

COMPILAÇÃO DE PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Hugo Alvarenga de Souza

Estagiário, TPF Engenharia, Ouro Preto, Brazil, hugo.souza@tpfe.com.br

Luana Pereira

Engenheira, TPF Engenharia, Nova Lima, Brazil, luana.pereira@tpfe.com.br

Arnon Lima

Geólogo, TPF Engenharia, Nova Lima, Brazil, arnon.lima@tpfe.com.br

Fernando Resende

Engenheiro, TPF Engenharia, Nova Lima, Brazil, fernando.resende@tpfe.com.br

João Vitor da Silva

Estagiário, TPF Engenharia, Nova Lima, Brazil, joao.vitor@tpfe.com.br

RESUMO: Rochas de baixo grau metamórfico são conhecidas pela sua baixa resistência mecânica e também por sua alterabilidade elevada, o que gera frequentes problemas de estabilidade em taludes no Quadrilátero Ferrífero (QF). Assim sendo, este trabalho visa a compilação de dados geomecânicos, de coesão efetiva (c') e ângulo de atrito (ϕ°), para filitos, itabiritos, quartzitos e xistos, presentes nos Supergrupos Rio das Velhas e Minas, que apresentam classe de alteração entre W4 e W6, podendo assim apresentar comportamento semelhante à solos. Foram compilados dados geomecânicos provenientes de teses e/ou artigos científicos que culminaram em um banco de dados agrupado por litologias. Na sequência, gerou-se gráficos (c') x (ϕ°), para uma visualização dos valores médios destes parâmetros para cada litotipo. O filito apresentou valores de coesão entre 20 e 40 kPa e faixa de 20 a 40° para o ângulo de atrito. Os itabiritos apresentaram uma homogeneidade para os valores de coesão e 28 a 42° para ângulo de atrito, já para os quartzitos apresentam valores de coesão variando de 18 a 50 kPa e faixa de 30 a 43° para o ângulo de atrito. Por fim, para os xistos, os valores encontrados são muito variados.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência, Estabilidade, Geomecânicos, Alteração, Dados

ABSTRACT: Rocks of low-grade metamorphism are known for their low mechanical resistance and for their high alterability, which generates frequent stability problems in slopes in the Quadrilátero Ferrífero (QF). In view of this, this work aims at compiling geomechanical data, effective cohesion (c') and friction angle (ϕ°), for phyllites, itabirites, quartzites, and schists, present in the Rio das Velhas and Minas Supergroups, which have alteration class between W4 and W6, thus potentially behaving similarly to soils. This study compiled geomechanical data from theses and/or scientific articles, resulting in a database grouped by lithologies. Finally, graphs of (c') x (ϕ°) were generated for visualization of the averages of these parameters for each lithotype. Phyllites present cohesion values between 20 and 40 kPa and a range of 20 to 40° for the friction angle. The itabirites, showed homogeneity in terms of cohesion values, and 28 to 42° for the friction angle was obtained, while quartzites present cohesion values ranging from 18 to 50 kPa and a range of 30 to 43° for the friction angle. Finally, for schists, the values found are highly varied.

KEYWORDS: Resistance, Stability, Geomechanics, Alteration, Data

1 INTRODUÇÃO

A resistência ao cisalhamento pode ser definida, como a resistência interna por unidade de área que a massa de solo ou rocha pode oferecer para resistir ao deslizamento. Sendo que as propriedades mais significativas são o ângulo de atrito (ϕ°) e a coesão (c).

O Quadrilátero Ferrífero (QF), é uma área muito investigada em termos geológicos devido à sua importância econômica para o Brasil e para o mundo. O QF é considerado uma das maiores províncias minerais do planeta, respondendo por cerca de 11% da produção mundial de minério de ferro; também tem contribuições importantes para a produção de ouro e manganês, existindo diversos trabalhos acadêmicos sobre diferentes áreas da geologia desta região.

Porém, no que diz respeito aos dados de resistência geomecânica dos litotipos presentes nesta região, principalmente de rochas de baixo grau metamórfico e alto grau de alteração, como filitos, itabiritos, quartzitos e xistos, presentes no Supergrupos Minas e Rio das Velhas, falta compilação técnica dessas informações em um único documento, especificamente. Uma vez que, devido a sua baixa coesão e alto grau de alteração, há uma dificuldade na obtenção de amostras e realização de ensaios laboratoriais, ocasionando assim, falta de confiabilidade dos dados geomecânicos obtidos (Kanji, 2014). Além disso, devido ao processo de intemperismo tem-se um grande heterogeneidade de materiais o que ocasiona em variabilidade nos valores de resistência obtidos.

Os litotipos mencionados são normalmente rochas encaixantes dos corpos de minério de ferro e ouro do QF, apresentando grau de alteração variando de W4 a W6, sendo classificadas como rochas brandas, podendo, inclusive, ter em alguns casos comportamento semelhante a solos. Segundo Costa (2009) e Silva (2015) rochas com alto grau de alteração e baixa coesão, não são classificadas como maciços rochosos, podendo ser interpretada na linha da mecânica dos solos, Figura 1. Rocha branda, ou rocha de baixa resistência, é uma designação associada aos materiais rochosos com baixa resistência à compressão uniaxial e cujo comportamento geotécnico os situa entre solos e rochas duras (Pinho, 2003).



Figura 1. Resistência à compressão uniaxial em solos e rochas (ISRM, 1978)

Assim, o critério de resistência de Mohr-Coulomb tem sido utilizado por diversos autores para caracterizar rochas brandas, pois trata-se de um critério de resistência mais comumente empregado para solos. Segundo Braja M. Das (2011), o critério relaciona tensões efetivas normais e tensões tangenciais atuando em qualquer plano do solo. Este critério estabelece que, para um solo saturado, a resistência ao cisalhamento (τ), é dada pela expressão abaixo, onde (c') corresponde a coesão efetiva, (σ_n) a tensão normal e (ϕ') o ângulo de atrito do solo.

$$\tau = c' + \sigma_n \cdot \text{tg}(\phi') \quad (1)$$

Alguns litotipos comuns do QF, tais como os filitos, itabiritos, quartzitos e xistos, são rochas amplamente conhecidas por sua baixa resistência mecânica, principalmente quando intemperizados, e são grandes causadoras de problemas de estabilidade em minas (Costa, 2009; Silva, 2015; Leão, 2017). E, conforme já mencionado não se tem em um único documento uma compilação de parâmetros de resistência

para estes materiais. Posto isto, este artigo visa a compilação de dados geomecânicos para as litologias supracitadas, a partir de teses e/ou artigos científicos, referentes a rochas brandas do Quadrilátero Ferrífero.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Quadrilátero Ferrífero é uma estrutura geológica de, aproximadamente 7.000 km² de área que ocupa a região centro-sul do Estado de Minas Gerais e compreende a porção sudeste do Cráton São Francisco (Farina *et al.*, 2016), Figura 2.

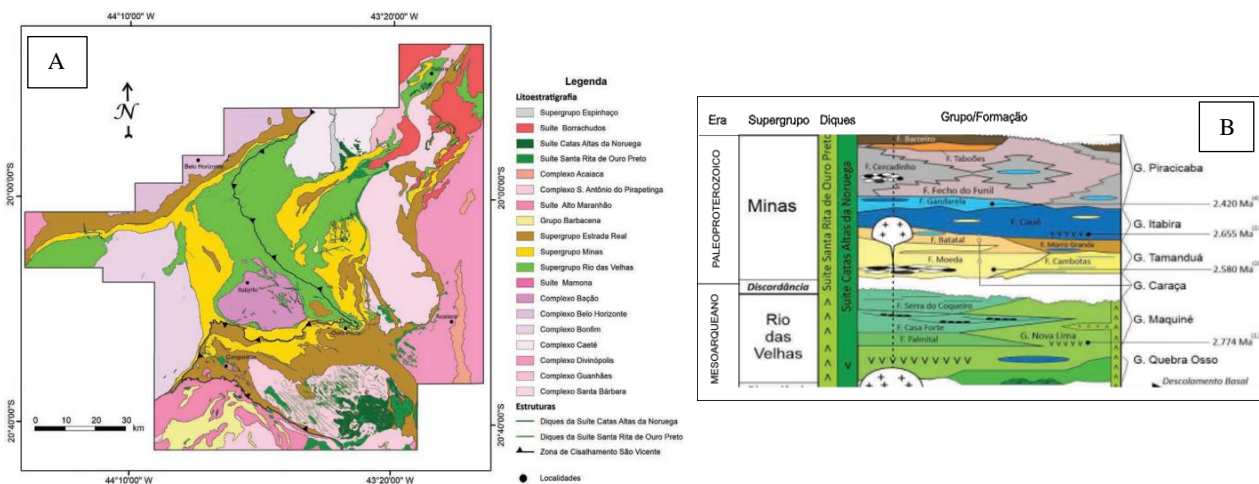


Figura 2. A) Mapa geológico do QF (Endo *et al.*, 2019a), B) Coluna estratigráfica do QF (Modificado de Endo *et al.*, 2019b)

A estratigrafia do QF possui diversos complexos metamórficos granito-gnáissico dômicos de idade arqueana em seu embasamento (Farina *et al.*, 2016). Esses complexos rodeiam uma sequência também arqueana, do tipo greenstone belt, que é grande produtora de ouro (Supergrupo Rio das Velhas), e sequências metassedimentares supracrustais paleoproterozoicas (Supergrupos Minas e Estrada Real), que são importantes produtoras de ferro (Dorr, 1969).

O Supergrupos de estudo, são os Supergrupos Rio das Velhas e Minas. O Supergrupo Rio das Velhas, apresenta sucessão de rochas típica de uma sequência arqueana do tipo greenstone belt, caracterizada por um conjunto de litofácies em associação (da base para o topo) de rochas metavulcânicas máfica-ultramáficas e félsicas, metavulcanoclásticas, metavulcanosedimentar química, metassedimentar clástica marinha e metassedimentar costeiro (Farina *et al.*, 2016). Os xistos estudados estão inseridos no Grupo Nova Lima, presente neste Supergrupo.

O Supergrupo Minas possui idade paleoproterozoica e dispõe-se em discordância sobre o Supergrupo Rio das Velhas (Dorr, 1969). A deposição das unidades do Supergrupo Minas se deu entre 2.584 +/- 10 Ma e 2.420 +/- 19 Ma (Hartmann *et al.*, 2006). O Supergrupo Minas é composto, da base para o topo, dos grupos Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba, constituindo uma sucessão continental-marinha de pelo menos 3.424 m de espessura (Dorr, 1969) e representa um dos estágios de evolução de uma bacia de margem passiva (Alkmim & Martins Neto, 2012). Os quartzitos e filitos estudados, estão localizados nas Formações Moeda e Batatal simultaneamente e estas, compõem o Grupo Caraça inserido no Supergrupo Minas. Já os itabiritos, estão localizados no Grupo Itabira.

Em relação ao arcabouço estrutural da região, para Almeida *et al.*, 2002, e Endo *et al.*, 2005, o arcabouço estrutural do QF é constituído por um conjunto de dobras de diversas gerações associadas às diferentes fases e eventos tectônicos que atuaram na região. Estas dobras, são de escala regional e estão divididas em três gerações segundo a seu grau hierárquico e período de formação; a saber: Nappe Curral e dobras de segunda ordem associadas (vergência para N-NE); Nappe Ouro Preto e dobras de segunda ordem associadas (vergência S-SW) E, Amplificação/redobramento, a partir de encurtamentos tectônicos de direção EW e NS.

Por estar localizado em uma região tropical, o QF sofre com os processos intempéricos. Segundo Leão (2017), o grau de alteração/intemperismo é definido pelo conjunto de processos que levam à modificação das propriedades mecânicas das rochas, no sentido da diminuição da sua resistência. Já o índice de alterabilidade pode ser definido como a taxa de alteração de uma determinada rocha em um tempo estipulado. Sendo que a mineralogia é um grande fator endógeno de influência na obtenção desta taxa, já que o aumento da diferença entre as condições de formação de um dado mineral e a condição encontrada na superfície terrestre, maior será a facilidade de alteração, em função da necessidade de o mineral buscar a estabilidade físico-química (Santiago, 2008). Rochas que apresentam estruturas geológicas como (foliação, clivagem, bandamento etc.), como as compiladas, também facilitam o intemperismo, já que com fluidos percolando nestes planos de fraqueza, pode aumentar a degradação (Tardy & Nahon, 1985).

O intemperismo tanto físico quanto químico, favoreceram a produção de enormes reservas de minério de ferro no QF provenientes dos itabiritos, que mesmo com qualidade inferior, ainda são potencialmente econômicas (Dorr, 1969), esta mesma formação ferrífera, constitui em um grande aquífero de caráter regional, fazendo que as rochas abaixo dela apresentem alteradas mesmo em grandes profundidades, gerando maciços de baixa resistência geomecânica (Dilásccio, 2004). O que colabora para os principais problemas geotécnicos do QF.

As rochas compiladas no presente artigo possuem um alto grau de alteração que varia de W4 a W6, segundo a classificação da ISRM (Tabela 1). Tendo assim, um comportamento semelhante aos solos tendendo assim a agravar os problemas de estabilidade.

Tabela 1. Graus de alteração da rocha (adaptado de ISRM, 1981)

Grau de alteração	Descrição
W1	Rocha sã
W2	Rocha pouco alterada
W3	Rocha moderadamente alterada
W4	Rocha muito alterada
W5	Rocha completamente alterada
W6	Solo residual

Diante do exposto, nota-se que o QF é uma região de arcabouço geológico e estrutural complexo e, ainda, sofre intensa ação do intemperismo que é intensificada com a exposição de litotipos devido a abertura de minas a céu aberto. Assim, toda e qualquer tentativa de generalização de parâmetros de resistência deve ser vista com parcimônia.

3. REGIÃO DE ESTUDO E ROCHAS COMPILADAS

A área de estudo está localizada no Quadrilátero Ferrífero (QF), principalmente nas minas de ferro e ouro do Supergrupo Minas e Supergrupo Rio das Velhas. As litologias analisadas foram filitos, itabiritos, quartzitos e xistos presentes nestes Supergrupos. A localização dos estudos é mostrada na (Figura 3).

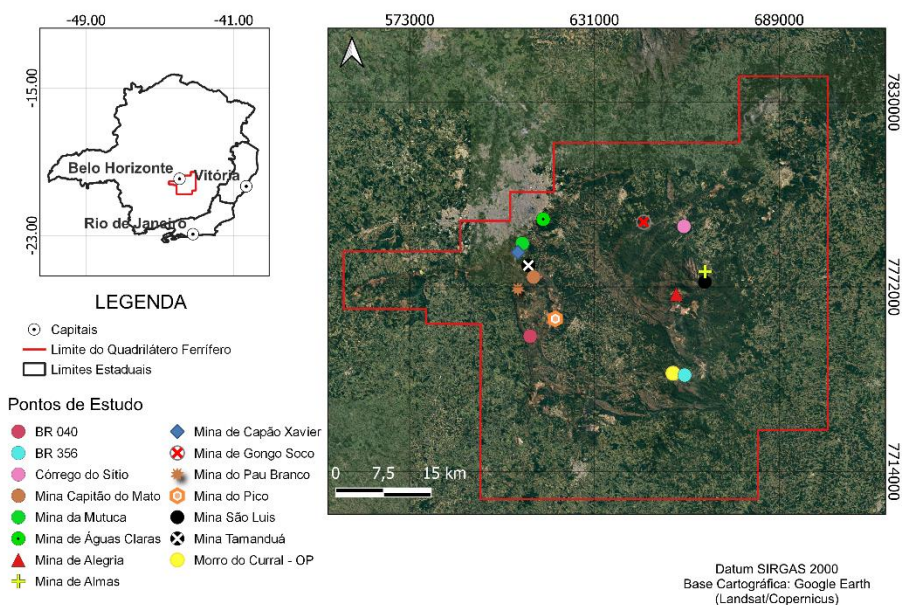


Figura 3. Pontos de estudo compilados

Os filitos do Quadrilátero Ferrífero apresentam grande alteração e erodibilidade, fato este que diminui seus valores de coesão efetiva e ângulo de atrito. O mesmo, apresenta ocorrências de mecanismos de ruptura não usuais e complexos, devido ao seu alto grau de alteração e fraturamento. Este litotipo agregado a complexa geologia estrutural da região está presente em praticamente todas as minas de ferro do QF e, é a principal causa de problemas de estabilidade (Alvares, 2004; Silva, 2006; Santiago, 2008; Silva, 2010; Silva, 2015; Leão, 2017; Gomes, 2021).

Os itabiritos da Formação Cauê, pertencente ao Supergrupo Minas, são as rochas as quais o minério de ferro é extraído. Nos trabalhos de Ventura (2009), Carneiro (2013), Silva (2015) e Rosenbach (2018), é apresentado itabiritos com grande alteração, sendo normalmente de classe W6. Estes itabiritos apresentam assim problemas de estabilidade nas minas. Ademais, esses autores assim como os citados para o filito, sugerem que a geologia estrutural do QF influencia no intemperismo destas rochas.

Para Alvares (2004), Silva (2006) e Ventura (2009), os quartzitos que tendem a gerar mais problemas de estabilidade nas minas de ferro do QF, são rochas com alto grau de alteração e com grande quantidade de mica em sua composição, tornando-a mais susceptível ao intemperismo e erodibilidade.

Por fim, para os xistos do Grupo Nova Lima, para Fernandes (2000), Alvares (2004) e Ferreira (2004), os xistos deste grupo tendem a gerar problemas a partir dos seus planos de xistosidade e pela sua alteração elevada.

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a compilação de parâmetros de resistência do QF foi basicamente a busca por trabalhos acadêmicos sobre o assunto na literatura técnica. Num primeiro momento definiu-se quais rochas seriam adotadas para levantamento de trabalhos técnicos, tendo sido escolhido os seguintes litotipos: filitos, itabiritos, quartzitos e xistos dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas. O grau de intemperismo desses litotipos variaram de W4 a W6, sendo rochas que compõem o corpo do minério (itabiritos), ou rochas encaixantes, como filitos, quartzitos e xistos.

Na sequência deu-se início a o levantamento de dados, a qual foi feita uma pesquisa sistemática visando encontrar teses e/ou artigos científicos, que estudassem as rochas brandas no QF, fornecendo dados de coesão efetiva (c') e ângulo de atrito (ϕ°). Posteriormente, foi elaborado o banco de dados no excel, o qual foi separado os litotipos estudados por cada autor com seus respectivos graus de alteração Cabe ressaltar que o litotipo com maior número de dados, são os filitos, uma vez que apresentam maiores problemas de estabilidade em taludes de mineração ou rodoviários (Leão, 2017).

Por fim, foram elaborados os gráficos de coesão efetiva (c') X ângulo de atrito (ϕ°), para cada litotipo escolhido e feito uma análise visual de quais foram os valores dos parâmetros de resistência mais obtidos na literatura técnica levantada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a compilação dos dados de coesão efetiva (c') e ângulo de atrito (ϕ°), coletados a partir de dissertações/teses e artigos científicos, foi possível a criação de gráficos (c') x (ϕ°), para cada litotipo analisado (Figura 4), nos quais é possível identificar as faixas de valores para os dois parâmetros estudados. As faixas de valores, como citado, são dadas pela concentração dos parâmetros de resistência nos gráficos.

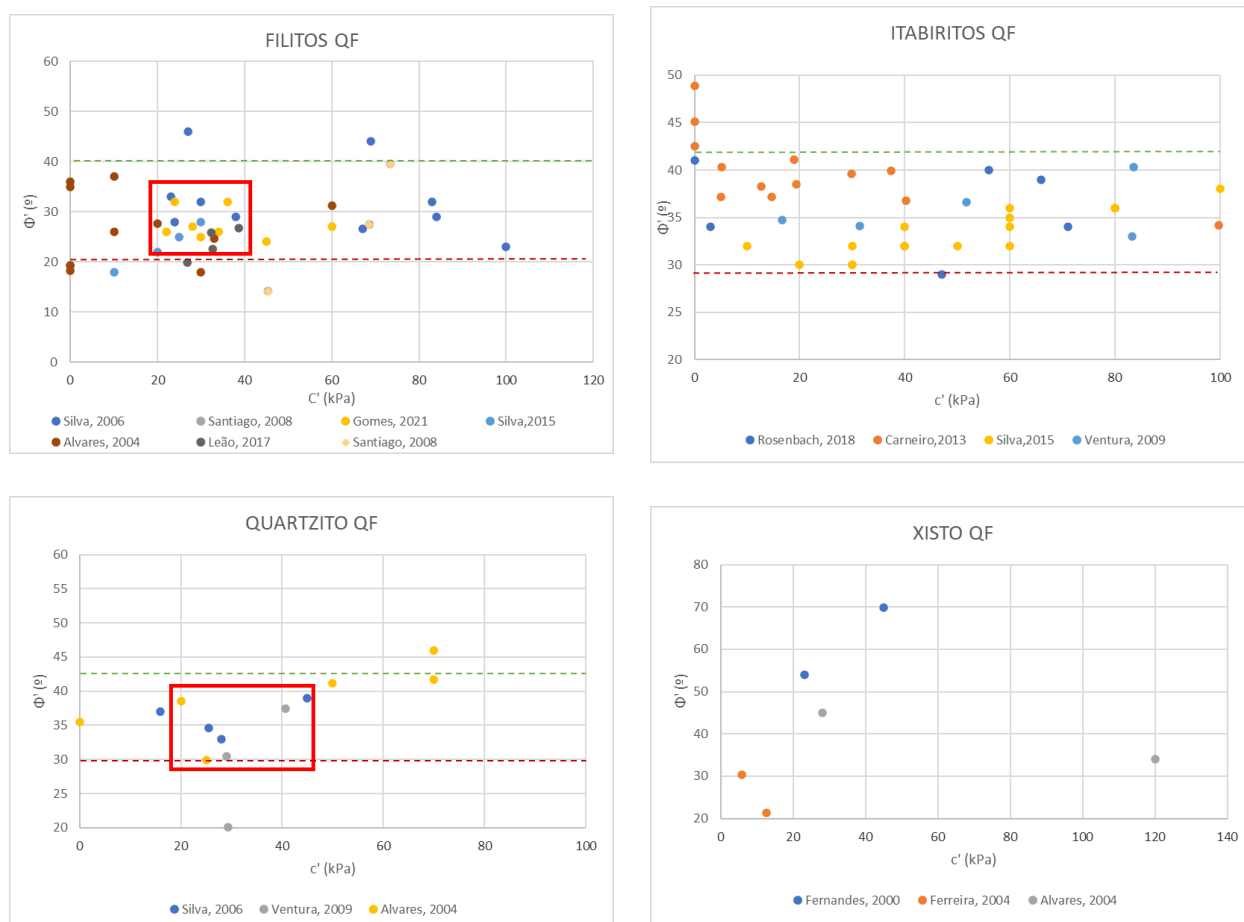


Figura 4. Gráficos (c') x (ϕ°) para cada litotipo compilado

A partir da análise das gráficos acima, é possível constatar que o filito apresenta valores de coesão entre 20 e 40 kPa e faixa de 20 a 40° para o ângulo de atrito. Para os itabiritos, Os valores de coesão apresentam uma certa homogeneidade de 0 a 100 kPa, para o ângulo de atrito, apresenta valores entre 28 e 42°, já para os quartzitos apresentam valores de coesão variando de 18 a 50 kPa e faixa de 30 a 43° para o ângulo de atrito. Por fim, para os xistos do Grupo Nova Lima, os valores encontrados são muito variados.

Observa-se, que o filito, apresenta um intervalo menos espaçado para a coesão efetiva, sendo assim mais preciso que os demais. Isso se dá, pela maior quantidade de estudos para os filitos do QF, uma vez que estes apresentam mais problemas geotécnicos que as demais litologias estudadas. Entretanto, o ângulo de atrito desse litotipo, indica maior intervalo, provavelmente devido a variação nos minerais que o compõem.

Os valores de resistência obtidos para os litotipos estudados podem ser empregados como um norteador para estudos de alternativas e/ou projetos conceituais para o QF. Contudo, para estudos/projetos mais detalhados faz-se necessário a realização de mapeamentos geológicos e ensaios de campo e laboratório específicos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nota-se a importância dos estudos das rochas de baixo grau metamórfico no Quadrilátero Ferrífero, haja vista que elas estão presentes em todas as minas de Ferro e Ouro do QF, e em outras regiões, como em taludes nas rodovias.

O presente trabalho buscou compilar em um único local informações sobre parâmetros de resistência de quatro litotipos comuns do QF disponíveis na literatura técnica. Trata-se de uma informação relevante para fases iniciais de projetos geotécnicos na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L.G. (2004) *Evolução tectônica da porção central do Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto / UFOP, 110p.
- Alkmim, F.F., Martins Neto, M.A. (2012) Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, v. 33, n. 1, p. 127-139
- Alvares, R. A. (2004) Análises Probabilísticas dos Taludes da Mina de Gongo Soco / CRVD. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto / UFOP, 121 p.
- Carneiro, S. R. C. (2013) *Caracterização Mecânica e Hidrogeológica dos Maciços das Cavas de Alegria Centro e Sul, Samarco Mineração S.A.* Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação, em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa / UFV, 199 p.
- Costa, T. A. V. (2009) *Caracterização Geológico-Geotécnica e Modos de Ruptura do Minério Hematítico Friável nas Minas da Vale*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto / UFOP, 206 p.
- Das, Braja. M. (2011) *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*, 7º Ed. São Paulo: Cengage Learning
- Dilácio, M. V. (2004) *Estudo Computacional do Mecanismo de Tombamento Flexural em Filitos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, do Núcleo de Geotecnia, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto / UFOP, 117p.
- 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., Oliveira, A. H., Peres, G. G., Guimarães, M. L. V., Lagoeiro, L. E., Machado, R., Zavaglia, G., Rosas, C. F., Melo, R. J. (2005) Nappe Curral: Uma megaestrutura alóctone do Quadrilátero Ferrífero e controle da mineralização. X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos / IV International Symposium on Tectonics. Curitiba. Boletim de Resumos Expandidos, p. 279-282.
- 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., Suita, 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., Suita, 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.

- Farina, F., Albert, C., Dopico, C.M., Aguilar, C.G., Moreira, H., Hippert, J., Cutts, K., Alkmim, F.F., Lana, C.C. (2016) The Archean-paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil: current models and open questions. *Jour. South Am. Earth Sci.* 68, 4-21.
- Gomes, T. B. G. (2021) *Comportamento de um Maciço em Solo Residual de Filito no Quadrilátero Ferrífero*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília / UNB, 88p.
- Hartmann, L.A., Endo, I., Suita, M.T.F., Santos, J.O.S., Frantz, J.C., Carneiro, M.A., Naughton, 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.
- ISRM. (1978) Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*, v. 15, p. 319-368.
- ISRM. (1981) *Rock Characterization Testing and Monitoring*. E. T. Brown, 211p.
- Kanji, M. A. (2014) Critical Issues in soft rocks. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. v. 6, p. 186-195.
- Leão, M. F. (2017) *Comportamento Geomecânico de Frente de Intemperismo em Filito da Região do Quadrilátero Ferrífero*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro / UFRJ, 178p.
- Menezes, I. P. (2012) *Estudo de Estabilidade de Taludes da Mina a Céu Aberto São Luis em Catas Altas/MG Combinando Téc Usuais de Investigação e Análises de Geoprocessamento e Métodos Usuais de Investigação e Análise Geológico-Geotécnicas*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 141 p.
- PINHO, A. (2003) *Caracterização geotécnica de maciços rochosos de baixa resistência: o flysch do baixo alentejo*. Tese de Doutorado em Geologia – Universidade de Évora, Évora.
- Rosenbach, C. M. C. (2018) *Comportamento Mecânico do Itabirito Silicoso Fiável do Quadrilátero Ferrífero, MG*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul / UFRGS, 158 p.
- Santiago, L. O. R. (2008) *Alteração e Alterabilidade de Rochas Básicas Intrusivas Metamorfizadas e Filitos Sericíticos da Região do Quadrilátero Ferrífero e sua Implicação no Comportamento Mecânico*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa / UFV, 160p.
- Silva, C. C. (2015) *Análise de Estabilidade de um Talude da Cava de Alegria Utilizando Abordagem Probabilística*. Dissertação de Mestrado, Programa em Pós-Graduação em Geotecnia, do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto / UFOP, 136p.
- Silva, E. M. (2006) *Análise de Estabilidade de Taludes em solos de alteração de rochas metamórficas do Quadrilátero Ferrífero*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação, em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa / UFV, 123p.
- Tardy, Y., Nahon, D. (1985) Geochemistry and evolution of lateritic landscape. In: Martini, I. O. e Chesworth, W. (eds.), *Weathering, Soils and Paleosoils*. *Developments in Earth Surface Processes* 2. Elsevier, p. 407-443