

Avaliação agronômica de diferentes agrominerais silicáticos como fonte de potássio em ambiente controlado⁽¹⁾

Ygor Silva Louzada⁽²⁾, João Augusto Dourado Loiola⁽³⁾, Ricardo de Castro Dias⁽⁴⁾, Jorge Makhlouta Alonso⁽⁵⁾, Diego Macedo Veneu⁽⁶⁾, Everaldo Zonta⁽⁷⁾, Paulo César Teixeira⁽⁸⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa (SEG 20.20.06.001.00.02) e FNDCT/Finep/Rede FertBrasil (Convênio: 01.22.008.00). ⁽²⁾ Bolsista CNPq/PIBIC, Discente de Agronomia da UFRRJ, Seropédica-RJ. ⁽³⁾ Mestrando em Agronomia (Ciência do Solo) da UFRRJ, Seropédica-RJ. ⁽⁴⁾ Professor da Universidade de Rio Verde, Rio Verde-GO. ⁽⁵⁾ Bolsista da Embrapa Solos, Rio de Janeiro-RJ. ⁽⁶⁾ Professor do Instituto de Geografia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Cabo Frio-RJ. ⁽⁷⁾ Professor titular do Departamento de Solos da UFRRJ, Seropédica-RJ. ⁽⁸⁾ Pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro-RJ.

Resumo – O Brasil possui ampla disponibilidade de rochas silicáticas com potássio na composição, no entanto a utilização destes materiais como fertilizantes potássicos é controversa, já que o K presente neles se encontra em baixos teores e solubilidade. O objetivo do trabalho foi avaliar a utilização de agrominerais silicáticos (AgSi) como fonte de potássio em comparação a fertilizantes minerais tradicionais. Os experimentos foram conduzidos em vasos dispostos em casa de vegetação. Foram avaliados 15 tratamentos, sendo 11 AgSi, três doses de KCl e um controle, sem aplicação de K. A planta indicadora foi o milho híbrido BM 990 Vip3 (*Zea mays* L.) em dois cultivos sucessivos. Foram testados dois solos (argiloso e arenoso), sendo montado um experimento para cada. A dose de K foi de 160 mg/kg de solo para o solo argiloso e 80 mg/kg para o arenoso. Ao término de cada ciclo, a parte aérea das plantas foi coletada para a determinação da matéria seca. No solo arenoso, as doses de KCl obtiveram os melhores resultados. Os AgSi apresentaram produção semelhante ao controle, com exceção das amostras 3 e 10. No solo argiloso a amostra 10 apresentou produção igual as doses de KCl e amostras 7, 5, 9 e 3 foram superiores ao controle. Todos os AgSi apresentaram eficiência relativa abaixo de 50% no solo arenoso, assim como no argiloso (com exceção das amostras 10, 7 e 5). Conclui-se que o potencial para a aplicação da maioria dos AgSi como fonte eficiente de K é muito baixo.

Palavras-Chave: *Zea mays*, remineralizador, nutrição potássica, condicionador de solo, adubação.

Introdução

Os solos brasileiros são originalmente ácidos, muito intemperizados e com baixos teores de nutrientes, principalmente P e K, além da baixa disponibilidade de N. Para atingir a produção agrícola esperada, são necessárias técnicas de correção da acidez do solo e aplicação de fertilizantes para elevar a disponibilidade de nutrientes (Resende et al., 2016). Entretanto, a produção nacional de fertilizantes é, historicamente, muito inferior à demanda interna e não apresenta crescimento similar. A busca por soluções alternativas para manejo e nutrição das culturas torna-se estratégica para a sustentabilidade da produção agrícola.

O K é um dos macronutrientes exigido em maior quantidade pelas plantas e no Brasil é o que apresenta maior percentual de dependência externa. Outro agravante é que os solos brasileiros são, em geral, pobres em minerais contendo K e apresentam baixa CTC, o que pode favorecer a lixiviação desse nutriente (Batista et al., 2018). Uma alternativa em potencial é o uso de rochas silicáticas moídas que, embora apresentem baixos teores de K e baixa solubilidade, possuem ampla disponibilidade geológica no Brasil.

Há uma série de estudos comprovando que é possível extrair K a partir de rochas moídas, chegando a no máximo 20% do seu percentual. No entanto, a correlação das diferentes fontes e extratores com o crescimento vegetal é inconclusiva. Em testes laboratoriais, Machado et al. (2016) procederam extrações sucessivas por até 60 dias em amostras de pó de rocha silicáticas com os ácidos orgânicos cítrico e málico. Esses ácidos promoveram a liberação de apenas 4,86 e 4,34% do potássio total do resíduo, respectivamente. Estudo recente com pós de rocha de resíduos de mineração avaliou o potencial de suprimento de potássio de diferentes frações granulométricas desse material utilizando água, ácidos orgânicos e minerais como extratores (Basak et al., 2018). Houve um aumento na liberação de K com a diminuição do tamanho das partículas e a quantidade de K

liberado variou conforme os extratores utilizados. Os métodos biológicos e químicos foram capazes de extrair apenas 12 a 20% do K total presente nas amostras de pó de rocha.

O uso de remineralizadores tem sido pauta na mídia agrícola, mas não existe consenso sobre o assunto. Em janeiro de 2020, a Embrapa apresentou um posicionamento oficial sobre esse tema enfatizando que, atualmente não há informação científica suficiente para se recomendar AgSi como fonte de nutrientes, sobretudo de potássio, ou condicionadores de solos para a agricultura.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência agronômica de diferentes agrominerais silicáticos como fonte de potássio na produção de milho em casa de vegetação.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em Seropédica-RJ. Os insumos utilizados no experimento, nomeadamente o KCl e os AgSi de diferentes localidades, foram obtidos no mercado. A caracterização química dos AgSi foi realizada por análise de Fluorescência de Raios X (FRX) em um equipamento PanAnalytical, modelo AXIOS MAX, utilizando o método da análise semiquantitativa (Tabela 1).

Amostras de dois solos, classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Planossolo Háplico (SX) conforme Santos et al. (2018), foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade nos municípios de Pinheiral- RJ e Seropédica-RJ, respectivamente. Essas amostras foram secas ao ar, tamisadas em peneira com abertura de malha de 4 mm, e posteriormente incubadas por quarenta dias com calcário dolomítico (30% de CaO, 10% de MgO, com PRNT de 76%).

Tratamentos e amostragens

O experimento foi montado no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e 15 tratamentos sendo 11 AgSi, três doses de KCl e um tratamento controle, sem aplicação de K. Os insumos foram aplicados por incorporação ao solo. As unidades experimentais foram vasos plásticos contendo 3 kg de solo. A planta indicadora foi o milho híbrido BM 990 Vip3 (*Zea mays* L.). A dose de K foi de 160 mg/kg de solo para o solo argiloso e 80 mg/kg para o solo arenoso, considerando o teor total de K dos diferentes materiais usados. Para o solo argiloso, foram aplicados em cada vaso 5,127 g de AgSi_1; 38,663 g de AgSi_2; 6,617 g de AgSi_3; 4,461 g de AgSi_4; 13,794 g de AgSi_5; 7,145 g de AgSi_6; 15,216 g de AgSi_7; 5,256 g de AgSi_8; 16,061 g de AgSi_9; 36,137 g de AgSi_10; 17,006 g de AgSi_11; e 0,975g de KCl. Para o KCl, foram estabelecidas duas outras doses equivalentes a 50% e 25% do total de K (0,488 g e 0,244 g, respectivamente). Para o solo arenoso, as doses aplicadas foram equivalentes à metade da aplicada no solo argiloso em todos os tratamentos.

Antes do plantio, em todas as parcelas, foram aplicados em solução o equivalente a 130 mg/kg de N, 300 mg/kg de P, 40 mg/kg de S, 4 mg/kg de Zn, 3,6 mg/kg de Mn, 1,5 mg/kg de Fe, 1,3 mg/kg de Cu, 0,8 mg/kg de B e 0,15 mg/kg de Mo, conforme Dias et al. (2022), utilizando as fontes $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, MgSO_4 , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 e $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Em seguida, os vasos foram irrigados com o intuito de elevar a umidade do solo a 70% da capacidade máxima de retenção de água.

Oito dias após a semeadura foi feito o desbaste, permanecendo duas plantas por vaso. A umidade foi mantida por meio da pesagem diária das unidades experimentais com reposição da água faltante. Aos 45 dias foi realizada a coleta da parte aérea das plantas de milho nos dois solos. A poda foi realizada rente ao solo. As amostras coletadas foram identificadas, secas em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C por 72h e pesadas. Após a primeira coleta, foi realizada nova adubação com solução nutritiva básica com 70% da dose inicial. Em seguida, foi realizado o segundo plantio. Os procedimentos metodológicos foram praticamente os mesmos usados no primeiro cultivo, entretanto, no solo arenoso, as plantas foram colhidas aos 30 DAE e no argiloso aos 45 DAE.

Foi determinada a eficiência relativa dos AgSi em relação ao KCl.

Análise estatística

As análises estatísticas e gráficos foram elaborados utilizando o software estatístico R (R Core Team, 2022). Os dados foram submetidos à análise de variância. Em seguida, procedeu-se a análise da normalidade dos resíduos por meio do teste de Shapiro-Wilk, e à análise da homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Sempre que necessário, os dados foram transformados e os pressupostos da ANOVA foram verificados novamente. As médias, quando indicada diferença significativa pelo teste F, foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Para o solo arenoso no primeiro cultivo, os melhores resultados foram observados nos tratamentos que receberam KCl nas diferentes doses. Com exceção da amostra 3, todos os AgSi promoveram resultados semelhantes ao do tratamento controle, sem adubação com K. No solo argiloso os resultados foram um pouco diferentes, as plantas cultivadas com os AgSi 3 e 10 tiveram resultados semelhantes às adubadas com as diferentes doses de KCl. As demais amostras apresentaram resultados iguais ao do tratamento controle. Os resultados demonstram que devido ao seu menor teor de K, o solo arenoso foi mais responsivo a adubação que o solo argiloso.

Para a MSPA acumulada nos dois ciclos de cultivo no solo arenoso, observa-se que as duas maiores doses de KCl apresentaram as maiores médias, seguida da menor dose de KCl (Figura 1A). Entre os AgSi, apenas as amostras 3 e 10 apresentaram média superior ao tratamento controle. Os resultados apresentaram um padrão diferente para o solo argiloso, as maiores médias foram observadas para a dose de 160 de KCl e a amostra 10 de AgSi, seguidas das médias da dose de 80 de KCl e da amostra 7 e da dose de 40 de KCl e as amostras 3, 5 e 9 de AgSi (Figura 1B). Os outros seis AgSi apresentaram médias de MSPA semelhantes às do tratamento controle.

O desempenho inferior de mais da metade dos AgSi pode ser explicado pela baixa solubilidade do K nestes insumos. Muitos dos minerais presentes nos AgSi apresentam estrutura formada por uma rede tridimensional de tetraedros de SiO_2 e de AlO_2 formando materiais de grande estabilidade (Bakken et al., 2000). Para o K ser liberado dessas estruturas tridimensionais, é necessária a quebra das ligações O-Si e O-Al, que por sua vez são consideradas muito estáveis (Klein e Dutrow, 2012).

A maior produção de matéria seca para a amostra 10, quando comparada aos demais AgSi, pode estar mais associada à melhoria das propriedades físico-químicas do ambiente radicular do que ao fornecimento de K. A concentração de caulinita (Tabela 3), CaO e a saturação por bases (Tabela 2) desta amostra de AgSi corroboram com tal justificativa. Conforme observaram Alovise et al. (2019), a aplicação de agromineral em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa resultou em benefício para as plantas devido ao aumento do pH, diminuição da acidez potencial, aumento da capacidade de troca catiônica e da saturação por bases.

A comparação dos resultados observados para a matéria seca total nos dois solos também sugere que o efeito corretivo da saturação por bases e da presença de CaO na amostra 10 podem justificar os resultados observados. A correção do solo argiloso antes do experimento pode não ter sido totalmente efetiva, possibilitando que outro efeito, diferente do fornecimento de K, ocasionasse ganho na produção. Ao mesmo tempo que no solo arenoso, praticamente todo o K disponível foi utilizado no primeiro cultivo, limitando severamente o crescimento das plantas.

A disponibilização de outros nutrientes (além do K) para as plantas, notadamente micronutrientes, também é uma justificativa plausível para os resultados superiores ao do tratamento controle observados para as amostras 3 e 10 no solo arenoso e 3, 5, 7, 9 e 10 para o solo argiloso. Segundo Van Straaten (2009), o Brasil possui uma alta geodiversidade, sendo comum a presença de micronutrientes em subprodutos da extração de metais, como os insumos avaliados no presente trabalho.

Avaliado a eficiência relativa para a utilização do K pelas plantas, verifica-se que todos os AgSi apresentaram valores abaixo de 50% no solo arenoso (Figura 2A). Para o solo argiloso,

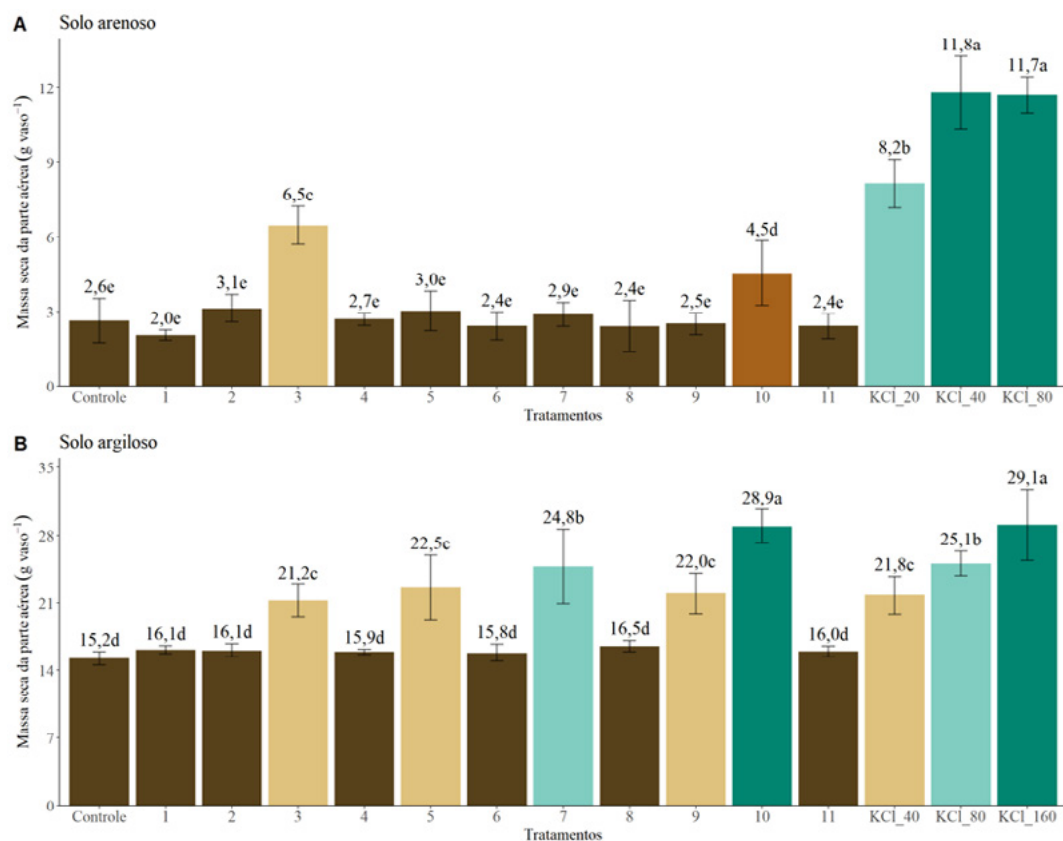
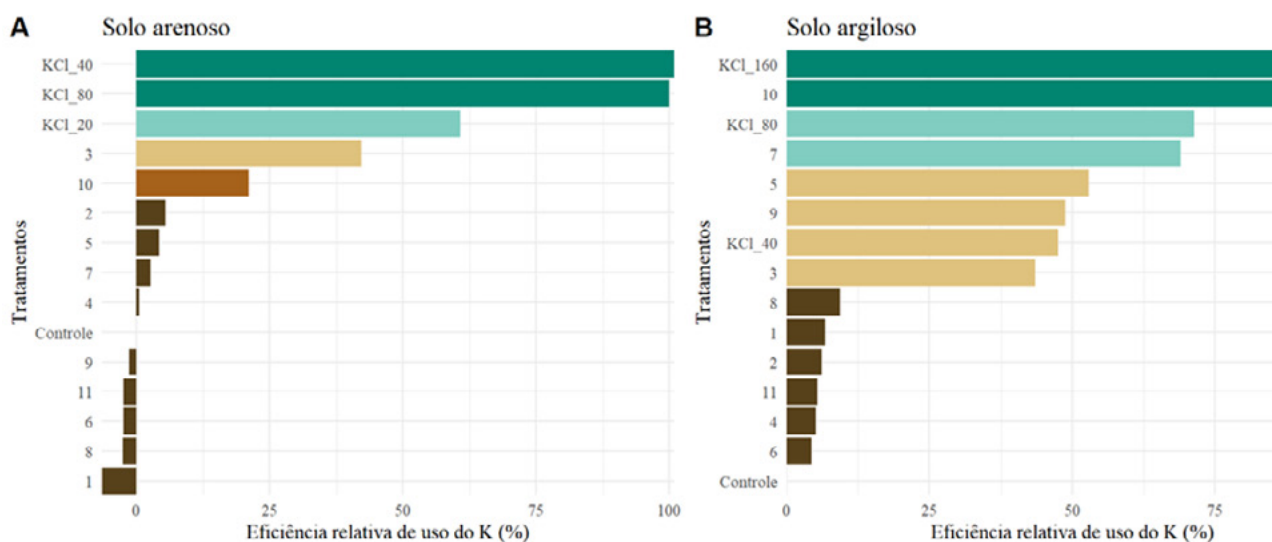


Figura 1. Matéria seca da parte aérea acumulada em dois cultivos de plantas de milho adubadas com diferentes agrominerais silicáticos e KCl em solo arenoso (A) e argiloso (B). Barras na vertical referem-se ao desvio padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de significância

com exceção da amostra 10 que apresentou eficiência próxima de 100%, da 7 e da 5 com eficiência entre 50–75%, todos os AgSi apresentaram eficiência abaixo de 50% quando comparados com a produção de MSPA do KCl em dose equivalente de K_2O (Figura 2B).

Outro fator que deve ser avaliado é quantidade do insumo a ser aplicado para atingir os resultados observados no presente trabalho. Por exemplo, para os produtos 3 e 10 no solo

Figura 2. Eficiência relativa de uso do K em plantas de milho adubadas com diferentes agrominerais silicáticos em solo arenoso (A) e argiloso (B) em função da massa seca da parte aérea acumulada em dois cultivos. Tratamentos identificados com a mesma cor não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) para a média da MSPA.



arenoso, seria necessária a aplicação de uma quantidade 16,1 e 169,5 vezes maior em relação à quantidade de KCl. No solo argiloso, para os produtos 10, 7, 5, 9 e 3 seria necessária a aplicação de uma quantidade 53, 32, 22, 32 e 505 vezes maior que a quantidade aplicada de KCl. Portanto, para obter resultados similares ao do presente estudo, seria necessário aplicar no solo uma quantidade muito elevada desses AgSi em comparação ao KCl. A aplicação de grandes quantidades destes insumos implicaria em custos mais elevados de transporte, armazenamento e para a aplicação no solo.

Conclusões

Para os dois solos, a dose de 100% de KCl foi o tratamento mais adequado para o fornecimento de potássio às plantas. A maioria dos AgSi testados apresentou eficiência relativa muito baixa em relação ao uso de KCl, especialmente no solo arenoso. Desta forma, o potencial para a aplicação da maioria dos AgSi como fonte eficiente de K é muito baixo.

Agradecimentos

À Embrapa, pelo apoio logístico e financeiro à pesquisa (SEG 20.20.06.001.00.00). Ao Departamento de Solos da UFRRJ, pelo apoio logístico. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de pesquisa. À FNDCT/FINEP/Rede FertBrasil, pelo apoio financeiro (Convênio 01.22.0080.00, Ref. 1219/21).

Referências

- ALOVISI, A. A.; MAUAD, M.; ALOVISI, A. M. T.; TOKURA, L. K.; SILVA, R. S.; GOMES, C. F.; RICIERI, R. P.; SIQUEIRA, J. A. C.; OLIVEIRA, G. B.; LIMA, B. F.; ARAÚJO, W. A. Chemical attributes of soil and response of wheat to serpentinite in direct seeding system. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 6, p. p460, 15 maio 2019.
- BAKKEN, A. K.; GAUTNEB, H.; SVEISTRUP, T.; MYHR, K. Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 53–57, 2000.
- BASAK, B. B.; SARKAR, B.; SANDERSON, P.; NAIDU, R. Waste mineral powder supplies plant available potassium: Evaluation of chemical and biological interventions. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 186, p. 114-120, 2018.
- BATISTA, M.A.; INOUE, T.T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A.S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 113-162.
- DIAS, R.C.; TEIXEIRA, P.C.; PEREIRA, R.N.; LOIOLA, J.A.D.; PEREIRA, M.G.; ZONTA, E. Curvas de resposta do milho à adubação potássica obtidas através de experimento fatorial. **Revista Agrária Acadêmica**, v.5, n.2, p.35-49, 2022.
- KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais**. 23. ed. São Paulo: Artmed Editora S.A., 2012.
- MACHADO, R. V.; ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R.; RIBEIRO, R. C. D. C.; MENDONÇA, E. S.; MESQUITA, L. F. Characterization of ornamental rock residue and potassium liberation via organic acid application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40, 2016.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em 04 out. 2023.
- RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E. SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, v. 156, p. 1-19, 2016.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 355 p.

Van STRAATEN, P. Agrogeology: geological soil rejuvenation processes and agromineral resources. IN: RIBEIRO, M.R.; NASCIMENTO, C.W.A.; RIBEIRO FILHO, M.R.; CANTALICE, J.R.B. **Tópicos em ciência do solo** – vol. 1. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 319 – 412.