



Artigo de Original

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v17n12023p69-79

Submetido em: 19 dez. 2022

Aceito em: 30 dez. 2023

Características geoquímicas da camada superficial do solo da Fundação Caio Martins, São Francisco, MG

Chemical characteristics of the soil superficial layer of the Caio Martins Foundation, São Francisco, MG

Características geoquímicas de la capa superficial del suelo en la Fundación Caio Martins, São Francisco, MG

Pedro Luiz Teixeira de Camargo  <https://orcid.org/0000-0003-2652-4323>

Instituto Federal de Minas Gerais

Doutor em Ciências Naturais pela UFOP-MG. Professor EBTT do IFMG. Membro da Direção Eixo Sudeste da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica (EcoEco)

E-mail: pedroOpeixe@yahoo.com.br

Paulo Pereira Martins Júnior

Universidade Federal de Ouro Preto.

Doutor em Geologia pela Universidade de Paris, Professor Adjunto IV da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

E-mail: paulo.sunior@ufop.br

Marcílio Baltazar Teixeira  <https://orcid.org/0000-0003-1310-3837>

Universidade Federal de Pernambuco

Doutor em Ciências Naturais pela UFOP, Professor Associado da UFPE

E-mail: marcilio.baltazar@hotmail.com

Fernando Antônio Madeira

Universidade do Trabalho de Minas Gerais

Doutor em Química pela UFMG, Professor da UTRAMIG

E-mail: fernando.madeira@utramig.mg.br

Raphaella Karla Portes Beserra  <https://orcid.org/0000-0002-5734-888X>

Doutoranda em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia

Doutoranda em Geografia pela UFU

E-mail: raphaella.udi@gmail.com

Resumo: Este estudo busca apresentar o perfil geoquímico da camada superficial do solo da Fundação Caio Martins (FUCAM), área estadual localizada no município de São Francisco, Norte de Minas Gerais. Para isso coletaram-se amostras de solo no ano de 2016, e, através do uso do aparelho de espectrometria por fluorescência de raios-X da UFOP, foi possível reconhecer e estabelecer

as concentrações dos elementos químicos ali presentes. Como resultado observaram-se os seguintes valores percentuais: SiO₂ (80,25%); Al₂O₃ (7,43%); Fe₂O₃ (3,15%); MnO (0,066%); MgO (0,30%); CaO (0,27%); Na₂O (0,053%); K₂O (1,02%) e P₂O₅ (1,02%). Baseado nisso, é possível afirmar que, de maneira surpreendente e inesperada, o solo local não é tão ácido como o da maior parte do Cerrado. Como conclusão pode-se indicar a gessagem e adubação para o cultivo, sendo indicado, em especial pela proximidade com o rio e a necessária observância ao Código Florestal brasileiro, o plantio de árvores frutíferas típicas de Mata Ciliar do Cerrado.

Palavras-chave: Solo. Cerrado. Rio São Francisco. Norte de Minas Gerais.

Abstract: This study aims to present the soil geochemical surface layer profile of the Caio Martins Foundation (FUCAM), a state area located in the municipality of São Francisco, North of Minas Gerais. For this, soil samples were collected in the year 2016 and through the use of X-ray fluorescence spectrometry equipment from UFOP, it was possible to recognize and establish the concentrations of the chemical elements present. As a result, the following percentages were observed: SiO₂ (80,25%); Al₂O₃ (7,43%); Fe₂O₃ (3,15%); MnO (0,066%); MgO (0,30%); CaO (0,27%); Na₂O (0,053%); K₂O (1,02%) e P₂O₅ (1,02%). Based on this, it is possible to state that, surprisingly and unexpectedly, the local soil is not as acidic as that of most of the Cerrado. As a conclusion can be indicated the plastering and fertilization for the crop, being indicated, in particular for the proximity to the river and the necessary compliance with the Brazilian Forest Code the planting of fruit trees typical of the Cerrado Forest.

Keywords: Soil. Cerrado. São Francisco River. North of Minas Gerais.

Resumen: Este estudio busca presentar el perfil geoquímico de la capa superficial del suelo de la Fundación Caio Martins (FUCAM), un área estadual ubicada en el municipio de São Francisco, Norte de Minas Gerais. Para ello se recolectaron muestras de suelo en el año 2016 y mediante el uso del equipo de espectrometría de fluorescencia de rayos X UFOP se logró reconocer y establecer las concentraciones de los elementos químicos allí presentes. Como resultado, se observaron los siguientes valores porcentuales: SiO₂ (80,25%); Al₂O₃ (7,43%); Fe₂O₃ (3,15%); MnO (0,066%); MgO (0,30%); CaO (0,27%); Na₂O (0,053%); K₂O (1,02%) y P₂O₅ (1,02%). Con base en esto, es posible afirmar que, sorprendente e inesperadamente, el suelo local no es tan ácido como en la mayor parte del Cerrado. Como conclusión, se puede indicar yeso y fertilización para el cultivo, especialmente por la proximidad al río y la necesaria observancia del Código Forestal Brasileño, la plantación de árboles frutales típicos del Bosque Ciliar del Cerrado.

Palabras clave: Tierra. Cerrado. Río San Francisco. Norte de Minas Gerais.

1 Introdução

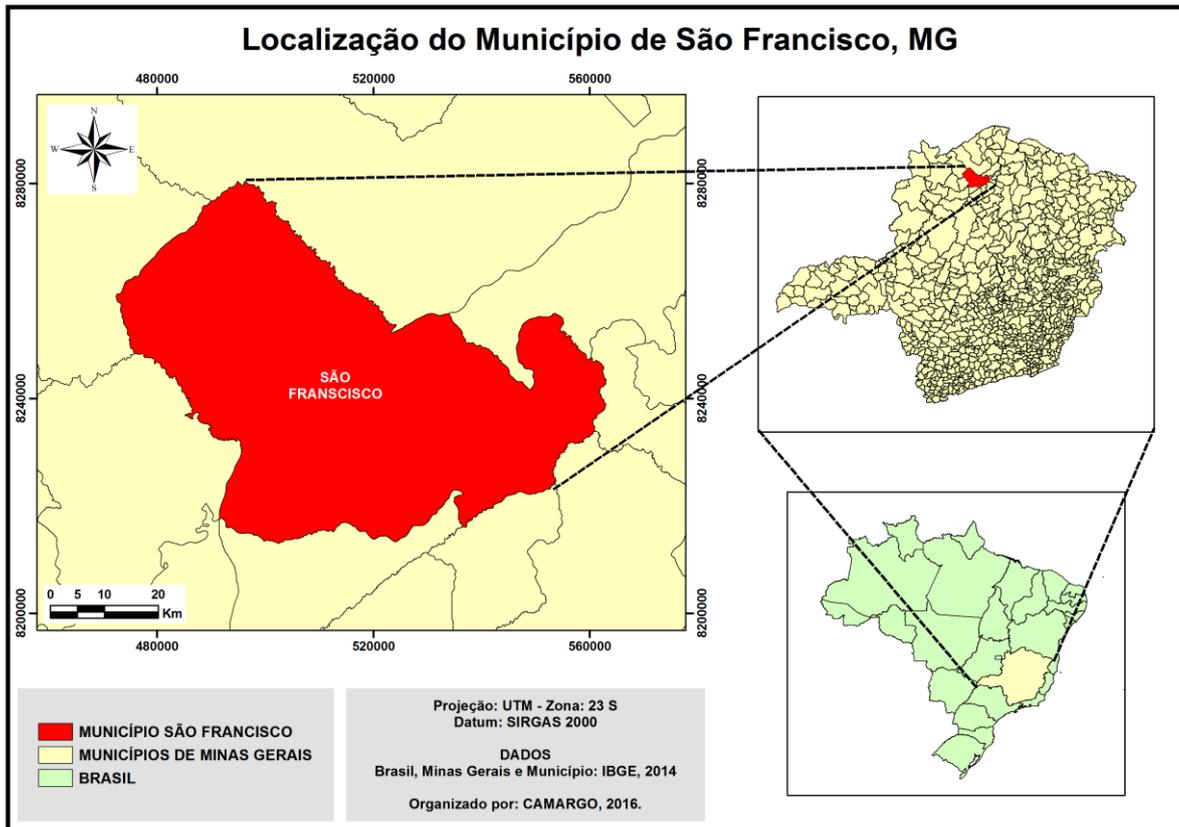
A partir da declaração sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, pode-se pensar que a ONU, na prática, apresentou o que viria a ser o primeiro documento em nível global acerca da preocupação ambiental. Depois de tal Declaração, vieram ainda Our Common Future (Nosso Futuro Comum), também conhecido como Relatório Brundtland, realizado em 1987 (CMMAD, 1988), a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente de 1992 - ECO 92 (FÓRUM GLOBAL, 1992) e a Conferência da Terra em 2010 (WORLD BANK, 2010).

As políticas públicas de preservação de recursos naturais são pautas relativamente novas no Brasil. Enquanto a legislação ambiental dos Estados Unidos da América (EUA) data do fim dos anos 1960, por aqui se adotou uma Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) apenas em 1981 (Lei 6938/81). Mirra (2006) trata essa questão como uma forma, mesmo que tardia, de diminuir ou evitar os prejuízos causados pela destruição do meio ambiente.

Ao se falar sobre preservação ambiental, pensa-se em florestas, afinal de contas estas ocupam 30% do território mundial (ONU, 2011). Entretanto, outros tipos de Bioma também são importantes de se preservar e estudar, como o Cerrado, segundo maior Bioma brasileiro em extensão e considerado um dos hot spots da biodiversidade mundial (MYERS *et al.*, 2000).

Assim, muitas escolas e Fundações têm contribuído de forma direta ou indireta para a conservação da biodiversidade do Cerrado no estado de Minas Gerais. Exemplo disso é a Fundação Caio Martins (FUCAM) localizada no município de São Francisco, no Norte de MG (Figuras 1 e 2).

Figuras 1 e 2 - Localização do Município de São Francisco e da FUCAM.



Fonte: própria.

A área que a Fundação possui na cidade de São Francisco é relativamente grande (91,2 ha), não permitindo que o baixo número de funcionários seja capaz de zelar pela totalidade de sua área de maneira adequada, fazendo com que haja um alto impacto geoambiental na área, como por exemplo, a caça e pesca desordenada e as ocupações irregulares das margens do rio São Francisco, o que leva ao uso do solo de maneira inadequada, com atividades agropecuárias (especialmente monoculturas) e destruição da vegetação ciliar (IEF, 2006).

Em razão da grande variação ambiental a qual estão sujeitas, essas matas ciliares são descritas como formações ecológicas heterogêneas (OLIVEIRA-FILHO *et al.*, 1994) fundamentais para a biodiversidade local (OLIVEIRA-FILHO e RATTER, 1995). Entretanto, mesmo se localizando em uma fundação pública estadual, o local não tem tido a proteção devida, sendo vítima de queimadas, extrativismo, degradação e até fragmentação florestal (BATTILANI *et al.*, 2005).

Portanto estudos que busquem compreender a estrutura desses remanescentes florestais, do uso adequado de seu solo e a ecologia presente são fundamentais para a preservação e recuperação dessas áreas (VAN DEN BERG e OLIVEIRA FILHO, 2000) assim como para a proteção do fluxo hídrico da bacia do rio São Francisco, responsável pelo abastecimento e sobrevivência de parcela significativa da população tanto do norte de Minas Gerais como também do nordeste brasileiro.

Dessa forma, conhecer o perfil geoquímico do solo da Fundação Caio Martins (FUCAM), área estadual localizada no município de São Francisco é de extrema importância para a população local, haja vista que ali vivem e estudam jovens em condição de vulnerabilidade social.

Assim, de acordo com a riqueza mineral ali presente, será possível uma indicação agronômica mais precisa do que e como plantar na área da FUCAM, contribuindo assim, de maneira ímpar, para um melhor uso da Fundação tendo em vista o bem comum.

2 Material e Método

Para a realização da coleta amostral seguiram-se as normas indicadas pela EMBRAPA (FILIZOLA, 2006) em seu manual indicativo próprio, de modo que a retirada de solo se deu com o uso de um trado holandês de 1 m de profundidade, uma pá de construção e um balde.

Para a retirada amostral de solo, perfurou-se entre 0,5 e 1m dos horizontes A e B por ponto de coleta, seguindo a lógica amostral aleatória múltipla (FILIZOLA, 2006). Considerando-se que a área da FUCAM tem um valor de 912.000 m² e houve 30 perfurações no solo, pode-se dizer que foram verificados 27.360.000 m³ de volume do solo, sendo levado para laboratório apenas 1 kg referente a cada uma das seis diferentes regiões estudadas. Para a retirada desse volume final de solo, as amostras de cada região pré-determinada dos canteiros foram misturadas em um balde de modo que cada amostra pudesse ser o mais

representativa possível. Cabe dizer que todos esses passos foram seguidos de acordo com o Manual específico para coleta de solos da Embrapa (FILIZOLA, 2006).

Já para a identificação geoquímica das amostras, usou-se o Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X da marca Philips - PANalytical, Modelo: MagiX com amostrador automático PW 2540 com as amostras de solo coletadas na FUCAM ao longo do mês de Julho de 2016 referentes às seis diferentes regiões da área da Fundação, sendo duas dessas referentes à região central local e as outras quatro aos extremos Norte, Sul, Leste e Oeste.

Esse método é o mais indicado em estudos desse tipo por permitir reconhecer e estabelecer as concentrações dos elementos químicos presentes em uma determinada amostragem. Para isso, é preciso que os elétrons presentes no objeto analisado sejam excitados com o uso de uma fonte radioativa de alta energia, em geral, radiação gama ou radiação X (OLIVEIRA, 2011).

A lógica funcional desse aparelho é relativamente simples: como a fonte externa lançou sobre o objeto uma determinada quantidade energética, seus átomos ficam instáveis e “excitados”. Na busca de voltar ao seu estado original estável, os átomos energizados liberam essa energia de volta para o ambiente, sendo possível, com isso, calcular e identificar quais elementos químicos estão presentes no objeto, uma vez que cada um deles apresenta uma determinada quantificação capaz de ser identificada no aparelho (OLIVEIRA, 2011, BECKHOFF *et al.*, 2006).

Os elementos escolhidos para serem amostrados nos testes foram: Silício (Si), Ferro (Fe), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K), Sódio (Na) e Fósforo (P), todos de importância fundamental, direta ou indireta, para o desenvolvimento arbóreo adequado em diferentes perfis de solo.

3 Resultados

Os testes geoquímicos das amostras foram realizados em 08 de Fevereiro de 2017 no Laboratório de Fluorescência de Raios-X da UFOP usando-se um Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X. As amostras foram fundidas em pastilhas, e, para isso, usaram-se 6 g de fundente (Tetraborato de Lítio e Metaboratório de Lítio, 1:1) e 0,090 g de Brometo de Lítio. Cabe ainda destacar que houve calcinação das amostras em mufla a 1000 °C por 2 horas, sendo registradas perdas percentuais amostrais por calcinação (PPC), podendo-se observá-las, assim como todos os demais resultados obtidos, no Quadro 1.

Quadro 1. Resultados dos testes geoquímicos do solo da FUCAM.

Amostra ID - LOPAG	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	PPC (%)	Total (%)	Local da Coleta Ponto Amostral
QX17-024	75,97	8,86	3,82	0,073	0,38	0,46	0,062	1,17	0,158	7,69	100,0	Oeste
QX17-025	79,21	7,70	3,39	0,070	0,33	0,27	0,080	1,13	0,137	6,38	100,1	Norte
QX17-026	81,21	6,69	2,95	0,062	0,28	0,24	0,069	1,01	0,098	5,45	99,5	Leste

QX17-027	80,25	7,43	3,15	0,066	0,30	0,27	0,053	1,02	0,111	5,72	99,8	Sul
QX17-028	80,99	7,01	3,02	0,059	0,29	0,25	0,063	1,03	0,106	5,59	99,8	Central 1
QX17-029	80,71	7,31	3,14	0,061	0,29	0,29	0,059	1,05	0,110	5,67	100,1	Central 2

Fonte: Própria.

Assim, baseando-se nos percentuais químicos observados, é possível agora discutir o perfil geoquímico da camada superficial do solo da FUCAM comparando-a com os padrões de qualidade para o plantio recomendados pela EMBRAPA em sua Circular Técnica (LUZ *et al.*, 2002) ou ainda referências teóricas (no caso do Silício e do Sódio, elementos que não estão presentes nesta Circular Técnica), buscando-se assim perceber se as amostras recolhidas estão ou não dentro dos parâmetros ideais para manejo de acordo com cada mineral.

O primeiro a ser observado é o Si, que esteve presente em grande quantidade em todas as coletas (Tabela 1). Uma vez que a sua presença é indicativo de intemperismo de maneira proporcional à sua porcentagem (LEPSCH, 2011), faz total sentido que o ponto Oeste apresente menor quantidade desse elemento quando comparado aos demais, seguido pelo Norte e o Leste, afinal de contas os três pontos estão de fato em locais de baixo, médio e alto intemperismo. O percentual desse não metal nas demais amostras foi parecido, resultado esperado tendo em vista tratar-se da mesma área.

A grande quantidade de Si é um excelente indicativo para o plantio, pois ele dá às espécies vegetais maior resistência a estresses bióticos e abióticos (GOTO *et al.*, 2003; HASHEMI *et al.*, 2010), melhora o seu manejo fitossanitário (REIS *et al.*, 2008) e ainda pode contribuir no aumento e qualidade da produção (FILGUEIRAS, 2007).

Já o Al presente em todas as amostras (Tabela 1) permite classificar o solo da FUCAM como de teor médio de Alumínio de acordo com a Circular Técnica da EMBRAPA (LUZ *et al.*, 2002), destacando-se que, entre as amostras, aquela referente ao Oeste apresentou maior percentual de Al e o Leste o menor.

Esse é um resultado curioso e inesperado, pois a maior parte do solo dos Cerrados apresenta característica ácida (HARIDASAN, 1982) e grande quantidade de alumínio disponível. Mesmo em uma área pouco antropizada (Oeste) e que apresentou maior quantidade de Al (8,86%), seu valor não chegou a 10%, percentual mínimo para ser classificado como de alta quantidade desse micronutriente, mas suficiente para ser identificado como de média concentração.

Em relação ao Fe disponível, a Tabela 1 mostra que o teor férrico de todas as amostras de solo foi baixo (LUZ *et al.*, 2002), sendo que o Oeste mostrou maior percentual (3,82%) e o Leste o menor (2,95%). Os valores próximos observados nos demais pontos mostram serem ambos oriundos de locais próximos.

O resultado obtido dialoga diretamente com a literatura. Segundo Schwertmann e Carlson (1994), óxidos de ferro apresentam variadas cores, formas e constituições, podendo ter relação direta com o seu ambiente originário. Assim, o pequeno percentual de Fe observado indica que o local possivelmente é

deficiente de matéria orgânica, algo já descrito por Soumaré *et al.* (2003) e também por Cornell e Schwertmann (1996) ao demonstrar a relação direta entre o Fe₂O₃ e a quantidade de carbono disponível.

O Mn, por sua vez, como mostra a Tabela 1, apresenta-se em com um montante percentual bem pequeno, sendo todas as amostras classificadas como de baixo teor para esse micronutriente (LUZ *et al.*, 2002). Mais uma vez o Oeste foi o que apresentou a maior concentração do elemento químico em questão (0,073%), mas desta vez o que teve menor quantidade foi o Central 1 (0,059%). Novamente as amostras relacionadas aos demais pontos tiveram resultados semelhantes quanto à presença do Mn.

Os solos do Cerrado possuem teores de Mn proporcionais à metade da média mundial (MARQUES *et al.* 2004). Isso se dá, segundo os mesmos autores, graças à antropização crescente nessas áreas ao longo do século XX, o que pode ser percebido no percentual obtido de Al e já descrito neste tópico. Singh e Gilkes (1992) corroboram a afirmação ao demonstrar que somente 30% do total de Mn originário desse bioma conseguem se proteger da lixiviação.

O Ca, assim como o Mn, apresentou uma baixa concentração presente nas amostras testadas, quando comparada à literatura de referência (LUZ *et al.*, 2002). O Oeste foi o local com maior percentual do macronutriente com 0,46%, e o Leste teve o menor com 0,24% (Tabela 1).

A baixa quantidade de Ca (e Mn) observada nas amostragens é um comportamento esperado nos solos de Cerrado, quase sempre ácidos (HARIDASAN, 1982). Essa deficiência mineral tende a causar problemas radiculares e germinativos para a planta (CORRÊA *et al.*, 2006), que podem até mesmo culminar em sua morte. Para resolver o problema, o processo mais comum costuma ser a gessagem do solo antes do plantio.

O Mg é o próximo elemento a ser discutido. O magnésio e o cálcio competem pelos mesmos sítios de absorção radicular (ORLANDO FILHO *et al.*, 1996), o que pode ser percebido facilmente observando-se os resultados presentes na Tabela 1, onde o percentual de Mg foi extremamente baixo (LUZ *et al.*, 2002). As amostras com maior e menor teor desse não metal alcalino terroso foram o Oeste (0,38%) e o Leste (0,28%), respectivamente. Comparando-se com os valores de Ca, pode-se facilmente perceber que, como esperado, ambos os minerais estão competindo pelo mesmo espaço nas raízes.

Tendo em vista o trabalho de Bear e Toth (1948), obra clássica das geociências agrárias e ambientais onde se indicam os valores ideais de Ca e Mg (6,5:1, respectivamente), pode-se concluir que os solos da FUCAM, a exemplo do que foi visto para o cálcio, são também deficientes de magnésio.

O K, outro macronutriente de imensa importância para as plantas, apresentou também quantidades percentuais muito baixas neste estudo (Tabela 1), quando comparado com a literatura (LUZ *et al.*, 2002), havendo o Oeste mostrado a maior concentração do elemento, com 1,17%, e o Leste a menor, com 1,01%.

O método mais comum para resolver essa deficiência nutricional em áreas de plantio direto, em geral, se dá com a semeadura de vegetais de raízes profundas. Isso ocorre, pois, dessa forma, aumenta-se a capacidade tampão do K, fazendo com que haja menos perda por lixiviação (PÖTTKER, 1996) e,

consequentemente, seja possível reciclar o potássio lixiviado das regiões mais profundas do solo (MAEDA *et al.*, 1997).

O Na geralmente só se mostra com valores alterados quando ocorre lixiviação dos sais do solo por ações antrópicas e inadequadas de irrigação (MINHAS e SHARMA, 1986). No caso deste experimento, todas as amostragens apresentaram baixo percentual do metal (Tabela 1), sendo o ponto Norte o que apresentou maior valor (0,08%) e o Sul, o menor (0,053%). Haja vista que a concentração máxima de Na₂O indicada em uma área não deve chegar a 1% da amostra, pode-se concluir que os solos locais mostram-se dentro dos padrões normais desse mineral.

O último dos elementos químicos testados na área de estudo foi o P, macronutriente aniônico que atua na fixação de nitrogênio no solo, sendo, portanto, importante para a nutrição e o crescimento dos vegetais. Os resultados presentes na Tabela 1 para a quantidade percentual desse elemento mostram, quando comparados à literatura (LUZ *et al.*, 2002), que o teor de P nos solos da FUCAM é muito baixo, mesmo para solos de Cerrado onde a média é de 0,4%. A amostra que mais se aproxima de tal valor é a oriunda do Oeste, com 0,158%, ou seja, 39,5% menor que o valor ideal e esperado para esse bioma.

Observando o baixíssimo valor aqui encontrado para esse mineral (e também para o Fe) e lembrando que parte do fósforo presente no solo será incorporada pelos vegetais através da absorção do húmus (SMECK, 1985), é possível notar que a área da FUCAM parece ser deficiente em matéria orgânica, algo nem sempre comum no Cerrado (CARVALHO *et al.*, 2009).

Além da deficiência de P descrita no parágrafo anterior, merece destaque também a baixa concentração de Ca e K aqui encontrados, principais componentes vitais para o crescimento das plantas do Cerrado, uma vez que o percentual de Al no solo está surpreendentemente dentro da média considerada adequada para a germinação e o desenvolvimento vegetal.

Para resolver a deficiência nutricional referente a estas substâncias químicas (P, Ca e K), sugere-se adubação com NPK e calcário. O motivo para isso se deu graças ao estudo pioneiro de Büll e Nakagawa (1995), que, ao estudar as relações Ca:Mg juntamente com a adubação NPK em uma determinada área amostral, perceberam aumento do percentual de cálcio nos vegetais ali presentes, algo também relatado por Rosolem *et al.* (1984) em experimentos com vegetais dos Cerrados.

Desta forma, a utilização de adubação química juntamente com a gessagem parece ser a metodologia mais indicada para o reequilíbrio nutricional local antes de se realizar qualquer tipo de plantio na área estudada.

4 Considerações finais

Como considerações finais, indica-se a gessagem e a adubação química com NPK, as técnicas combinadas mais apropriadas para o reequilíbrio geoquímico da área da FUCAM antes de se proceder qualquer cultivo arbóreo local.

As principais justificativas para isso são a sua basicidade pedológica e falta de matéria orgânica disponíveis, sendo recomendado ainda, em especial pela proximidade com o rio e a necessária observância ao Código Florestal brasileiro, o plantio de árvores frutíferas típicas de Mata Ciliar do Cerrado, como Baru (*Dipteryx alata*), Goiaba (*Psidium guajava*) e Umbu (*Spondias tuberosa*), todas originárias da região e habituadas às condições geoquímicas dos solos locais.

Referências

- BATTILANI, J. L.; SCREMIN-DIAS, E.; SOUZA, A. L. T. Fitossociologia de um trecho da mata ciliar do rio da Prata, Jardim, MS, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 19, n. 3, p. 597-608. 2005. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000300021>
- BEAR, E.; TOTH, S. J. Influence of Ca on availability of other soil cations. *Soil Science*, Baltimore, v. 65, n. 1, p. 69-75, 1948. <https://doi.org/10.1097/00010694-194801000-00007>
- BECKHOFF, B.; KANNGIEßER, B.; LANGHOFF, N.; WENDELL, R.; WOLFF, H. **Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis**. Berlin-London: Springer, 2006.
- BÜLL, L. T.; NAKAGAWA, J. Desenvolvimento, produção de bulbos e absorção de nutrientes na cultura do alho vernalizado em função de relações cálcio: magnésio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 409-415, 1995.
- CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICOLLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil & Tillage Research*, n. 103, p. 342-349, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.022>
- CORNELL, R.M.; SCHWERTMANN, U. **The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrence and uses**. New York: VCH Publishers, 573p., 1996. <https://doi.org/10.1180/minmag.1997.061.408.20>
- CORREA, J. C.; COSTA, A. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; MAUAD, M. Doses de boro e crescimento radicular e da parte aérea de cultivares de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 1077- 1082, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000600017>
- FILGUEIRAS, O. Silício na agricultura. **Pesquisa FAPESP**, n.140, p. 72-74, 2007.
- FILIZOLA, H. F. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.
- FÓRUM GLOBAL 92. **Tratados das ONGs, aprovados no Fórum Internacional das Organizações Não Governamentais e Movimentos Sociais no âmbito do Fórum Global ECO 92**. Rio de Janeiro: Fórum das ONGs, 1992.
- GOTO, M.; EHARA, H.; KARITA, S.; TAKABE, K.; OGAWA, N.; YAMADA, Y.; OGAWA, S.; YAHAYA, M.S. & MORITA, O. Protective effect of silicon on phenolic biosynthesis and ultraviolet spectral stress in rice crop. **Plant Sci.**, v.164, p.349-356, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00419-3](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00419-3)

- HARIDASAN, M. Aluminum accumulation by some Cerrado native species in Central Brazil. **Plant and Soil**, v. 65, p.265-273,1982. <https://doi.org/10.1007/BF02374657>
- HASHEMI, A.; ABDOLZADEH, A. & SADEGHIPOUR, H.R. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. **Soil Sci. Plant Nutr**, v. 56, p. 244-253, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00443.x>
- LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 456p., 2011.
- LUZ, M.J.S.; FERREIRA, G.B.; BEZERRA, J. R. C. **Adubação e Correção do Solo: Procedimentos a Serem Adotados em Função dos Resultados da Análise do Solo**. Circular Técnica 63- EMBRAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Campina Grande, PB Outubro, 32p., 2002.
- MAEDA, S.; KURIHRA, C.H.; HERNANI, L.C.; FABRICIO, A.C.; SILVA, W.M. **Estimativa da acidez potencial, pelo método do pH SMP, em solos do Mato Grosso do Sul**. Dourados, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 25p.,1997. (Boletim de Pesquisa, 3).
- MARQUES J.J.; SCHULZE, D.G.; CURTI, N.; MERTZMAN, S.A. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v.121, n 1-2, p.31-43, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.10.003>
- MINAS GERAIS. Instituto Estadual de Florestas (IEF). **APA Estadual do Rio Pandeiros**. Januária: Instituto Estadual de Florestas, 2006.
- MINHAS, P. S.; SHARMA, D. R. Hydraulic conductivity and clay dispersion as affected by application sequence of saline and simulated rain water. **Irrigation Science**, Berlin, v. 63, p.159-167, 1986. <https://doi.org/10.1007/BF00344071>
- MIRRA, A. L. V. **Impacto ambiental: aspectos da legislação brasileira**. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2006.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., FONSECA, G. A. B. & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n.6772, p. 853-858. 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- OLIVEIRA, E. A. **Confiabilidade metrológica na determinação de espécies químicas em materiais siderúrgicos por espectrometria de fluorescência de raios-X**. 2011.115f. Dissertação (Mestrado em Metrologia para a Qualidade e Inovação) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2011.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. A study of the origin of Central Brazilian forests by the analysis of plants species distribution patterns. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 52, p. 141-194. 1995. <https://doi.org/10.1017/S0960428600000949>
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; VILELA, E. A.; CARVALHO, D. A.; GAVILANES, M. L. Effects of soils and topography on the distribution of tree species in a tropical riverine forest in South-Eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 10, n. 4, p. 483-508. 1994. <https://doi.org/10.1017/S0266467400008178>
- ONU. Organização das Nações Unidas. **Relatório da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO)**. 2011. Disponível em: < <https://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/codigo-florestal/organizacao-nacoes-unidas-para-agricultura-alimentacao-fao.aspx>> Acesso em: 10 Fev. 2015.

ORLANDO FILHO, J. O.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.

POTTKER, D. Potássio: dinâmica no solo e resposta das culturas. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais do Curso Sobre Manejo do Solo no Sistema Plantio Direto Castro...** São Paulo: Fundação ABC, 1996. p. 264-273.

REIS, T.H.P.; FIGUEIREDO, F.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; BOTREL, P.P.; RODRIGUES, C.R. Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no controle fitossanitário do cafeeiro. **Coffee Science**, v.3, p.76-80, 2008. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/5630>

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca:Mg, Ca:K e Mg:K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 12, p. 1443-1448, 1984.

SCHWERTMANN, U. CARLSON, L. Aluminum influence on iron oxides: XVII. Unit-cell parameters and aluminum substitution of natural goethites. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.256-261, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800010039x>

SINGH, B.; GILKES, R.J. Properties and distribution of iron oxides and their association with minor elements in the soil of Southwestern. **Australian Journal of Soil Science**, v. 43, p. 77-98, 1992. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1992.tb00121.x>

SMECK, N. E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 36, n. 3-4, p. 185-199, 1985. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(85\)90001-1](https://doi.org/10.1016/0016-7061(85)90001-1)

SOMARÉ, M.; TACK, F.M.G. VERLOO, M.G. Distribution and availability of iron, manganese, zinc, and copper in four tropical agricultural soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, p. 1023-1038, 2003. <https://doi.org/10.1081/CSS-120019107>

VAN DEN BERG, E.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Composição florística e estrutura fitossociológica de uma floresta ripária em Itutinga, MG, e comparação com outras áreas. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 3, p. 231-253. 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042000000300002>

WORLD BANK, State and Trends of the Carbon Marker 2010, The World Bank, Washington DC, 2010.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) pela aprovação do projeto de pesquisa (sobre a qual essa temática está inserida) no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais (Doutorado), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Instituto de Geoinformação e Tecnologia do Estado de Minas Gerais (IGTEC), antigo Centro Tecnológico do Estado de Minas Gerais (CETEC), pela disponibilização de recursos financeiros para o desenvolvimento de atividades científicas para a região da bacia hidrográfica do Urucuia – Norte do Estado de Minas Gerais.