2018.

7. CONCLUSÕES

Um estudo de análise faciológica e de estratigrafia de sequências foi realizado nos metassedimentos da bacia paleoproterozoica Minas-Itacolomi, na região do Quadrilátero Ferrífero (MG), importante província metalogenética do Brasil. Diversas fácies sedimentares (41 fácies) e 9 sistemas deposicionais foram identificados nos Grupos Caraça (Formações Moeda e Batatal), Itabira (Formações Cauê e Gandarela), Piracicaba (Formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro), Sabará e Itacolomi. Na bacia Minas-Itacolomi são descritas diferentes fases tectônicas, desde fase rifte na base, depois margem passiva, até fase de bacia *foreland* no topo.

Na Formação Moeda predominam sistemas deposicionais de leque aluvial e fluvial entrelaçado, enquanto que na Formação Batatal ocorre um sistema de plataforma marinha, que se mantém nas Formações Cauê (sedimentos químicos ferríferos) e Gandarela (plataforma carbonática). No Grupo Piracicaba, que ocorre acima, em discordância, foi possível reconhecer nas Formações Cercadinho e Fecho do Funil um sistema plataformar marinho transgressivo-regressivo, dominado por ondas e tempestades, sucedido por um sistema deltaico na Formação Taboões e novamente um sistema plataformar (marinho raso transgressivo) na Formação Barreiro. O Grupo Sabará possui características de sistema deposicional de leque submarino, com predomínio de fluxos gravitacionais subaquosos (*debris flow* e correntes de turbidez). O Grupo Itacolomi mostra sistemas deposicionais continentais, do tipo leque aluvial e fluvial entrelaçado. Estes sistemas permitiram a identificação de diversos tratos deposicionais e de cinco sequências deposicionais maiores, separadas por discordâncias e conformidade correlativa, que preencheram a bacia paleoproterozoica Minas-Itacolomi. A primeira sequência deposicional é constituída pelos Tratos de Mar Baixo, Transgressivo e Mar Alto e relacionada aos Grupos Caraça e Itabira. Uma possível superfície de inundação máxima pode ser identificada na Formação Cauê. A segunda sequência deposicional é constituída pelos tratos Transgressivo e Mar Alto, relacionados às Formações Cercadinho e Fecho do Funil. A terceira sequência deposicional inicia com o trato de Mar Baixo (deltas prográdantes da Formação Taboões) e trato de sistema marinho transgressivo da Formação Barreiro.

A quarta e quinta sequências deposicionais são relacionadas a bacia *foreland* do orógeno paleoproterozoico Cinturão Mineiro, que se desenvolveu a sudeste do QF. Neste contexto, a carga tectônica condiciona a subsidência flexural e o espaço de acomodação. A quarta sequência deposicional (Grupo Sabará) é constituída pelo trato de sistemas *underfilled* da bacia *foreland* (quando o pulso orogênico era maior que a taxa de sedimentação). A quinta sequência deposicional (Grupo Itacolomi) formou-se quando a geração de espaço de acomodação estava em declínio, mas possibilitando ainda, preservação de sedimentos continentais (trato de sistemas *overfilled*).

A proveniência sedimentar pelos dados geocronológicos U-Pb em zircão detrítico variou de acordo com a evolução tectônica da bacia Minas-Itacolomi. A fase rifte-margem passiva (Grupos Caraça, Itabira e Piracicaba) mostra assinatura geocronológica de zircões detríticos bastante semelhante, apresentando picos de idades arqueanas coincidentes com eventos magmáticos do embasamento. Os Grupos Sabará e Itacolomi (bacia *foreland*), por sua vez, mostram grande diferença na proveniência, com assinatura geocronológica bimodal dos zircões detríticos (zircões arqueanos e paleoproterozoicos) evidenciando a inversão da bacia e o soerguimento orogenético.

REFERÊNCIAS

AGUILAR C.; ALKMIM F.F.; LANA C.; FARINA F. 2017. **Palaeoproterozoic assembly of the São Francisco craton, SE Brazil: New insights from U–Pb titanite and monazite dating**. *Precambrian Research*, 289: 95-115.

ALBERT, C. 2017. **Archean evolution of the southern São Francisco craton (SE Brazil)**. 2017. 269 f. PhD Thesis. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

ALKMIM F.F. 1987. **Modelo deposicional para a sequência de metassedimentos da Serra de Ouro Branco, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Anais do simpósio sobre sistemas deposicionais no Pré-Cambriano, Ouro Preto. Boletim Nº 6 Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Minas Gerais.

ALKMIM F.F.; MARSHAK S. 1998. **Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero**. *Precambrian Research* 90 (1998) 29–58. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(98\)00032-1](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(98)00032-1).

ALKMIM F.F.; MARTINS-NETO M.A. 2012. **Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil**. *Marine and Petroleum Geology*, 33:127-139.

ALKMIM F.F.; TEIXEIRA W. 2017. **The Paleoproterozoic Mineiro Belt and the Quadrilátero Ferrífero**. In: Heilbron M., Cordani U., Alkmim F. (eds) *São Francisco Craton, Eastern Brazil. Regional Geology Reviews*. Springer, Cham.

ALMEIDA L.G.; CASTRO P.T.; ENDO I.; FONSECA M.A. 2005. **O Grupo Sabará no Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero: uma revisão estratigráfica**. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, n. 2, p. 177-186.

ANGELI G. 2015. **Arcabouço estrutural e contribuição à estratigrafia do Grupo Maquiné, Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais**. Master of Science Dissertation. Universidade Federal de Ouro Preto.

ARNOTT, R.W. 2010. **Deep-Marine Sediments and Sedimentary Systems**, In: *Facies Models 4*. James, N.P. & Dalrymple, R.W. *Geotext 6*. *Canadian Sedimentology*. 295-322 p.

BALTAZAR O.F.; ZUCCHETTI, M. 2007. **Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the regional setting of gold deposits.** *Ore Geology Reviews* 32, 471–499.

BDiA-IBGE. 2020. **Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home> >. Acesso em: 08/04/2020.

BEKKER, A.; SIAL, A.; KARHU, J.; FERREIRA, V.; NOCE, C.; KAUFMAN, A.; ROMANO, A.; PIMENTEL, M. 2003. **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 - AMER J SCI.* 303. 865-904. 10.2475/ajs.303.10.865.

CABRAL, A.R.; ZEH, A.; KOGLIN, N.; SEABRA GOMES JR. A.A.; VIANA, D.J.; LEHMANN, B., 2012. **Dating the Itabira iron formation, Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil, at 2.65 Ga: depositional U-Pb age of zircon from a metavolcanic layer.** *Precambrian Res.* 204–205, 40–45.

CASSEDANNE, J.; CASSEDANNE, J. 1976. **Les stromatolites colonnaires de la carrière du Cumbe (Série Minas – Brésil).** *Bull. Soc. Géol. France*, 1976, (7), t. XVIII, n° 4, p. 959-965.

CATUNEANU, O. 2004. **Retroarc foreland systems – evolution through time.** *Journal of African Earth Sciences*, Volume 38, Issue 3, Pages 225-242. ISSN 1464-343X. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2004.01.004>.

CATUNEANU, O. 2006. **Principles of Sequence Stratigraphy.** Elsevier, 376 pp.

CATUNEANU, O.; MARTINS-NETO M.A.; ERIKSSON P.G. 2005. **Precambrian sequence stratigraphy.** *Sedimentary Geology* 176, 67–95. DOI:10.1016/j.sedgeo.2004.12.009.

CATUNEANU, O.; GALLOWAY, W.E.; KENDALL, C.G.ST.C.; MIAL, A.D.; POSAMENTIER, H.W.; STRASSER, A.; TUCKER, M.E. 2011. **Sequence stratigraphy: methodology and nomenclature.** *Newsletters on Stratigraphy*, v. 44/3, p. 173-245.

CAWOOD, P.A.; NEMCHIN, A.A.; FREEMAN, M.; SIRCOMBE, K.N., 2003. **Linking source and sedimentary basin: detrital zircon record of sediment flux**

along a modern river system and implications for provenance studies. Earth Planet Sci. Lett. 210, 259–268. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00122-5](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00122-5).

CAWOOD, P.A.; HAWKESWORTH, C.J.; DHUIME, B., 2012. **Detrital zircon record and tectonic setting.** Geology 40, 875–878. <https://doi.org/10.1130/G32945.1>

CORDANI U.G.; RAMOS V. A.; FRAGA L. M.; CEGARRA M.; DELGADO I.; DE SOUZA K.G.; GOMES F. E. M.; SCHOBENHAUS C. 2016. **Tectonic Map of South America at 1:5.9 M**, CGMW-CPRM-SEGEMAR. Doi : 10.14682/2016TEMSA

CPRM. 2020. **Mapa Geológico e de Recursos Minerais Integrado do Quadrilátero Ferrífero - Subárea Central - Escala 1:75.000.** Programa: Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Ação: Avaliação dos Recursos Minerais do Brasil. Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

CRAMPTON, S.L.; ALLEN, P.A. 1995. **Recognition of forebulge unconformities associated with early stage foreland basin development: Example from north Alpine foreland basin.** Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 79, 495–1514.

CUTTS, K.; LANA, C.; ALKMIM, F.; FARINA, F.; MOREIRA, H.; COELHO, V. 2019. **Metamorphism and exhumation of basement gneiss domes in the Quadrilátero Ferrífero: Two stage dome-and-keel evolution?** Geoscience Frontiers, Volume 10, Issue 5, 2019, Pages 1765-1787, ISSN 1674-9871, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.02.009>.

CUTTS, K.; LANA, C.; MOREIRA, H.; ALKMIM, F.; PERES, G. 2020. **Zircon U-Pb and Lu-Hf record from high-grade complexes within the Mantiqueira Complex: First evidence of juvenile crustal input at 2.4–2.2 Ga and implications for the Palaeoproterozoic evolution of the São Francisco Craton.** Precambrian Research, Volume 338, March 2020, 105567. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.105567>.

DALRYMPLE, R.W. 2010. **Interpreting sedimentary successions: facies, facies analysis and facies models.** In: Facies Models 4. Ed: James, N.P. & Dalrymple, R.W., Geotext 6, Canadian Sedimentology, 3-18 p.

DARDENNE, M.A.; CAMPOS NETO, M.C. 1975. **Estromatólitos colunares na série Minas (MG).** Revista Brasileira de Geociências v.5, n.2, jun 1975.

DOPICO C.I.M.; LANA C.; MOREIRA H.S.; CASSINO L.F.; ALKMIM F.F. 2017. **U–Pb ages and Hf-isotope data of detrital zircons from the late Neoproterozoic**

Paleoproterozoic Minas Basin, SE Brazil. Precambrian Research, 291:143-161. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.01.026>.

DORR II, J.V.N. 1969. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil.** Washington, USGS/DNPM. Professional Paper. 641(A):110 p. <https://doi.org/10.3133/pp641A>.

DUQUE, T.R.F. 2018. **O Grupo Itacolomi em sua área tipo: estratigrafia, estrutura e significado tectônico.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto.

DUQUE, T.R.F.; ALKMIM, F.F.; LANA, C.C. 2020. **Grãos detríticos de zircão do Grupo Itacolomi em sua área tipo, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: idades, proveniência e significado tectônico.** Geologia USP. Série Científica, 20(1), 101-123. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v20-151397>.

DUTRA, L.F. 2017. **Caracterização geocronológica U-Th-Pb de zircões detríticos na porção nordeste do sinclinal Gandarela – implicações para evolução sedimentar e geotectônica do Quadrilátero Ferrífero.** Dissertation, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 100 p.

DUTRA L.F.; MARTINS M.; LANA C. 2019. **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, 49(2), e20180095. <https://dx.doi.org/10.1590/2317-4889201920180095>.

ENDO I.; MACHADO R. 2002. **Reavaliação e Novos Dados Geocronológicos (Pb/Pb e K/Ar) da Região do Quadrilátero Ferrífero e Adjacências.** Série Científica, 2: 23-40.

ENDO, I.; GALBIATTI, H.F.; DELGADO, C.E.R.; OLIVEIRA, M.M.F.; ZAPPAROLI, A.C.; MOURA, L.G.B.; PERES, G.G.; OLIVEIRA, A.H.; ZAVAGLIA, G.; DANDERFER, F.A.; GOMES, C.J.S.; CARNEIRO, M.A.; NALINI JR., H.A.; CASTRO, P.T.A.; SUITA, M.T.F.; SEIXAS, L.A.R.; TAZAVA, E.; LANA, C.C.; MARTINS-NETO, M.A.; MARTINS, M.S.; FERREIRA, F.F.A.; FRANCO, A.P.; ALMEIDA, L.G.; ROSSI, D.Q.; ANGELI, G.; MADEIRA, T.J.A.; PIASSA, L.R.A.; MARIANO, D.F.; CARLOS, D.U. 2019. **Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000.** Ouro Preto, Departamento de Geologia, Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero. Disponível em: <www.qfe2050.ufop.br>; Acesso em 01/11/2021.

FARINA F.; ALBERT C., LANA C. 2015. **The Neoproterozoic transition between medium and high-K granitoids: clues from the Southern São Francisco Craton (Brazil)**. *Precambrian Res.*, 266:375–394.

FARINA F.; ALBERT C.; MARTÍNEZ DOPICO C.; AGUILAR GIL C.; MOREIRA H.; HIPPERTT J.P.; CUTTS K.; ALKMIM F.F; LANA C. 2016. **The Archean–Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): Current models and open questions**. *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 68, Pages 4-21.

GARCIA, A.J.V.; FONSECA, M.A.; BERNARDI, A.V.; JANUZZI, A. 1988. **Contribuição ao reconhecimento dos paleoambientes deposicionais do Grupo Piracicaba na região de Dom Bosco, SW de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero**. *Acta Geol Leopoldensia*, 27, 83-108.

GUILD P.W. 1957. **Geology and mineral resources of the Congonhas district, Minas Gerais, Brazil**. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 290, 90 p.

HARTMANN L.A.; ENDO I.; SUITA M.T.F.; SANTOS J.O.S.; FRANTZ J.C.; CARNEIRO M.A.; MCNAUGHTON N.J.; BARLEY M.E. 2006. **Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U–Pb isotopes**. *Journal of South American Earth Sciences* 20: 273–285.

IBGE. 2002. **Mapa de Climas do Brasil, escala 1:5.000.000**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2002.

IBGE. 2018. **Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil – Escala 1:250.000**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, Fevereiro de 2018.

IBGE. 2019a. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Série Secundária: Relatórios metodológicos (IBGE), ISSN 0101-2843, 164 p. Rio de Janeiro, 2019.

IBGE. 2019b. **Mapa de biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000. Escala 1:12.000.000**. Projeção Policônica. Datum SIRGAS 2000. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, 2019.

IBGE/DGC. 2019. **Base Cartográfica Contínua do Brasil, escala 1:250.000 – BC250: versão 2019**. Rio de Janeiro.

IGAM. 2010. **Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos - Minas Gerais**. Sistema de Coordenadas Geográficas: Latitude/Longitude. Datum: SAD 69. Diretoria de Monitoramento e Fiscalização Ambiental, Gerência de Monitoramento e Geoprocessamento. Instituto Mineiro de Gestão de Águas.

JORDT-EVANGELISTA H.; ALVARENGA J.P.M.; LANA C. 2015. **Petrography and geochronology of the Furquim Quartzite, an eastern extension of the Itacolomi Group (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais)**. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 68(4), 393-399, oct. dec. 2015.

KOGLIN N.; ZEH A.; CABRAL A.R.; GOMES A.A.S.; CORRÊA NETO A.V.; BRUNETTO W.J.; GALBIATTI H. 2014. **Depositional age and sediment source of the auriferous Moeda Formation, Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil: New constraints from U–Pb–Hf isotopes in zircon and xenotime**. Precambrian Research 255(1): 96-108. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2014.09.010>.

KORMAN, V. 2008. **Fatores abióticos definidores da distribuição dos diferentes tipos florestais (floresta paludícola, floresta estacional semidecídua ribeirinha e cerrado), nos municípios de Batatais e Restinga, SP**. 2008. 136 p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba, 2008.

KUCHENBECKER, M.; FANTINEL, L.M.; FAIRCHILD, T.R.; ROHN, R. 2015. **Microbialitos da Formação Fecho do Funil (Paleoproterozoico) na Pedreira Cumbi, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. In: Fairchild, T.R; Rohn, R.; Dias-Brito, D. 2015. Microbialitos do Brasil do Pré-Cambriano ao Recente. UM ATLAS. UNESPetro, Obra 2, Capítulo 5.

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

LADEIRA, E.A. 1988. **Metalogenia dos depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. In: Schobbenhaus, C. & Coelho, C.E.S. Coords. Principais depósitos minerais do Brasil, Volume III. Metais básicos não-ferrosos, ouro e alumínio. Brasília, DNPM, p. 301-375.

LANA C.; ALKMIM F. F.; ARMSTRONG R.; SCHOLZ R.; ROMANO R.; NALINI JR. H. A. 2013. **The ancestry and magmatic evolution of Archean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil**. Precambrian Res., 231:157–173.

LOBATO L.M.; RIBEIRO RODRIGUES L.C.; ZUCCHETTI M.; BALTAZAR O.F. 2000. **Geology and gold mineralization in the Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil)**. In: 31º International Geological Congress. Field Trip Guide, 40 p.

LOBATO L.M.; BALTAZAR O.F., REIS L.B.; ACHTSCHIN A.B.; BAARS F.J.; TIMBÓ M.A.; BERNI G.V.; MENDONÇA B.R.V.; FERREIRA D. 2005. **Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa**. Belo Horizonte, 68 p.

LOBATO L.M.; RODRIGUES L.C.R.; VIEIRA F.W.V. 2001. **Brazil's premier gold province. Part II: geology and genesis of gold deposits in the Archaean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero**. Mineralium Deposita v. 36, n.3/4, p. 249-277.

LOBATO, L.M.; COSTA, M.A.; HAGEMANN, S.G.; MARTINS, R. 2016. **Ouro no Brasil: principais depósitos, produção e perspectivas**. In: Melfi, A.J.; Misi, A.; Campos, D.A.; Cordani, U.G. (org.). 2016. Recursos Minerais no Brasil, problemas e desafios. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. 420 p. ISBN: 978-85-85761-40-0.

LOBATO, L.M.; COSTA, M.A. 2018. **Recursos Minerais de Minas Gerais – Ouro**. In: Pedrosa-Soares, A.C.; Voll, E.; Cunha, E.C. (coord.). Recursos Minerais de Minas Gerais On Line: Síntese do conhecimento sobre as riquezas minerais, história geológica, meio ambiente e mineração de Minas Gerais. Belo Horizonte: Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE). <<http://recursomineralmg.codemge.com.br/>>

MACHADO, N.; NOCE, C.M.; LADEIRA, E.A.; DE OLIVEIRA, O.A.B.. 1992. **U-Pb geochronology of the Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Craton, Brazil**. Geol. Soc. Am. Bull. 104, 1221-1227.

MACHADO N.; SCHRANK A.; NOCE C.M.; GAUTHIER G. 1996. **Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: Implications for Greenstone Belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil**. Earth and Planetary Science Letters 141: 259-276.

MADEIRA, M.R. 2018. **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. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto.

MADEIRA, M.R.; MARTINS, M.S.; MARTINS, G.P.; ALKMIM, F.F. 2018. **Caracterização faciológica e evolução sedimentar da Formação Moeda (Supergrupo Minas) na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.** Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 19, n. 3, p. 12-148, Setembro 2019. DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v19-148467.

MAHESHWARI A.; SIAL A.N.; GAUCHER C.; BOSSI J.; BEKKER A.; FERREIRA V.P.; ROMANO A.W. 2010. **Global nature of the Paleoproterozoic Lomagundi carbon isotope excursion: A review of occurrences in Brazil, India, and Uruguay.** Precambrian Research 182, 274–299.

MENDES M.C.O.; LOBATO L.M.; SUCKAU V.; LANA C. 2014. **In situ LA-ICPMS U-Pb dating of detrital zircons from the Cercadinho Formation, Minas Supergroup.** Revista do Instituto de Geociências – USP: Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 14, n. 1, p. 5-68. <http://dx.doi.org/10.5327/Z1519-874X201400010004>.

MIALL, A.D. 1978. **Lithofacies Types and Vertical Profile Models in Braided River Deposits: A Summary.** In: Miall, A.D., Ed., Fluvial Sedimentology, Memoir 5, Canadian Society of Petroleum Geologists, Calgary, 597-604.

MIALL, A.D., 2010. **Alluvial Deposits.** In: Facies Models 4. Eds: James, N.P.; Dalrymple, R.W. Geotext 6. Canadian Sedimentology, 105 – 137 p.

MINTER, W.E.L.; RENGER, F.E.; SIEGERS, A. 1990. **Early Proterozoic Gold Placers of the Moeda Formation within the Gandarela Syncline, Minas Gerais, Brazil.** Economic Geology Vol. 85, 1990, pp. 943-951.

MORENO, M.I.C.; SCHIAVINI, I.; HARIDASAN, M. 2008. **Fatores edáficos influenciando na estrutura de fitofisionomias do cerrado.** Caminhos de Geografia, Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Programa de Pós-Graduação em Geografia, v. 9, n. 25, p. 173-194, mar. 2008.

NASA LP DAAC. 2016. **SRTMGL1: NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second V003 (S19W048.SRTMGL1 e S19W047.SRTMGL1).** Version 3. NASA Making Earth System Data Records for Use in Research Environments (MEaSURES), Land Processes DAAC, USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (<https://lpdaac.usgs.gov>). Michael Kobrick, Robert Crippen. <http://dx.doi.org/10.5067/MEaSURES/SRTM/SRTMGL1.003>.

NICHOLS, G. 2009. **Sedimentology and Stratigraphy**. Second Edition. Wiley Blackwell, 419 p.

NOCE C.M. 2000. **Geochronology of the Quadrilátero Ferrífero: a review**. Geonomos 8(1):15-23. <http://dx.doi.org/10.18285/geonomos.v8i1.144>.

NOCE C.M.; PINHEIRO S.O.; LADEIRA E.A.; FRANCA C.R.; KATTAH S. 1992. **A sequência vulcanossedimentar do Grupo Nova Lima na região de Piedade Do Paraopeba, borda oeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Revista Brasileira de Geociências, 22(2):175-183.

NOCE, C.M.; ZUCCHETTI, M.; BALTAZAR, O.F.; ARMSTRONG, R.; DANTAS, E.L.; RINGER, F.E.; LOBATO, L.M. 2005. **Age of felsic volcanism and the role of ancient continental crust in the evolution of the Neoproterozoic Rio das Velhas greenstone belt (Quadrilátero Ferrífero, Brazil): U-Pb zircon dating of volcanoclastic graywackes**. Precambrian Res. 141, 67-82.

NOGUEIRA L.B. 2018. **Estudo geoquímico e isotópico de rochas carbonáticas das formações Gandarela e Fecho do Funil - Quadrilátero Ferrífero - Brasil**. PhD Thesis, Universidade Federal de Ouro Preto.

NUNES F.S. 2016. **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**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto.

OLIVO G.R.; GAUTHIER M.; BARDOUX M.; LEÃO DE SÁ E.; FONSECA J.T.F.; SANTANA F.C. 1995. **Palladium-bearing gold deposit hosted by Proterozoic Lake Superior – type iron formation at the Cauê Iron mine, Itabira District, Southern São Francisco Craton, Brazil: geologic and structural control**. Econ. Geol. 90: 118 – 134.

PINTO C.P. 2014. **Mapa geológico de Minas Gerais**. Belo Horizonte, Codemig, Governo de Minas, CPRM, Secretaria de Geologia, Mineração e Transporte Mineral, Ministério das Minas e Energia.

PIRES, P.F.R. 2005. **Gênese dos depósitos auríferos em metaconglomerados da Formação Moeda, Quadrilátero Ferrífero, MG: O papel do metamorfismo e associação com a matéria carbonosa**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas.

PIRES, F.R.M.; BERTOLINO, L.C. 1991. **Estudo do Metamorfismo nas Formações Proterozóicas no Quadrilátero Ferrífero, MG.** Anuário do Instituto de Geociências, Vol. 14, pp. 1 - 9, 1991. IGEO – UFRJ.

POSAMENTIER, H.W.; ALLEN, G.P. 1999. **Siliciclastic sequence stratigraphy – concepts and applications.** SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology, vol 7, 1-210 p.

REIS, L.A.; NETO, M.A.M; GOMES, N.S.; ENDO, I.; EVANGELISTA, H.J. 2002. **A Bacia de Antepaís Paleoproterozóica Sabará, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.** Rev. Bras. Geoc., 32:27-42.

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

ROMANO R.; LANA C.; ALKMIM F. F.; STEVENS G.; ARMSTRONG R. 2013. **Stabilization of the southern portion of the São Francisco Craton, SE Brazil, though a long-lived period of potassic magmatism.** Precambrian Res., 224:143–159.

ROSIÈRE C.A.; CHEMALE JR. F. 2000. **Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero – Uma visão geral e discussão.** GEONOMOS 8 (2): 27-43.

ROSSIGNOL, C.; LANA, C.; ALKMIM, F. 2020. **Geodynamic evolution of the Minas Basin, southern São Francisco Craton (Brazil), during the early Paleoproterozoic: Climate or tectonic?** Journal of South American Earth Sciences, 102628. doi:10.1016/j.jsames.2020.102628

SANGLARD J.C.D.; ROSIÈRE C.A.; SANTOS J.O.S.; MCNAUGHTON N.J.; FLETCHER I.R. 2014. **A estrutura do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações compactas de alto teor em Fe.** Geologia USP Série Científica, 14(1):81-95. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X201400010006>.

SIAL A.N.; FERREIRA V.P.; ALMEIDA A.R.; ROMANO A.W.; PARENTE C.V.; COSTA M.L.; SANTOS V.H. **Carbon isotope fluctuations in Precambrian carbonate sequences of several localities in Brazil.** An. Acad. Bras. Ci., (2000) 72 (4).

SILVA A.M.; CHEMALE JR. F.; KUYUMJIAN R. M.; HEAMAN L. 1995. **Mafic dike swarms of Quadrilátero Ferrífero and Southern Espinhaço, Minas Gerais, Brazil.** Rev. Bras. Geociências, 25(2): 124-137.

SINCLAIR, H.D.; ALLEN, P.A. 1992. **Vertical versus horizontal motions in the Alpine orogenic wedge: stratigraphic response in the foreland basin.** Basin Res. 4, 215–232.

SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2019.** Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br. Acesso em: 02/04/2020.

SLOSS, L.L. 1963. **Sequences in the cratonic interior of North America.** Geol. Soc of America Bull, 74, 93-113.

SOUZA P.C., MÜLLER, G. 1984. **Primeiras estruturas algais comprovadas na Formação Gandarela, Quadrilátero Ferrífero.** Revista da Escola de Minas, v. 37, n. 2, p. 13-21.

SPIER, C.A.; OLIVEIRA, S.M.B.; SIAL, A.N.; RIOS, F.J. 2007. **Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.** Precambrian Research, 152, p. 170-206, 2007.

TEIXEIRA W.; ÁVILA C.A.; DUSSIN I.A.; CORRÊA NETO, A.V.; BONGIOLO, E.M.; SANTOS J.O.; BARBOSA N.S. 2015. **A juvenile accretion episode (2.35–2.32 Ga) in the Mineiro belt and its role to the Minas accretionary orogeny: Zircon U–Pb–Hf and geochemical evidences.** Precambrian Res., 256:148-169.

UFV - CETEC - UFLA - FEAM. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais> ou http://www.dps.ufv.br/?page_id=742 Acesso em: 02/04/2020.

VERMEESCH, P. 2012. **On the visualisation of detrital age distributions.** Chemical Geology. s 312–313. 190–194. 10.1016/j.chemgeo.2012.04.021.

VERMEESCH, P.; RESENTINI, A.; GARZANTI, E. 2016. **An R package for statistical provenance analysis.** Sedimentary Geology. 336. 10.1016/j.sedgeo.2016.01.009.

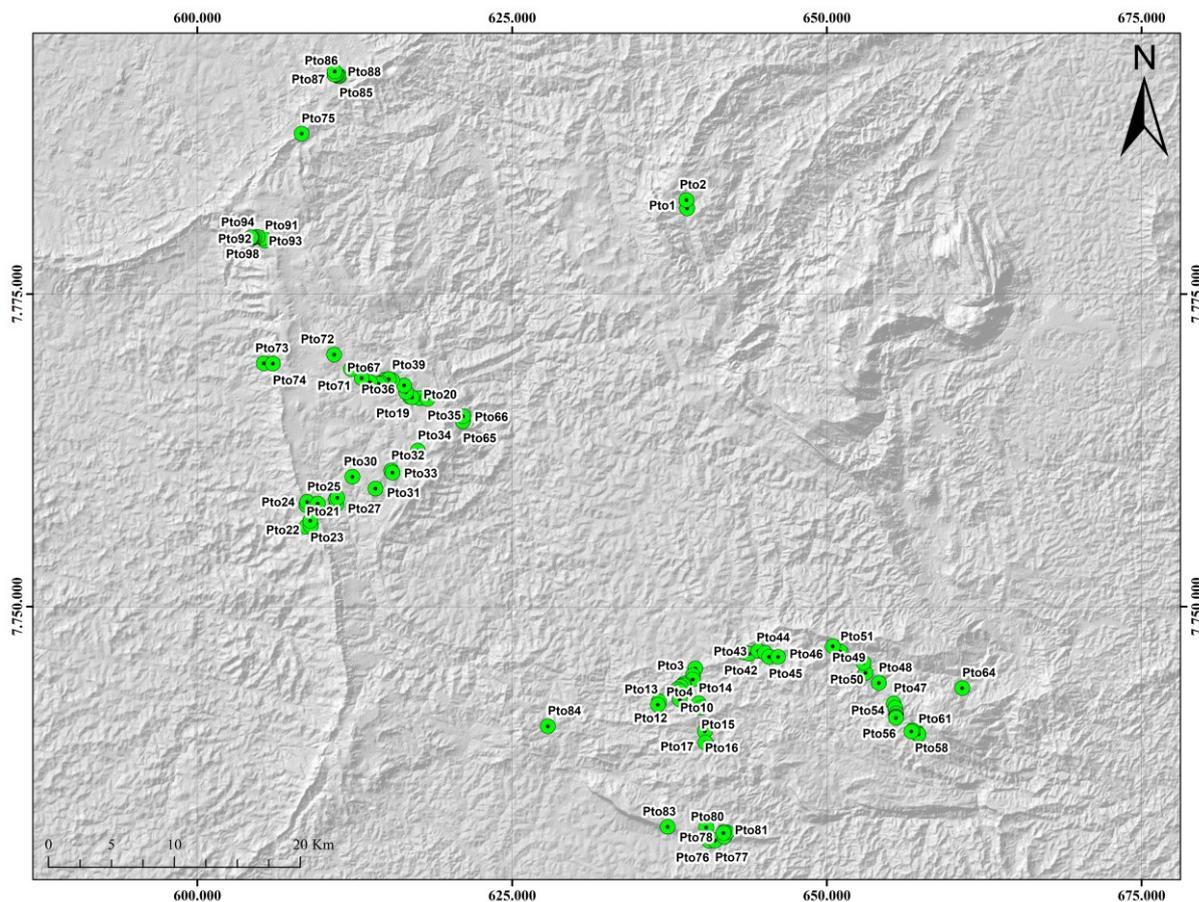
VIAL D.S.; GROVES D.I.; COOK N.J.; LOBATO L.M. (EDS.). 2007. **Preface - Special issue on gold deposits of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.** Ore Geology Reviews, 32(3-4):469-470. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2006.11.006.

VILLAÇA J.N. 1981. **Alguns aspectos sedimentares da Formação Moeda.** Boletim N° 2 Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Minas Gerais.

VILLAÇA, J.N.; MOURA, L.A.M. 1985. **O urânio e o ouro da Formação Moeda, Minas Gerais.** In: Schobbenhaus, C., Coelho, C.E.S. (coords.), Principais Depósitos Mineraiis do Brasil, DNPM-CVRD, v. I, p.177-187.

APÊNDICE A – TABELA DE PONTOS DE CAMPO

As coordenadas dos pontos na tabela a seguir estão no Datum Horizontal WGS84 e Sistema de Coordenadas UTM 23S. A distribuição espacial destes pontos se encontra na Figura 1 abaixo.



Apêndice A – Figura 1. Mapa de pontos de campo e imagem de relevo sombreado adaptado de NASA LP DAAC, 2016.

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
28/06/2019	Pto1	638900,029	7781831,391	1383,218	Dolomito	Itabira	Gandarela	GDR1	QF1A; QF1B; QF1C; QF1D; QF1E; QF1F	Afloramento	077	57							Sinclinal Gandarela. Pedreira Extramil. Rocha carbonática de cor bege claro a rosado, manto de intemperismo na cor cinza avermelhado. Por vezes, bastante laminado com veios de hematita em planos de fratura e S0. Veios de qtz + hem. 6 amostras coletadas em 638930 / 7781666. Sede da pedreira em 638725 / 7782455. Interpretação da variação eustática: Fm Cauê = marinho profundo? Fm Gandarela = marinho plataformal?
											076	63							
28/06/2019	Pto2	638845,192	7782505,449	1456,537	Calcário	Itabira	Gandarela	GDR1	QF2A; QF2B	Blocos rolados									Acima da sede Extramil. Blocos rolados e quebrados da antiga pedreira no pavimento da estrada. 2 amostras. Calcários maciços bege e rosados.
21/08/2019	Pto3	639556,037	7745042,489	1163,276	Quartzito e Itabirito	Carança e Itabira	Moeda e Cauê	MOE3; CAU1		Afloramento	169	69							Sinclinal Dom Bosco. Afloramento de corte de estrada andando no sentido Sul, ponto na curva. Camadas paralelas de qtzito gradando para itabirito. Itabirito um pouco mais deformado.
											151	52							
											160	70							
21/08/2019	Pto4	639355,941	7744492,740	1162,904	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD2		Afloramento				133	60				Filito prateado bastante foliado/crenulado. Presença de muitos seixos de quartzo puro rolados. Afloramento subindo a encosta (lajeado). Contato continua gradacional até aqui. Antes, Gandarela.
21/08/2019	Pto5	639365,550	7744164,660	1158,923	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD2		Afloramento					060	40			Filito prateado idem pto 4. Espessura muito significativa do filito.
															059	43			

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
21/08/2019	Pto6	638648,025	7743812,670	1185,188	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD2; CCD3	QF6	Afloramento					122	32			Filito prateado, brilho sedoso, cores ora prateada/cinza, ora vermelho a rosado. Amostra QF6.
21/08/2019	Pto7	638607,411	7743704,366	1194,971	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD2	QF7	Afloramento					083	41			Filito prateado. Afloramento de corte de estrada de ferro. Estrutura (Sn) predominante no afloramento dobrado. Amostra QF7.
														348	85				
21/08/2019	Pto8	638404,338	7743589,292	1225,301	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD2		Afloramento					130	55			Filito.
21/08/2019	Pto9	638153,478	7743367,647	1269,370	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD2		Afloramento					147	39			Filito.
21/08/2019	Pto10	638353,021	7743245,276	1259,621	Filito e Quartzito Ferruginoso	Piracicaba	Cercadinho	CCD2; CCD4; CCD5	QF10	Afloramento e blocos rolados					198	42			Ponto na bifurcação da estrada. Filito e pequena lente de quartzito ferruginoso fino (amostras QF10). Quartzito difícil de definir S0, afloramento com muitos blocos rolados.
21/08/2019	Pto11	638335,384	7742569,483	1218,564	Filito	Piracicaba	Fecho do Funil?	FF4		Afloramento	081	38							Filito muito intemperizado, um pouco diferente dos filitos anteriores. Camadas mais competentes e outras menos. Ritmito carbonoso.

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
21/08/2019	Pto12	636671,791	7742415,143	1131,785	Filito	Piracicaba	Fecho do Funil	FF1		Afloramento									Filito mais quartzoso acima da pedreira Cumbi.
21/08/2019	Pto13	636590,210	7742150,558	1102,992	Carbonato	Piracicaba	Fecho do Funil	FF2	QF13	Afloramento									Pedreira Cumbi. Muitos blocos de mármore cortados pela antiga pedreira, hoje desativada. Mármore bandado cinza escuro e branco, com estromatólitos. Foto do afloramento no fundo. Amostras QF13.
21/08/2019	Pto14	639826,997	7742261,903	1250,682	Filito Grafítico	Piracicaba	Fecho do Funil	FF5		Afloramento					081	40			Filito grafítico bastante laminado.
21/08/2019	Pto15	640038,668	7741900,304	1274,547	Quartzito Ferruginoso e Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD1; CCD4		Afloramento	089	30							Quartzito ferruginoso bastante friável (predomina quartzo, hematita subordinada) intercalado nos filitos grafíticos. Estratificação paralela com camadas e lâminas de hematita + quartzo.
21/08/2019	Pto16	640319,799	7740025,060	1273,599	Filito	Piracicaba	Indiviso			Afloramento									Filito muito intemperizado, afloramento ruim.
21/08/2019	Pto17	640353,555	7739129,452	1198,808	Quartzito	Caraça	Moeda	MOE3		Afloramento									Sinclinal Moeda. Quartzito bastante saprolitizado.

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
21/08/2019	Pto18	617665,080	7766644,553	1258,553	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD2		Afloramento									Filito bege acinzentado / prateado finamente laminado, típico da Fm. Cercadinho. Afloramento dobrado.
21/08/2019	Pto19	618862,004	7766789,135	1237,662	Saprólito	Piracicaba	Fecho do Funi?			Afloramento									Saprólito não identificado.
21/08/2019	Pto20	617059,965	7766723,922	1231,239	Saprólito	Piracicaba	Fecho do Funi?			Afloramento									Saprólito não identificado.
28/08/2019	Pto21	608676,040	7756372,374	1193,560	Granitoide	Complexo Bonfim	Complexo Bonfim		QF21	Afloramento					111	67	153	65	Perfil Bonfim - Moeda - Bação. Granitoide, protólito de textura fanerítica grossa. (Anfibólio? Biotita?). Localmente bandada / foliada. Milonitização. Slickensides no plano 076/74. Amostra QF21.
28/08/2019	Pto22	609027,087	7756449,810	1243,689	Quartzito e Filito	Carança	Moeda	MOE4; MOE7	QF22	Afloramento	111	58	103	51					Quartzito com cruzadas, poucas intercalações de filito no meio do quartzito. Por vezes, o quartzito é laminado, mais perto do contato. Amostra QF22.
		104									63	131	84						
		052									60	081	59						
		085									46	107	66						
												095	55						
												058	29						

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
28/08/2019	Pto23	608974,000	7756847,000	1296,644	Quartzito e Filito	Caraça	Moeda	MOE4; MOE7		Afloramento	081	57	100	58	045	51			Idem Pto22, quartzito mal selecionado, granulometria grânulo a areia fina, predomínio de grânulos. Intercalações de filito Moeda na primeira curva a NW.
													093	54					
28/08/2019	Pto24	608663,435	7758118,792	1431,121	Filito	Caraça	Batatal	MOE4; BTT1; BTT2	QF24A; QF24B	Afloramento	065	60			058	64			Filito cinza, bastante intemperizado, finamente foliado. Abaixo do filito, aflora o quartzito Moeda mal selecionado, com cruzadas. Quartzito Moeda é fluvial até o topo, a transgressão é o próprio Batatal. Estimativa de espessura: Moeda 150m; Batatal 30-40m. 2 amostras: QF24A (quartzito) e QF24B (filito).
											040	56	075	50	062	66			
											048	58							
28/08/2019	Pto25	608727,866	7758355,804	1433,848	Itabirito	Itabira	Cauê	CAU1		Afloramento	056	81							Formação ferrífera bandada (itabirito) no topo da serra local. Fotos com Alexandre.
											081	81							
28/08/2019	Pto26	609567,772	7758233,846	1337,486	Itabirito	Itabira	Gandarela	GDR1		Afloramento									Itabirito no meio do Gandarela. No mapa 1:50.000 é cobertura cenozoica.
28/08/2019	Pto27	611047,126	7758150,626	1190,755	Filito	Piracicaba	Cercadinho ou Fecho do Fumil?			Afloramento									Filito cinza. Dúvida ao definir a Formação.

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
28/08/2019	Pto28	611013,528	7758595,076	1161,285	Filito e Quartzito Ferruginoso	Piracicaba	Fecho do Funil	FF4	QF28A; QF28B	Afloramento	086	75							Intercalações de filitos e quartzitos ferruginosos. Duas amostras: quartzito ferruginoso e filito.
28/08/2019	Pto29	611128,018	7758684,900	1146,866	Dolomito	Piracicaba	Fecho do Funil	FF1	QF29A; QF29B	Afloramento	043	14							Dolomito. S0 na drenagem. Fotos com Alexandre, 2 amostras: Amostra com mgt e amostra dolomito.
28/08/2019	Pto30	612316,162	7760370,021	1313,643	Filito Ferruginoso e Grafítico	Piracicaba	Fecho do Funil	FF4; FF5		Afloramento	142	28							Intercalação de filito ferruginoso com filito grafítico. Próximo à portaria da Mineração Herculano.
28/08/2019	Pto31	614156,057	7759424,059	1341,527	-	Piracicaba	Cercadinho e Fecho do Funil			Sem afloramento									Almoço. Sem afloramento. Eucaliptal. No mapa, contato F. Funil com Cercadinho.
28/08/2019	Pto32	615402,656	7760861,293	1392,493	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD1; CCD2		Afloramento	264	9							Filito cinza com lâminas e pequenas camadas ferruginosas (?). Predomina filito grafítico. Presença de lâminas brancas em meio às cinzas escuras.
		290	10																

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
28/08/2019	Pto33	615512,943	7760698,490	1407,588	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD1; CCD2		Afloramento	064	22							Filito cinza laminado, idem Pto32.
28/08/2019	Pto34	617525,247	7762459,006	1343,043	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD2		Afloramento	141	38							Filito cinza aparentemente sem lâminas brancas.
28/08/2019	Pto35	618297,845	7766606,442	1254,730	Canga Laterítica	Cobertura Cenozoica	Cobertura Cenozoica			Afloramento									Canga laterítica na BR 356.
28/08/2019	Pto36	616591,658	7767146,250	1230,446	Filito	Piracicaba	Fecho do Funil	FF4		Afloramento									Saprólito e afloramento ruim de filito cinza laminado, às vezes com lâminas de quartzitos.
28/08/2019	Pto37	616432,157	7767678,170	1222,365	Filito	Piracicaba	Fecho do Funil	FF4	QF37	Afloramento									Metassilito esverdeado com intercalações de lâminas de quartzito. Amostra QF37.
28/08/2019	Pto38	614937,118	7768134,759	1248,798	Filito e Quartzito-Xisto	Sabará	Indiviso	SAB3; SAB4	QF38A; QF38B; QF38C	Afloramento					070	72			Calha N do Sinclinal Moeda. Xisto quartzoso ou quartzito? Também ocorrem filitos cinza arroxeados sub-verticais paralelos ao quartzoxisto. 3 amostras.
															084	66			

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
28/08/2019	Pto39	615471,585	7768095,333	1232,032	Quartzito	Piracicaba	Taboões	TAB1	QF39	Afloramento	229	41							Quartzito fino, muito laminado. 1 amostra.
28/08/2019	Pto40	615220,118	7768177,438	1236,233	Filito	Piracicaba	Barreiro	BRR3		Afloramento	233	52							Filito laminado.
21/09/2019	Pto41	643411,603	7746329,701	1081,626	Dolomito e Itabirito	Itabira	Cauê e Gandarela	CAU2; GDR1; GDR3	QF41	Afloramento	057	25			070	40			Estrada para Ouro Preto, destino Pico do Itacolomi. Afloramento de corte de estrada, próximo à pedreira Bemil (ponto 1.2 Alkmim & Noce, 2006) dolomito bastante foliado, cores cinza e bege. Afloramento dobrado. 100m a W, itabirito, Fm. Cauê. No contato, dolomito impuro, pouquíssima calcita, pouca dolomita. Amostra bandada, possível clorita. Fotos com Alexandre. Afloramento possui camadas onde predomina carbonato bandado mais "maciço" e camadas mais micáceas.
															074	33			
															086	51			
															035	43			
21/09/2019	Pto42	643839,895	7746220,750	1080,666	Quartzito Ferruginoso e Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD4	QF42	Afloramento	070	29							Quartzito ferruginoso a 100m a E da pedreira. Bandado (fino), intercalado com filito. Localmente, quartzito mais maciço. Amostra do quartzito.
21/09/2019	Pto43	644567,391	7746461,895	1099,458	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD3	QF43	Afloramento									Km81 da BR356. Filito verde bastante crenulado, brilho micáceo evidente. Amostra laminada (1mm de quartzo, em meio ao filito). Amostra fresca. Xisto já?

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
21/09/2019	Pto44	645100,368	7746300,251	1119,167	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD6		Afloramento	140	30			135	45			Xisto/filito com camadas mais arenosas.
21/09/2019	Pto45	645411,412	7745965,808	1145,495	Dolomito e Filito	Piracicaba	Fecho do Funil	FF1; FF2	QF45A; QF45B; QF45C; QF45D	Afloramento									Contato entre dolomito e filito Fecho do Funil. Filito com minerais octaédricos oxidados (boxwork). Magnetita?? Dolomito com cristais grandes, bem formados, muitas fotos com Alexandre. 4 amostras.
21/09/2019	Pto46	646133,408	7745964,596	1162,860	Filito e Quartzito	Piracicaba	Fecho do Funil	FF1; FF3		Afloramento	095	33	070	40					Afloramento de filito intercalado com quartzito (~3m). Predomina filito. Quartzito apresenta estratificações cruzadas. Filito crenulado.
21/09/2019	Pto47	655319,433	7742252,739	1172,993	Filito	Piracicaba	Fecho do Funil	FF5		Afloramento									Filito/xisto carbonoso, cor cinza e de intemperismo vermelho.
21/09/2019	Pto48	654138,750	7743889,418	1149,703	Filito	Sabará	Indiviso	SAB3		Afloramento									Afloramento ruim, filito finamente laminado. G. Sabará?
21/09/2019	Pto49	653081,403	7744691,443	1259,036	Ritmito	Sabará	Indiviso	SAB5		Afloramento									Metarritmito / filito finamente laminado, com lâminas de areia fina, intercaladas com material pelítico, ora pelítico-carbonoso. Crenulado. Foi um ritmito.

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
21/09/2019	Pto50	652924,070	7745498,652	1281,472	Diamictito?	Sabará	Indiviso	SAB2		Afloramento									Ponto 2.1 Alkmim & Noce 2006. Xistos muito intemperizados com pequena ocorrência de diamictito igualmente intemperizado. Bastante duvidoso. Material arenoso, o saprólito.
21/09/2019	Pto51	651081,683	7746377,863	1294,234	Quartzo-mica-xisto	Sabará	Indiviso	SAB4; SAB5	QF51	Afloramento									Afloramento ruim de quartzo-mica-xisto. Amostra.
21/09/2019	Pto52	650484,714	7746827,017	1324,701	Quartzo-mica-xisto	Sabará	Indiviso	SAB4; SAB5	QF52A; QF52B	Afloramento									Quartzo-mica-xisto muito crenulado, foliado, intercalações de quartzo e micas (milimétricas e sub-milimétricas). Afloramento melhor. 2 amostras.
18/10/2019	Pto53	655439,105	7741905,619	1282,375	Filito	Piracicaba	Fecho do Funil	FF5		Afloramento	046	58							Perfil Itacolomi. Filito bem laminado, bem fino, argila e ferro. Possui xistosidade e crenulação. Ocorrem relíquias raras de mineral octaédrico (boxwork). Material grafitoso?
18/10/2019	Pto54	655502,834	7741456,298	1330,088	Filito	Piracicaba	Fecho do Funil	FF5		Afloramento					206	86			Mesmo filito, um pouco mais fresco. Hematita, material grafitoso, argilominerais. Foliação vertical.
18/10/2019	Pto55	655479,789	7741216,310	1363,845	Diamictito	Sabará	Indiviso	SAB2		Afloramento									Xisto cujo protólito foi um diamictito. Predominam grânulos e pequenos seixos (até 3 cm). Raros blocos de quartzito (6-10cm). Clastos de pelito e quartzito. Foliação varia muito, veios de quartzo frequentes, contato de falha de empurrão.

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
18/10/2019	Pto56	655490,229	7741168,287	1365,487	Turbidito	Sabará	Indiviso	SAB5		Afloramento									Xisto cujo protólito foi um turbidito. Metapelito com camadas centimétricas arenosas. Bastante crenulado, muito conteúdo grafitoso.
18/10/2019	Pto57	655498,996	7741106,157	1384,301	Turbidito	Sabará	Indiviso	SAB1; SAB2; SAB3		Afloramento									Camadas alternando entre metadiamiccito e xisto pelítico estratificado. Foliação marcante. Ciclos de avalanche de 10cm no diamiccito (gradação) até 80 cm. Os clastos são de quartzito e pelito.
18/10/2019	Pto58	657002,451	7740023,072	1500,441	-	Sabará e Itacolomi	Indiviso			Sem afloramento									Mirante no contato por discordância.
18/10/2019	Pto59	657118,704	7739973,160	1545,782	Quartzito	Itacolomi	Indiviso	ITA5		Afloramento									Quartzito com estratificação cruzada. Granulometria de grânulo a areia fina. Quartzito predominante, lâminas de hematita subordinadas.
18/10/2019	Pto60	657228,045	7739803,466	1574,639	Quartzito e Conglomerado	Itacolomi	Indiviso	ITA1; ITA4; ITA5		Afloramento	079	47	028	25					Almoço. Quartzito com cruzadas. Fotos com Alexandre mostrando a cruzada. A 10m na trilha, em frente à placa de km 3 da trilha, ortoconglomerado (clastos bem arredondados, alta esfericidade), e depois, mais quartzito com cruzadas (acanalada, foto).
18/10/2019	Pto61	657277,655	7739784,725	1586,056	Quartzito e Conglomerado	Itacolomi	Indiviso	ITA2; ITA3; ITA4; ITA5	QF61A; QF61B	Afloramento			094	18					Intercalação de conglomerado e quartzito. Estratificação plana (regime de fluxo superior). Estratificação cruzada no quartzito. Amostras: QF16A conglomerado e QF61B quartzito conglomerático. As cruzadas não são muito boas. Resumo das fácies do Itacolomi identificadas: quartzito conglomerático com estratificação plana, quartzito conglomerático
													359	16					
													032	20					
													259	19					
													038	44					

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
													173	31					com cruzadas, conglomerado com estratificação plana.
													178	40					
													133	44					
													075	32					
													080	30					
													201	18					
18/10/2019	Pto62	656817,477	7740093,722	1492,951	Xisto e Quartzito	Sabará	Indiviso	SAB4	QF62	Afloramento									Voltando pela trilha, ponto na mata. Xisto e quartzito (provavelmente metagrauvaca). Cor de intemperismo avermelhada. Amostra quartzito QF62.
18/10/2019	Pto63	656722,984	7740008,109	1472,561	Diamictito	Sabará	Indiviso	SAB2		Afloramento									Metadiamictito (grânulos e pequenos seixos).
18/10/2019	Pto64	660766,558	7743482,823	929,761	Filito ou Xisto	Piracicaba ou Sabará	Barreiro ou Indiviso		QF64	Afloramento									Metapelito laminado, coeso, com veios de quartzo. Alexandre: clorita xisto ou metabasalto ou tufo basáltico do Sabará (?). Amostra QF64.
19/10/2019	Pto65	621103,471	7764796,826	1214,913	Quartzito e Filito	Caraça	Moeda	MOE3; MOE5; MOE6		Afloramento	117	82			293	71			Perfil Itacolomi (volta para BH), Sinclinal Moeda e Serra do Curral. Quartzito com lâminas intercaladas de metapelito. Planos verticais, flanco leste invertido do Sinclinal Moeda. Metapelitos raros a ocasionais. Metapelitos mais presentes na base e à medida que se vai para o topo, se tornam muito raros.
											115	73							
											292	89							
											120	87							
											107	82							

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição	
19/10/2019	Pto66	621126,754	7765210,125	1214,786	Quartzito	Caraça	Moeda	MOE3; MOE5; MOE6		Afloramento	115	78	016	52					Final da caminhada pelo afloramento do ponto 65. Foto de cruzada no topo do afloramento.	
										Afloramento	115	73	009	54						
										Afloramento	148	88								
19/10/2019	Pto67	614564,714	7767873,112	1241,141	Diamictito	Sabará	Indiviso	SAB1; SAB2; SAB4	QF67A; QF67B	Afloramento									Calha do Sinclinal Moeda. Metadiamicritos com seixos de até 10cm predominando de 1-5 cm. Clastos de quartzito, metapelito, todos estirados. Matriz pelítica cinza, predominam clastos de quartzito bege. Ocorrem camadas de paraconglomerado (metadiamicrito) e ortoconglomerado de matriz pelítica (mesma matriz). Amostras: QF67A = diamictito; QF67B = Quartzito? Metagrauvaca?	
19/10/2019	Pto68	614401,140	7767805,359	1236,264	Filito	Piracicaba	Barreiro	BRR3		Afloramento									Metapelito maciço. Mistura de silte e argila.	
19/10/2019	Pto69	613717,556	7767932,045	1244,009	Filito	Piracicaba	Barreiro	BRR1; BRR2; BRR3		Afloramento	072	44							Metapelito com lâminas de areia fina. Rocha amarelada, silte + argila e lâminas cinza escuras de material grafitoso.	
19/10/2019	Pto70	613056,169	7768261,761	1248,179	Filito	Piracicaba	Taboões	TAB2		Afloramento									Metapelito aflora onde no mapa 1:50.000 da UFMG está mapeado quartzito Taboões. Sugestões de pequenas lâminas de areia fina. Afloramento péssimo, praticamente inexistente. Seguindo a W, espera-se Fecho do Funil e a leste, Barreiro.	

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
19/10/2019	Pto71	612218,012	7768982,647	1245,225	Tempestito	Piracicaba	Fecho do Funil	FF4		Afloramento	025	34							Tempestito com hummocky. Metarritmito laminado, alternando entre metarenito fino, siltoso, vermelho e metargilito cinza. Rocha idêntica à do ponto 70.
19/10/2019	Pto72	610867,180	7770148,406	1319,708	Quartzito Ferruginoso e Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD2; CCD4; CCD5	QF72	Afloramento	080	68							Quartzito ferruginoso médio a grosso, quando mais rico em Fe, predomina areia média. Ocorrem pelitos intercalando. Amostra QF72.
19/10/2019	Pto73	605279,952	7769441,867	1175,233	Quartzito	Caraça	Moeda	MOE3; MOE5		Afloramento	109	53							Estrada para Piedade do Paraopeba. Contato do G. Nova Lima e Fm. Moeda.
19/10/2019	Pto74	606009,317	7769425,935	1375,801	Itabirito	Itabira	Cauê	CAU1		Afloramento									Itabirito laminado. Afloramento todo dobrado / deformado.
19/10/2019	Pto75	608281,785	7787805,168	1203,201	Itabirito	Itabira	Cauê	CAU1		Afloramento	157	54							Serra do Curral, BR040, quase em BH. Itabirito. Espessura estimada 185m.
20/02/2020	Pto76	640672,562	7731252,580	1109,999	Quartzo-xisto	Sabarã e Itacolomi	Indiviso	ITA3		Afloramento									Serra de Ouro Branco. Contato entre quartzito Itacolomi e Grupo Nova Lima, em zona de cisalhamento. Quartzito bem deformado, foliado, até crenulado. Quartzo-xisto.

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
20/02/2020	Pto77	641128,852	7731283,356	1147,918	Quartzito-xisto	Sabará e Itacolomi	Indiviso	ITA3		Afloramento					000	50			Quartzito-xisto na base da Serra.
20/02/2020	Pto78	641861,507	7731583,977	1228,834	Quartzito conglomerático	Itacolomi	Indiviso	ITA2; ITA3		Afloramento	018	33							Quartzito grosso, mal selecionado. Conglomerático. Presença de seixos de até 5cm moderadamente arredondados. Matriz quartzosa e micácea. Aparente gradação do quartzito até o quartzito conglomerático. Fluvial entrelaçado. Camadas de conglomerado intercaladas no quartzito. Fotos com Alexandre.
											036	25							
20/02/2020	Pto79	642078,569	7731941,771	1296,170	Quartzito conglomerático	Itacolomi	Indiviso	ITA2; ITA 5		Afloramento	086	43	080	33					Quartzito conglomerático com cruzadas. Bastante imaturo, ora com seixos de pelito/filito quando melhor preservado. Entrada para parque da Serra de Ouro Branco.
											080	42							
20/02/2020	Pto80	641854,144	7731969,251	1321,235	Quartzito conglomerático	Itacolomi	Indiviso	ITA2; ITA 5		Afloramento									Mirante do sofá. Idem Pto 79.
20/02/2020	Pto81	641790,022	7731895,969	1322,659	Quartzito ferruginoso	Itacolomi	Indiviso	ITA5		Afloramento			292	45					Níveis de hematita formando acanaladas decimétricas no pavimento da estrada. Quartzito conglomerático. Fotos com Alexandre. Blocos de quartzito ferruginoso.

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
20/02/2020	Pto82	640420,566	7732326,498	1372,883	Conglomerado e Quartzito	Itacolomi	Indiviso	ITA2; ITA5		Afloramento									Idem Pto81. Conglomerado quartzoso. No meio dele, intercalam-se quartzitos. Conglomerado de seixos pequenos.
20/02/2020	Pto83	637365,624	7732381,462	1369,600	Quartzito conglomerático	Itacolomi	Indiviso	ITA2		Afloramento									Quartzito conglomerático idem anteriores.
20/02/2020	Pto84	627848,513	7740429,260	1162,278	Filito	Piracicaba	Cercadinho	CCD1		Afloramento									Xisto pelítico puro, crenulado. Ora de cor prateada. Dúvida ao definir Fm. Fm Cercadinho?
21/02/2020	Pto85	611286,796	7792412,309	1117,960	Filito e Quartzito	Piracicaba	Cercadinho	CCD6		Afloramento					192	35			Serra do Curral, BH, Mirante do Colibri. Filito e quartzito. Predomina metassilito cinza arroxeadado com algumas camadas pequenas de quartzito intercaladas (máx 40 cm de espessura, aproximadamente).
21/02/2020	Pto86	611172,722	7792421,984	1107,591	Filito e Quartzito	Piracicaba	Cercadinho	CCD6		Afloramento	142	40			138	4			Melhor afloramento do filito intercalando com quartzito. Hummocky presente (fotos minhas e com Alexandre).
21/02/2020	Pto87	611047,030	7792488,138	1107,829	Filito	Piracicaba	Cercadinho ou Fecho do Funi?			Afloramento					137	44			Filito mais intemperizado, predomina róseo. Sem quartzito, filito puro.

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
21/02/2020	Pto88	611033,799	7792521,214	1105,296	Filito	Piracicaba	Cercadinho ou Fecho do Funil?			Afloramento									Muito próximo ao pto 87. Filito mais puro, cores bege claro e cinza.
21/02/2020	Pto89	610898,184	7792537,753	1100,858	Quartzito	Piracicaba	Taboões	TAB1		Afloramento	200	47							Quartzito fino e laminado, afloramento ruim.
21/02/2020	Pto90	610911,414	7792775,905	1059,389	Filito Grafitoso	Piracicaba	Barreiro	BRR2	QF90	Afloramento									Filito preto, laminado e homogêneo. Amostras QF90.
13/03/2021	Pto91	605373,460	7779247,722	1438,304	Itabirito	Itabira	Cauê	CAU1		Afloramento									Junção Sinclinal Moeda e Homoclinal Invertido da Serra do Curral. Sub-afloramento (lateritizado) da BIF Cauê. Condomínio Retiro das Pedras.
13/03/2021	Pto92	605223,086	7779458,271	1438,463	Itabirito	Itabira	Cauê	CAU1		Afloramento	028	33							Itabirito Cauê dobrado (chevron?).
											141	46							
											356	52							
13/03/2021	Pto93	604775,782	7779551,963	1377,813	Argilito	Caraça	Batatal	BTT1; BTT2		Afloramento									Metargilito bem homogêneo, verde acinzentado na trilha.

Dia	Pontos	X	Y	Z (m)	Rocha	Grupo	Formação	Fácies	Amostras	Factual	S0 Az	S0 Merg	Paleoc. Az.	Paleoc. Merg.	Sn Az.	Sn Merg.	Ln Az.	Ln Merg.	Descrição
13/03/2021	Pto94	604540,709	7779506,869	1343,924	Conglomerado e Quartzito	Caraça	Moeda	MOE1; MOE2; MOE3	QF94A; QF94B	Afloramento	122	35	109	52					Conglomerado quartzítico, polimítico (quartzo, óxido de Fe, clorita xisto), granulometria areia fina a seixos. Sugestão de piritas detríticas oxidadas. Arredondamento moderado a alto e esfericidade moderada. Intercalação de quartzitos conglomeráticos. Amostras QF94A e QF94B.
13/03/2021	Pto95	604405,297	7779453,585	1347,542	Siltito impuro ou grauavaca?	Caraça	Moeda	MOE6	QF95A; QF95B	Afloramento	085	52							Metassiltito quartzozo com areia fina de quartzo e óxidos de Fe dispersos (metagrauavaca?). Laminação fina. Amostras QF95A e QF95B.
13/03/2021	Pto96	604299,528	7779445,715	1368,831	Conglomerado e Quartzito	Caraça	Moeda	MOE2; MOE4		Afloramento	131	41							Conglomerado quartzítico com granulometria seixos e calhaus e matriz areia grossa. Os clastos são bem arredondados e esfericidade média. Estratificação cruzada acanalada.
											117	61							
13/03/2021	Pto97	604294,138	7779505,843	1369,459	Siltito impuro ou grauavaca?	Caraça	Moeda	MOE6		Afloramento	099	45							Metassiltito quartzozo com areia fina subordinada (metagrauavaca?). Bem coeso e finamente laminado.
13/03/2021	Pto98	604265,127	7779520,739	1370,070	Conglomerado e Quartzito	Caraça	Moeda	MOE2; MOE4		Afloramento	152	36	168	41					Conglomerado mais fino. Granulometria grânulo a seixo com estratificação cruzada.

APÊNDICE B – SUBMISSÃO DE ARTIGO

Submission Confirmation

Thank you for your submission

Submitted to

Brazilian Journal of Geology

Manuscript ID

BJGEO-2021-0081

Title

Depositional systems, sequence stratigraphy and sedimentary provenance of the Palaeoproterozoic Minas Supergroup, Quadrilátero Ferrífero, Brazil

Authors

Gonçalves, Gabriel

Uhlein, Alexandre

Date Submitted

30-Oct-2021

APÊNDICE C – MANUSCRITO DO ARTIGO SUBMETIDO

Depositional systems, sequence stratigraphy and sedimentary provenance of the Palaeoproterozoic Minas Supergroup, Quadrilátero Ferrífero, Brazil

Gabriel Faria Gonçalves^{1*}, Alexandre Uhlein¹

¹ *Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Campus Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil*

**Corresponding author*

E-mails: gabrielgoncalves18@gmail.com; auhlein@gmail.com

ABSTRACT

The Minas-Itacolomi is a palaeoproterozoic meta-sedimentary megasequence in the Quadrilátero Ferrífero metallogenic province. It records a continental rift to passive margin to foreland basin transition. From the perspective of sequence stratigraphy, five sequences were determined, providing information of the Palaeoproterozoic eustatic changes, summarized in the Minas-Itacolomi Basin stratigraphic chart. The main global event recorded in these units is the Great Oxidation Event. The interpretations were based on the systematic facies recognition (41 in total), their associations, the identification of depositional systems (9 repeating), system tracts (also 9), and sequences (in that order). The Caraça and Itabira Groups are the first sequence, where three system tracts were identified. Piracicaba Group hosts two sequences and four system tracts. Sabará and Itacolomi Groups are the two upper sequences, both related to a foreland basin, where the underfilled and overfilled system tracts were recognized. Sedimentary provenance was mainly based on detrital zircon U-Pb age spectra of previous authors' databases, and on palaeocurrent field data and thickness variations. All of the units of Minas-Itacolomi share detrital zircons from Archaean sources (Rio das Velhas Supergroup and crystalline basement). Only Sabará and Itacolomi Groups presented bimodal U-Pb age histograms thus indicating archaean and palaeoproterozoic (Mineiro Belt) provenances.

KEYWORDS: Sedimentary Facies; Palaeoproterozoic Minas-Itacolomi Basin; Sequence Stratigraphy; Sedimentary Geology.

HIGHLIGHTS:

- 1- Sedimentary facies, processes, and depositional systems recognition of Groups Caraça, Itabira, Piracicaba, Sabará, and Itacolomi.
- 2- System tracts and stratigraphic sequences recognition of Minas-Itacolomi Palaeoproterozoic basin.
- 3- Comparison of rift, passive margin and foreland phases regarding U-Pb detrital zircon sedimentary provenance.

INTRODUCTION

Sedimentary basins are regions where sediment accumulates into successions of hundreds to thousands of metres thick over large areas. The sedimentary rocks in a basin provide a record of both the tectonic history of the area and the effects of other controls on deposition, such as climate, sea base level and sediment supply (Catuneanu, 2006; Nichols, 2009).

The Palaeoproterozoic Minas-Itacolomi basins are a good example of several sedimentary successions controlled by tectonics. Their stratigraphic units are located

within the Iron Quadrangle (acronyms: IQ or QF, for “Quadrilátero Ferrífero”, in Portuguese), in the state of Minas Gerais, South East of Brazil. The QF is one of Brazil’s most important metallogenic provinces, as it hosted many world-class Au deposits, as well as Lake Superior and Algoma type banded iron formations, and uranium palaeoplacers deposits, not to mention, its many similarities to the Transvaal Sequence, in South Africa (Villaça & Moura, 1985; Minter *et al.*, 1990; Renger *et al.*, 1994; Lobato *et al.*, 2000; Vial *et al.*, 2007). There are few papers in the literature that focus on sedimentary facies description and depositional system identification in the Minas-Itacolomi basins. This paper presents the sequence stratigraphy approach of Minas-Itacolomi sedimentation through the description of its sedimentary geology, or, more specifically, through facies description, depositional systems interpretation, as well as system tracts and sequences correlations, in order to aid further in the geological evolution and time relationships of those basins.

The chronological relationships within Minas-Itacolomi are hard to be obtained precisely and accurately due to the lack of index fossils, and the absence of crosscutting and/or interlayered igneous rocks for isotope dating (Noce, 2000; Dopico *et al.*, 2017; Dutra *et al.*, 2019). In order to overcome this major problem, sedimentary provenance geochronological studies regarding detrital zircons have been carried out to estimate the lifespan of the sedimentary basins (Renger *et al.*, 1994; Machado *et al.*, 1996; Hartmann *et al.*, 2006; Koglin *et al.*, 2014; Mendes *et al.*, 2014; Nunes, 2016; Dopico *et al.*, 2017; Dutra *et al.*, 2019). Furthermore, this paper also presents a detrital zircon age data compilation (database from Machado *et al.* 1992; Machado *et al.*, 1996; Hartmann *et al.*, 2006; Koglin *et al.*, 2014; Jordt-Evangelista *et al.*, 2015; Nunes, 2016; Dopico *et al.*, 2017; Dutra, 2017; Duque, 2018; Dutra *et al.*, 2019), in order to comprehend the provenance differences in the many geodynamic stages of the Minas-Itacolomi basins.

MATERIALS AND METHODS

The first stage of this paper’s workflow was the bibliographic research, aiming to collect both historical and recent Minas Supergroup sedimentology works. Afterwards, several field trips to the Quadrilátero Ferrífero were carried out, with the purpose of profiling its upper units through facies recognition, and samples collection (for macroscopic and transmitted-light microscopy petrographic descriptions). In this stage of the workflow, special attention by the authors was required, in order to recognise and to distinguish in the field primary sedimentary structures from tectonic structures, such as folds, cleavages, lineations, and other tectonic driven rock fabrics. The next stage of the workflow was the second bibliographic research, now focused on both the compilation of U-Pb zircon age data for the Minas-Itacolomi stratigraphic units, and the Minas Basin geodynamic evolution. After all of the previous steps were concluded, the sequence stratigraphy principles (Catuneanu, 2006; Catuneanu *et al.*, 2005) could be applied to the Minas-Itacolomi meta-sedimentary units and the results were hereby presented.

The building block of sequence stratigraphy is the facies concept, which is defined as a particular combination of lithology, sedimentary structures, geometry, and textural attributes that allows to classify different sedimentary rock bodies. Therefore, facies is a product of sedimentary processes that exist in a specific depositional palaeoenvironment. Another important concept is the Walther’s Law: the vertical shifts of facies reflect corresponding lateral shifts of facies as well. Based on this principle, the facies association (i.e., groups of facies genetically related to one another and

which have some environmental significance) is a critical element for the interpretation of palaeo-depositional systems (Dalrymple, 2010).

The lateral succession of the depositional systems deposited at the same time window, is the very definition of system tracts, the second-to-last sequence stratigraphic unit, also known as the association between contemporary depositional systems. At this level, the eustasy plays a major key role in a sequence stratigraphic framework, as it determines the formation of packages of strata with specific stacking patterns, as well as of sequence stratigraphic surfaces, such as unconformities, and correlative conformities. Lastly, those surfaces, made by contemporary or genetically related strata, are the ones that mark the limits of the sequences, the ultimate chronostratigraphic unit.

According to Catuneanu *et al.* (2011), the stacking patterns of the strata form geometrical trends that include upstepping, forestepping, backstepping and downstepping. These geometrical trends mark the three types of shoreline shift: forced regression (forestepping and downstepping at the shoreline), normal regression (forestepping and upstepping at the shoreline) and transgression (backstepping at the shoreline).

During a forced regression (FR), a falling stage systems tract (FSST) takes place. During a normal regression (NR), two system tracts are possible, depending on the base level at that time: if the sea level was originally falling, caused by a previous forced regression, then the lowstand systems tract (LST) takes place; otherwise (if the sea level was high at that time), the highstand system tract (HST) occurs. Inbetween those NR system tracts, when the base level is rising, *i.e.*, during a transgression (T), the transgressive systems tract is the one in place (Catuneanu, 2006; Catuneanu *et al.*, 2005; Catuneanu *et al.*, 2011).

For the provenance studies, palaeocurrent data are of great importance and can be obtained through many field-related techniques: the most straightforward is the direct measurements with the compass in the field, mainly from cross beds. Sedimentary provenance can also be interpreted from analytical methods, more precisely, from U-Pb geochronological data (Cawood *et al.*, 2003; Cawood *et al.*, 2012). Through the interpretation of the zircon ages frequency distribution, and testing for multi-modality (*i.e.*, if the rock has derived from more than one source), one can have information of provenance if nearby possible sources have distinct ages. A detrital zircon U-Pb database was assembled for this work in order to validate the authors' interpretations, based on many previous works in the literature. The statistics for the geochronology database was calculated using either the Java-based DensityPlotter program (Vermeesch, 2012) or the software package within the statistical programming environment R, called Provenance (Vermeesch *et al.*, 2016).

GEOLOGICAL SETTING

Located in the southeastern region of the São Francisco Craton, the Iron Quadrangle is a metallogenic province of nearly 7.000 km² (Figure 1). The QF is comprised of Archaean and Proterozoic geologic units. The Archaean basement is made of tonalitic granite-gneiss complexes, followed by the Rio das Velhas Supergroup, and overlain by the the Proterozoic Minas Supergroup and the Itacolomi Group. All of the aforementioned units have undergone at least two tectonic/metamorphic events (the Transamazonian and the Brasiliano Orogenies), responsible for their complex deformation and metamorphic evolution.

The Rio das Velhas Supergroup is a greenstone belt divided into the Nova Lima and Maquiné groups (from base to top), and they have an estimated thickness of 4 and 1.6 km, respectively. The Nova Lima Group hosts the largest orogenic gold deposits that made the QF famous for its world-class deposits, whose mineralization is sulphide related, and can be either a function of hydrothermal alteration with high structural control (as most orogenic gold deposits are), or of stratabound-nature mineralization, such as volcanogenic massive sulphides (Ladeira, 1980; Ladeira, 1988; Lobato *et al.*, 2001; Lobato *et al.*, 2016; Lobato & Costa, 2018).

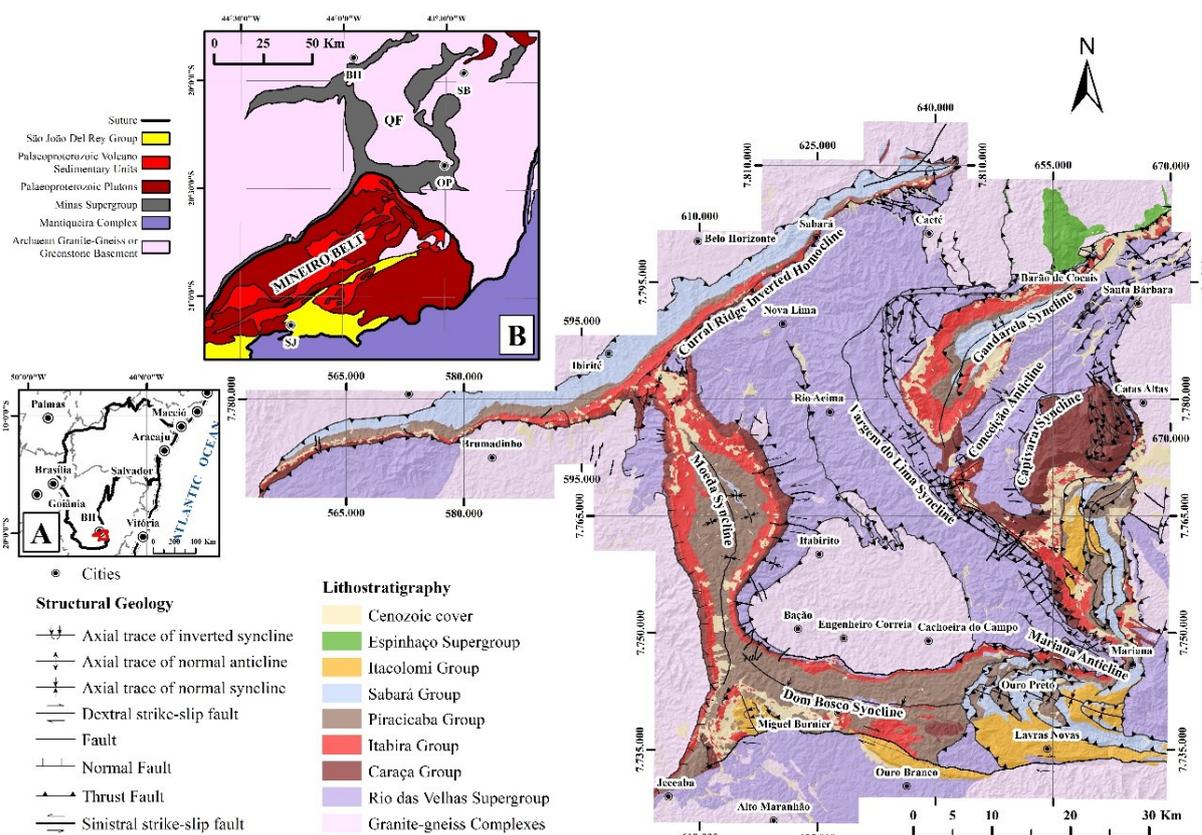


Figure 1. Geological map of the Iron Quadrangle, with São Francisco Craton location (A) and Mineiro Belt (B) inset maps. QF = Quadrilátero Ferrífero; BH = Belo Horizonte; OP = Ouro Preto; SB = Santa Bárbara; SJ = São João Del Rey. Modified from Dorr II, 1969; Lobato *et al.*, 2005; NASA LP DAAC, 2016; and Alkmim & Teixeira, 2017.

This greenstone belt supergroup is comprised mainly of mafic, ultramafic, chemical volcano-sedimentary rocks, volcanoclastic (mainly greywackes) rocks, and sandstones formed in episodic (cycles of) sedimentation. They record a submarine fan system transitioning to continental sedimentation, with intense island arc volcanism (Noce *et al.*, 1992; Baltazar & Zucchetti, 2007; Angeli, 2015).

The Minas supergroup comprises the Caraça, Itabira, Piracicaba and Sabará groups (base to top) that record a sedimentation from ca. 2580 to ca. 2050 Ma (Renger *et al.*, 1994; Machado *et al.*, 1996; Noce, 2000; Hartmann *et al.*, 2006; Farina *et al.*, 2016). The basal Caraça group is made of the Moeda and Batatal Formations, the first being mainly sandstones, with conglomerates and minor pelites and the latter unit, pelitic (Dorr II, 1969; Alkmim & Martins-Neto, 2012).

The second group, Itabira, comprises the Cauê and Gandarela formations, mainly made of itabirite (Lake Superior-type banded iron formations) and dolomite (dolostones), respectively (Dorr II, 1969; Rosière & Chemale Jr., 2000). The third

group, Piracicaba is made of four formations: Cercadinho (mainly pelitic with some ferruginous coarse-grained sandstones), Fecho do Funil (also pelitic, but with subordinate dolomite lenses), Taboões (fine-grained sandstones), and Barreiro (pelitic) (Dorr II, 1969; Alkmim & Marshak, 1998; Farina *et al.*, 2016).

The fourth group (Sabará) and the overlying Itacolomi group are both syn-orogenic. Sabará is a flysch sequence (pelites, diamictites, wackes) while Itacolomi is the molasse sequence (sandstones and conglomerates) (Dorr II, 1969; Alkmim & Marshak, 1998; Almeida *et al.*, 2005; Alkmim & Martins-Neto, 2012). All of the Iron Quadrangle lithostratigraphic units are summarized in Table 1.

Eon	Supergroup	Group	Formation	Thickness (m)	Lithology
Proterozoic	Minas	Itacolomi	Undivided	Up to 2000m	Sandstones (ferruginous matrix), pelites, and conglomerates
		Sabará	Undivided	3000 – 3500	Sandstones (wackes), tuffs, conglomerates, diamictites, and turbidites
		Piracicaba	Barreiro	Up to 120m	Pelites and carbonaceous mudstones
			Taboões	Up to 120m (thins out to S/SE)	Sandstones
			Fecho do Funil	100 – 300 (dolomite lenses over 30m thick)	Pelites, dolomitic pelites, and siliceous dolomites
			Cercadinho	100 - 500	Ferruginous sandstones, sandstones, pelites, and dolomites
		Itabira	Gandarela	250 - 500	Dolomites, dolomitic pelites, and limestones
			Caue	300 – 500 (over 1000m in axial areas)	Itabirites (BIFs), dolomitic itabirite, and pelites
		Caraça	Batatal	200m	Pelites, carbonaceous mudstones, cherts and itabirites
			Moeda	30 – 300 (fine grained sandstone can be up to 100m thick)	Conglomerates, sandstones, and pelites
Archaean	Rio das Velhas	Maquine	Undivided	Up to 1600m	Sandstones, conglomerates, and pelites
		Nova Lima	Undivided	Over 4000m	Mafic-ultramafic rocks, volcanoclastic rocks, cherts, banded iron formations, and pelites
	Granite-gneiss Complexes	Undivided	Undivided	(Basement)	Gneisses, migmatitic gneisses, augen-gneisses, and granites

Table 1. Iron Quadrangle lithostratigraphic summary. Modified from Dorr II, 1969; Alkmim & Marshak, 1998; Almeida *et al.*, 2005; Alkmim & Martins-Neto, 2012.

The main tectono-magmatic events in the Iron Quadrangle region are: several Archaean magmatic pulses/events (Santa Bárbara, Rio das Velhas I and II, Mamona I and II) related to the basement of Minas Supergroup (*i.e.* granite-gneiss complexes and Rio das Velhas supergroup); Minas Rift (taphrogenesis); Minas Accretionary Orogeny (formerly named Transamazonian) – related to the Sabará-Itacolomi sedimentation; Espinhaço Rift (minor mafic dyke swarms); and Brasiliano Orogeny (Araua Belt) (Machado *et al.*, 1992; Silva *et al.*, 1995; Alkmim & Marshak, 1998; Lana *et al.*, 2013; Farina *et al.*, 2015; Teixeira *et al.* 2015; Farina *et al.*, 2016; Albert, 2017). These events are summarized in Table 2.

Eon / Era	Event	Age (Ma)	Description	References	
Phanerozoic	Laterization, erosion and recent sedimentation	60 – 0	Cenozoic geological events responsible for supergene processes and recent relief reshaping.	1	
Proterozoic	Neo- Brasiliano Orogeny	700 – 450	Orogeny responsible for both the west-verging fold and thrust belt that reactivates and superimposes/strains the prior Iron Quadrangle structures and the Gondwana agglutination.	6; 7; 22	
	Meso- -	-	-	-	
	Palaeo-	Espinhaço Rift	~ 1700	Mafic dykes intrusions (related to the Espinhaço Rift) caused by an extensional tectonic regime.	4; 20
		Collapse of Minas Accretionary Orogen; Domes and keels II; Itacolomi Group sedimentation	~ 2050	Reactivation of the first archaean domes and keels at the final stages of the orogenesis (collapse), migmatization and subsequent structural remodelling. Followed by the Itacolomi Group sedimentation on newly formed intermontane regions.	21
		Minas Accretionary Orogeny (Transamazonian)	2260 – 1860	Accretionary orogeny due to the collision between the São Francisco proto-craton and the Congo proto-craton.	10; 13; 15; 16; 17; 20; 21
		Minas Supergroup sedimentation	2580 – 2100	Minas Supergroup sedimentation.	1; 3; 10; 19; 20; 22
Archaean	Minas Rift	~ 2600	Minas Supergroup related taphrogenesis (rifting).	9; 19	
	Mamona II	2620 – 2580	High-K calc-alkaline granitoid and pegmatite intrusions.	12; 14; 18; 19	
	Mamona I	2750 – 2700			
	Domes and keels I	2775 – 2730	Formation of first domes and keels in Iron Quadrangle during the collapse of Rio das Velhas greenstone belt orogen.	21	
	Rio das Velhas Supergroup sedimentation	2803 – 2742	Sedimentation and volcanism associated to Rio das Velhas Supergroup.	1; 2; 5; 8; 9; 11; 14	
	Rio das Velhas II	2800 – 2760	Medium-K granitogenesis from magma mixing of partial melts of both oceanic and continental crusts in orogenic regime (Bação, Belo Horizonte, Bonfim, Caeté Complexes)	11; 14; 16; 18	
	Rio das Velhas I	2930 – 2850	TTG medium-K magmatic accretion to the continental crust and to mafic-ultramafic <i>greenstone belts</i> terrains: beginning of Meso-archaean orogenesis homonym to Event (Bação, Belo Horizonte, Bonfim Complexes, Mineiro Belt).	11; 14; 16	
	Santa Bárbara	3220 – 3200	Santa Bárbara granite intrusion (Iron Quadrangle NE and Mineiro Belt).	11; 16	
	Continental crust formation	3500 – 3200	Crystallization of the first cratonic nuclei, i.e., continental crust.	11; 16; 18	

Table 2. Main geological events in Quadrilátero Ferrífero (table). References: [1] Dorr II, 1969; [2] Machado et al., 1992; [3] Renger et al., 1994; [4] Silva et al., 1995; [5] Machado et al., 1996; [6] Alkmim & Marshak, 1998; [7] Endo & Machado, 2002; [8] Noce et al., 2005; [9] Hartmann et al., 2006; [10] Alkmim & Martins-Neto, 2012; [11] Lana et al., 2013; [12] Romano et al., 2013; [13] Sanglard et al., 2014; [14] Farina et al., 2015; [15] Teixeira et al. 2015; [16] Farina et al., 2016; [17] Aguilar et al. 2017; [18] Albert, 2017; [19] Dopico et al. 2017; [20] Dutra, 2017; [21] Cutts et al., 2019; [22] Dutra et al 2019.

SEDIMENTARY FACIES

The sedimentary facies for the Minas-Itacolomi basins are described below, in each correspondent stratigraphic group sub-chapter. The name of the sedimentary rock was mainly used, rather than its metamorphic name, but please note that all rocks have low-grade metamorphism. Sedimentary structures are well preserved. Some facies were not identified in the authors' fieldwork, but are included in the text (with corresponding references), as they were previously described in the literature. The order in which the facies were catalogued in this work is according to their stratigraphic position, as observed in the field, from base to top. The lateral changes are frequent and are accounted for, since they represent the evolution of the depositional system.

Caraça Group

The seven sedimentary facies logged for the Moeda Fm., as well as the two facies of Batatal Fm. are displayed in Table 3 and Figure 2. All of the authors' field catalogued Moeda facies were also previously described by Dorr II, 1969, Villaça, 1981, and Madeira *et al.*, 2018, with the exception of a rare well sorted fine grained sandstone with hummocky cross-stratification identified by Canuto, 2010. Two additional Batatal Fm. rare facies are fine sandstone (or chert), and jaspilite (or BIF oxide facies), according to Dorr II (1969).

Formation	Facies Code	Facies Description	Sedimentary Processes
Batatal	BTT2	Carbonaceous mudstone	Marine transgression clay settling with organic input being preserved by reducing conditions
	BTT1	Mudstone	Marine transgression clay settling
Moeda	MOE7	Laminated mudstone and minor fine, well sorted sandstones	Lacustrine facies
	MOE6	Laminated quartz-rich siltstone with minor very fine sand inputs in thin (less than 1 meter thick) lenticular beds	Finer sedimentation in braided rivers
	MOE5	Poorly sorted sandstone with planar stratification	Plane-bed flow (upper flow regime)
	MOE4	Poorly sorted sandstone with trough cross-bedding	Sinuuous-crested subaqueous dunes
	MOE3	Poorly sorted sandstone with tabular cross-bedding and tangential foresets	Cross-cutting sand bars in subaqueous dunes (straight crested sandy ripples)
	MOE2	Oligomictic quartz-rich conglomerate with detrital pyrite, rounded granules and pebbles of medium sphericity and coarse sand matrix; trough cross-bedding present	Longitudinal bars or minor channel fills in braided rivers
	MOE1	Polymictic (angular quartz, chert, phyllite, yellow felsic lava clasts, chlorite schists) conglomerate with detrital pyrite	Gravity-driven processes, such as debris flow.

Table 3. Caraça Group facies and sedimentary processes.

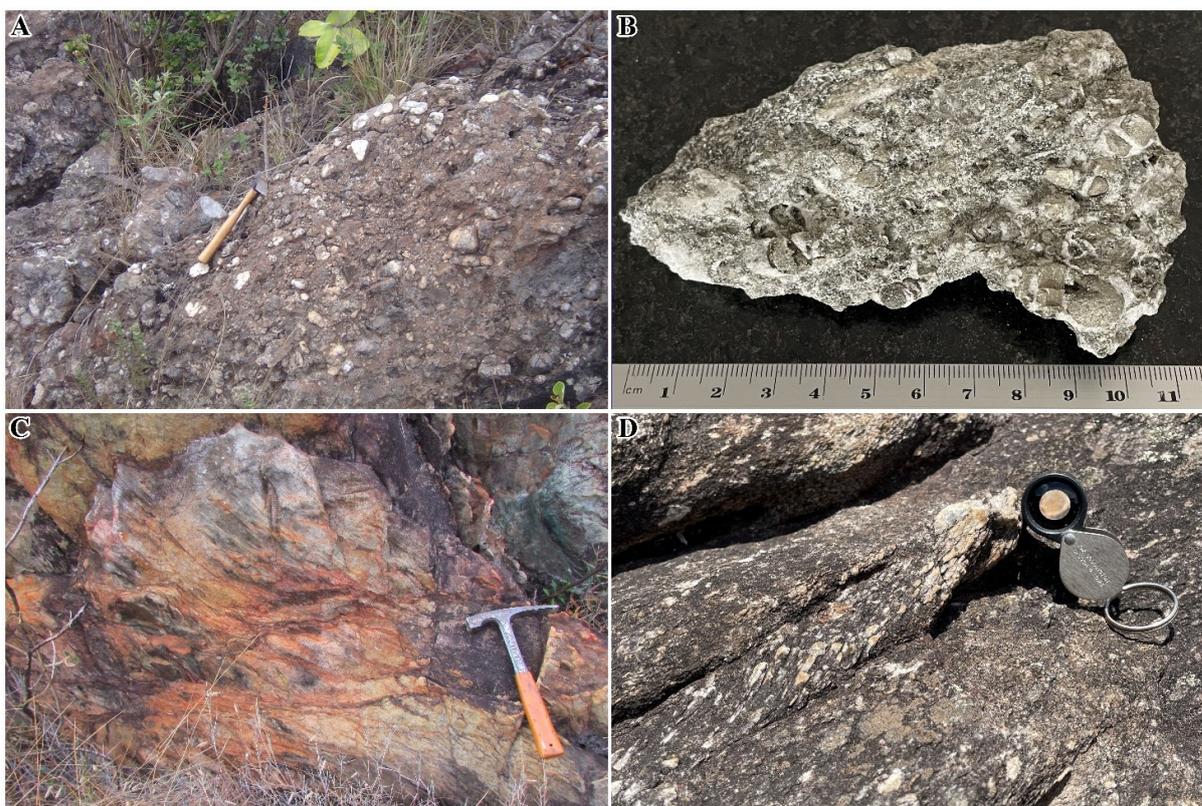


Figure 2. Caraça Group: A) MOE1 facies – polymictic conglomerate – outcrop ($X=605,202$ $Y=7,775,277$ $Z=1,384$ m); B) MOE2 facies hand specimen – Au-bearing conglomerate with rounded detrital pyrites (Ouro Fino Mine - Jaguar Mining Inc.); C) MOE4 facies – poorly sorted sandstone with trough cross-bedding – outcrop ($X=609,027.087$; $Y=7,756,449.81$; $Z=1,243.7$ m); D) MOE3 facies – poorly sorted sandstone with tabular cross-bedding and tangential foresets – outcrop ($X=604,540.709$; $Y=7,779,506.869$; $Z=1,343.9$ m). Coordinates are in UTM and WGS84 datum.

Itabira Group

The two sedimentary facies logged for the Cauê Formation., as well as the four facies of Gandarela Fm. are displayed in Table 4 and Figure 3. Other Cauê Fm. facies described in the literature are two types of itabirites (Mn-rich and amphibole rich itabirites), and some other rare lithologies, such as volcanoclastic Mn-Fe-rich clay layers, carbonates, and mudstones (Dorr II, 1969; Suckau et al., 2005; Cabral et al., 2012). For the Gandarela Fm., the two other sedimentary facies also described in the literature are some volcanic layers (greenschist made of up to 80% chlorite, and minor quartz, biotite, magnetite), and stromatolitic gray limestone (Dorr II, 1969; Souza & Müller, 1984). The depositional systems for these facies are shallow subtidal to intertidal environments for the carbonate and pelitic lithologies, Lake-Superior type sedimentation (continental shelf) for the itabirites, and volcanogenic for the greenschists and volcanoclastic layers.

Formation	Facies Code	Facies Description	Sedimentary Processes
Gandarela	GDR4	Intraformational conglomerate (dolorudite with chert and dolomite clasts in dolomite matrix)	Tidal currents reworking of carbonate platforms

	GDR3	Dolomitic mudstone	Clay settling within carbonate platforms
	GDR2	Laminated algae mats in gray dolomite	Algae and bacterial growth in carbonate platforms
	GDR1	Fe-rich dolomite often interbedded with dolomitic itabirite	Chemical precipitation of iron oxides in shallow waters
Cauê	CAU2	Dolomitic itabirite	Oxyatmoverision: oxidation of Fe ²⁺ ions leading to the precipitation of iron oxide crystals
	CAU1	Itabirite (jaspilite or BIFs)	

Table 4. Itabira Group facies and sedimentary processes.

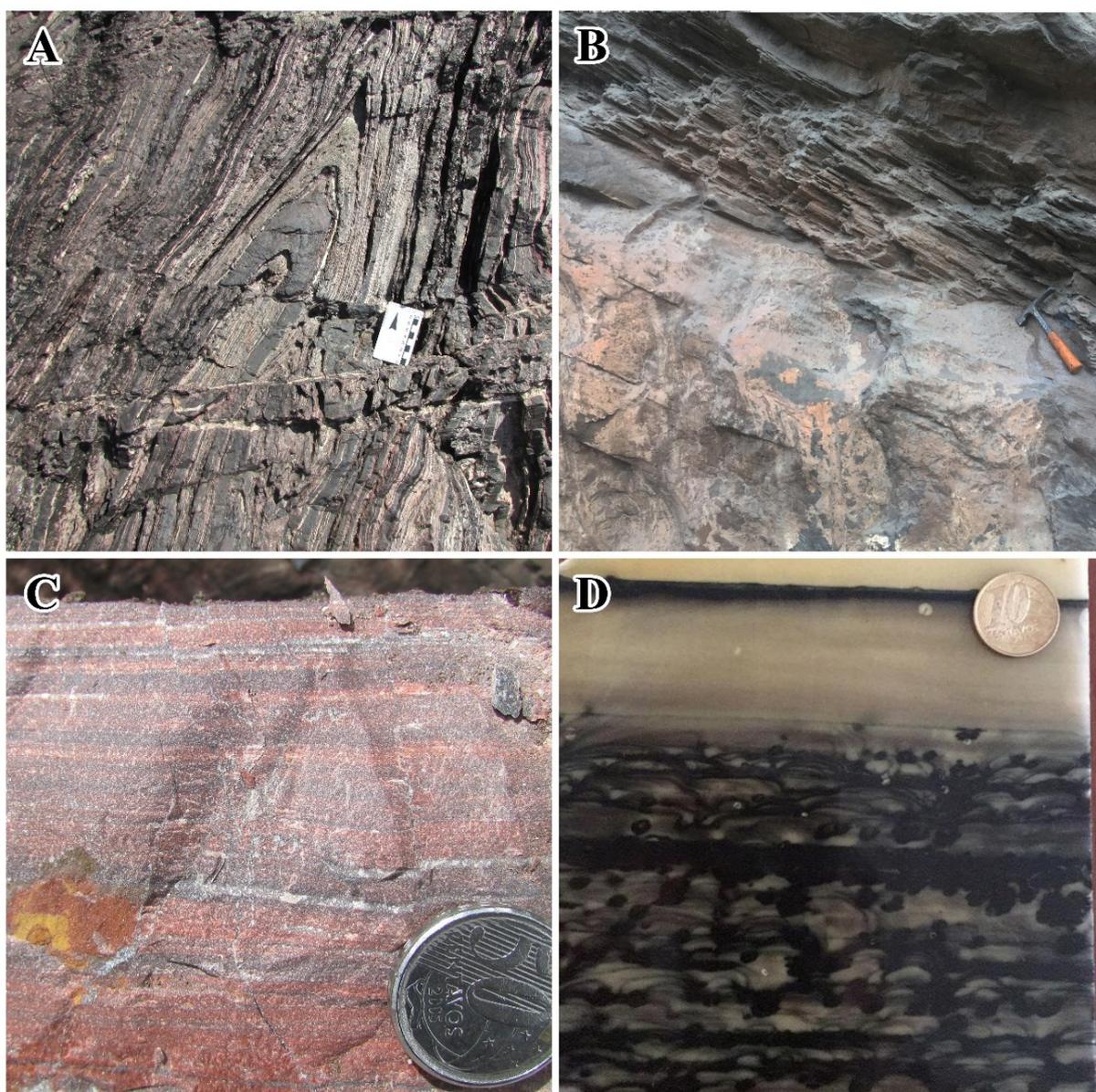


Figure 3. Itabira Group: A) CAU1 facies – itabirite (X=638,416.18; Y=7,807,618.25; Z=1,713 m); B) GDR1 and GDR3 facies – dolomite and dolomitic mudstone (X=643,411.603; Y=7,746,329.701; Z=1,081.6 m); C) GDR1 facies – iron rich dolomite (X=638,900.029; Y=7,781,831.391; Z=1,383.2 m); D) GDR2 facies – microbial mats dolomite hand specimen with well-preserved domal and laterally-linked hemispheroids stromatolites and oncolites (X=638,928.07; Y=7,781,028.66; Z=1,270 m). Coordinates are in UTM and WGS84 datum.

Piracicaba Group

The six sedimentary facies logged for the Cercadinho Fm., the five facies of Fecho do Funil Fm, the two facies of Taboões Fm., and the three facies of Barreiro Fm. are displayed in Table 5 and Figure 4. Dorr II (1969) also describes two rare sedimentary facies in the Cercadinho Fm.: a basal pebble conglomerate (pebbles of itabirite, quartz, and quartzite), and dolomite lenses in the top of the unit. This work's Piracicaba logged facies are conformable with literature's (Dorr II, 1969; Dardenne & Campos Neto, 1975; Cassedanne, 1976; Garcia et al., 1988; Kuchenbecker et al., 2015).

Formation	Facies Code	Facies Description	Sedimentary Processes
Barreiro	BRR3	Yellow rhythmite	Slightly coarser terrigenous input amidst clay settling within marine platform
	BRR2	Carbonaceous mudstone (grey or black)	Marine transgression clay settling with organic input being preserved by reducing conditions
	BRR1	Pink mudstone	Marine transgression and fair-weather clay settling
Taboões	TAB2	Laminated rhythmite (millimetric mudstone-siltstone and very fine sandstone in thin layers)	Subaqueous prodelta sand-silt-clay belt
	TAB1	Fine grained, well sorted, massive or thin laminated quartz sandstone	Deltaic progradation (delta front)
Fecho do Funil	FF5	Carbonaceous mudstones	Silt and clay (with organic input) settling in the continental platform
	FF4	Laminated rhythmite (alternating fine red sandstones and grey claystones with hummocky cross-stratification)	Storm-weather wave sedimentation of distal tempestites
	FF3	Fine to medium grained sandstone with low angle tabular cross-bedding	Wave action in upper or middle shoreface
	FF2	White-dark grey stromatolitic dolomite in lenses	Stromatolitic bioherms in the continental platform
	FF1	Laminated dolomitic mudstone	Silt and clay settling in the continental platform
Cercadinho	CCD6	Laminated rhythmite (alternating red silty sandstone and grey claystone with hummocky cross-stratification)	Storm-weather wave sedimentation of distal tempestites
	CCD5	Medium to coarse grained quartz sandstone with cross-stratification	Storm-weather wave sedimentation of lenticular sand bars (proximal tempestites)
	CCD4	Rounded medium to coarse grained lenticular ferruginous sandstone	
	CCD3	Chloritic shale	Fair-weather or storm wave weather in offshore marine settling
	CCD2	Sericitic ferruginous (very fine grained plates of specularite, hence "silver") shale	
	CCD1	Carbonaceous shale	

Table 5. Piracicaba Group facies and sedimentary processes.



Figure 4. Piracicaba Group: A) CCD1, CCD4, and CCD5 facies – carbonaceous shale, ferruginous sandstone, and quartz sandstone (X=640,038.668; Y=7,741,900.304; Z=1,274.5 m); B) CCD6 facies - rithmite with hummocky cross stratification (X=611,172.722; Y=7,792,421.984; Z=1,107.6 m); C & D) FF2 facies hand specimen – stromatolite (X=636,590.210; Y=7,742,150.558; Z=1,103.0 m); E) FF4 facies – rithmite with hummocky cross stratification (X=612,218.012; Y=7,768,982.647; Z=1,245.2 m); F) FF2 and FF1 facies – dolomite lens within mudstones (X=645,411.412; Y=7,745,965.808; Z=1,145.5 m). Coordinates are in UTM and WGS84 datum.

Sabará Group

The five sedimentary facies logged for the Sabará Group are displayed in Table 6 and Figure 5. All of the authors' field catalogued Sabará Group facies were also previously described by Dorr II, 1969 and Reis *et al.*, 2002.

Group	Facies Code	Facies Description	Sedimentary Processes
-------	-------------	--------------------	-----------------------

Sabará	SAB5	Mud-silt-sand rhythmite, often with high carbonaceous content or laminated fine sand/mudstone	Distal turbidites or low-density turbidite
	SAB4	Sandstone (wacke), often associated with rhythmites	Proximal turbidite: deposited by sand-silt-mud turbidity currents
	SAB3	Laminated mudstone	Distal turbidites or low-density turbidite
	SAB2	Diamictite - mainly granules and small pebbles up to 3 cm of quartzite and mudstone, rare quartzite cobbles or boulders	Subaqueous mud flow: Clasts suspended by cohesive forces provided by a matrix of fluid and fine-grained sediment (silty-clay mixture)
	SAB1	Pebble to cobble orthoconglomerate, with massive or graded bedding	Subaqueous debris flow

Table 6. Sabará Group facies and sedimentary processes.

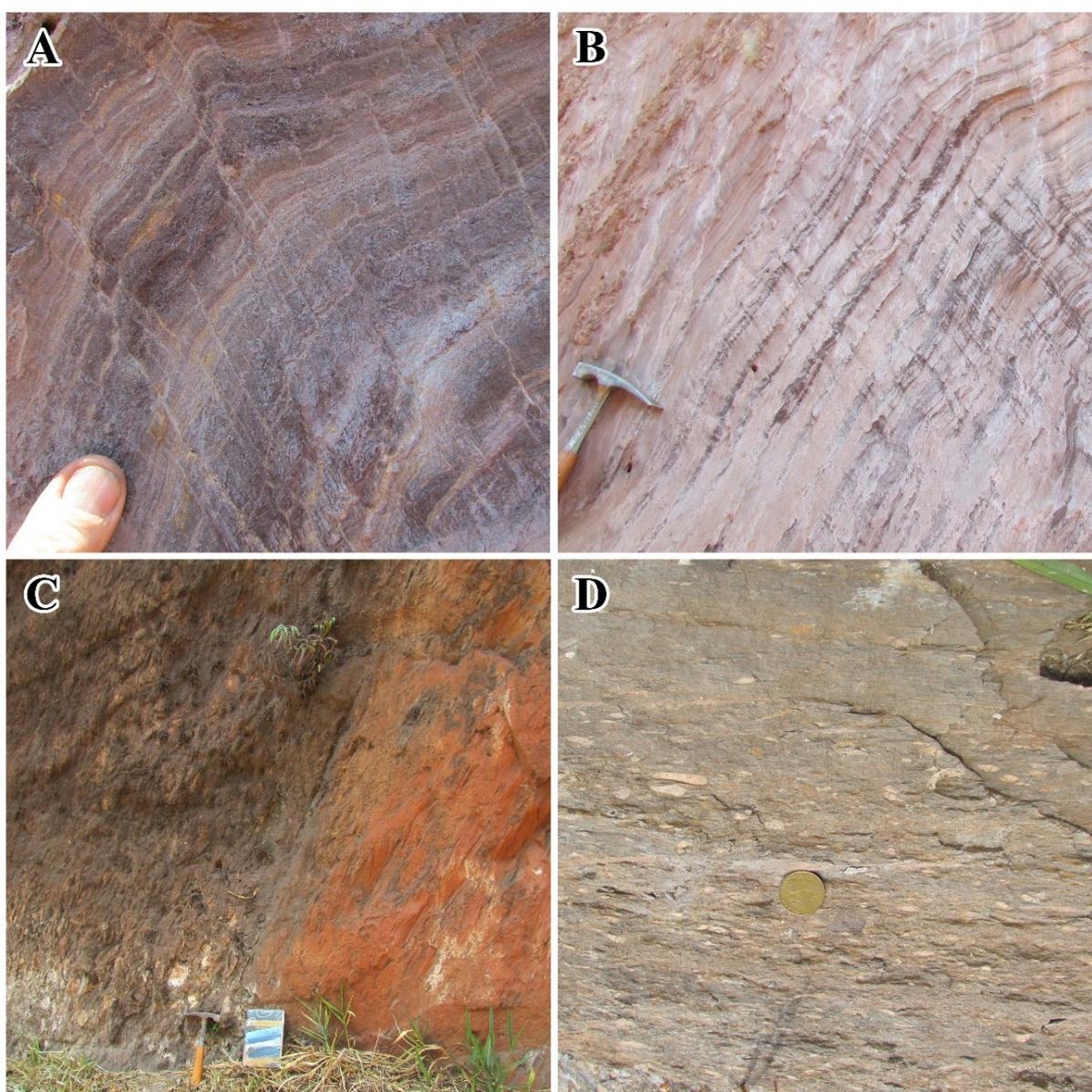


Figure 5. Sabará Group: A) SAB5 facies - very crenulated rhythmite, or distal turbidite (X=655,490.229; Y=7,741,168.287; Z=1,365.5 m); B) SAB3 and SAB5 facies - laminated mudstone and rhythmite, or distal turbidites (X=655,498.996; Y=7,741,106.157; Z=1,384.3 m); C) SAB4 (sandstone / wacke) and SAB2 (diamictite) facies contact (X=655,498.996; Y=7,741,106.157;

Z=1,384.3 m); D) SAB1 gravelly conglomerate with graded bedding, deposited by turbidity currents (X=614,564.714; Y=7,767,873.112; Z=1,241.1 m). Coordinates are in UTM and WGS84 datum.

Itacolomi Group

The six sedimentary facies logged for the Itacolomi Group are displayed in Table 7 and Figure 6. This paper's Itacolomi Group logged facies are conformable with the ones previously described by Alkmim (1987), Duque (2018), and Duque et al. (2020), but the first author also describes an extra sandstone facies (with ripple marks and interbedded mudstone/siltstone flaser beds), of a tidal flat depositional environment in the Serra de Ouro Branco locality.

Group	Facies Code	Facies Description	Sedimentary Processes
Itacolomi	ITA5	Gravelly sandstone with trough cross-bedding	Sinuuous-crested subaqueous dunes
	ITA4	Gravelly sandstone with low angle tabular cross-bedding and tangential foresets	Cross-cutting sand bars in subaqueous dunes (straight crested sandy ripples)
	ITA3	Gravelly sandstone with planar stratification	Plane-bed flow (upper flow regime)
	ITA2	Granule and pebble orthoconglomerate with coarse quartz sand matrix and trough cross-bedding	Longitudinal bars or minor channel fills in braided rivers
	ITA1	Rounded, high sphericity orthoconglomerate (pebbles and cobbles mainly of quartz and quartzite)	Gravitational (debris) flow sedimentation

Table 7. Itacolomi Group facies and sedimentary processes.

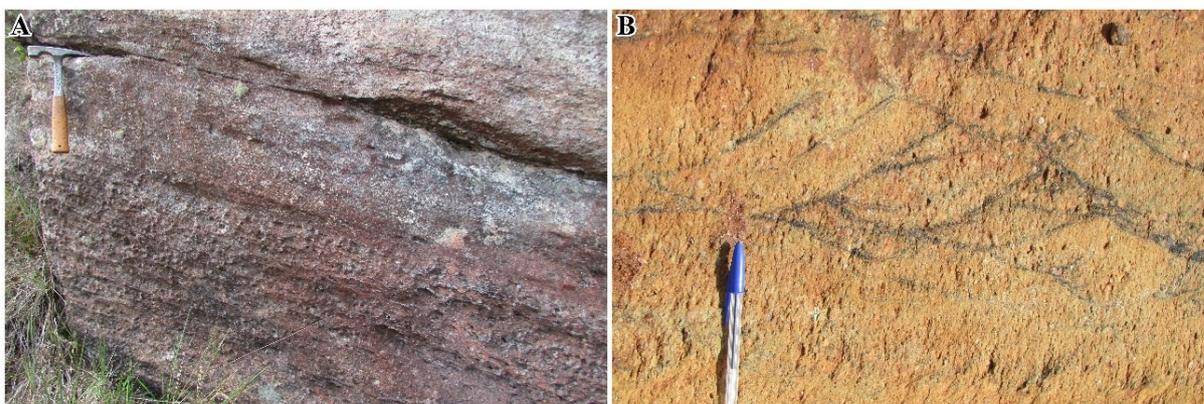


Figure 6. Itacolomi Group: A) ITA3 facies – gravelly sandstone with planar stratification (X=657,277.655; Y=7,739,784.725; Z=1,586.1 m); B) ITA5 facies – gravelly sandstone with trough cross-bedding (X=641,790.022; Y=7,731,895.969; Z=1,322.7 m). Coordinates are in UTM and WGS84 datum.

FROM SEDIMENTARY FACIES TO DEPOSITIONAL SYSTEMS

At the base of the Caraça Group, the Moeda Formation contains layers and lenses of quartz arenites and quartz pebble-cobble conglomerates. The MOE1 and MOE2 facies (polymictic and oligomictic conglomerates) are found with erosional contact with the basement and records an important feature of the atmospheric conditions at the early stages of the Minas basins: detrital pyrite is the evidence for the then reducing atmospheric conditions, otherwise it would have been oxidised to iron

oxides and iron hydroxides. This facies, deposited by debris flow in an alluvial fan (Miall, 2010), also has a certain degree of similarity with the Witwatersrand Au-U bearing conglomerates (Villaça, 1981; Minter et al., 1990; Pires, 2005).

The MOE2, MOE3, MOE4, and MOE5 facies (conglomerates and poorly sorted sandstones) comprise this unit's most abundant set of facies (both in thickness and lateral continuity). MOE2 (oligomictic conglomerate) is made of gravels deposited in longitudinal bars of braided rivers, whilst MOE3, and MOE4 (poorly sorted sandstones with trough or tabular bedding) are deposited by subaqueous dunes (sinuous and straight crested) in braided river environments. The planar-bedded MOE5 sandstone represent the upper flow regime in this fluvial system.

The less-common MOE6, and MOE7 facies, due to the fact that they are laminated siltstone (with minor fine sand inputs) and laminated mudstone respectively, they represent finer sedimentation (clays and silts settling) of river streams/abandoned channels and/or lake environments. Overall, the Moeda Formation is nearly 300 m thick and comprehend both alluvial fan and braided fluvial sedimentation (Miall, 1978; Villaça, 1981; Minter et al., 1990; Renger et al., 1994; Miall, 2010; Madeira, 2018), as depicted in Figure 7. Fine grained, well sorted sandstones, and mudstones that outcrop in the south-east of Iron Quadrangle most likely represent lacustrine sedimentation.

Each palaeocurrent data subset displayed in Figure 7 (from the authors' fieldworks, interpretations of facies lateral variations, and Villaça, 1981) was collected in different geological domains of Quadrilátero Ferrífero (Moeda Syncline, Curral Ridge, and Gandarela Syncline), and they were grouped accordingly. Overall, there were three main directions of sediment flow, from the NE, SE, and WSW.

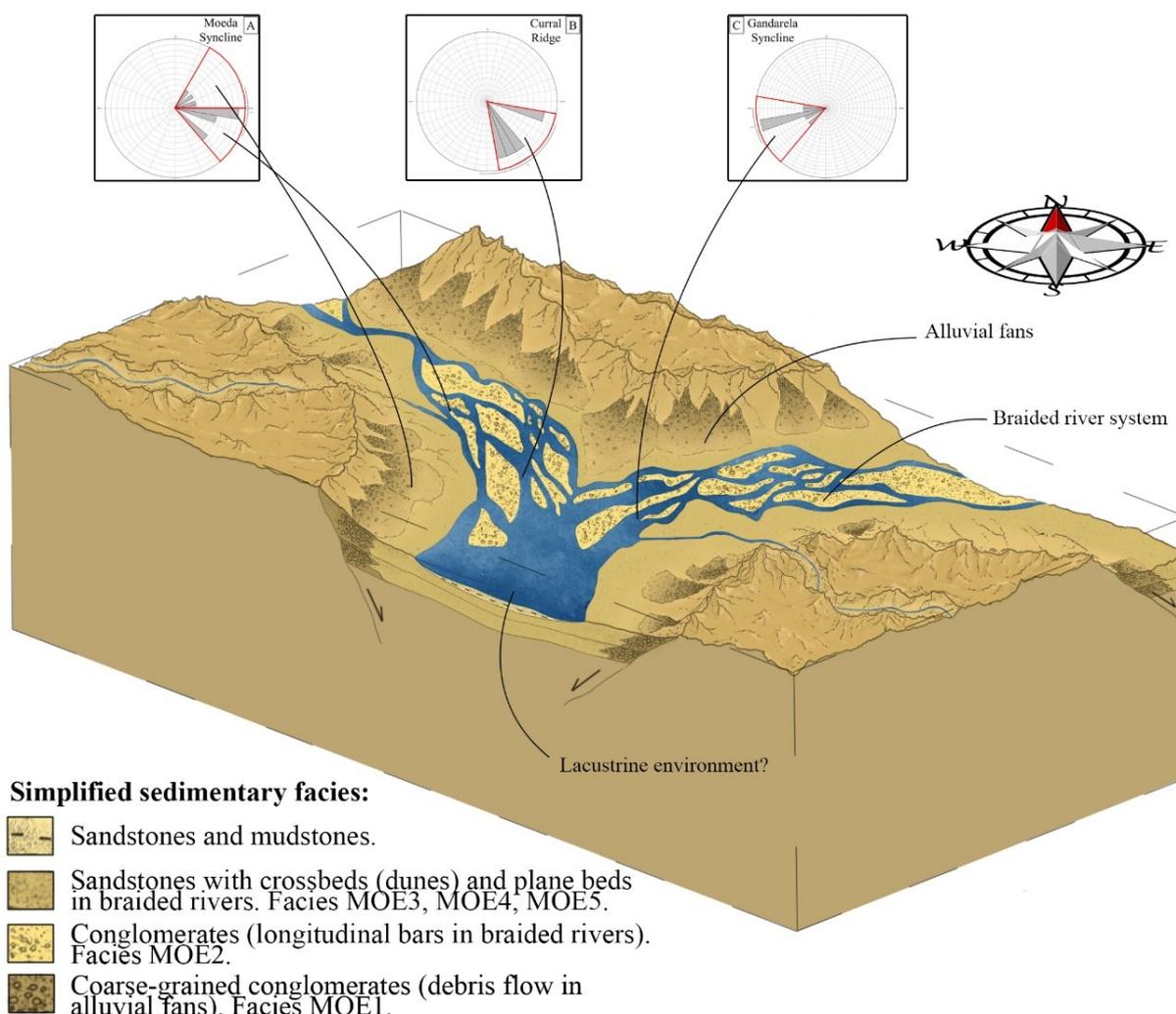


Figure 7. Rift stage of the Minas Basin: Moeda Formation. Compass and rose diagrams indicate sediment flow direction based on current day geographic coordinates (A is from Moeda Syncline; B is from Curral Ridge; C is from Gandarela Syncline). Palaeocurrent data are from the authors' fieldworks, interpretations of facies lateral variations, and Villaça, 1981.

The conformably and, locally, gradationally overlying Batatal Formation contains sericitic and graphitic mudstones, cherts, and banded iron formations. The BTT1 and BTT2 are alternated laminated mudstones facies, varying only in accessory mineral contents: organic content (carbonaceous mudstone) and its absence (sericitic mudstone). Both facies comprise a nearly 200 m thick sequence with great lateral continuity of marine sedimentation with sharp or gradational contact with the Moeda facies set. The less-common BTT3 and BTT4 facies, as originally described by Dorr II, 1969, made of rare quartzite/metachert and itabirites represent small pulses of oxygenation prior to the great oxidation event (GOE) in (as stated before) marine environments. The Caraça Group thus records a rift to passive margin shift in the Minas Basin tectonic regime, being the Moeda Fm., the continental rift sedimentation in gradational contact with the Batatal marine transgression.

The Itabira Group contains the Cauê iron-rich Formation and the overlying Gandarela Formation. The mudstones in the upper few meters of the Batatal Formation are Fe-rich and they grade upwards into the overlying CAU1 facies, which is comprised of banded iron formations (itabirite). This facies is parallel bedded, and mostly homogeneous, which would imply shallow marine (passive margin) conditions for the iron oxides to precipitate and form such a rock fabric. Since it is a Lake Superior-type

BIF (Olivo *et al.*, 1995), its depositional system is interpreted as a continental shelf. This facies, together with the CAU2 mark the oxyatmoverison (great oxidation event) in the Minas Basin, within a 500 m thick iron rich succession. The rare volcanoclastic facies (Dorr II, 1969; Suckau *et al.*, 2005; Cabral *et al.*, 2012) suggests a small volcanism-related input to this marine sedimentation. Differences in the HREE signatures of itabirites suggest that dolomitic itabirites precipitated in shallower waters, receiving sediments from the continent, whilst quartz itabirite precipitated in deeper waters, with hydrothermal contribution (Spier *et al.*, 2007).

The Gandarela Formation has gradational contact with the Cauê Formation and includes dolomites, limestones, dolomitic mudstones (GDR3), dolomitic iron formations (GDR1), and mudstones (Dorr, 1969). Carbonates (GDR2) in the middle part of the Gandarela Formation contain well-preserved domal and laterally-linked hemispheroids stromatolites and oncolites (Souza & Müller, 1984), indicating deposition in high-energy intertidal to shallow subtidal environments (Bekker *et al.*, 2003). The GDR4 (dolorudite) is an intraformational reworking of the carbonates by waves or tides. All of the Gandarela Formation facies show a shallow marine depositional system (carbonate precipitation related). Similarly to the Cauê Formation, the Gandarela Formation also has volcanogenic facies (Dorr II, 1969). In total, the estimated thickness for the Gandarela formation is 500 m.

The Cercadinho Formation has six facies and it lies at an erosional contact with the Itabira Group (Rossignol *et al.*, 2020). The basal pebble conglomerate facies (described by Dorr II, 1969) is found only at the Curral Ridge and is mainly a product of reworking of underlying units (pebbles of itabirites and sandstones). The Cercadinho main facies are the CCD1, CCD2, and CCD3 (carbonaceous, ferruginous, and chloritic shales, respectively). The CCD4 (rounded medium grained ferruginous sandstone) is often found interbedded with the shales of CCD1, CCD2, or CCD3. In a similar geometry, the CCD5 (medium to coarse grained quartz sandstone) is found within the shales (in lenses), as well as the CCD6 facies (laminated rhythmite) does. The latter, found in the Curral Ridge, presents a hummocky cross-stratification, thus indicating a shallower marine environment to the NW of the Quadrilátero Ferrífero with storm activity. A shallower marine sedimentation is also evidenced by the rare dolomite lenses facies (Dorr II, 1969). All of the six facies of this formation are approximately 500 m thick and they are interpreted as a result of marine shelf bars (Garcia *et al.*, 1989) or shelf sand bars sedimentation in the offshore-shoreface transition zone, with lenticular sandstones intercalated with mudstones. Mud and fine sand deposits intercalation or mud beds record several episodes of distal storm or post-storm events. The thin conglomerate may be due to the erosion, as a result of storm waves on the shelf or the influence of deltas with greater erosive power in the coastal environment of the continental shelf.

The FF1 facies is the most common in the Fecho do Funil formation, comprised of laminated dolomitic mudstone. It is often in sharp contact with white/dark gray stromatolitic dolomite in lenses of the FF2 facies. Less commonly, there are a few up to 40 cm beds of FF3 fine to medium grained sandstone with low angle tabular cross-bedding within the FF1 facies. To the top of the formation, there is a layer of FF4 facies (laminated rhythmite: alternating red silty sandstone and gray claystone), a few dozen metres thick, with a hummocky cross-stratification pattern, indicating storm activity in shallow marine context. Another common sedimentary facies of this unit is the FF5, made of thin beds of carbonaceous mudstones, preserved in reducing environments. Overall, the total thickness for Fecho do Funil formation is estimated at approximately 300 m and its depositional system is interpreted as a coastal environment, subtidal,

with carbonaceous and carbonatic pelites and microbial reefs (bioherms) made up by stromatolites that have a wide variety of morphologies (Dardenne & Campos Neto, 1975). It possibly had a low relief source area, with coastal sedimentation of carbonaceous and carbonatic pelites and bioherms in a shallow marine ramp. The whole formation likely represents a regressive cycle with the deeper-water facies at the base (pelites) and upward-shallowing (stromatolite dolomite lenses) trend towards the top (Bekker et al, 2003).

The overlying Taboões Formation (maximum thickness of 120 m) presents the TAB1 facies, and is made of fine grained, very well sorted, laminated quartz sandstone. The other sedimentary facies for this stratigraphic unit is the TAB2, which is also made of a fine-grained terrigenous rock: a rhythmite (alternating siltstone and fine sandstone layers). Both facies can be interpreted as a result of a delta depositional system. To the north, in Curral Ridge, the TAB1 sandstones outcrop, with thicknesses that range from 70 to 150 m, possibly representing delta front facies. In the central region of the QF (Moeda Syncline), the rhythmites and pelites (TAB2) are more representative, approximately 30 metres thick, representing the prodelta facies.

The Barreiro formation is a fairly homogeneous unit, concerning its constituting rock-type, with a maximum thickness of 120 m and made of three alternating BRR1, BRR2, and BRR3 facies: pink mudstone, carbonaceous (gray) mudstone, and yellow rhythmite. The depositional systems interpreted for this unit are the continental shelf (below the wave base).

The depositional systems identified for the sedimentary facies from the Batatal Formation to the Barreiro Formation are all related to a passive margin tectonic regime, as depicted in Figure 8.

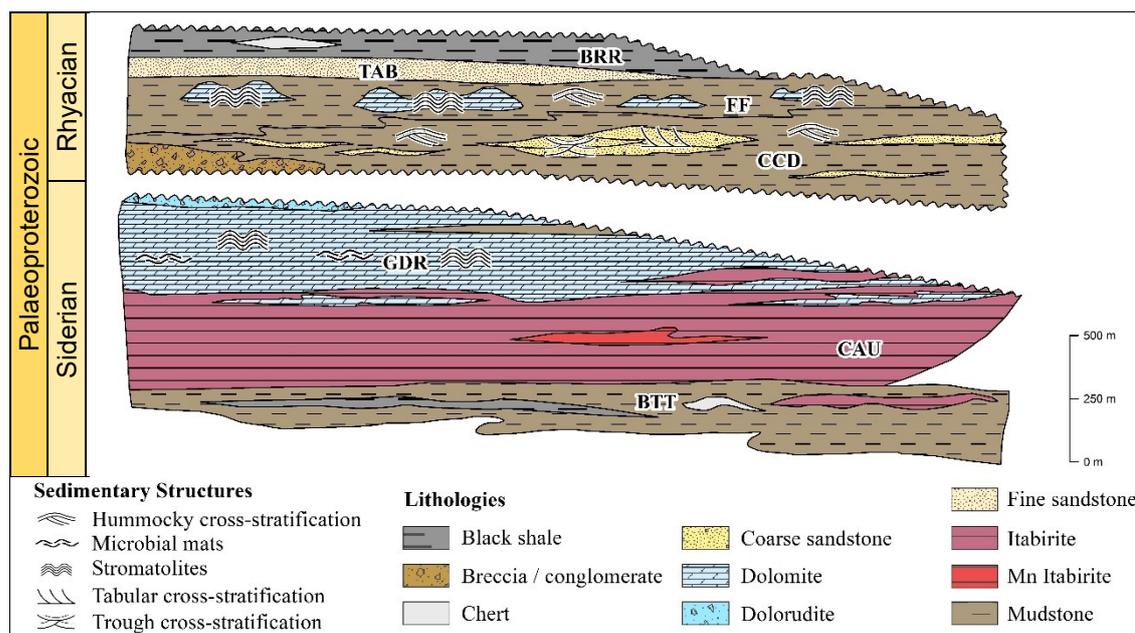


Figure 8. Passive margin sedimentation within Minas Basin. Stratigraphic units: BTT = Batatal Fm.; CAU = Cauê Fm.; GDR = Gandarela Fm.; CCD = Cercadinho Fm.; FF = Fecho do Funil Fm.; TAB = Taboões Fm.; BRR = Barreiro Fm.

The overlying Sabará group, approximately 3500 m thick, has five facies: conglomerates (orthoconglomerate and diamictite), sandstones, laminated and massive pelites. The SAB1 (conglomerate facies) overlies the Piracicaba group with an erosional contact (unconformity) and was deposited by subaqueous debris flow. This facies often gradates towards the SAB2 facies, the diamictite, deposited also by the same sedimentary process (subaqueous debris flow). The SAB3, SAB4, and SAB5 facies were deposited by mass flow and turbidity currents of high and low density, thus representing proximal and distal turbidites. The debris-flow facies are thicker at the base of the group, but they still exist in thinner beds (up to a few metres thick) towards the top. The most abundant facies is the SAB3, the laminated mudstone, deposited by distal turbidity currents, as the interbedded SAB5 (rhythmite, often with high carbonaceous content) facies also was. The SAB4 (wacke) facies was deposited by mass flow/high density turbidity currents, and therefore interpreted as a part of the proximal turbidites. All of the five facies make the submarine fan, with gravitational subaqueous debris flow and turbidite currents depositional system (Reis *et al.*, 2002; Arnott, 2010). Since it lies within a foreland basin (in the foredeep), close to a building orogen, the term flysch applies (as previously interpreted by Dorr II, 1969) (Figure 9).

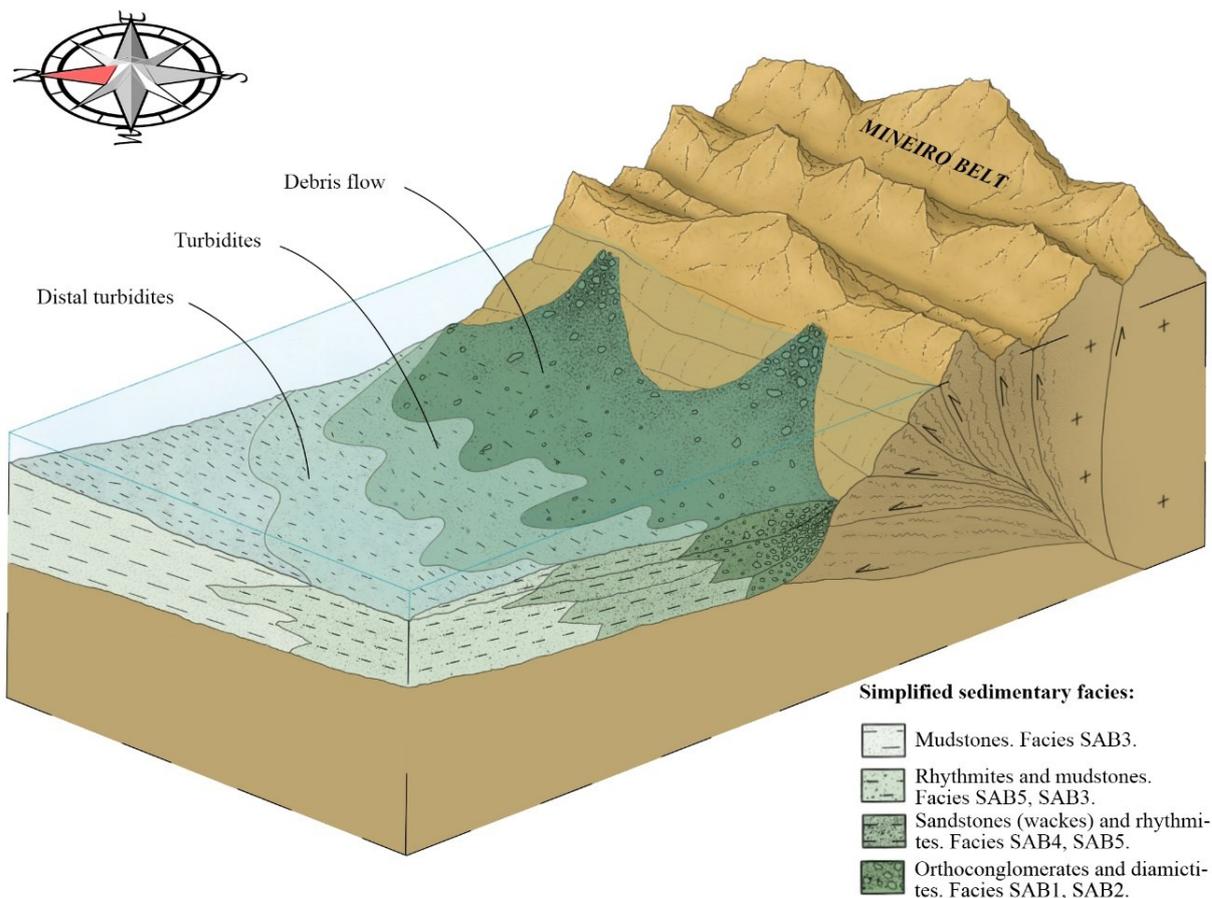


Figure 9. Sabará Group foreland (flysch) sedimentation. Compass indicates sediment flow direction based on current day geographic coordinates.

Lastly, the Itacolomi group (approximately 2000 m thick) is made of six facies. The ITA1 and ITA2, made of orthoconglomerates most likely were made by proximal alluvial fans sedimentation and by gravel-filled longitudinal bars in braided rivers (Miall, 1978; Miall, 2010). The facies ITA3, ITA4, and ITA5, since they are made of gravelly sandstones, a poorly-sorted sedimentary rock with both cross and planar bedding, the facies association allows the interpretation of medial to distal alluvial fans and/or braided stream channels sedimentation (upper flow regime for the planar beds, as well as lower flow regime for the subaqueous dunes and cross-beds). Within the Ouro Branco Ridge, two finer-grained facies (one of which suggesting flaser beds, according to Alkmim, 1987) were identified (ITA6 and ITA7) and are interpreted as the result of tidal flat sedimentation. In summary, this entire succession is related to alluvial and fluvial (braided stream channels) molasse, with subordinate tidal flat depositional systems (Figure 10).

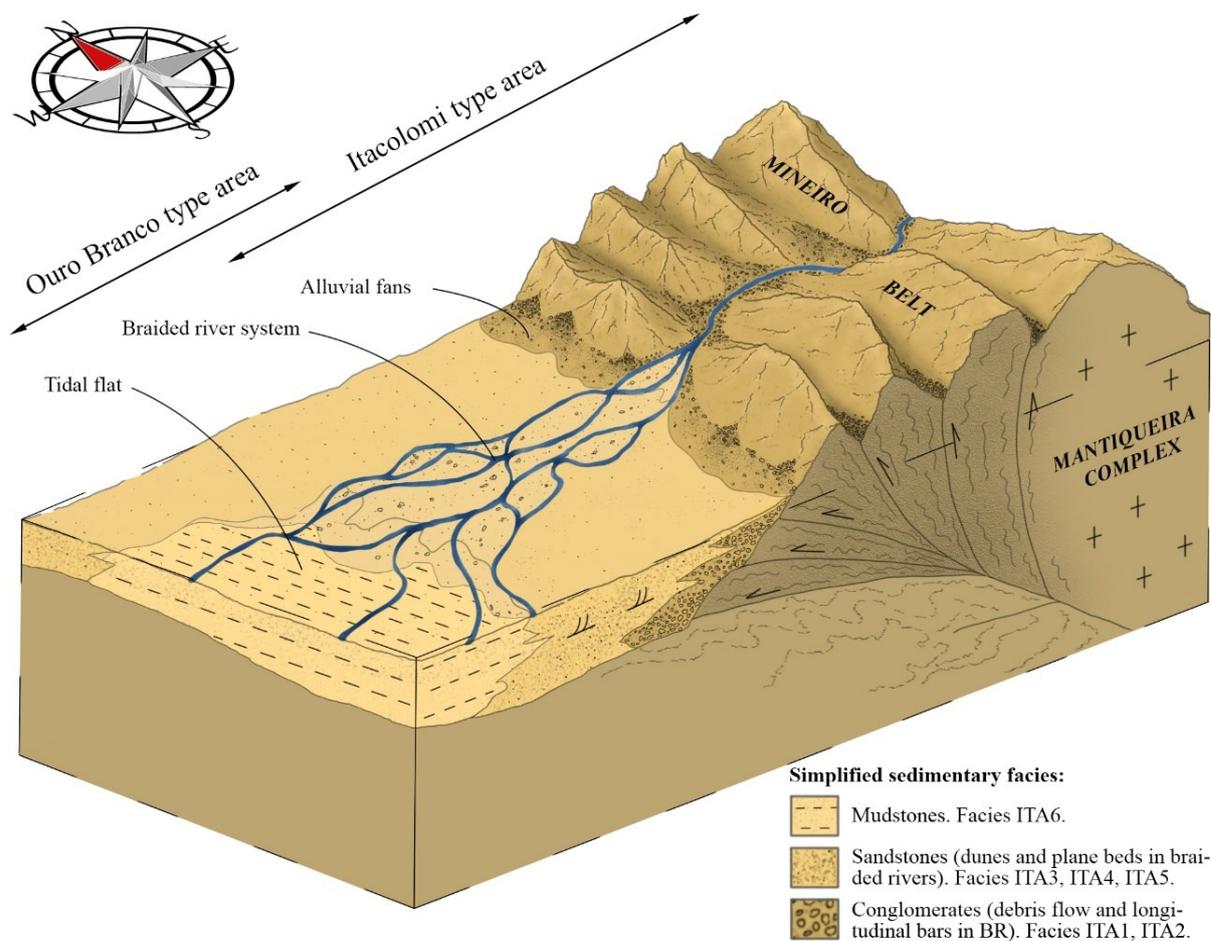


Figure 10. Itacolomi Group foreland (molasse) sedimentation. Compass indicates sediment flow direction based on current day geographic coordinates. BR = Braided Rivers.

SYSTEM TRACTS AND SEQUENCES

The system tracts are defined as the lateral succession of the depositional systems deposited at the same time, which tend to form specific stratigraphic frameworks as the geological history evolves (Catuneanu *et al.*, 2005; Catuneanu, 2006). Those frameworks are the stratigraphic surfaces themselves, made by contemporary or genetically related strata, and some of them mark the limits of the sequences, driven by both the sea-level change and sedimentation rates. The goal of this chapter is to provide an interpretation of the sequence stratigraphic framework of the Minas-Itacolomi Basins.

The Moeda Formation has many alluvial fans and high energy braided river facies (Villaça, 1981; Madeira *et al.*, 2018) (Figure 7). Fine grained, well sorted sandstones and mudstones that outcrop in the central and south-eastern areas of Iron Quadrangle are interpreted as a lacustrine environment (Madeira *et al.*, 2018). Normal faults are inferred, considering the occurrence of thick alluvial fans, and they represent the rift phase (with mechanic subsidence) of the Minas Basin geological evolution. This depositional context is considered as a lowstand system tract (LST), as continental sedimentation predominates within the basin at this time.

The Batatal Formation hosts pelitic facies, and locally, cherts and banded iron formations. It comprises the beginning of a Transgressive System Tract (TST), as the sea level rises, leading the Minas Basin towards a marine platform development. This interpretation makes possible to classify the contact between Moeda and Batatal Formations as the maximum regressive surface (MRS) stratigraphic surface. Sediment input is lessened with the sea-level rise, allowing large scale clay settling (and occasionally, chemical and organic matter precipitation/deposition) in the basin. This Formation has a gradational contact with the overlying Cauê Formation, which is mostly homogeneous, with thick itabirite beds and minor mudstones and carbonate-rich iron formations. Cauê Formation is the continuity of the TST, with further lower rates of terrigenous inputs, and chemical precipitation dominance, where large amounts of Fe^{2+} ions were being oxidised to Fe^{3+} . Hydrothermal submarine contribution was responsible for higher concentrations of Fe^{2+} , as the geochemical studies of Spier *et al.* (2007) suggest.

A maximum flooding surface (MFS) is inferred at the mid portion of Cauê Formation, possibly where the clay/mud and the volcanoclastic beds lie (Dorr II, 1969; Suckau *et al.*, 2005; Cabral *et al.*, 2012), prior to the carbonate-rich iron formations and carbonate beds that represent the transition to Gandarela Formation. Above the MFS, there is a gradual increase of terrigenous input, shifting towards a progradational pattern, with the onset of a slow marine regression, and further shallowing of marine facies. This sedimentary setting comprises the Highstand System Tract (HST), which takes place throughout the entire Gandarela Formation. This stratigraphic unit's facies indicate the existence of both shallow water carbonates (stromatolites and oncolites, Souza & Müller, 1984; Bekker *et al.*, 2003) and deep water carbonates and pelites, thus making a palaeoproterozoic carbonate platform. The first depositional sequence (Sequence 1) of Minas Basin is made by all the four basal formations (Moeda, Batatal, Cauê, and Gandarela), and the three afore mentioned system tracts (LST, TST, HST).

Between the Itabira and Piracicaba Groups, there is an important discordance in the Minas Basin evolution, which probably represent a hiatus of *circa* 50 Ma or less. This event is still little understood, but can be explained by a sea-level fall and consequent erosion of Itabira Group, on the late stages of the HST. According to

Rossignol *et al.* (2020), the discordance is due to the onset of Mineiro Belt Palaeoproterozoic tectonics.

The Piracicaba Group's basal Cercadinho Formation hosts sandstone lenses amidst mudstones, as platform sandbars in the marine environment. They are either amalgamated sandbars (shoreface) or isolated within the pelites of the platform (offshore). Such depositional environment belongs to a TST, with progressive supply reduction. At the base, it is possible to infer a transgressive ravinement surface (TRS), as the sea level rises. Towards the top, the Cercadinho Formation transitions to the Fecho do Funil Formation, with the reduction of sand lenses, and further onset of dolomitic lenses. A maximum flooding surface (MFS) can be inferred at the base of Fecho do Funil Formation prior to the carbonate lenses, where thick (sometimes discontinuous) carbonaceous mudstone beds lie. The upper Fecho do Funil Formation represents a shallowing HST that enabled stromatolitic dolomite lenses and fine grained shoreface sandstones to be formed.

The Taboões Formation's delta front and prodelta facies lie directly over the platform mudstones of Fecho do Funil, which imply an abrupt change in sediment input (progradation increases, and the sea level is even lower, as shoreline moves basinward), characteristic of a LST. This geological contact can be interpreted as a correlative conformity (therefore, an interpreted discordance, since the system tracts shift from a Highstand to a Lowstand), that marks the end of the Sequence 2 (that started in the base of Piracicaba Group). Taboões and Barreiro's contacts are sharp, and as Taboões thins out, Barreiro Formation sometimes overlies directly the Fecho do Funil Formation (another evidence for the correlative conformity interpretation). Barreiro's carbonaceous mudstones and rhythmites are deposited onlapping the Minas Basin, at a Transgressive System Tract (TST), and the unit's upper contact is as erosive one, that ends the Sequence 3.

Sequences 4 and 5 (to be described next) are deposited in a foreland basin (Alkmim & Marshak, 1998; Reis *et al.*, 2002), which requires a different System Tracts classification, if compared to the rift/passive margin (classic) sequence stratigraphy, where base-level changes and sedimentation rates are the main drivers of the stratigraphic framework. In this type of basin (Foreland), the tectonic load and flexural behaviour of the lithosphere play the major roles in stratigraphic control, making the eustasy a secondary agent. For that purpose, different system tract classification is hereby proposed (Figure 11), based on its Underfilled, Filled, and Overfilled stages (Sinclair & Allen, 1992; Crampton & Allen, 1995; Catuneanu, 2004).

The main driver for the stratigraphic framework of a foreland basin is the tectonic load and its flexural consequences in the lithosphere. The derivative of this property (i.e., the tectonic load rate) defines orogenic pulses and periods of quiescence. In addition, the tectonic load is the cause of the lithospheric displacement (function of both orogenic load mass and flexural rigidity of lithosphere), resulting in subsidence when it is positive and uplift when it is negative. The derivative of the lithospheric displacement is the flexural rate, which is directly involved in the accommodation space generation in the basin. Lastly, the sedimentation rate increases with the gradual uplift of the fold-thrust belt, and decreases with its erosion. All of these properties and how they correlate with each other over time creates specific geological conditions for the strata to be arranged. Please see Figure 11 for better comprehension.

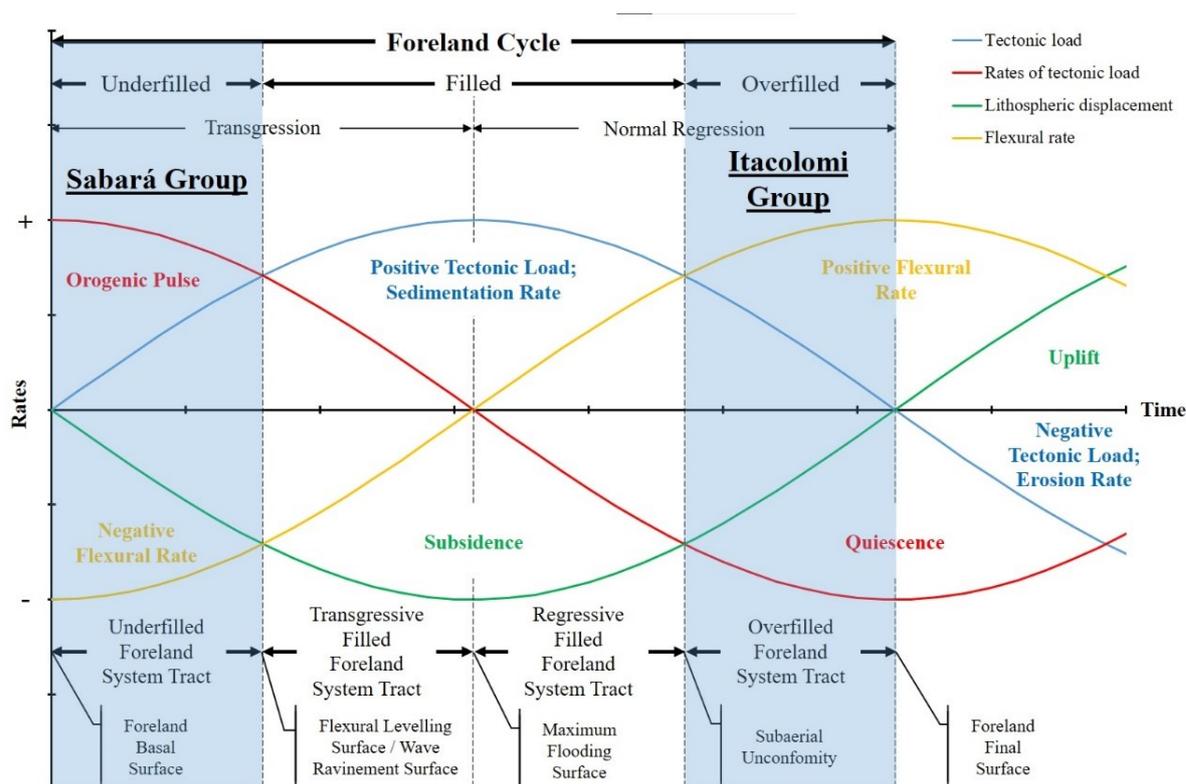


Figure 11. Foreland Basin Sequence Stratigraphy proposition and its application in Sabará and Itacolomi Groups within Minas Basin (Underfilled and Overfilled Foreland, respectively). Based on Sinclair & Allen, 1992; Crampton & Allen, 1995; and Catuneanu, 2004.

The Sabará Group, whose depositional system is comprised of submarine fans, with debris flow, mass flow, and frequent turbidite sedimentation (facies SAB1 to SAB5), the system tract identified is the Underfilled Foreland System Tract (UFST), since it correlates to the period of time when the orogenic pulse was greater than the sedimentation rate. The Itacolomi Group, in its turn, records an Overfilled Foreland System Tract (OFST), since it is mainly comprised of alluvial and fluvial molasse sediments (Alkmim, 1987; Alkmim & Martins Neto, 2012). These sediments were deposited when both the tectonic load and the sedimentation rate were smaller than the flexural rate (i.e., when the accommodation space generation was in its decline, as the orogenic belt carried on being eroded away and the basin, being overfilled). The Filled phase of the foreland cycle was probably eroded away by the onset of the Overfilled stage, as the contact between Sabará and Itacolomi groups is of erosive nature. Moreover, it is in this late stage's nature, to rework some (if not all) of the final marine sediments of the basin, as the initial subsidence gradually diminishes by the isostatic compensation of the fold-thrust belt erosion.

The chronostratigraphic chart for the Minas-Itacolomi basins (Figure 12) summarizes all the results and interpretations from the facies logging.

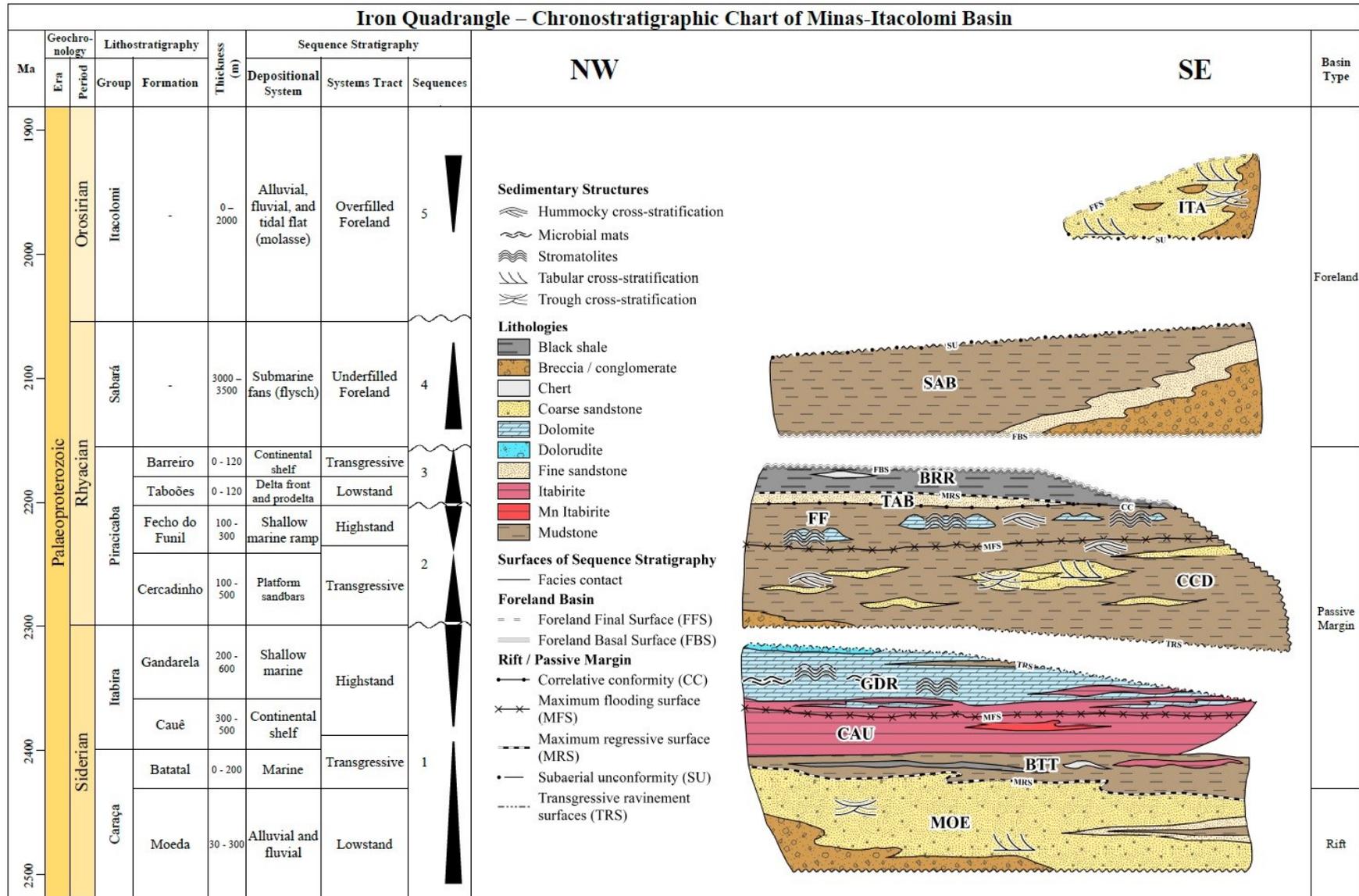


Figure 12. Chronostratigraphic chart of Minas-Itacolomi Basins. Ages for the stratigraphic units are according to Alkmim & Martins Neto, 2012. Black triangles indicate sea-level rise (triangle pointing upwards) and fall (pointing downwards).

SEDIMENTARY PROVENANCE

A statistical analysis (Figure 13) of the detrital zircon U-Pb database (compiled from Machado et al 1992; Machado et al., 1996; Hartmann et al., 2006; Koglin et al., 2014; Jordt-Evangelista et al., 2015; Nunes, 2016; Dopico et al., 2017; Dutra, 2017; Duque, 2018; Dutra et al., 2019) for the Minas-Itacolomi stratigraphic units was carried out, through histograms, Probability Density Plots (PDPs), and adaptive Kernel Density Estimates (KDEs) from the Java-based DensityPlotter program (Vermeesch, 2012). The PDP and histogram from the compilation of all the available Moeda Fm. zircon U-Pb data was not carried out due to the large amount of spots/zircons, (therefore, large Pb207/Pb206 ages dataset, N=1980), which tend to oversmooth the probability density function (Vermeesch, 2012). The KDE was carried out instead, which lead to more reliable results through Provenance R software package (Vermeesch, 2016). Only the zircon ages with 95% or greater degree of concordance were accounted in the plots, with the exception of the ones from Machado et al., 1996, whose concordance degrees were not mentioned in the paper (they still were accounted for in the plots).

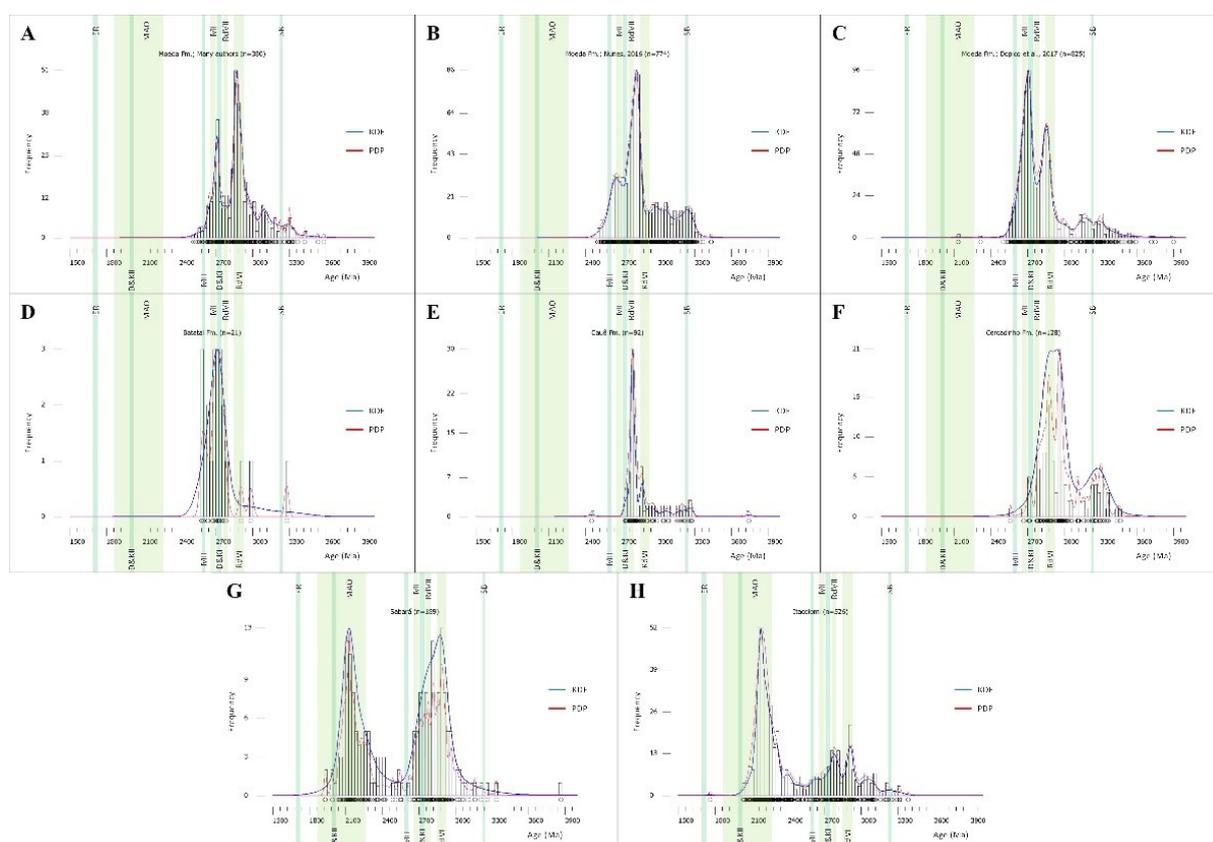


Figure 13. Detrital zircon U-Pb ages statistics: histograms, adaptive Kernel Density Estimates (KDEs), and Probability Density Plots (PDPs). Geological main events: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domes and Keels I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Minas Accretionary Orogeny (Transamazonian); D&KII = Domes and Keels II; ER = Espinhaço Rift. A, B, and C: Moeda Fm, plots from different databases. D: Batatal Fm. E: Cauê Fm. F: Cercadinho Fm. G: Sabará Group. H: Itacolomi Group. Data from Machado et al 1992; Machado et al., 1996; Hartmann et al., 2006; Koglin et al., 2014; Jordt-Evangelista et al., 2015; Nunes, 2016; Dopico et al., 2017; Dutra, 2017; Duque, 2018; Dutra et al., 2019.

The sedimentary provenance for the four stages in the geological evolution of the Minas-Itacolomi Basin is represented in Figure 14. The rift stage (Moeda Fm.) shows at least three modes in its detrital zircon age distribution: the first and of lesser

importance, being simultaneous with Santa Bárbara (SB) pluton emplacement; the second and of larger relative probability, probably related to the Rio das Velhas I event (RdVI); and the last mode lies within the first domes and keels (D&KI) pulse or the Mamona I (MI) event.

The passive margin stage has similar pattern, since it's a logical evolution from the rift stage. The KDE shows a peak at each geological main event of QF from 3 Ga to 2.4 Ga: RdVI, RdVII, D&KI, MI, MII.

Sabará Group zircon U-Pb age distribution showed a bimodal behaviour, with the first peak similar to the passive margin pattern, and the second peak, lying within the Minas Accretionary Orogeny (MAO – Transamazonian, *i.e.*, Mantiqueira Complex – Cutts *et al.*, 2020) age range. This marks the inversion of the Minas-Itacolomi basin, with the reworking of the underlying passive margin sediments, now with a new, younger sediment input, from the adjacent orogeny.

The Itacolomi Group still shows the reworking of the underlying Minas sedimentary rocks, with the Archaean detrital zircon age peaks, but the development of the MAO begins to overprint the detrital zircon age pattern with its own age signature (Palaeoproterozoic), thus developing higher frequency in the histograms.

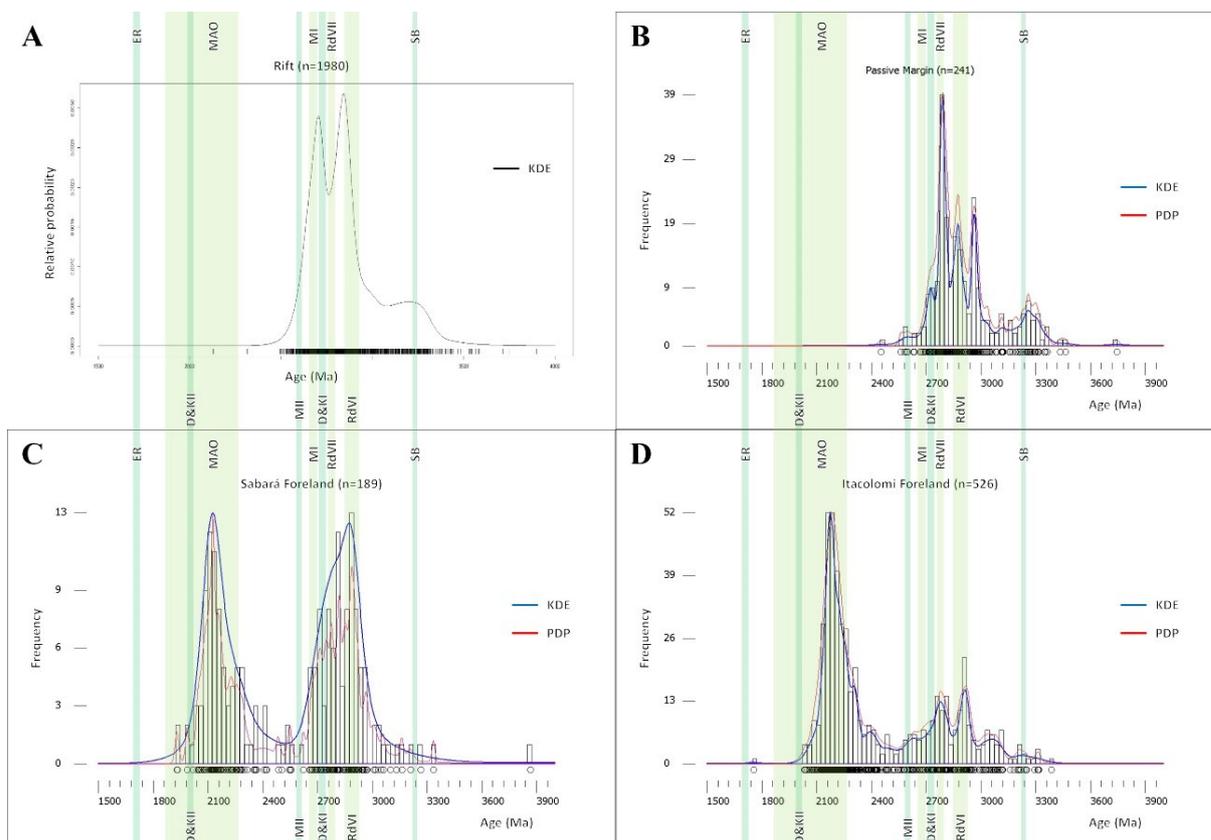


Figure 14. Detrital zircon U-Pb ages statistics: histograms, adaptive Kernel Density Estimates (KDEs), and Probability Density Plots (PDPs). Geological main events: SB = Santa Bárbara; RdVI = Rio das Velhas I; RdVII = Rio das Velhas II; D&KI = Domes and Keels I; MI = Mamona I; MII = Mamona II; MAO = Minas Accretionary Orogeny (Transamazonian); D&KII = Domes and Keels II; ER = Espinhaço Rift. A: Rift basin. B: Passive margin. C: Sabará underfilled foreland basin. D: Itacolomi overfilled foreland basin. Data from Machado *et al* 1992; Machado *et al.*, 1996; Hartmann *et al.*, 2006; Koglin *et al.*, 2014; Jordt-Evangelista *et al.*, 2015; Nunes, 2016; Dopico *et al.*, 2017; Dutra, 2017; Duque, 2018; Dutra *et al.*, 2019.

CONCLUSIONS

Within the Minas-Itacolomi Proterozoic basins, there are 41 sedimentary facies identified, that supported the interpretations of 9 (in a broader sense) depositional systems that repeat over time (e.g., Moeda Formation vs Itacolomi Group alluvial fans and braided rivers). These depositional systems, in their turn, supported the interpretation of 9 system tracts. From these building blocks of sequence stratigraphy, it was possible to interpret that the ca. 8.2 km thick Minas-Itacolomi succession of meta-sedimentary units records at least seven cycles of marine transgressions and regressions within five sequences (*strictu sensu*, separated by discordances and/or correlative conformities).

The first sequence showed reducing atmospheric conditions at the base, shifting to an oxidising atmosphere to the top, with the Great Oxidation Event lying at the Cauê Formation. This sequence began with continental sedimentation of Moeda Formation. Above, the Batatal transgression marks the first marine sedimentation. The transgression carried on until a maximum flooding surface within Cauê Formation, prior to its gradational contact with Gandarela Formation, where the first carbonate beds appeared, evidencing an episode of shallowing of the marine environment.

The second sequence began at the erosive contact (transgressive ravinement surface) of Itabira and Piracicaba Groups and ended at the interpreted correlative conformity between Taboões and Fecho do Funil Formations. The Cercadinho Formation up to 500m thick and mostly pelitic unit is the record of a second transgressive trend, which was followed by the Fecho do Funil highstand system tract with its carbonate lenses, thus indicating another regression. The contact between these two units is a maximum flooding surface as well, similar to Cauê and Gandarela.

The third sequence began with prograding deltas of the Taboões Formation and transgressive systems tract of the Barreiro Formation, with a maximum regressive surface indicating their contacts.

The fourth sequence originated when two cratonic nuclei collided, giving birth to the Minas Accretionary Orogeny. The orogen was responsible for the flexural subsidence (isostatic response) of one of the cratonic nuclei due to its lithostatic load. This basin (Sabará Group) is a good example of a flysch sequence formed in an underfilled foreland (when the orogenic pulse was greater than the sedimentation rate). The Itacolomi sequence (fifth sequence) formed when the accommodation space generation was in its decline, and the orogenic belt carried on being eroded away overfilling the foreland basin with continental sediments.

Sedimentary provenance shifted according to the basin evolution of the Minas-Itacolomi mega-sequence. The rift stage has many palaeovectors with three modes that could suggest a triple junction continental rift. The passive margin shows facies lateral shifts suggesting a depocentre to the SE. All of detrital zircon age spectra for both the rift and passive margin stages show Archaean peaks, coincident with basement magmatic events. From Sabará Group onwards, evidences show the inversion of the basin, probably flowing from SE to NW as the Minas Accretionary Orogeny had a NE-SW trend. This orogeny contributed greatly for the high frequency of Palaeoproterozoic zircon U-Pb ages in the foreland basin sediments.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001. We are grateful for the financial support from IGC/UMFG

Geology Post-Graduate Program Coordination. We thank Prof. Marco Antônio Fonseca (UFOP) for his itinerary tips on Dom Bosco syncline within the Quadrilátero Ferrífero; we thank the senior geologist Marco Aurélio da Costa for his many contributions to the authors (samples, outcrops suggestions, discussions, and bibliography). We also thank the Prof. Gabriel Jubé Uhlein for the sequence stratigraphy discussions and his precious comments. To the geologist Leísa Alvarenga Resende, our thanks for all her aid and pertinent comments while the paper was being written. To the geologists Rafaela Machado, and Gilberto Mendes da Cunha Jr., our thanks for the fieldwork and transmitted light petrography aid. To Dennis Freitas Santos, our thanks for the artwork aid in the 3D block diagrams.

REFERENCES

- Aguilar C., Alkmim F.F., Lana C., Farina F. 2017. Palaeoproterozoic assembly of the São Francisco craton, SE Brazil: New insights from U–Pb titanite and monazite dating. *Precambrian Research*, 289: 95-115.
- Albert, C. 2017. Archean evolution of the southern São Francisco craton (SE Brazil). 2017. 269 f. PhD Thesis. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Alkmim F.F. 1987. Modelo deposicional para a sequência de metassedimentos da Serra de Ouro Branco, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Anais do simpósio sobre sistemas deposicionais no Pré-Cambriano, Ouro Preto. Boletim Nº 6 Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Minas Gerais.
- Alkmim F.F., Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research* 90 (1998) 29–58. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(98\)00032-1](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(98)00032-1)
- Alkmim F.F., Martins-Neto M.A. 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 33:127-139.
- Alkmim F.F., Teixeira W. 2017. The Paleoproterozoic Mineiro Belt and the Quadrilátero Ferrífero. In: Heilbron M., Cordani U., Alkmim F. (eds) *São Francisco Craton, Eastern Brazil. Regional Geology Reviews*. Springer, Cham.
- Almeida L.G., Castro P.T., Endo I., Fonseca M.A. 2005. O Grupo Sabará no Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero: uma revisão estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, n. 2, p. 177-186.
- Angeli G. 2015. Arcabouço estrutural e contribuição à estratigrafia do Grupo Maquiné, Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais. Master of Science Dissertation. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Arnott, R.W. 2010. Deep-Marine Sediments and Sedimentary Systems, In: *Facies Models 4*. James, N.P. & Dalrymple, R.W. *Geotext 6. Canadian Sedimentology*. 295-322 p.
- Baltazar O.F., Zucchetti, M. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the regional setting of gold deposits. *Ore Geology Reviews* 32, 471–499.
- Bekker, A.; Sial, A.; Karhu, J.; Ferreira, V.; Noce, C.; Kaufman, A.; Romano, A.; Pimentel, M. 2003. 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 - AMER J SCI*. 303. 865-904. [10.2475/ajs.303.10.865](https://doi.org/10.2475/ajs.303.10.865).
- Cabral, A.R., Zeh, A., Koglin, N., Seabra Gomes Jr., A.A., Viana, D.J., Lehmann, B., 2012. Dating the Itabira iron formation, Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil, at 2.65 Ga: depositional U-Pb age of zircon from a metavolcanic layer. *Precambrian Res.* 204–205, 40–45.
- Cassedanne, J.; Cassedanne, J. 1976. Les stromatolites colonnaires de la carrière du Cumbe (Série Minas – Brèsil). *Bull. Soc. Géol. France*, 1976, (7), t. XVIII, nº 4, p. 959-965.
- Catuneanu O. 2004. Retroarc foreland systems – evolution through time. *Journal of African Earth Sciences*, Volume 38, Issue 3, Pages 225-242. ISSN 1464-343X. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2004.01.004>.

- Catuneanu O. 2006. Principles of Sequence Stratigraphy. Elsevier, 376 pp.
- Catuneanu O., Martins-Neto M.A., Eriksson P.G. 2005. Precambrian sequence stratigraphy. *Sedimentary Geology* 176, 67–95.
- Catuneanu, O., Galloway, W.E., Kendall, C.G.St.C., Miall, A.D., Posamentier, H.W., Strasser, A., Tucker, M.E., 2011. Sequence stratigraphy: methodology and nomenclature. *Newsletters on Stratigraphy*, v. 44/3, p. 173-245.
- Cawood, P.A., Nemchin, A.A., Freeman, M., Sircombe, K.N., 2003. Linking source and sedimentary basin: detrital zircon record of sediment flux along a modern river system and implications for provenance studies. *Earth Planet Sci. Lett.* 210, 259–268. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00122-5](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00122-5).
- Cawood, P.A., Hawkesworth, C.J., Dhuime, B., 2012. Detrital zircon record and tectonic setting. *Geology* 40, 875–878. <https://doi.org/10.1130/G32945.1>.
- Crampton, S.L.; Allen, P.A. 1995. Recognition of forebulge unconformities associated with early stage foreland basin development: Example from north Alpine foreland basin. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 79, 495–1514.
- Cutts, K.; Lana, C.; Alkmim, F.; Farina, F.; Moreira, H.; Coelho, V. 2019. Metamorphism and exhumation of basement gneiss domes in the Quadrilátero Ferrífero: Two stage dome-and-keel evolution? *Geoscience Frontiers*, Volume 10, Issue 5, 2019, Pages 1765-1787, ISSN 1674-9871, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.02.009>.
- Cutts, K.; Lana, C.; Moreira, H.; Alkmim, F.; Peres, G. 2020. Zircon U-Pb and Lu-Hf record from high-grade complexes within the Mantiqueira Complex: First evidence of juvenile crustal input at 2.4–2.2 Ga and implications for the Palaeoproterozoic evolution of the São Francisco Craton. *Precambrian Research*, Volume 338, March 2020, 105567. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.105567>.
- Dalrymple, R.W. 2010. Interpreting sedimentary successions: facies, facies analysis and facies models. In: *Facies Models 4*. Ed: James, N.P. & Dalrymple, R.W., *Geotext 6*, Canadian Sedimentology, 3-18 p.
- Dardenne, M.A.; Campos Neto, M.C. 1975. Estromatólitos colunares na série Minas (MG). *Revista Brasileira de Geociências* v.5, n.2, jun 1975.
- Dopico C.I.M., Lana C., Moreira H.S., Cassino L.F., Alkmim F.F. 2017. U–Pb ages and Hf-isotope data of detrital zircons from the late Neoproterozoic–Paleoproterozoic Minas Basin, SE Brazil. *Precambrian Research*, 291:143-161. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.01.026>
- Dorr II J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Washington, USGS/DNPM. Professional Paper. 641(A):110 p. <https://doi.org/10.3133/pp641A>
- Duque, T.R.F. 2018. O Grupo Itacolomi em sua área tipo: estratigrafia, estrutura e significado tectônico. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Duque, T.R.F.; Alkmim, F.F.; Lana, C.C. 2020. Grãos detríticos de zircão do Grupo Itacolomi em sua área tipo, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: idades, proveniência e significado tectônico. *Geologia USP. Série Científica*, 20(1), 101-123. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v20-151397>.
- Dutra, L.F. 2017. Caracterização geocronológica U-Th-Pb de zircões detríticos na porção nordeste do sinclinal Gandarela – implicações para evolução sedimentar e geotectônica do Quadrilátero Ferrífero. Dissertation, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 100 p.

Dutra L.F., Martins M., Lana C. 2019. 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*, 49(2), e20180095. <https://dx.doi.org/10.1590/2317-4889201920180095>.

Endo I., Machado R. 2002. Reavaliação e Novos Dados Geocronológicos (Pb/Pb e K/Ar) da Região do Quadrilátero Ferrífero e Adjacências. *Série Científica*, 2: 23-40.

Farina F., Albert C., Lana C. 2015. The Neoproterozoic transition between medium and high-K granitoids: clues from the Southern São Francisco Craton (Brazil). *Precambrian Res.*, 266:375–394.

Farina F., Albert C., Martínez Dopico C., Aguilar Gil C., Moreira H., Hippertt J.P., Cutts K., Alkmim F.F, Lana C. 2016. The Archean–Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): Current models and open questions, *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 68, Pages 4-21.

Garcia, A.J.V.; Fonseca, M.A.; Bernardi, A.V.; Januzzi, A. 1988. Contribuição ao reconhecimento dos paleoambientes deposicionais do Grupo Piracicaba na região de Dom Bosco, SW de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero. *Acta Geol Leopoldensia*, 27, 83-108.

Guild P.W. 1957. Geology and mineral resources of the Congonhas district, Minas Gerais, Brazil: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 290, 90 p.

Hartmann L.A., Endo I., Suita M.T.F., Santos J.O.S., Frantz J.C., Carneiro M.A., McNaughton N.J., Barley M.E. 2006. Provenance and age delimitation of Quadrilátero Ferrífero sandstones based on zircon U–Pb isotopes. *Journal of South American Earth Sciences* 20: 273–285.

Koglin N, Zeh A., Cabral A.R., Gomes A.A.S., Corrêa Neto A.V., Brunetto W.J., Galbiatti H. 2014. Depositional age and sediment source of the auriferous Moeda Formation, Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil: New constraints from U–Pb–Hf isotopes in zircon and xenotime. *Precambrian Research* 255(1): 96-108. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2014.09.010>

Kuchenbecker, M.; Fantinel, L.M.; Fairchild, T.R.; Rohn, R. 2015. Microbialitos da Formação Fecho do Funil (Paleoproterozoico) na Pedreira Cumbi, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: Fairchild, T.R; Rohn, R.; Dias-Brito, D. 2015. *Microbialitos do Brasil do Pré-Cambriano ao Recente*. UM ATLAS. UNESPetro, Obra 2, Capítulo 5.

Ladeira E.A. 1980. Metallogenesis of gold at the Morro Velho Mine and in the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. University of Western Ontario, Ph.D. thesis, 272 p.

Ladeira, E.A. 1988. Metalogenia dos depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: Schobbenhaus, C. & Coelho, C.E.S. *Coords. Principais depósitos minerais do Brasil*, Volume III. Metais básicos não-ferrosos, ouro e alumínio. Brasília, DNPM, p. 301-375.

Lana C., Alkmim F. F., Armstrong R., Scholz R., Romano R., Nalini Jr. H. A. 2013. The ancestry and magmatic evolution of Archean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. *Precambrian Res.*, 231:157–173.

Lobato L.M., Ribeiro Rodrigues L.C., Zucchetti M., Baltazar O.F. 2000. Geology and gold mineralization in the Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil). In: 31^o International Geological Congress. Field Trip Guide, 40 p.

Lobato L.M., Baltazar O.F., Reis L.B., Achtschin A.B., Baars F.J., Timbó M.A., Berni G.V., Mendonça B.R.V., Ferreira D. 2005. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Belo Horizonte, 68 p.

Lobato L.M., Rodrigues L.C.R., Vieira F.W.V. 2001. Brazil's premier gold province. Part II: geology and genesis of gold deposits in the Archaean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. *Mineralium Deposita* v. 36, n.3/4, p. 249-277.

Lobato, L.M.; Costa, M.A.; Hagemann, S.G.; Martins, R. 2016. Ouro no Brasil: principais depósitos, produção e perspectivas. In: Melfi, A.J.; Misi, A.; Campos, D.A.; Cordani, U.G. (org.). 2016. Recursos Minerais no Brasil, problemas e desafios. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. 420 p. ISBN: 978-85-85761-40-0.

Lobato, L.M.; Costa, M.A. 2018. Recursos Minerais de Minas Gerais – Ouro. In: Pedrosa-Soares, A.C.; Voll, E.; Cunha, E.C. (coord.). Recursos Minerais de Minas Gerais On Line: Síntese do conhecimento sobre as riquezas minerais, história geológica, meio ambiente e mineração de Minas Gerais. Belo Horizonte: Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE). <http://recursomineralmg.codemge.com.br/>.

Machado, N., Noce, C.M., Ladeira, E.A., de Oliveira, O.A.B., 1992. U-Pb geochronology of the Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Craton, Brazil. *Geol. Soc. Am. Bull.* 104, 1221-1227.

Machado N., Schrank A., Noce C.M., Gauthier G. 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: Implications for Greenstone Belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth and Planetary Science Letters* 141: 259-276.

Madeira, M.R. 2018. 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. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto.

Madeira, M.R.; Martins, M.S.; Martins, G.P.; Alkmim, F.F. 2018. Caracterização faciológica e evolução sedimentar da Formação Moeda (Supergrupo Minas) na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Geol. USP, Sér. cient.*, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 12-148, Setembro 2019. DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v19-148467.

Maheshwari A., Sial A.N., Gaucher C., Bossi J., Bekker A., Ferreira V.P., Romano A.W. 2010. Global nature of the Paleoproterozoic Lomagundi carbon isotope excursion: A review of occurrences in Brazil, India, and Uruguay. *Precambrian Research* 182, 274–299.

Mendes M.C.O., Lobato L.M., Suckau V., Lana C. 2014. In situ LA-ICPMS U-Pb dating of detrital zircons from the Cercadinho Formation, Minas Supergroup. *Revista do Instituto de Geociências – USP: Geol. USP, Sér. cient.*, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 5-68. <http://dx.doi.org/10.5327/Z1519-874X201400010004>

Miall, A.D. 1978. Lithofacies Types and Vertical Profile Models in Braided River Deposits: A Summary. In: Miall, A.D., Ed., *Fluvial Sedimentology*, Memoir 5, Canadian Society of Petroleum Geologists, Calgary, 597-604.

Miall, A.D., 2010. Alluvial Deposits. In: *Facies Models 4*. Eds: James, N.P.; Dalrymple, R.W. *Geotext* 6. Canadian Sedimentology, 105 – 137 p.

Minter, W.E.L.; Renger, F.E.; Siegers, A. 1990. Early Proterozoic Gold Placers of the Moeda Formation within the Gandarela Syncline, Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology* Vol. 85, 1990, pp. 943-951.

NASA LP DAAC. 2016. SRTMGL1: NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second V003 (S19W048.SRTMGL1 e S19W047.SRTMGL1). Version 3. NASA Making Earth System Data Records for Use in Research Environments (MEaSURES), Land Processes DAAC, USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (<https://lpdaac.usgs.gov>). Michael Kobrick, Robert Crippen. <http://dx.doi.org/10.5067/MEaSURES/SRTM/SRTMGL1.003>.

- Nichols, G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*, Second Edition, Wiley Blackwell, 419 p.
- Noce C.M. 2000. Geochronology of the Quadrilátero Ferrífero: a review. *Geonomos* 8(1):15-23. <http://dx.doi.org/10.18285/geonomos.v8i1.144>
- Noce C.M., Pinheiro S.O., Ladeira E.A., Franca C.R., Kattah S. 1992. A sequência vulcanossedimentar do Grupo Nova Lima na região de Piedade Do Paraopeba, borda oeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(2):175-183.
- Noce, C.M., Zucchetti, M., Baltazar, O.F., Armstrong, R., Dantas, E.L., Renger, F.E., Lobato, L.M., 2005. Age of felsic volcanism and the role of ancient continental crust in the evolution of the Neoproterozoic Rio das Velhas greenstone belt (Quadrilátero Ferrífero, Brazil): U-Pb zircon dating of volcanoclastic graywackes. *Precambrian Res.* 141, 67-82.
- Nogueira L.B. 2018. Estudo geoquímico e isotópico de rochas carbonáticas das formações Gandarela e Fecho do Funil - Quadrilátero Ferrífero - Brasil. PhD Thesis, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Nunes F.S. 2016. 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. Master of Science Dissertation. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Olivo G.R., Gauthier M., Bardoux M., Leão de Sá E., Fonseca J.T.F., Santana F.C. 1995. Palladium-bearing gold deposit hosted by Proterozoic Lake Superior – type iron formation at the Cauê Iron mine, Itabira District, Southern São Francisco Craton, Brazil: geologic and structural control. *Econ. Geol.* 90: 118 – 134.
- Pinto C.P. 2014. Mapa geológico de Minas Gerais, Belo Horizonte, Codemig, Governo de Minas, CPRM, Secretaria de Geologia, Mineração e Transporte Mineral, Ministério das Minas e Energia.
- Pires, P.F.R. 2005. Gênese dos depósitos auríferos em metaconglomerados da Formação Moeda, Quadrilátero Ferrífero, MG: O papel do metamorfismo e associação com a matéria carbonosa. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas.
- Reis, L.A.; Neto, M.A.M; Gomes, N.S.; Endo, I.; Evangelista, H.J. 2002. A Bacia de Antepaís Paleoproterozóica Sabará, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.*, 32:27-42.
- Renger F.E., Noce C.M., Romano A.W., Machado N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos* 2(1):1-11.
- Romano R., Lana C., Alkmim F. F., Stevens G., Armstrong R. 2013. Stabilization of the southern portion of the São Francisco Craton, SE Brazil, through a long-lived period of potassic magmatism. *Precambrian Res.*, 224:143–159.
- Rosière C.A., Chemale Jr. F. 2000. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero – Uma visão geral e discussão. *GEONOMOS* 8 (2): 27-43.
- Rossignol, C.; Lana, C.; Alkmim, F. 2020. Geodynamic evolution of the Minas Basin, southern São Francisco Craton (Brazil), during the early Paleoproterozoic: Climate or tectonic? *Journal of South American Earth Sciences*, 102628. doi:10.1016/j.jsames.2020.102628
- Sanglard J.C.D., Rosière C.A., Santos J.O.S., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2014. A estrutura do segmento oeste da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, e o controle tectônico das acumulações compactas de alto teor em Fe. *Geologia USP Série Científica*, 14(1):81-95. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X201400010006>.

Sial A.N., Ferreira V.P., Almeida A.R., Romano A.W., Parente C.V., Costa M.L., Santos V.H. Carbon isotope fluctuations in Precambrian carbonate sequences of several localities in Brazil. *An. Acad. Bras. Ci.*, (2000) 72 (4).

Silva A.M., Chemale Jr. F., Kuyumjian R. M., Heaman L. 1995. Mafic dike swarms of Quadrilátero Ferrífero and Southern Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. *Rev. Bras. Geociências*, 25(2): 124-137.

Sinclair, H.D.; Allen, P.A. 1992. Vertical versus horizontal motions in the Alpine orogenic wedge: stratigraphic response in the foreland basin. *Basin Res.* 4, 215–232.

Souza P.C., Müller, G. 1984. Primeiras estruturas algais comprovadas na Formação Gandarela, Quadrilátero Ferrífero. *Revista da Escola de Minas*, v. 37, n. 2, p. 13-21.

Spier, C.A.; Oliveira, S.M.B.; Sial, A.N.; Rios, F.J. 2007. Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, 152, p. 170-206, 2007.

Teixeira W., Ávila C.A., Dussin I.A., Corrêa Neto, A.V., Bongioiolo, E.M., Santos J.O., Barbosa N.S. 2015. A juvenile accretion episode (2.35–2.32 Ga) in the Mineiro belt and its role to the Minas accretionary orogeny: Zircon U–Pb–Hf and geochemical evidences. *Precambrian Res.*, 256:148-169.

Vermeesch, P. 2012. On the visualisation of detrital age distributions. *Chemical Geology*. s 312–313. 190–194. [10.1016/j.chemgeo.2012.04.021](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.04.021).

Vermeesch, P.; Resentini, A.; Garzanti, E. 2016. An R package for statistical provenance analysis. *Sedimentary Geology*. 336. [10.1016/j.sedgeo.2016.01.009](https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.01.009).

Vial D.S., Groves D.I., Cook N.J., Lobato L.M. (eds.). 2007. Preface - Special issue on gold deposits of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Ore Geology Reviews*, 32(3-4):469-470. DOI: [10.1016/j.oregeorev.2006.11.006](https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.11.006).

Villaça J.N. 1981. Alguns aspectos sedimentares da Formação Moeda. *Boletim Nº 2 Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Minas Gerais*.

Villaça, J.N., Moura, L.A.M. 1985. O urânio e o ouro da Formação Moeda, Minas Gerais. In: Schobbenhaus, C., Coelho, C.E.S. (coords.), *Principais Depósitos Mineraiis do Brasil, DNPM-CVRD*, v. I, p.177-187.