

ESTRATIGRAFIA DE DEPÓSITOS CENOZÓICOS NA REGIÃO DE ITABIRITO, QUADRILATERO FERRIFERO

Rodrigo Santos¹; Carlos Salmena²; Daniel Gradim³

Resumo –A identificação de depósitos sedimentares cenozoicos tem crescido, consistindo em sedimentos provenientes do retrabalhamento de rochas proterozóicas e arqueanas. Esses sedimentos se apresentam como um solo alóctone de coloração marrom avermelhado, com fácies que vão de argila maciça homogênea a fácies contendo blocos e matacões. Na parte superficial, o material pode estar laterizado, formando canga laterítica, composta por fragmentos de formação ferrífera. A deposição da bacia está ligada a falhamentos normais neotectônicos, formando um sistema de horsts e grabens, onde os grabens são preenchidos por sedimentos cenozoicos. A reativação das falhas influencia os ciclos de deposição, e a variação de fácies sugere deposições em diferentes pulsos de reativação. Estudos diversos têm evidenciado a tectônica cenozoica em depósitos recentes, com controles estruturais significativos e espessuras notáveis. Vale ressaltar a importância de um melhor entendimento geológico-geotécnico desses depósitos, pois podem fazer parte da fundação de estruturas ligadas a mineração, tais como pilhas e barragens.

Abstract – The identification of Cenozoic sedimentary deposits has been increasing, consisting of sediments derived from the reworking of Proterozoic and Archean rocks. These sediments are present as an allochthonous soil with a reddish-brown coloration, exhibiting facies that range from homogeneous massive clay to facies containing blocks and boulders. At the surface, the material may be lateritized, forming lateritic ironstone composed of fragments of iron formation. The deposition within the basin is associated with neotectonic normal faulting, creating a system of horsts and grabens, where the grabens are filled with Cenozoic sediments. The reactivation of the faults influences the deposition cycles, and the variation in facies suggests deposition during different pulses of reactivation. Various studies have highlighted Cenozoic tectonics in recent deposits, with significant structural controls and notable thicknesses. It is crucial to emphasize the importance of a better geological-geotechnical understanding of these deposits, as they may be integral to the foundations of mining-related structures, such as heaps and dams.

Palavras-Chave – Depósitos cenozoicos; parâmetros geotécnicos; estratigrafia.

¹ Geól., Esp. em Engenharia Geotécnica, PUC-MG. GEOESTAVEL CONSULTORIA E PROJETOS: Belo Horizonte - MG, (31) 98599-2885, rodrigoss2690@gmail.com

² Geól., Esp. em Engenharia Geotécnica, PUC-MG. GEOESTAVEL CONSULTORIA E PROJETOS: Belo Horizonte - MG, (11) 98181-1771, carlos.salmena@gmail.com

³ Geól., Esp. em Engenharia Geotécnica, PUC-MG. GEOESTAVEL CONSULTORIA E PROJETOS: Belo Horizonte - MG, (31) 99145-9403, daniel.gradim@geoestavel.com.br

1. INTRODUÇÃO

Com a evolução dos mapeamentos em escalas cada vez maiores e de investigações de sondagem para projetos geotécnicos na região do quadrilátero ferrífero estão sendo identificados depósitos sedimentares cenozoicos com espessuras relativamente consideráveis. Tais depósitos se encontram encaixados ao longo de vertentes e talvegues e são resultantes de retrabalhamento das rochas proterozóicas e arqueanas adjacentes.

Na região do município de Itabirito, nas adjacências do Pico Itabirito, foi constatada a existência de uma bacia sedimentar por meio de investigações de sondagem e mapeamento geológico – geotécnico, para embasar um estudo de implantação de uma futura estrutura geotécnica de mineração. Tal depósito possui extensão lateral e profundidade máxima ainda indeterminadas por falta de dados diretos e indiretos, porém sabe-se que tem ao menos 0,18 km² de extensão e mais de 110 metros de espessura.

Este artigo indica as características de fácies sedimentares identificadas na região, caracterizando sua variabilidade granulométrica e textural além de estimativas de competência, através de ensaios Nspt (Standard Penetration Test). Isso contribuirá com o avanço no conhecimento dessas unidades, permitindo que essas informações possam ser tomadas de referência para tomadas de decisões das próximas etapas do estudo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

O cenário geológico regional que se segue ressalta as particularidades dos depósitos cenozoicos já identificados na área do Sinclinal Moeda. Esse levantamento cria um histórico de conhecimento sobre essas unidades sedimentares, permitindo um aprofundamento na compreensão dos tipos de sedimentos e sua estratigrafia. O depósito sedimentar foi analisado por meio afloramentos e amostras de sondagem.

2.1. Aspectos geológicos regionais

A área de estudo se encontra próximo à porção central do Quadrilátero Ferrífero (QFe), na aba invertida do Sinclinal Moeda e expõe rochas dos grupos Itabira (unidade formada por sedimentação essencialmente química) e Piracicaba, composto por rochas metassedimentares de natureza marinha e deltaica (Dorr 1969).

O Quadrilátero Ferrífero apresenta seis grandes unidades litoestratigráficas: Embasamento Cristalino, formado pelos terrenos graníticos-gnáissicos (TTGs); Supergrupo Rio das Velhas; Supergrupo Minas; Supergrupo Estrada Real; Suíte Intrusiva; e, de forma mais restrita, as coberturas Sedimentares Cenozóicas (Figura 1).

Do ponto de vista da geologia estrutural a área de estudo se localiza no flanco leste do Sinclinal Moeda. O Sinclinal Moeda é uma dobra regional sinformal, cuja charneira tem orientação preferencial NW-SE na porção norte e NE-SW, na porção sul, contendo em seu interior, todas as unidades do Supergrupo Minas exceto o Grupo Itacolômi. A área é caracterizada por apresentar dobramentos mesoscópicos e falhas superpostos ao dobramento sinformal. Enquanto o flanco oeste apresenta mergulhos moderados para leste, o flanco leste apresenta altos mergulhos com estratigrafia por vezes invertida (Endo et al., 2020). A leste da área de estudo, uma falha de empurrão posiciona rocha do Supergrupo Rio das Velhas sobre rochas mais recentes do Supergrupo Minas.

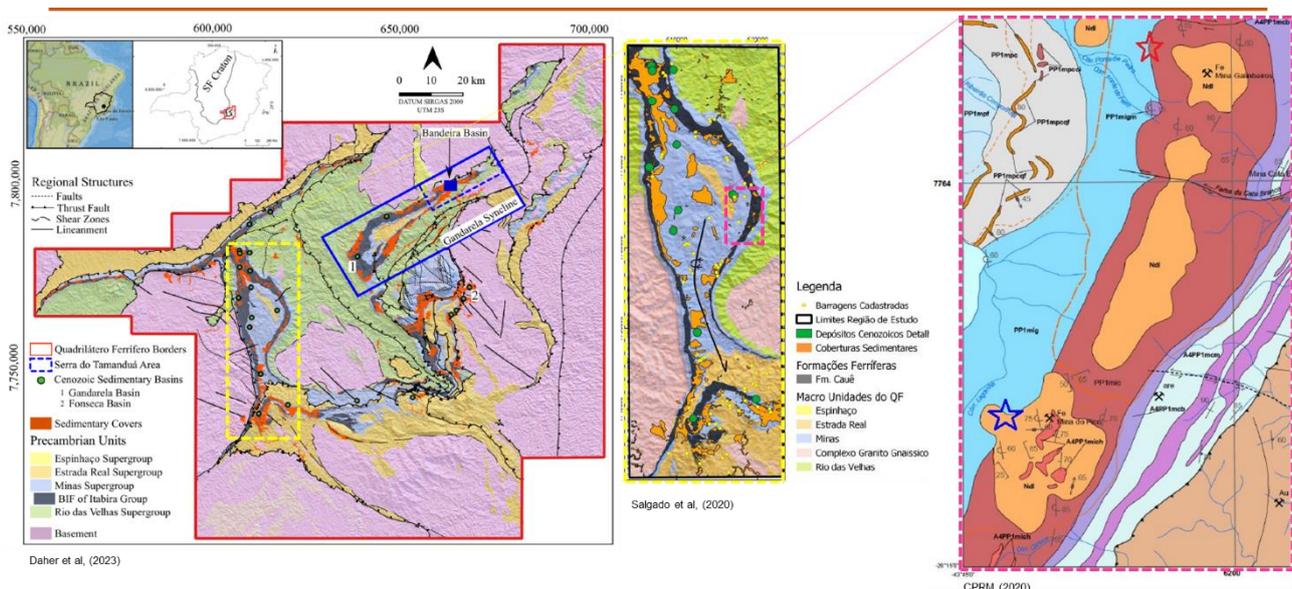


Figura 1 - Mapa geológico simplificado do QFe, com destaque para a região do sinclinal Moeda, e respectivas ocorrências das coberturas sedimentares. Modificado de: Endo et al. (2019a), CPRM (2020), Salgado et al, (2020), Daher et al, (2023).

2.2. Aspectos geológico-geotécnicos locais

A área de estudo ocorre nas proximidades da região de contato dos Grupos Itabira e Piracicaba. Na porção noroeste e oeste da área mapeada ocorrem exposições de quartzitos ferruginosos, intercalados com filitos “prateados”, típicos do Grupo Piracicaba, em cortes de acessos em meio a uma delgada camada de solo detrito – laterítico. Na porção sul e sudeste, em superfície, observam-se produtos antrópicos, como as pilhas de estéril e aterros dos acessos. Ocorrendo como ilhas em meio a estas estruturas antrópicas, observam-se saprólitos de filitos, com acamamento e foliação reliquiárias. Na porção central da área, recobrendo a zona de contato entre os Grupos Itabira e Piracicaba, há um espesso pacote de horizonte detrito – laterítico. Na porção norte da área ocorre um reservatório de uma barragem de mineração, e seus acessos.

O depósito sedimentar caracteriza-se como um solo alóctone marrom avermelhado ou ocre amarronzado (limonítico), com fácies que variam desde argila maciça a blocos centimétricos a métricos de esfericidade variável dispersos em matriz argilo – arenosa (Figura 2). Em porções superiores desse pacote o material encontra-se laterizado, podendo estar cimentado em forma de canga laterítica. A canga é um aglomerado constituído principalmente de fragmentos de formação ferrífera e subordinadamente de filito e quartzo cimentados por óxido de ferro.

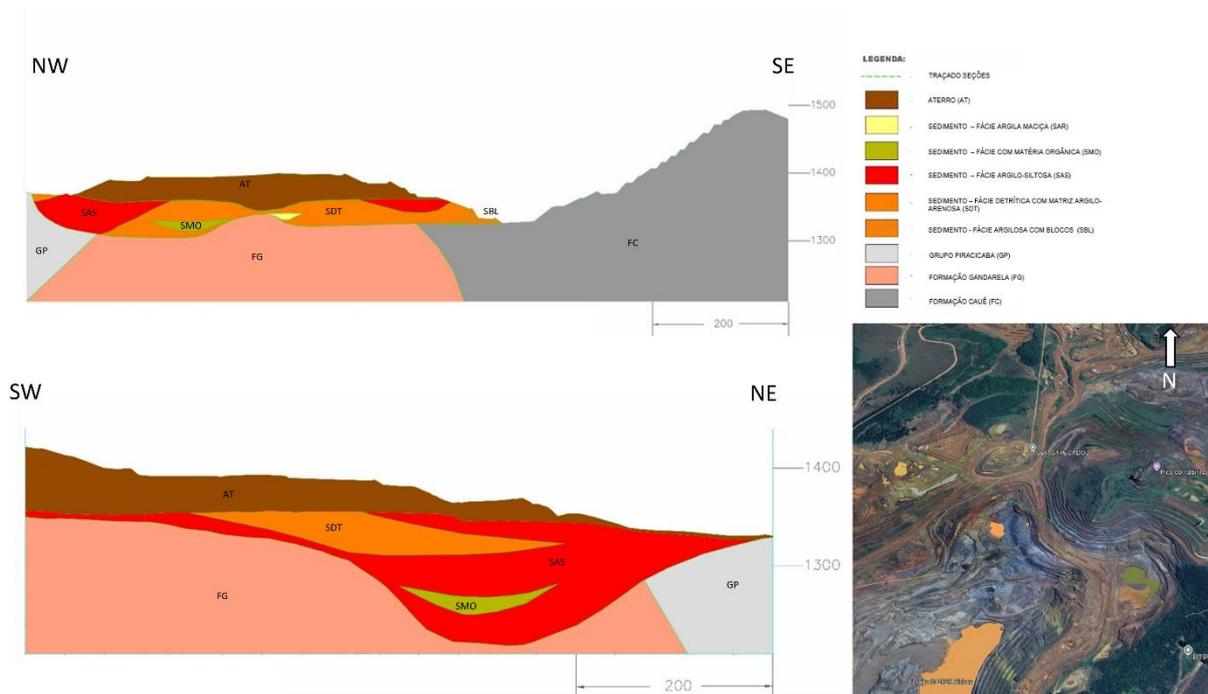


Figura 2 – Croquis esquemáticos mostrando as variações de fácies na bacia sedimentar.

A deposição desse material em geometria de bacia pode estar relacionada a falhamentos normais neotectônicos, formando um sistema de *horsts* e *grabens*, onde os *grabens* representam calhas profundas que foram preenchidas por esses sedimentos cenozóicos espessos. Isso pode indicar que o espaço de acomodação desses sedimentos foi gerado a partir dessa tectônica extensional que possivelmente reativa estruturas já existentes no embasamento da bacia. A reativação das falhas controla os ciclos de deposição (Salgado et al., 2020). Destaca-se que evidências de tectônica cenozóica no QFe têm sido observadas por vários autores/estudos, em depósitos sedimentares recentes (Paleógenos / Neógenos), inclusive possuindo fortes controles estruturais e com valores de espessura consideráveis: Gorceix (1884), Brajnikov (1947), Wallace (1965), Dorr (1969), Maxwell (1972), Saadi et al. (1992), Sant'Anna et al. (1997), Mello et al. (2000), Maizatto (2001), Lipsky (2002), Fanton (2013), Varajão et al. (2020), Daher et al. (2024).

A variação de fácies observada nestes sedimentos indica que sua deposição provavelmente tenha ocorrido durante diferentes pulsos de reativação destas descontinuidades, incluindo etapas de exposição à superfície freática, como sugerido pela presença de níveis laterizados.

A seguir serão descritas, da base para o topo, as fácies identificadas nas observações de campo:

Fácies 1: Sedimento de matriz argilo - arenosa com blocos métricos

Trata-se de um sedimento Paleógeno / Neógeno com um grau de litificação maior, em decorrência dos processos de laterização, além de possuir espessuras estimadas de mais de 20 metros. Sua gênese está relacionada a movimentos de massa e deslizamentos a partir da região do Pico Itabirito. Este solo é muito pedregulhoso, indicando proximidade com a área fonte dos materiais depositados, e tem uma matriz areno-argilosa a silto-argilosa, muito laterizada; a presença de blocos e matacões rochosos é constante, compostos de canga e itabirito compacto de variadas dimensões, ocorrendo diâmetros de até 3,0 m. Sua matriz tem coloração predominante relacionada a laterização, como vermelho, amarelo e laranja (Figura 3A); os testes de campo indicaram uma plasticidade nula a baixa. Esta fácies apresenta os resultados de ensaio N_{spt} mais altos devido a ocorrência de bloco e matacões, ou seja, se apresenta com consistência dura a muito rija.

Fácies 2: Sedimento detrítico fino a médio com matriz argilo – arenosa

Fácies semelhante à anterior de matriz argilo – arenosa a argilo – silto – arenosa de coloração marrom avermelhada e pedregulhos finos a médios de canga (Figura 3B), hematita e itabirito disseminados na matriz terrosa. Sua espessura pode atingir mais de 50 metros em profundidade à medida que se afasta da área fonte. Sua gênese está relacionada a movimentos de massa e deslizamentos, além de provável contribuição fluvial no transporte e deposição destes sedimentos. Em relação à Facie 1 é mais distal em relação à área fonte. O material apresenta consistência rija em porções mais superficiais (Nspt acima de 15 golpes) e consistência dura em profundidade, com Nspt acima de 40 golpes. Todos os testes de consistência foram feitos no material acima do NA.

Fácies 3: Sedimento de matriz argilo – siltosa

Esta fácies do sedimento cenozóico possui matriz argilo – siltosa com plasticidade bem mais evidente e fragmentos erráticos finos dispersos na matriz quase homogênea. Sua coloração é marrom avermelhado a vermelho amarronzado com lentes limonitizadas (Figura 3C). Pelo fato deste material possuir uma proporção maior de matriz argilosa em relação ao arcabouço fino, pode-se inferir que ele seja mais distal em relação à área fonte, com transporte podendo estar mais relacionado a meios aquosos do que gravitacionais e sua deposição em ambientes lacustres ou fluviais de menor energia.

Este material apresenta consistência dura com altos valores Nspt quando medido em maiores profundidades e acima do NA. No entanto, se o material estiver saturado (abaixo do NA), sua consistência reduz consideravelmente com valores de Nspt abaixo de 7 golpes.

Fácies 4: Sedimento de matriz argilosa homogênea

Trata-se de um solo predominantemente argiloso de alta plasticidade, mosqueado, de coloração amarelada e acinzentada, com tons vermelho, laranja e amarelo (Figura 3D). São observadas estruturas sedimentares preservadas que lembram laminação paralela sub-horizontais e estratificações cruzadas, além de camadas centimétricas, também sub-horizontais, intercaladas com as camadas deposicionais de material laterizado (R2+/R3) que provavelmente sejam superfícies de erosão com material oriundo das formações ferríferas, que ocorrem nas proximidades. Sua espessura pode atingir até 20 metros.

Sua consistência é muito rija a dura, com valores de Nspt acima de 30 golpes em material seco. Quando saturado sua consistência é reduzida para S3 a S4 (medianamente rija a rija). Não foi executado Nspt em material saturado.

Fácies 5: Sedimento rico em matéria orgânica

Horizonte terroso de textura argilo - siltosa com proporção baixa de pedregulhos pequenos / médios arredondados a sub arredondados de quartzo. Matriz de plasticidade média a alta, com presença evidente de matéria orgânica decomposta dando cor escura ao solo, cor preta a cinza escuro amarronzado (Figura 3E), além de possível presença de manganês (efervesce com peróxido de hidrogênio).

Apesar de apresentar uma consistência muito rija a dura, com valores de Nspt acima de 30 golpes em material acima do NA, foram realizados poucos ensaios de Nspt e em grandes profundidades, o que torna aumenta a incerteza dos ensaios. Além disso, a unidade em questão, quando saturada, é facilmente penetrada pelo polegar (teste manual em campo). Portanto trata-se de um horizonte que precisa ser mais investigado, inclusive com coleta de amostras especiais (indeformadas), para melhor entendimento de seu comportamento geotécnico.

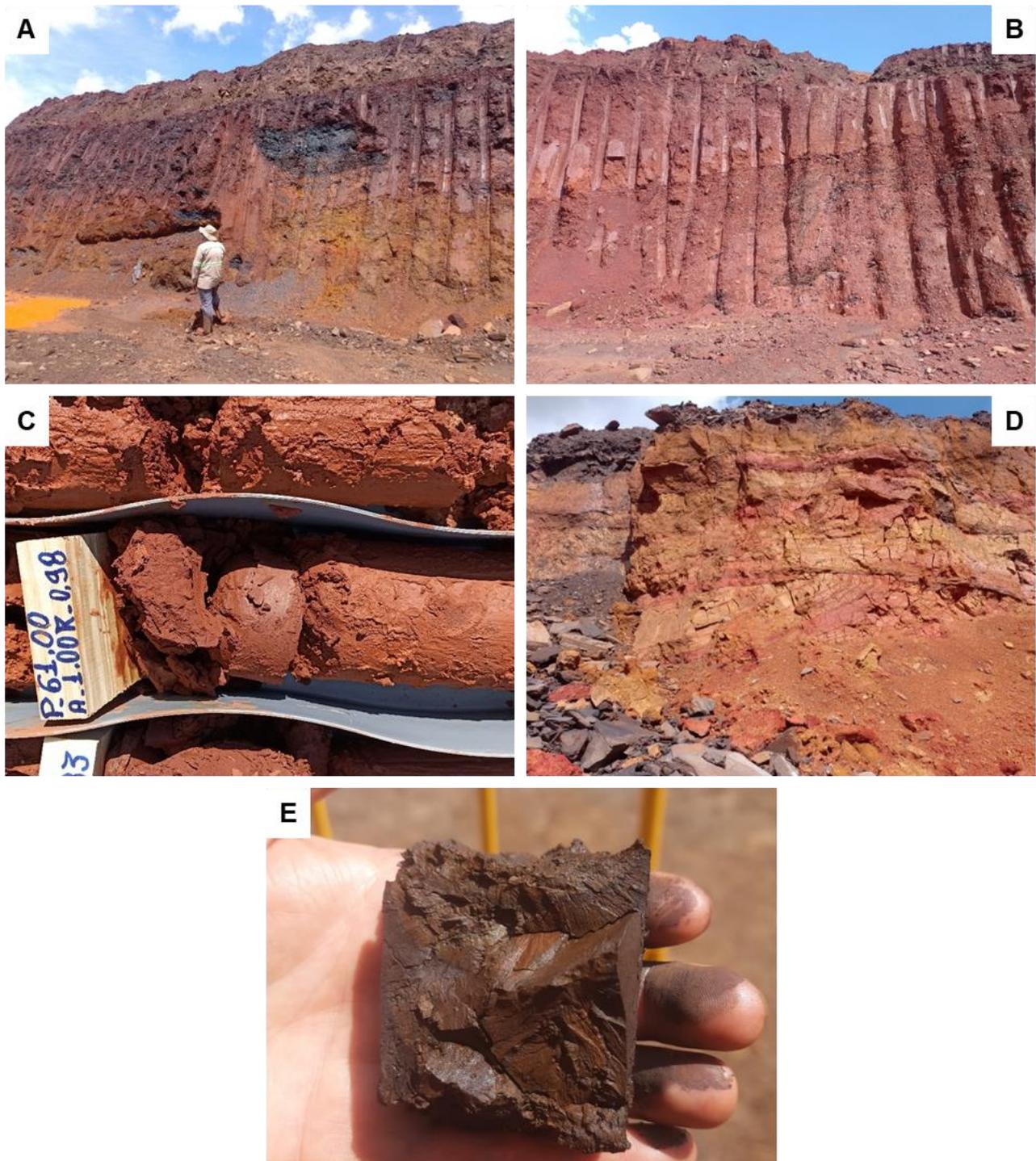


Figura 3 – Variações de materiais que ocorrem no pacote de sedimento. A: fácies 1; B: fácies 2; C: fácies 3; D: fácies 4; E: fácies 5.

3. ACERVO ESTRUTURAL

Em alguns taludes de corte na área de estudo, foram observados falhamentos no sedimento de matriz argilo – siltosa, pertencente à Fácies 3 (Figura 4). Ao todo foram obtidas 06 (seis) medidas em campo de falha e estria de falha (Figura 5), e na análise estereográfica observa-se que os dados apresentam certa dispersão, porém com duas orientações preferenciais, NW-SE e NE-SW. Os falhamentos apresentam planos: 230/60 (Fa1), 320/25 (Fa2) e 050/87 (Fa3), ambas em notação direção de mergulho/mergulho. As estrias apresentaram tendências: 310/30 (Est1), 280/15 (Est2) e 325/15 (Est3), em notação direção de caimento/caimento. De forma simplificada, interpreta-se que a região de máximo encurtamento possui direção NW-SE.

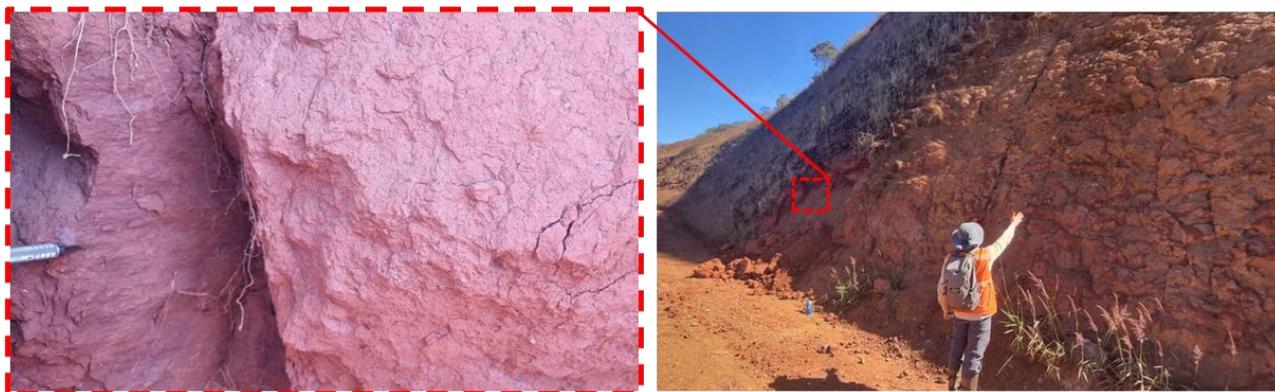


Figura 4 – Pacote de sedimento argilo-siltoso com plano de falha estriado. Visadas para noroeste.

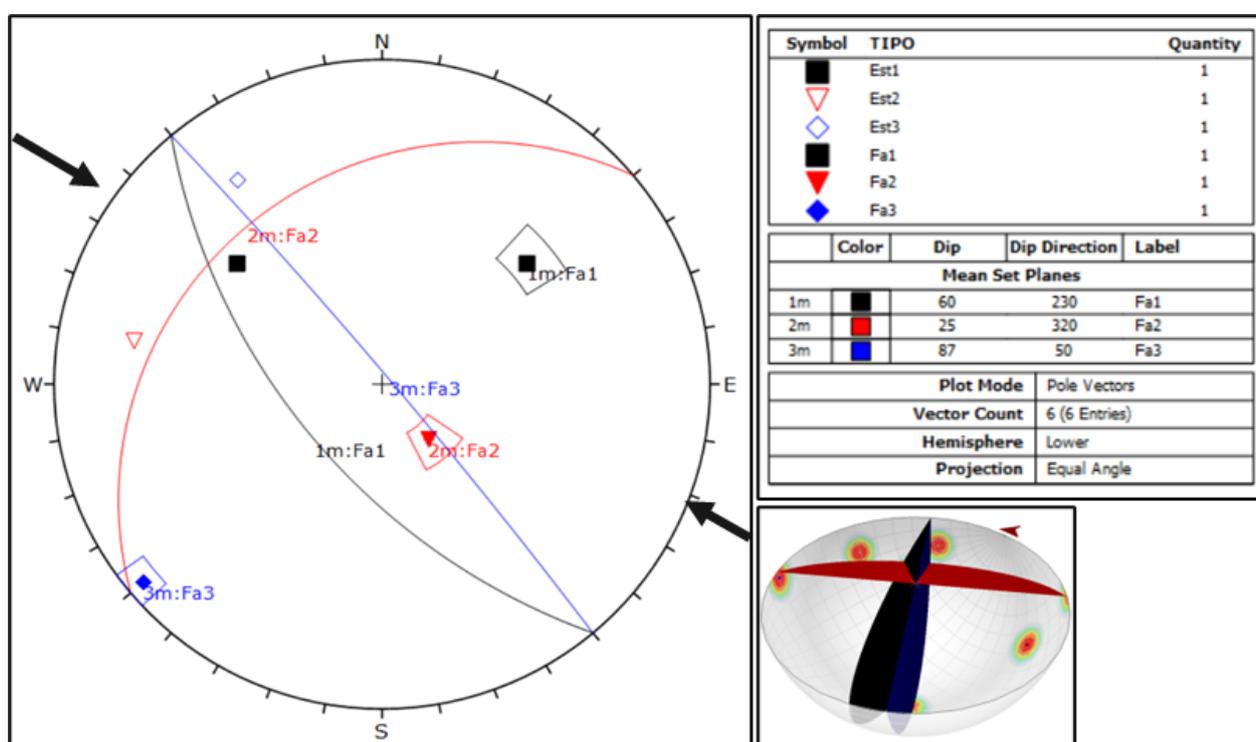


Figura 5 – Estereograma mostrando as distribuições dos planos de falha (Fa) e estrias (Est). As setas indicam as regiões de encurtamento simplificadas.

4. CONCLUSÃO

As análises das observações de mapeamento e dos dados de sondagem permitiram que fossem identificadas 5 fácies dos sedimentos cenozoicos, variando quanto à sua textura, coloração e granulometria. Tais fácies podem estar relacionadas a ciclos deposicionais distintos com variação de transporte gravitacional e aquoso e variação energética de deposição, com fácies mais argilosas depositadas em meio lacustre ou fluvial mais distais em relação à área fonte e fácies detríticas com fragmentos de tamanhos variados mais proximais da área fonte. Tal estudo poderá contribuir como um dado importante para futuros trabalhos na identificação de bacias sedimentares Cenozóicas na região do Quadrilátero Ferrífero. Vale ressaltar que se trata de uma fase inicial de entendimento da estratigrafia e, os comportamentos informados foram obtidos com base apenas nos ensaios de Nspt. Em próxima etapa do estudo, serão realizados ensaios especiais (SCPTu e CPTU), além de coletas de amostras para ensaios laboratoriais para uma compreensão mais detalhada do comportamento geotécnico dos materiais identificados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Geoestável Consultoria e Projetos pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- Brajnikov, B. 1947. Essai sur la tectonique de la région a l'est de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brésil. Bull. Soc. Geol. França, 27(5): 321-335.
- Daher, A. P. D. C., Uhlein, G. J., & Mattioli, J. (2024). Characterization of Bandeira Sedimentary Basin on Serra do Tamanduá, Northeastern Region of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 54(1), e20230009.
- Dorr, J. V. N. II. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U. S. Geological Survey Prof. Paper 641-A, 110p.
- Endo I., Galbiatti H. F., Delgado C. E. R., Oliveira M. M. F. de, Zapparoli A. de C., Moura L. G. B. de, Peres G. G., Oliveira A. H. de, Zavaglia G., Danderfer Fº A., Gomes C. J. S., Carneiro M. A., Nalini Jr. H. A., Castro P de T. A., Suíta M. T. de F., Tazava E., Lana C. de C., Martins-Neto M. A., Martins M. de S., Ferreira Fº 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.. 2019a. Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000: Uma celebração do cinquentenário da obra de Dorr (1969).Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero: www.qfe2050.ufop.br.
- Endo I., Delgado C. E. R. Oliveira M. M. F. de, Zapparoli A. de C., Carlos D. U., Galbiatti H. F., Castro P. de T. A., Suíta M. T. de F., Barbosa M. S. C., Lana C. E., Moura L. G. B. de. 2019b. Estratigrafia e Arcabouço Estrutural do Quadrilátero Ferrífero: Nota Explicativa do Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000. Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero: www.qfe2050.ufop.br.
- Endo, I., Machado, R., Galbiatti, H. F., Rossi, D. Q., Zapparoli, A. de C., Delgado, C. E. R., et al. (2020). Estratigrafia e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In *Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos* (p. 70-113). Belo Horizonte, MG: 3i Editora. Recuperado de <https://repositorio.usp.br/directbitstream/ce698998-978f-41fd-b9fe-d6cf749cda33/3086757.pdf>.
- Fanton, J.C.M. 2013. Reconstruindo as florestas tropicais úmidas do Eoceno–Oligoceno do sudeste do Brasil (Bacias de Fonseca e Gandarela, Minas Gerais) com folhas de Fabaceae, Myrtaceae e outras angiospermas: origens da Mata Atlântica. Campinas, SP.
- Freitas, Frederico Moreira; Dias, Paulo Henrique Amorim; Signorelli, Nicola; Tuller, Manoel Pedro; Ribeiro, José Heleno. Projeto Evolução Crustal e Metalogenética do Quadrilátero Ferrífero, Folha Itabirito. Belo Horizonte - MG: CPRM, 2020. Carta Geológica. Escala 1:25.000.
- Gorceix, H. 1884. Bacia Terciária d'água doce nos arredores de Ouro Preto (Gandarela e Fonseca), Minas Geraes, Brasil. *Anais da Escola de Minas* 3: 75–92.
- Lipski M. 2002. Tectonismo Cenozoico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. MS Dissertation, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 177 p.
- Maizatto J.R. 2001. Análise bioestratigráfica, paleoecológica e sedimentológica das bacias terciárias do Gandarela e Fonseca – Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, com base nos aspectos palinológicos e sedimentares. MS Dissertation, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 333 p.
- Maxwell, C.H. 1972. Geology and ore deposits of the Alegria District, Minas Gerais, Brazil. USGS Prof. Pap., 341-J, 72p.
- Mello, C.L., Bergqvist, L.P. e Sant'Anna, L.G. 2000. Sítio Paleontológico de Fonseca, Minas Gerais (Vegetais fósseis do Terciário Brasileiro). SIGEP 086. Em: C. Schobbenhaus, D.A. Campos, E.T.

Queiroz, M. Winge e M. Berbert-Born (eds.), Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. World Wide Web: <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio086/sitio086.pdf/>.

Saadi A., Sgarbi G.N.C., Rosière C.A. 1992. A bacia do Gongo Soco, nova bacia terciária no Quadrilátero Ferrífero: Controle cárstico e/ou tectônico. 37º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, p. 600-601.

Sant'Anna, L.G., Schorscher, H.D, Riccomini, C., 1997. Cenozoic Tectonics of the Fonseca Basin Region, Eastern Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. *Journal of South American Earth Science* 10(3–4), 275–284.

Varajão A.F.D.C., Mateus A.C.C., Santos M.C., Varajão C.A.C., Oliveira F.S., Yvon J. 2020. The Cenozoic deposits of the ancient landscapes of Quadrilátero Ferrífero highlands, Southeastern Brazil: sedimentation, pedogenesis and landscape evolution. *Catena*, 195:104813. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104813>.

Wallace, R.M. 1965 Geology and mineral resources of the Pico de Itabirito district, Minas Gerais, Brazil. USGS Prof. Pap., 341-F 67p.