XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/10

Influência do Intemperismo nas Propriedades Geotécnicas e Geomecânicas de Filitos Relevantes à Estabilidade de Taludes

Rainara Teixeira Viana
Estudante de Graduação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, rainara.viana@ufv.br

Márcio Fernandes Leão
Professor, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, marcio.leao@puc-rio.br

Dênis Araújo Massardi
Estudante de Graduação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, denis.massardi@ufv.br

Thaynara Claudyane Castro Sales
Estudante de Graduação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, thaynara.sales@ufv.br

Eduardo Antonio Gomes Marques
Professor Titular, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, emarques@ufv.br

RESUMO: A estabilidade de taludes em maciços rochosos é influenciada pelo intemperismo, que promove a degradação progressiva das propriedades geomecânicas e afeta a segurança das estruturas. Diante da carência de dados geotécnicos na literatura sobre filitos, rochas frequentes em Minas Gerais, este estudo avaliou a influência do grau de alteração nas propriedades físicas, mecânicas e dinâmicas de amostras de filito da Formação Batatal coletadas na região de Belo Horizonte. A metodologia envolveu a caracterização de diferentes graus de intemperismo (W1 a W2/W3) e variações texturais, por meio de ensaios de índices físicos, e de propagação de ondas ultrassônicas e de carga pontual. Os resultados indicaram aumento da porosidade e redução significativa da resistência mecânica, com decréscimo de até 96,8% no índice de carga pontual entre W1 e W2 para amostras de textura fina, além da estabilização das propriedades dinâmicas na transição para W2/W3. A compreensão dessas alterações é fundamental para a avaliação do comportamento mecânico de maciços rochosos em taludes escavados em filitos. Por fim, analisou-se a relação entre a velocidade de propagação da onda P e o índice de carga pontual, visando investigar o potencial de ensaios não destrutivos na estimativa preliminar da resistência mecânica do material.

PALAVRAS-CHAVE: Filitos, Intemperismo, Propriedades Geomecânicas.

ABSTRACT: Slope stability in rock masses is influenced by weathering processes, which promote the progressive degradation of geomechanical properties and affect structural safety. Given the scarcity of geotechnical data in the literature on phyllites, rocks frequently occurring in Minas Gerais, this study evaluated the influence of weathering degree on the physical, mechanical, and dynamic properties of phyllites from the Batatal formation collected in the Belo Horizonte region. The methodology involved the characterization of different weathering degrees (W1 to W2/W3) and textural variations through physical index tests, ultrasonic wave velocity measurements, and point load tests. The results indicated an increase in porosity and a significant reduction in mechanical strength, with a decrease of up to 96.8% in the point load index between W1 and W2 for fine-textured samples, as well as a stabilization of dynamic properties during the transition to W2/W3. Understanding these changes is essential for evaluating the mechanical behavior of rock masses in phyllite slopes. Finally, the relationship between P-wave velocity and the point load index was analyzed to investigate the potential of non-destructive testing for the preliminary estimation of the mechanical strength of the material.

KEYWORDS: Phyllites, Weathering, Geomechanical Properties.

1 INTRODUÇÃO

A estabilidade de taludes em maciços rochosos está diretamente relacionada ao equilíbrio entre as tensões atuantes e a resistência ao cisalhamento, tanto da matriz rochosa quanto das descontinuidades presentes no maciço. Conforme discutido por Wyllie e Mah (2004), a segurança de obras geotécnicas, civis e de mineração depende da adequada determinação desses parâmetros geomecânicos, uma vez que os autores alertam que avaliações imprecisas da resistência do material podem levar tanto à ocorrência de rupturas quanto à adoção de soluções excessivamente conservadoras, com consequências técnicas e econômicas significativas. Nesse contexto, a caracterização das propriedades físicas e mecânicas do maciço rochoso assume papel central nos estudos de estabilidade de taludes.

Entretanto, esses parâmetros não permanecem constantes ao longo do tempo, pois são afetados pela ação do intemperismo (Wyllie e Mah, 2004). Esse processo promove, de forma gradual, a transformação da rocha sã em solo residual, ocasionando alterações significativas em seus índices físicos e mecânicos, conforme a classificação proposta por Ulusay e Hudson (2007). Estudos realizados em filitos da região de Santa Bárbara – MG, como o de Lopes et al. (2007), indicam que o avanço do grau de alteração está associado ao aumento da porosidade e à redução do peso específico aparente seco. Segundo esses autores, o acréscimo no volume de vazios favorece a percolação de água no maciço, intensificando os mecanismos de desintegração física e resultando em uma redução expressiva da coesão, o que compromete a resistência ao cisalhamento do maciço ao longo do tempo.

No contexto geológico brasileiro, observa-se a ocorrência de uma ampla variedade de rochas brandas, dentre as quais o filito se destaca pelo seu comportamento geotécnico complexo, conforme discutido por Lopes et al. (2007) em estudos desenvolvidos em contexto regional. Por se tratar de uma rocha metamórfica com foliação bem definida, esse material apresenta anisotropia mecânica significativa, tendo seu comportamento fortemente condicionado pela orientação da xistosidade, como apontado por Andrade e Saraiva (2010). Apesar de sua frequente aplicação em obras de infraestrutura, Lopes et al. (2007) destacam a existência de uma carência recorrente de dados geotécnicos associados a essas rochas brandas, em grande parte em função das dificuldades de amostragem em materiais alterados e estruturalmente heterogêneos.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar, por meio de ensaios experimentais, a influência do intemperismo nas propriedades físicas e mecânicas de filitos da Formação Batatal coletados na região de Belo Horizonte-MG, estabelecendo correlações entre índices físicos, como porosidade e absorção, e parâmetros associados à resistência mecânica e à velocidade de propagação de ondas ultrassônicas. Busca-se, assim, contribuir para a compreensão da variação das propriedades do filito ao longo do tempo, de modo a fornecer subsídios para análises de estabilidade de taludes mais consistentes e alinhadas às incertezas de projeto apontadas por Wyllie e Mah (2004) e Lopes et al. (2007).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletados blocos de filito em um maciço rochoso localizado em Belo Horizonte, Minas Gerais (Figura 1). A amostragem teve como objetivo selecionar conjuntos de filitos representativos de diferentes graus de intemperismo, classificados como W1, W2 e W2/W3, de acordo com a classificação visual e tátil proposta por Ulusay e Hudson (2007). No total, foram obtidos cinco grupos de blocos, diferenciados não apenas pelo grau de alteração, mas também pela granulometria e aspecto dos grãos minerais.

A preparação dos corpos de prova seguiu as recomendações da International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1985), adotando-se o método de fragmentos irregulares com objetivo de superar limitações práticas na preparação de corpos de prova a partir de blocos de rocha. Os ensaios foram realizados em amostras com dimensões características médias de 71,57 ± 4,98 mm de comprimento, 50,83 ± 4,62 mm de altura e 53,5 ± 5,37 mm de largura. A sequência experimental foi definida de modo a priorizar os ensaios não destrutivos, seguidos pelos ensaios destrutivos e pela determinação dos índices físicos.



Figura 1. Vista do talude estudado evidenciando o perfil de intemperismo do maciço.

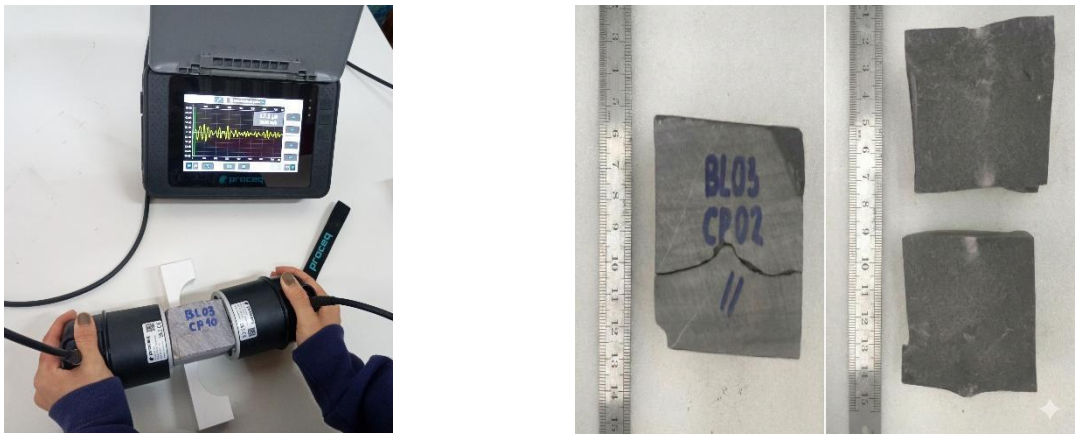
A caracterização dinâmica das amostras foi realizada por meio do ensaio de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, utilizando o equipamento Pundit 200 (Figura 2.a), equipado com transdutores de 250 kHz para a determinação da velocidade das ondas primárias (Vp) e de 40 kHz para as ondas secundárias (Vs). Na determinação dos valores de Vp, utilizou-se gel para assegurar o acoplamento entre os transdutores e a superfície das amostras. Por se tratar de um método não destrutivo, este ensaio foi realizado antes dos demais, de modo a preservar a integridade dos corpos de prova. Ressalta-se que os ensaios ultrassônicos não consideraram controle direcional em relação à foliação, refletindo uma resposta dinâmica média do material.

A resistência mecânica das amostras foi determinada por meio do ensaio de carga pontual (Point Load Test – PLT), realizado conforme as recomendações da ISRM (1985), utilizando um equipamento hidráulico Wille Geotechnik, modelo LP 4295 (capacidade nominal de 100 kN). Os ensaios foram com aplicação de carga de forma contínua até a ruptura do material (Figura 2.b). A partir da carga máxima aplicada no momento da ruptura e da distância entre as pontas cônicas, foi calculado o índice de carga pontual (Is), posteriormente corrigido para um diâmetro de referência de 50 mm, resultando no índice $Is_{(50)}$.

Para as amostras W1-F, W2-F, W2-M e W2-G, o carregamento foi aplicado paralelamente aos planos de descontinuidade. Entretanto, para os corpos de prova W2/W3-F, os resultados dos ensaios nas direções paralela e perpendicular foram desconsiderados, uma vez que não atenderam aos critérios de validade estabelecidos pela ISRM, como tempo de ruptura inferior a 10 s ou superfícies de fratura que não interceptavam os pontos de aplicação da carga.

Os índices físicos foram determinados a partir dos fragmentos resultantes do ensaio de carga pontual, conforme recomendações de Ulusay e Hudson (2007). Para cada amostra, utilizaram-se dez fragmentos com massa mínima de 50 g. Devido à maior suscetibilidade dos filitos à desagregação durante a saturação, os fragmentos foram envolvidos em malha permeável (Figura 3), cuja massa foi previamente determinada e descontada das medições finais. A saturação foi realizada em dessecador sob vácuo da ordem de 8 Torr, por no mínimo 1 h. Em seguida, procederam-se às pesagens nas condições submersa e saturada com superfície seca. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 105 °C por pelo menos 24 h para determinação da massa seca. Com base nas massas seca, saturada e submersa, calcularam-se a porosidade aparente, a absorção de água e a massa específica aparente seca.

O tratamento estatístico dos dados foi realizado por meio do Intervalo Interquartil (IQR), método utilizado para a identificação e exclusão de valores discrepantes (outliers) do conjunto amostral.



(a) (b)

Figura 2. Ensaios de laboratório: (a) ondas ultrassônicas; (b) fragmentos após o PLT.



(a) (b)

Figura 3. Preparação dos fragmentos para determinação dos índices físicos: (a) fragmentos envolvidos em malha permeável; (b) disposição das amostras no dessecador.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta o quantitativo (n) de corpos de prova utilizados em cada ensaio e a síntese estatística dos resultados das propriedades físicas, mecânicas e dinâmicas dos filitos analisados. Os dados estão organizados de acordo com os graus de alteração (W1, W2 e W2/W3) e textura – fina (F), média (M) e grosseira (G) –, possibilitando a comparação do comportamento do material. Para cada parâmetro – porosidade aparente (η), absorção de água (α), massa específica aparente seca (ρ_d), índice de carga pontual ($Is_{(50)}$) e velocidades de propagação de ondas (Vp e Vs) – são apresentados os valores médios e os respectivos desvios padrão, os quais refletem a variabilidade amostral condicionada pelo grau de alteração.

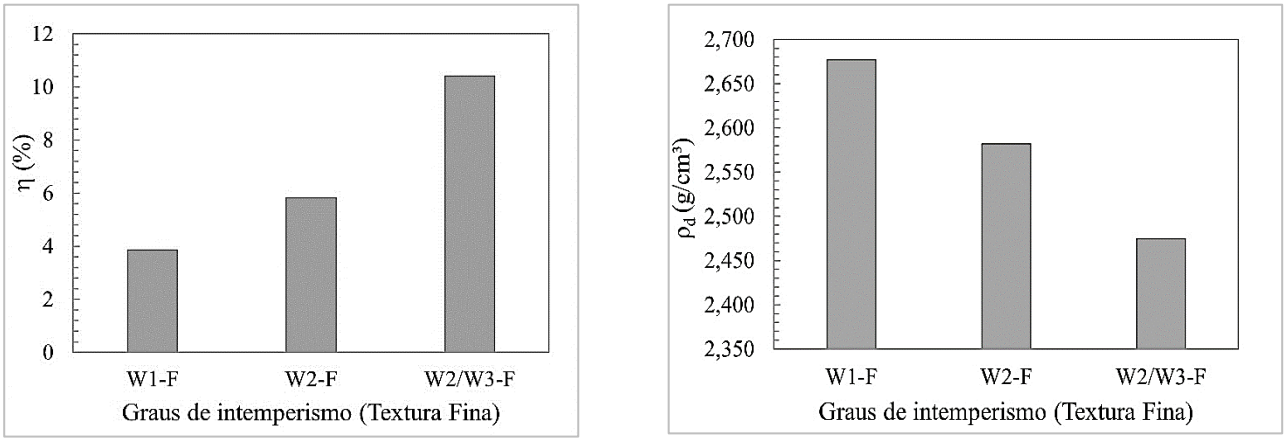
Tabela 1. Síntese estatística das propriedades físicas, mecânicas e dinâmicas dos filitos.

Identificação	n (V_p,V_s / Is)	η (%)	α (%)	ρ_d (g/cm³)	$Is_{(50)}$ (MPa)	V_p (m/s)	V_s (m/s)
W1-F	11 / 11	3,86	1,44	2,677	13,54 ± 2,01	5518 ± 555	3694 ± 285
W2-F	5 / 5	5,83	2,26	2,582	0,43 ± 0,27	2702 ± 149	1962 ± 208
W2-M	8 / 8	10,05	4,19	2,398	2,58 ± 0,72	1361 ± 208	1261 ± 154
W2-G	10 / 9	5,12	1,93	2,650	1,65 ± 0,82	1674 ± 413	1490 ± 309
W2/W3-F*	8 / 0	10,41	4,21	2,475	-	2572 ± 237	2019 ± 204

* Os ensaios de carga pontual foram desconsiderados por não atenderem aos critérios da ISRM (1985).

3.1 Variação com o Grau de Intemperismo

A Figura 4 apresenta a variação da porosidade (η) e da massa específica aparente seca (ρ_d) para amostras de textura fina, comparando os graus de intemperismo W1, W2 e W2/W3.



(a) (b)

Figura 4. Índices físicos em função do intemperismo: (a) porosidade; (b) massa específica aparente seca.

O avanço do intemperismo promoveu aumento progressivo da porosidade, que quase triplicou da classe W1 para W2/W3, acompanhado por redução da massa específica aparente seca. Esse comportamento é compatível com resultados reportados por Lopes et al. (2007) para filitos da Mina Córrego do Sítio e reflete a degradação da estrutura rochosa ao longo do processo intempérico. Esse aumento expressivo da porosidade é consistente com a intensificação da rede de microfraturas e a abertura de descontinuidades ao longo da foliação, fenômenos que Carvalho (2019) aponta como crescentes com o avanço da alteração.

Adicionalmente, o valor de ρ_d obtido para a classe W1 foi superior aos valores de referência reportados por Andrade e Saraiva (2010) para filitos W1/W2 (2,365 a 2,650 g/cm³). Esse resultado indica que, no estágio inicial, o material preserva sua integridade mineralógica. Seguindo essa tendência, o conjunto W2/W3 apresenta resultados que se inserem no intervalo proposto pelos autores para filitos de grau W3 (1,876 a 2,528 g/cm³). A concordância entre os valores obtidos e os intervalos de referência reforça a consistência da classificação adotada e reflete a evolução dos parâmetros físicos associados à degradação.

Em contrapartida, as velocidades de propagação de ondas ultrassônicas apresentaram um comportamento não linear com o avanço do intemperismo (Figura 5). As amostras com menor grau de intemperismo (W1-F) registraram um valor médio de Vp expressivamente superior aos observados para as amostras W2-F e W2/W3-F. A magnitude dos valores de velocidade de onda Vp obtidos se mostra compatível com a amplitude dos intervalos reportados por Andrade e Saraiva (2010) para filitos em estados de conservação equivalentes (1.810 a 5.323 m/s para o grau W1/W2 e 1.530 a 3.208 m/s para o W3).

A análise conjunta das propriedades mecânicas e dinâmicas evidencia um decaimento acentuado dos valores na transição do grau de alteração W1 para W2. Observou-se reduções de 51,0% em Vp e 46,9% em Vs, acompanhadas por uma queda de 96,8% em $Is_{(50)}$ para a textura fina (W1-F para W2-F). Em contraste, a passagem de W2 para W2/W3 é marcada por uma estabilização das propriedades dinâmicas, caracterizada por uma redução pouco expressiva, de 4,8%, em Vp; e por um incremento, de 2,9%, em Vs. Tal comportamento é compatível com o fato de a classe W2/W3 representar um estágio de transição de intemperismo entre os estados W2 e W3, não configurando ainda um grau plenamente alterado, o que se reflete na manutenção de propriedades dinâmicas próximas às observadas no estado W2.

Na transição de W2-F para o grau W2/W3-F, observou-se uma tendência de estabilização de ambas as velocidades, mesmo com o incremento da porosidade e redução da massa específica. Esse comportamento corrobora as observações de Carvalho (2019) em perfis de intemperismo de filitos na região do Quadrilátero Ferrífero, para os quais a estabilização, ou até um possível aumento, da velocidade sônica em estágios intermediários de alteração foi verificada tanto em ensaios realizados paralelamente quanto perpendicularmente à foliação.

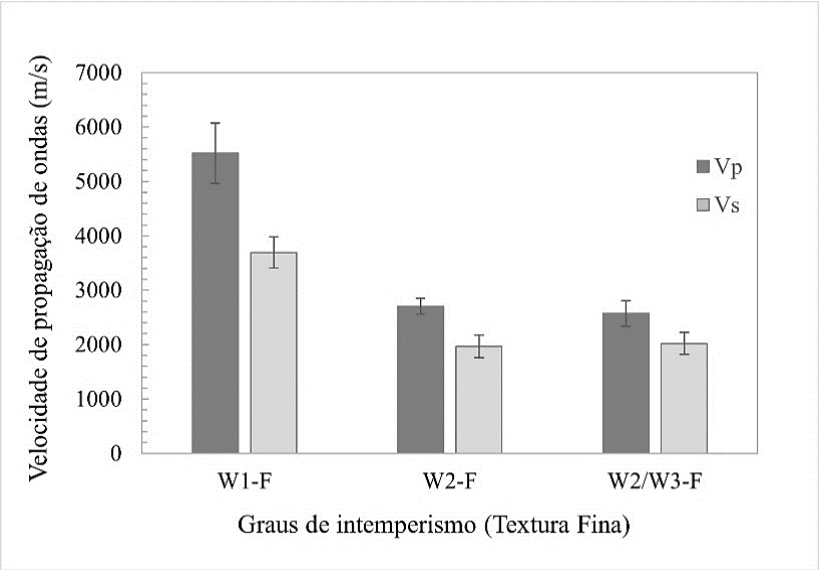


Figura 5. Comportamento das velocidades de onda (Vp e Vs) para os diferentes graus de alteração do filito.

3.2 Influência da Textura da Rocha

A análise da Tabela 1 evidencia que a textura das amostras (W2-F, W2-M e W2-G) exerce influência sobre os índices físicos, a resistência mecânica e a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, porém de maneira não linear. Conforme destacado por Tuğrul (2004), a textura não atua isoladamente, mas, associada à composição mineralógica e à geometria dos poros, configura-se como um dos principais fatores condicionantes da desintegração física da rocha. Nesse contexto, as amostras de textura fina (W2-F) apresentaram a maior velocidade média de propagação da onda P, superando os valores observados para as texturas média e grosseira. Em contrapartida, o grupo W2-F exibiu o menor valor de índice de carga pontual, enquanto as texturas média e grosseira apresentaram desempenho mecânico superior.

Essa correlação inversa pode ser explicada pela anisotropia intrínseca dos filitos e pelas características das superfícies de foliação. Segundo Vishnu et al. (2010), a aplicação de carga paralela à foliação - condição adotada neste estudo - favorece a ruptura pelos planos de fraqueza. No caso do W2-F, a granulometria fina sugere o desenvolvimento de planos de foliação mais lisos e contínuos, que oferecem menor resistência ao cisalhamento nessa direção. O comportamento da amostra W2-F com baixa resistência é consistente com os resultados de Carvalho (2019), que obteve para filitos W2 valores de 1,03 MPa com aplicação da carga na direção perpendicular à foliação e 0,18 MPa na direção paralela.

Além disso, o grupo W2-M obteve o maior desempenho mecânico, superando o grupo de textura grosseira, ainda que apresente porosidade significativamente maior e menor valor de Vp. Essa resposta mecânica superior pode ser atribuída às variações microestruturais. Conforme discutido por Waqas et al. (2024), a presença de minerais granulares em rochas metamórficas influencia os mecanismos de falha ao dificultar a propagação de fissuras. Os dados indicam, portanto, que a textura média pode estar associada a um arranjo estrutural mais eficiente para o bloqueio de fraturas do que a textura grosseira neste grau de intemperismo, reforçando a observação de Tuğrul (2004) sobre a complexidade e heterogeneidade dos fatores que controlam o comportamento mecânico de rochas intemperizadas.

3.3 Correlação entre Velocidade de Propagação de Ondas e Índice de Carga Pontual

A Figura 6 apresenta as correlações estabelecidas entre as velocidades de propagação das ondas Vp e Vs e o índice de carga pontual, $Is_{(50)}$. Para essa análise estatística, foram considerados exclusivamente os dados dos corpos de prova correspondentes aos graus de intemperismo W1 e W2, com a exclusão dos outliers, totalizando 31 pontos na correlação com Vp e 29 pontos na correlação com Vs. A Tabela 2 mostra as correlações obtidas entre $Is_{(50)}$ e Vp na literatura técnica e compara com a obtida neste estudo.

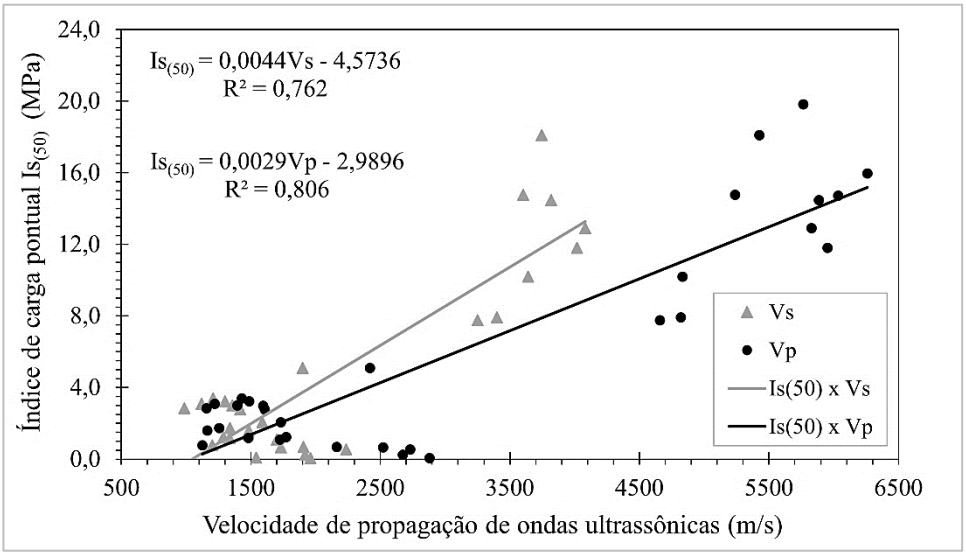


Figura 6. Correlação entre $Is_{(50)}$ e as velocidades de propagação Vp e Vs.

Tabela 2. Comparação entre correlações lineares $Is_{(50)}$-Vp reportadas na literatura e neste estudo.

Referência	Litologia	Equação	R^2
Kurtuluş et al. (2010)	Andesitos	$Is_{(50)} = 0{,}0018V_p - 1{,}9906$	0,950
Kurtuluş et al. (2012)	Rochas ultrabásicas Serpentinizadas	$Is_{(50)} = 0{,}0042V_p - 14{,}602$	0,895
Jamshidi et al. (2016)	Travertino	$Is_{(50)} = 6{,}67\ln V_p - 51{,}9$	0,925
Carvalho (2019)	Filitos	$V_p = 3155{,}9\ Is_{(50)} + 3574{,}1$	0,614
Este estudo	Filitos	$Is_{(50)} = 0{,}0029V_p - 2{,}9896$	0,806

As regressões lineares indicaram uma correlação positiva entre as velocidades de propagação de ondas e o índice de carga pontual, com coeficientes de determinação iguais a 0,806 para a relação com Vp e 0,762 para a relação com Vs. Este resultado demonstra um ajuste superior ao reportado por Carvalho (2019) para a mesma litologia. Embora estudos em rochas mais homogênea, isotrópicas ou de diferentes gêneses, como andesitos (Kurtuluş et al., 2010) e travertinos (Jamshidi et al., 2016), apresentem coeficientes de determinação ligeiramente superiores, o valor obtido para os filitos desta pesquisa é considerado representativo, dada a anisotropia e heterogeneidade das rochas metamórficas foliadas. A correlação positiva observada sugere que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (Vp) apresenta potencial como estimador do índice de carga pontual no material estudado, no contexto das condições de ensaio adotadas, contribuindo para a avaliação preliminar de parâmetros mecânicos por meio de métodos não destrutivos.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou a influência do intemperismo e das variações texturais nas propriedades geomecânicas dos filitos da região de Belo Horizonte. O avanço do intemperismo da classe W1 para W2/W3 resultou em aumento progressivo da porosidade (de aproximadamente 3,8% para valores superiores a 10%) e redução da massa específica aparente seca, indicando perda de integridade da matriz rochosa. As velocidades de propagação de ondas ultrassônicas apresentaram decaimento na transição do grau W1 para W2, com reduções superiores a 50%, seguido por uma estabilização dos valores entre os graus W2 e W2/W3, característica de estágios intermediários de alteração. A análise da resistência mecânica demonstrou que a textura não atua como fator isolado, uma vez que amostras de textura fina (W2-F), apesar de apresentarem maiores valores de velocidade de ondas ultrassônicas P (Vp), exibiram os menores índices de resistência à carga pontual ($Is_{(50)}$), evidenciando a predominância da anisotropia estrutural e da orientação da foliação no mecanismo de ruptura. As correlações entre Vp e $Is_{(50)}$ nos graus W1 e W2 indicam o potencial dos ensaios ultrassônicos como ferramenta auxiliar na estimativa preliminar da resistência mecânica de filitos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro e à Universidade Federal de Viçosa (UFV) pelo apoio institucional. Declara-se o uso de inteligência artificial exclusivamente para auxílio na revisão gramatical e na clareza textual, preservando-se a originalidade da análise científica e das conclusões pelos autores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, P.S., Saraiva, A.A. (2010) Physical and mechanical characterization of phyllites and metagreywackes in central Portugal. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 69(2), p. 207-214.

Carvalho, T.R.R. (2019) *Caracterização mineralógica, química, física e mecânica de perfis de intemperismo de filito sob clima tropical*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 128 p.

International Society for Rock Mechanics (1985) Suggested method for determining point load strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 22(2), p. 51-60.

Jamshidi, A., Nikudel, M.R., Khamehchiyan, M., Sahamieh, R.Z., Abdi, Y. (2016) A correlation between P-wave velocity and Schmidt hardness with mechanical properties of travertine building stones. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, p. 568.

Kurtuluş, C., Irmak, T.S., Sertçelik, I. (2010) Physical and mechanical properties of Gokceada: Imbros (NE Aegean Sea) Island andesites. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 69, p. 321–324.

Kurtuluş, C., Bozkurt, A., Endes, H. (2012) Physical and mechanical properties of serpentinized ultrabasic rocks in NW Turkey. *Pure and Applied Geophysics*, 169, p. 1205–1215.

Lopes, M.C., Lana, M.S., Ribeiro, L.F.M., Silva, C.H.C. (2007) Comportamento geotécnico de rochas brandas na mina Córrego do Sítio, Santa Bárbara (MG). *REM: Revista Escola de Minas*, 60(3), p. 471-476.

Tuğrul, A. (2004) The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey. *Engineering Geology*, 75(3-4), p. 215-227.

Ulusay, R., Hudson, J.A. (2007) *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006*. ISRM Turkish National Group, Ankara, 628 p.

Vishnu, C.S., Mamtani, M.A., Basu, A. (2010) AMS, ultrasonic P-wave velocity and rock strength analysis in quartzites devoid of mesoscopic foliations – implications for rock mechanics studies. *Tectonophysics*, 494(3-4), p. 191-200.

Waqas, U., Qureshi, M.U., Saqib, S., Rashid, H.M.A., Rasool, A.M. (2024) Evaluation of Strength Anisotropy in Foliated Metamorphic Rocks: A Review Focused on Microscopic Mechanisms. *Geosciences*, 14(10), p. 253.

Wyllie, D.C., Mah, C.W. (2004) *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*. 4th ed., Spon Press, London, 431 p.