# pH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO DO SOLO EM CAMPO RUPESTRE QUARTZÍTICO

**Autores: Thalia dos Anjos[1], Vinicius de Souza Monteiro[1], Irislene da Silva Lima[1], Sebastian Corredera Avalos[1], Andreyla Barbosa Cunha[1], Múcio Mágno de Melo Farnezi[2], Israel Marinho Pereira[2].**

[1]Universidade Federal do Espírito Santo, Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro - 29550-000 - Jerônimo Monteiro-ES, Brasil, anjosthalia198@outlook.com, viniciusmonteiro.15@hotmail.com, irislenelimaef@gmail.com, sebacorrederaavalos@gmail.com, andreyla.bcunha@gmail.com.
[2]Universidade Federal dos Vales dos Jequitinhonha e Mucuri/Departamento de Engenharia Florestal, Campus JK, Rodovia MGT 367, Km 583, 5000, Alto da Jacuba, Diamantina, 39100-000, Diamantina-MG, Brasil, mucio.farnezi@ufvjm.edu.br, israel@ufvjm.edu.br.

**Resumo**

O pH e a condutividade elétrica (CE) constituem variáveis importantes para a caracterização química do solo. Logo, o presente trabalho objetivou avaliar a relação entre o pH e a condutividade elétrica da solução do solo em uma área em processo de restauração (AR) e ecossistema de referência (ER) de Campo Rupestre Quartzítico (CRQ). Foram analisadas 20 amostras de solo provenientes da AR e ER. A relação entre pH e CE foi avaliada por meio do coeficiente de correlação de Pearson. Na AR, foi observada correlação positiva fraca entre as variáveis (r = 0,317), porém sem significância estatística (p = 0,372). No ER, a correlação foi negativa e de magnitude moderada (r = −0,505), também não significativa (p = 0,137). Os resultados indicam que a variação da condutividade elétrica não esteve linearmente associada ao pH nas áreas avaliadas. A ausência de correlações significativas sugere que outros atributos edáficos e fatores ambientais podem exercer maior influência sobre a variação da CE em CRQ. Portanto, considera-se importante a natureza multifatorial das relações dos ambientes quartzíticos em estudos de restauração ecológica.

**Palavras-chave**: Potencial Hidrogeniônico. Substrato. Correlação. Solubilidade.

**Área do Conhecimento:** Ciências Agrárias / Engenharia Florestal.

## Introdução

Os Campos Rupestres (CR) constituem ambientes campestres associados principalmente a afloramentos rochosos e apresentam elevada riqueza florística, endemismo e heterogeneidade ambiental. No Brasil, essas formações ocorrem especialmente em áreas montanhosas, com destaque para a Cadeia do Espinhaço, onde diferentes substratos geológicos condicionam a formação de mosaicos de habitats endêmicas (Sano *et al*., 2008; Fernandes *et al*., 2016). Nos ambientes sobre quartzito, os solos são frequentemente rasos, arenosos, ácidos e caracterizados por baixa disponibilidade de nutrientes (Messias *et al*., 2012), constituindo importantes filtros ambientais para o estabelecimento e desenvolvimento da vegetação.

O pH constitui uma das principais propriedades químicas utilizadas na caracterização do solo (Miller; Kissel, 2010). Sua importância está relacionada ao controle da disponibilidade de nutrientes, à solubilidade de determinados elementos e à atividade de organismos do solo (Miller; Kissel, 2010; Zhou, 2024). Já dados como de condutividade elétrica (CE) pode ser utilizado como indicador indireto da concentração de íons presentes na solução do solo. Dessa forma, a CE pode fornecer informações complementares sobre a dinâmica química do ambiente, especialmente em relação à presença de sais e outros constituintes iônicos dissolvidos (Barnard *et al*., 2021).

Em ambientes naturais submetidos a condições de baixa disponibilidade de nutrientes, como os CRQ, a relação entre pH e CE pode não apresentar um comportamento simples. Alterações na concentração de íons podem ocorrer independentemente de mudanças expressivas no pH, enquanto a acidez pode ser influenciada por diferentes processos, o que pode incluir a decomposição da matéria orgânica, lixiviação, intemperismo e ciclagem de nutrientes (Mcbride; Blasiak, 1979). Dessa maneira, a

existência de uma relação entre essas duas variáveis pode depender das características específicas do ambiente e da escala espacial considerada.

Diante desse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a relação entre o pH e a condutividade elétrica da solução do solo em uma área em processo de restauração de Campo Rupestre Quartzítico e ecossistema de referência. Especificamente, verificar a existência e a intensidade da associação linear entre essas variáveis em cada ambiente.

## Metodologia

Para a realização do presente trabalho selecionou-se uma área de Campo Rupestre Quartzítico (CRQ) degradada em processo de restauração ecológica (AR) e uma área não degradada circunvizinha (Ecossistemas de Referência (ER)) na região da Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, Minas Gerais. As áreas de estudo situam-se nas coordenadas geográficas 18° 31' 09.44"S, 43° 53' 04.66"W, a 1.248 m de altitude, no município de Gouveia, Minas Gerais, e corresponde a uma pilha de rejeitos, com histórico de atividade de extração de rochas ornamentais de quartzito. O ambiente em restauração possui uma área de 2 hectares e teve o início do processo de restauração no ano de 2016 com o uso de gramíneas nativas dos campos rupestres. Os substratos expostos pela mineração na AR é caracteristicamente um tecnossolo (IUSS, 2015).

Foram coletadas 20 amostras compostas de 1000 cm³ de solo (10 amostras por ambiente) na profundidade de 0-10 cm em 20 parcelas de 100 m² (10 m x 10 m) plotadas nas áreas de interesse. As amostras coletadas e identificadas foram conduzidas para análise em Laboratório de Caracterização de Solos e Substratos. Posteriormente realizou-se a preparação das 20 amostras de solução do solo para medição com o auxílio de sensor calibrado e ajustado em uma solução padrão de condutividade conhecida (como KCl a 1413 µS/cm ou 146,9 µS/cm), com simultânea anotação dos valores resultantes na unidade de microsiemens por centímetro (µS/cm). O pH foi analisado em solução de cloreto de cálcio 0,01 mol/L (Schofield; Taylor, 1955;). O pH avaliado em solução de $CaCl_2$ 0,01 mol $L^{-1}$ foi medido com o auxílio de potenciômetro (EMBRAPA, 1997).

Os dados foram tabelas no Excel®. Posteriormente, realizou-se o procedimento no software R (R Core Team 2026), com o auxílio dos pacotes: "*ggplot2*" (Wickham, 2016) e "*dplyr*" (Wickham *et al*., 2013). Além disso, fez-se uso da correlação de Pearson (r).

## Resultados

O substrato da área em restauração apresenta maior pH comparado ao ER. Comportamento contrário observado no ambiente de referência em relação à restauração ($CE_{AR} < CE_{ER}$) (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores médios (Med.) e erro padrão (Se) do pH e da condutividade elétrica do tecnossolo e do solo das áreas estudadas: habitat em restauração (AR) e ecossistema de referência (ER), respectivamente, de campo rupestre quartzítico, em área de extração de rochas ornamentais, em Gouveia, Minas Gerais.

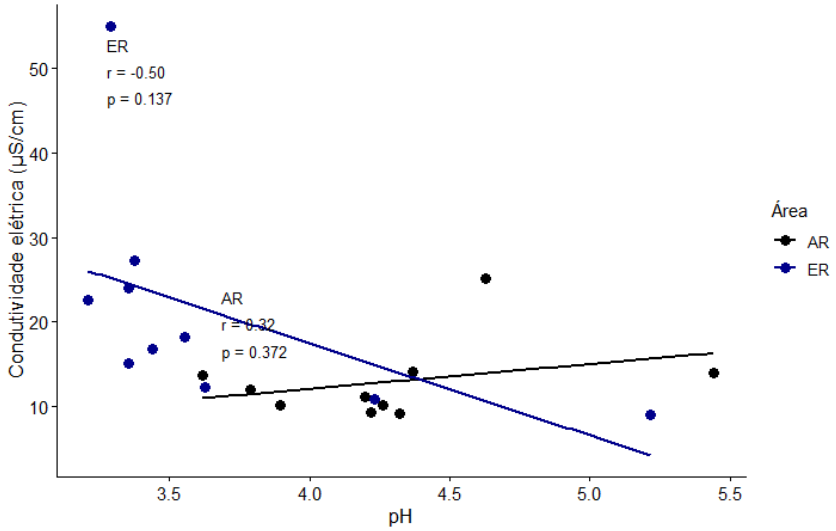
| **Ambiente** | **AR** | | **ER** | | **p-valor** |
|---|---|---|---|---|---|
| Variável | Med. | Se | Med. | Se | |
| pH | 4,27 | ± 0,1604 | 3,67 | ± 0,1950 | 0,0066* |
| CE (µS/cm) | 12,86 | ± 1,4835 | 21,10 | ± 4,2072 | $0,0630^{ns}$ |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2026. Onde lê-se: pH = Potencial Hidrogeniônico; CE = Condutividade Elétrica; Med. = Média; Se = erro padrão; ns = não significativo; nível de significância (*0,05).

Na AR, observou-se uma correlação positiva fraca entre pH e condutividade elétrica (r = 0,317), porém não significativa (p = 0,372) (Figura 1). No ecossistema de referência (ER), a correlação foi negativa e de magnitude moderada (r = −0,505), mas também não significativa (p = 0,137) (Figura 1). A associação não apresentou evidências estatísticas suficientes para indicar uma relação linear consistente entre as variáveis.

Figura 1 – Gráfico de correlação das variáveis pH e condutividade elétrica do tecnossolo e do solo das áreas estudadas: habitat em restauração (AR) e ecossistema de referência (ER), respectivamente, de campo rupestre

quartzítico, em área de extração de rochas ornamentais, em Gouveia, Minas Gerais.




Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2026. Onde lê-se: r = coeficiente de correlação.

As duas áreas em estudo apresentaram tendências distintas, ao passo que nenhuma das correlações atingiu o nível de significância estabelecido (α = 0,05). Concomitantemente, AR apresentou tendência positiva, o ER apresentou tendência negativa. A relação entre pH e CE não foi consistente entre os ambientes avaliados.

**Discussão**

A ausência de correlação significativa entre pH e condutividade elétrica nas duas áreas indica que a variação da concentração de íons representada pela CE não esteve diretamente associada às variações de acidez do solo na escala amostral considerada. Esse resultado pode indicar a influência das variabilidades e diferenças das propriedades edáficas, como relevo, profundidade do solo, matéria orgânica, regime hídrico e intensidade dos processos de lixiviação em ambientes de Campo Rupestre Quartzítico (Sano *et al*., 2008; Negreiros *et al*., 2011; Messias *et al*., 2012).

O pH expressa a atividade dos íons hidrogênio na solução e está associado à acidez do sistema (Miller; Kissel, 2010), enquanto a CE responde à quantidade e mobilidade das espécies iônicas presentes na solução (Brady; Senese, 2009). Portanto, uma alteração na concentração de determinados nutrientes ou outros íons pode modificar a CE sem necessariamente produzir alteração proporcional no pH (Kaewwiset; Yooyativong, 2017; Tagami; Uchida, 2025).

Na área em restauração, a correlação positiva observada (r = 0,317) indica uma tendência de aumento da CE com o aumento do pH. Embora fraca e não significativa, essa tendência pode estar relacionada a processos associados à recuperação do solo, como o estabelecimento da vegetação e o aumento da produção, deposição de resíduos vegetais e a incorporação de matéria orgânica (Chakravarty *et al*., 2022). Entretanto, como o resultado não foi significativo e esse estudo não objetivou compreender a dinâmica de ciclagem, essa possibilidade deve ser considerada como hipótese ecológica e cabível a aprofundamentos metodológicos e de pesquisas.

Nesse sentido, a ausência de correlação significativa na área em restauração não deve ser interpretada como ausência de alterações ou processos edáficos efetivos. A recuperação de atributos do solo ocorre de maneira gradual e pode envolver diferentes trajetórias a depender das propriedades analisadas e do ambiente em estudo, uma fitofisionomia campestre degradada pela mineração (Fernandes *et al*., 2026).

Uma possível explicação para a ausência de significância está relacionada à elevada heterogeneidade natural dos Campos Rupestres (Messias *et al*., 2012; Cunha-Blum *et al*., 2025). A paisagem desses ambientes é composta por diferentes microhabitats, como afloramentos rochosos, áreas de solo arenoso, campos pedregosos e áreas com menor acúmulo de matéria orgânica (Le

Stradic, 2012). Essa heterogeneidade pode produzir diferenças locais nas propriedades químicas do solo, aumentando a variabilidade dos dados.

Os resultados obtidos neste estudo também indicam a necessidade de ampliar a investigação para outras propriedades do solo. A ausência de correlação significativa entre pH e CE pode estar relacionada ao fato de que essas duas variáveis representam apenas uma pequena parcela da complexidade química do sistema (Hesterberg; Vergütz, 2017). A inclusão de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions, saturação por bases, alumínio, cálcio, magnésio, potássio e fósforo, por exemplo, poderia ajudar a identificar quais componentes estão mais diretamente relacionados à dinâmica da solução do solo.

## Conclusão

A relação entre pH e condutividade elétrica apresentou comportamento distinto entre a área em restauração e o ecossistema de referência de Campo Rupestre Quartzítico.

Os resultados não permitem afirmar que exista relação linear significativa entre pH e condutividade elétrica. A ausência de associação significativa reforça a complexidade dos processos edáficos em Campo Rupestre Quartzítico.

## Referências

BARNARD, J. H.; MATTHEWS, N.; DU PREEZ, C. C. Formulating and assessing best water and salt management practices: lessons from non-saline and water-logged irrigated fields. **Agricultural Water Management**, v. 247, 106706, 2021. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106706.

BRADY, James E.; SENESE, Fred. **Química**: a matéria e suas transformações: volume 1. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

CHAKRAVARTY, S.; RAI, P.; PALA, N. A.; SHUKLA, G. Litter production and decomposition in tropical forest. In: Information Resources Management Association. **Research anthology on ecosystem conservation and preserving biodiversity**. Hershey: IGI Global, 2022. p. 1416–1435. DOI: 10.4018/978-1-6684-5678-1.ch068.

CUNHA-BLUM, J.; RAMOS, L.; NEGREIROS, D.; PAIVA, D. C.; GOMES, V. M.; BORGES, L. M.; TELES, A. M.; FERNANDES, G. W. Towards the reference ecosystems for quartzitic campo rupestre: Floristic composition and soil relationships. **Ecological Engineering**, v. 211, 2025. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2024.107463.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 212 p.,1997.

FERNANDES, G. W.; BAHIA, T. O.; ALMEIDA, H. A.; GÉLVEZ-ZÚÑIGA, I.; AGUILAR, R.; GOMES, V. M.; PUPERI, F. B.; RAMOS, L.; NEGREIROS, D. Mining legacy constrains campo rupestre regeneration after 50 and 300 years. **Ecological Management & Restoration**, v. 27, n. 3, e70061, 2026. DOI: 10.1111/emr.70061.

FERNANDES, G. W. The Shady Future of the Rupestrian Grassland: Major Threats to Conservation and Challenges in the Anthropocene. In: FERNANDES, G. (eds) Ecology and Conservation of Mountaintop grasslands in Brazil. **Springer**, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-29808-5_23.

HESTERBERG, D.; VERGÜTZ, L. Radiação síncrotron na agricultura e ciência do solo. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 69, n. 3, p. 52–55, 2017. DOI: 10.21800/2317-66602017000300015.

IUSS Working Group WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps., **World Soil**

**Resources Reports**, n. 106. FAO, Rome.

KAEWWISET, T.; YOOYATIVONG, T. **Estimation of electrical conductivity and pH in hydroponic nutrient mixing system using linear regression algorithm**. In: international conference on digital arts, media and technology (ICDAMT), 2017, Chiang Mai. Proceedings [...]. Piscataway: IEEE, 2017. p. 1–5. DOI: 10.1109/ICDAMT.2017.7904922.

LE STRADIC, S. **Composition, phenology and restoration of campo rupestre mountain grasslands** - Brazil. PhD Thesis, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, FR & Universidade Federal de Minas Gerais, BR, 2012.

MCBRIDE, M. B.; BLASIAK, J. J. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 866-870, 1979.

MESSIAS, M. C. T. B.; LEITE, M. G. P.; MEIRA-NETO, J. A. A.; KOZOVITS, A. R. Fitossociologia de campos rupestre quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 26, p. 230-242, 2012. DOI: 10.1590/S0102-33062012000100022.

MILLER, R. O.; KISSEL, D. E. Comparison of soil pH methods on soils of North America. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n. 1, p. 310-316, 2010. DOI: 10.2136/sssaj2008.0047.

MESSIAS, M. C. T. B.; LEITE, M. G. P.; MEIRA-NETO, J. A. A.; KOZOVITS, A. R. Fitossociologia de campos rupestre quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 26, p. 230-242, 2012. DOI: 10.1590/S0102-33062012000100022.

NEGREIROS, D.; FERNANDES, G. W.; BERBARA, R. L. L.; RODARTE, L. H. O.; BARBORA, N. P. De U. Characterization of quartzitic degraded soils and adjacent areas of rupestrian fields, Serra do Cipó, MG, Brazil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 6, n. 3, p. 156-161, 2011. DOI: 10.4013/nbc.2011.63.02.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado** - Ecologia e Flora. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF, v. 1, p. 279, 2008.

SCHOFIELD, R. K.; TAYLOR, A. W. The measurement of soil pH. **Soil Science Society of America Journal**, v. 19, n. 2, p. 164-167, 1955. DOI: 10.2136/sssaj1955.03615995001900020013x.

TAGAMI, Keiko; UCHIDA, Shigeo. Fundamental study on measurement of soil pH and electrical conductivity in batch tests for the determination of soil-soil solution distribution coefficient. **Nuclear Engineering and Technology**, v. 57, n. 3, p. 103269, 2025. DOI: 10.1016/j.net.2024.10.031.

WICKHAM, H.; FRANÇOIS, R.; HENRY, L.; MÜLLER, K.; VAUGHAN, D. **Dplyr**: A Grammar of Data Manipulation (R package version 1.1.4), 2023. Disponível em: <https://CRAN.Rproject.org/package=dplyr>.

ZHOU, J. M. The relationship between soil pH and geochemical components. **Environmental Earth Sciences**, v. 83, n. 402, 2024. DOI: 10.1007/s12665-024-11711-1.

**Agradecimentos**

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