

Caracterização físico-química de solos quartzíticos degradados e áreas adjacentes de campo rupestre na Serra do Cipó, MG, Brasil

Physicochemical characterization of quartzitic degraded soils and adjacent areas of rupestrian fields, Serra do Cipó, MG, Brazil

Daniel Negreiros^{1*}
negreiros.eco@gmail.com

Geraldo Wilson Fernandes¹
gw.fernandes@gmail.com

Ricardo Luis Louro Berbara²
berbara@ufrj.br

Luiz Henrique Orsini Rodarte¹
luiz.henrique@enecon.com.br

Newton Pimentel de Ulhôa
Barbosa¹
newtonulhoa@gmail.com

Resumo

Apesar de obras rodoviárias serem importante fonte de degradação de solos e paisagens, existem poucos estudos de restauração destes ambientes. Processos erosivos causados por estas ações acabam por comprometer a regeneração natural e a capacidade do solo em armazenar carbono e água, bem como sua resiliência frente a precipitações intensas. O impacto sobre a segurança de comunidades urbanas e sobre o ecoturismo é significativo. Além disso, a falta de conhecimento básico sobre solos e a qualidade de sua cobertura acaba por tornar limitante a qualidade de processos de recuperação. Este trabalho teve como objetivo a comparação das características físico-químicas dos solos das áreas degradadas pelas obras de implantação da rodovia MG-010 com os solos da vegetação preservada no entorno. Esta rodovia corta áreas de campo rupestre na Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira, adjacente ao Parque Nacional Serra do Cipó. Foram feitas análises físico-químicas em amostras de solo coletadas em seis áreas degradadas e suas respectivas áreas adjacentes preservadas. Os solos nas áreas degradadas diferiram significativamente das áreas adjacentes em quase todos os atributos químicos e físicos avaliados. Com exceção do pH e do teor de alumínio, as áreas degradadas mostraram-se significativamente menos férteis que as áreas adjacentes de campo rupestre. Não foi observado nenhum tipo de regeneração substancial da vegetação local mesmo após décadas de retirada do solo superficial, sugerindo que a qualidade física e química destes solos tenha sido o principal fator que impediu sua regeneração. Tal fato indica que os campos rupestres sejam ambientes extremamente frágeis e de baixa resiliência, demandando estratégias de restauração ecológica condizentes com suas peculiaridades bióticas e abióticas.

Palavras-chave: Cadeia do Espinhaço, conservação, fertilidade do solo, obras rodoviárias.

Abstract

While road works are an important source of soil and landscape degradation, there are few studies on restoration of these environments. Erosive processes caused by these actions end up compromising the natural regeneration, the ability to store carbon and water in soil, decreasing its resilience in the face of intense rainfall. The impact on the safety of urban communities and ecotourism is significant. Furthermore, the lack of basic knowledge about soils and the quality of the land cover eventually become a limiting factor for land reclamation. This study aimed to compare the physical and chemical properties of degraded soils with the soils of preserved adjacent areas, along the MG-010 highway. This highway cuts through areas of rupestrian fields in the Environmental Pro-

¹ Ecologia Evolutiva e Biodiversidade/DBG, ICB/Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Cx. P. 486, 30161-970. Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Laboratório de Biologia de Solos/DS, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Br 465, Km 07, 23851-970. Seropédica, RJ, Brasil.

* Autor para correspondência.

tection Area Morro da Pedreira, next to Serra do Cipó National Park. Physicochemical analyses were made on soil samples collected in six degraded areas and their adjacent preserved areas. The soils in degraded areas differed significantly from adjacent areas in almost all chemical and physical attributes evaluated. With exception of pH and aluminium content, the degraded areas had lower soil fertility than the adjacent areas of rupestrian fields. We did not observed any substantial regeneration of local vegetation even after decades of topsoil being removed suggesting that the physical and chemical quality of these soils were the major factors that prevented their regeneration. This fact indicates that the rupestrian fields are extremely fragile environments with low resilience, requiring special strategies for ecological restoration in order to keep its biotic and abiotic peculiarities.

Key words: Conservation, Espinhaço Range, highway works, soil fertility

Introdução

Apesar do crescente conhecimento sobre os mecanismos ecológicos e os processos evolutivos que governam a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas tropicais brasileiros, avanços sólidos no campo da recuperação de áreas degradadas em empreendimentos rodoviários podem ser caracterizados como tímidos (Barbosa e Fernandes, 2008). Embora tenha havido um aprimoramento das leis que regulamentam as questões ambientais (por exemplo, ABNT, 1999), ainda existem poucos exemplos de processos de restauração ecológica das áreas degradadas por obras rodoviárias (Viana *et al.*, 2005).

A erosão acelerada do solo é um problema amplamente reconhecido (Pimentel *et al.*, 1995). Entretanto, é difícil avaliar precisamente quais são as dimensões (extensão, magnitude e proporção) da erosão do solo e suas consequências econômicas e ambientais (Lal, 1994). Solos erodidos têm baixos níveis de nutrientes, reduzida capacidade de acumulação de carbono e grande flutuação na temperatura, se comparados a solos não erodidos. São também desfavoráveis a muitas espécies de macroinvertebrados importantes na manutenção das características dos solos (Lal, 1990; Curry e Good, 1992; Milton *et al.*, 1994). Da mesma forma, a atividade de simbioses do solo, como fungos micorrízicos, oligoquetas e bactérias promotoras de crescimento vegetal, é drasticamente

afetada, comprometendo a regeneração natural destas áreas (Berbara *et al.*, 2006). Nos locais onde o turismo ecológico é a principal atividade econômica, as erosões podem resultar na perda parcial ou total do potencial turístico da região, com consequentes reflexos na economia local.

Um trecho da rodovia MG-010, que liga a cidade de Belo Horizonte a Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais, corta áreas de campo rupestre inseridas na Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira, adjacente ao Parque Nacional Serra do Cipó. Este trecho, de aproximadamente 30 km, atravessa uma área de reconhecido valor conservacionista e turístico (Barbosa *et al.*, 2010), onde existem inúmeros locais utilizados como caixas de empréstimos e jazidas de material granular utilizados no empreendimento rodoviário. Estas áreas encontram-se bastante degradadas, caracterizando-se pela ausência de cobertura vegetal, exposição do solo e inexistência de um sistema de drenagem superficial eficiente. Como consequência, há formação de sulcos e ravinas em estágio evolutivo acelerado que, aliados à concentração pluvial em alguns meses do ano, proporcionam uma rápida degradação dos locais onde existem movimentos de terra. As áreas resultantes deste processo são deixadas com subsolo ou cascalho expostos, permanecendo destituídas de vegetação mesmo tendo sido abandonadas por décadas (Negreiros *et al.*, 2008; 2009). Este mesmo fenômeno pode ser observado ao longo de toda a Cadeia

do Espinhaço (Giulietti *et al.*, 1997; Menezes e Giulietti, 2000; Pirani *et al.*, 2003). Em uma escala local, apenas considerando o trecho selecionado para este estudo, encontram-se inúmeras espécies vegetais endêmicas, raras e ameaçadas para as quais, infelizmente, não há nenhum estudo ecológico ou de conservação (Viana *et al.*, 2005; Barbosa e Fernandes, 2008; Barbosa *et al.*, 2010). A falta de conhecimento científico sobre a fertilidade do solo e sua relação com a vegetação natural constitui um obstáculo à conservação e ao manejo das áreas de campo rupestre, bem como às intervenções para restauração das áreas degradadas (Almeida e Sánchez, 2005). O conhecimento da fertilidade dos solos de campo rupestre e sua relação com os níveis encontrados nas áreas degradadas a serem restauradas constituem uma importante etapa no processo de seleção de espécies potencialmente aptas a se estabelecerem e promoverem a efetiva recolonização nestas áreas (Negreiros *et al.*, 2008, 2009).

O presente trabalho tem como objetivo a comparação das características físico-químicas dos solos de áreas degradadas pelas obras de implantação de rodovia em campo rupestre com os solos da vegetação preservada no entorno dessas áreas degradadas. Espera-se que os conhecimentos gerados neste trabalho possam subsidiar estudos futuros de restauração ambiental e oferecer as bases necessárias para a execução de ações mitigadoras, bem como a implantação de um plano de recupera-

ção da biodiversidade tanto das áreas estudadas como de outras em situação similar na Cadeia do Espinhaço.

Material e Métodos

A Serra do Cipó localiza-se na porção central do Estado de Minas Gerais, fazendo parte da Cadeia do Espinhaço (Giulietti *et al.*, 1987). O clima é do tipo mesotérmico, com verões chuvosos e invernos secos, temperatura média entre 17,4°C e 19,8°C (Galvão e Nimer, 1965) e precipitação anual em torno de 1400 mm, distribuída em quatro estações distintas: chuvosa (novembro a janeiro); transição “pós-chuva” (fevereiro a abril); seca (maio a setembro); e transição “pós-seca” (outubro). As temperaturas máxima e mínima mostram reduzida variação interanual, anual e mensal (Madeira e Fernandes, 1999). A vegetação dominante é o campo rupestre, que ocorre geralmente em altitudes superiores a 900m, em relevo movimentado, sobre afloramentos rochosos, com solos rasos, ácidos, excepcionalmente pobres em nutrientes e com elevada concentração de Al^{3+} (Benites *et al.*, 2007; Negreiros *et al.*, 2008). Esta vegetação singular apresenta uma fisionomia predominantemente composta por um estrato herbáceo mais ou menos contínuo e pequenos arbustos e subarbustos esclerófilos e sempre verdes, reconhecida por sua enorme diversidade de espécies associada a altas taxas de endemismos (Giulietti *et al.*, 1997).

Foram coletadas amostras de solo em seis áreas degradadas por empreendimentos de implantação de rodovia em campo rupestre (substrato quartzítico) e em suas respectivas áreas adjacentes, que são áreas que não sofreram intervenções, apresentando solo e cobertura vegetal originais. As áreas degradadas selecionadas localizam-se ao longo da rodovia MG-010, na Serra do Cipó, MG (Tabela 1). Em cada área degradada foram obtidas três amostras compostas de solo, enquanto em cada área adjacente foram obtidas três amostras compostas de

solo no entrono e a uma distância de 10m da margem das áreas degradadas. Cada amostra composta de solo foi resultante da soma de 20 amostras simples com volumes idênticos de solos, obtidos com uma picareta usada para fragmentar o solo e recolhidas com uma pá. A amostragem composta foi feita segundo procedimentos descritos em Dick *et al.* (1996), sendo cada amostra composta seca à sombra, destorroada, homogeneizada, subamostrada e enviada para análise química e textural no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa e no Laboratório de Solos da ENECON S.A., respectivamente. O pH em água foi medido utilizando-se as proporções 1:2,5 (v/v) de solo:solução. O teor de carbono orgânico foi determinado pelo método de Walkley-Black. O teor de nitrogênio foi extraído por digestão em mistura de $Se + Na_2SO_4 + CuSO_4$, e a dosagem foi feita a partir da titulometria com HCl 1N. Os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis foram extraídos por solução de KCl 1 mol L^{-1} e determinados no extrato os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} por titulação com EDTA 0,01 mol/L, e os teores de Al^{3+} por titulação com NaOH 0,025 mol/L, conforme Silva *et al.* (1999). A acidez potencial ($H + Al$) foi extraída por solução de acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} em pH 7,0 e determinada por titulação alcalimétrica do extrato (Silva *et al.*, 1999). A soma de bases (SB), CTC efetiva (t), a saturação de alumínio (m) e a saturação de bases (V) foram calculadas, respectivamente, segundo as expressões: $SB = (K + Ca^{2+} + Mg^{2+})$; $t = SB + Al^{3+}$; $m = 100 \cdot Al / t$; $V = 100 \cdot SB / SB + (H + Al)$ (Alvarez Venegas *et al.*, 1999). Para a caracterização física das amostras (Classificação TRB, conforme DNER, 1996) foram feitos ensaios para limite de liquidez, limite de plasticidade e análise granulométrica por peneiramento. O ensaio de limite mede a capacidade de absorção de água do solo, indicando o limite entre o estado líquido e plástico da amostra, enquanto o ensaio de plasticidade indica a capacidade

de absorção de água do solo até que este passe do estado plástico ao estado semissólido (DNER, 1996). A análise granulométrica por peneiramento foi realizada em peneiras de 200 mm, 100 mm, 50 mm, 40 mm e 20 mm, conforme DNER (1996).

Em cada parâmetro químico avaliado foi checada a normalidade e a homogeneidade de variâncias, e transformações logarítmicas foram empregadas quando necessário. Para avaliar se houve diferenças entre as áreas degradadas e as áreas adjacentes, foi utilizado o teste-*t* de Student, com nível de significância de 0,05 (Zar, 1998). Além disso, foi feita uma análise de componentes principais (PCA) usando-se uma matriz de 12 áreas por 8 parâmetros químicos do solo, sendo extraídos dois componentes principais baseado em uma matriz de correlação (Quinn e Keough, 2002). Apenas os parâmetros químicos que diferiram significativamente entre as áreas degradadas e adjacentes foram incluídos na análise de componentes principais, a fim de simplificar a interpretação da mesma.

Resultados e Discussão

As características físicas avaliadas nos solos das áreas degradadas e das áreas adjacentes indicam que o processo de retirada da camada superficial de solo foi responsável pela exposição de um substrato de textura mais arenosa e com menor plasticidade em todas as seis áreas avaliadas (Tabela 1). Solos das áreas degradadas foram classificados como silto-arenosos não plásticos, que são mais propensos à erosão, com consequente lixiviação de seus constituintes químicos (DNER, 1996). Por outro lado, os solos coletados nas áreas adjacentes foram classificados como argilosos de plasticidade variável, que são mais coesos e possuem propriedades que garantem valores maiores de CTC, somas de bases trocáveis e capacidade de retenção de água, possibilitando a ocorrência de vegetação com maior porte e cobertura do solo.

Tabela 1. Local, altitude, localização geográfica e classificação física dos solos das seis áreas quartzíticas degradadas (Degradada) e das áreas adjacentes de campo rupestre (Adjacente) ao longo da rodovia MG-010, Serra do Cipó, MG. Amostras de solo coletadas na profundidade de 0-15 cm.

Table 1. Location, altitude, geographic location and physical classification of the six quartzitic degraded areas (Degradada) and rupestrian field's adjacent areas (Adjacente), along the highway MG-010, Serra do Cipó, MG, Brazil. Soil samples were collected from 0-15 cm.

| Local | Altitude (m) | Coordenadas (Lat / Long) | Classificação física dos solos* | |
|-------|--------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | | Degradada | Adjacente |
| 1 | 1025 | 19°18'13"S / 43°36'06"W | Silto-arenoso não plástico | Argiloso plástico |
| 2 | 1140 | 19°17'28"S / 43°36'10"W | Silto-arenoso não plástico | Argiloso com média plasticidade |
| 3 | 1240 | 19°17'18"S / 43°34'25"W | Silto-arenoso não plástico | Argiloso com média plasticidade |
| 4 | 1330 | 19°18'06"S / 43°33'46"W | Silto-arenoso não plástico | Silto-arenoso não plástico |
| 5 | 1230 | 19°17'22"S / 43°33'59"W | Silto-arenoso não plástico | Argiloso plástico |
| 6 | 1155 | 19°16'52"S / 43°35'29"W | Silto-arenoso não plástico | Argiloso plástico |

* Classificação TRB dos solos, conforme DNER (1996).

Os solos amostrados nas áreas degradadas diferiram significativamente das áreas adjacentes em todos os parâmetros químicos avaliados, com exceção do fósforo e do cálcio, tendo as áreas degradadas apresentado solos menos férteis que as áreas adjacentes (Tabela 2). Entretanto, contrariamente ao esperado, os solos das áreas degradadas foram em média significativamente menos ácidos e com menores teores de alumínio que os solos das áreas adjacentes (Tabela 2). É possível que

isso seja causado pela distribuição heterogênea do alumínio no perfil do solo, com maior concentração desse elemento nas camadas superiores dos solos avaliados. Além disso, as obras de asfaltamento também podem ter contribuído para a diminuição dos níveis de alumínio, tornando estas áreas mais aptas ao estabelecimento de espécies exóticas invasoras (veja, Barbosa *et al.*, 2010). Grande parte destas espécies é sensível ao alto teor de alumínio no solo natural de campo rupestre

e não se estabelece nestas áreas antes que distúrbios como estes aconteçam. Confirmando esses resultados, a análise de componentes principais (PCA) separou claramente as áreas degradadas das áreas adjacentes preservadas, confirmando a alteração química resultante do processo de degradação dos solos avaliados. Os eixos 1 e 2 da PCA explicaram, respectivamente, 82,2% e 7,8% da variância total (Figura 1). Tanto as áreas degradadas quanto as adjacentes apresentaram solos ácidos

Tabela 2. Parâmetros químicos (média ± erro padrão; n = 6) avaliados nas áreas quartzíticas degradadas (Degradada) e nas áreas adjacentes de campo rupestre (Adjacente) ao longo da rodovia MG-010, Serra do Cipó, MG. Diferenças significativas foram determinadas pelo teste-t de Student; n.s. = não significativo.

Table 2. Chemical parameters (mean ± standard error; n = 6) evaluated at quartzitic degraded areas (Degradada) and rupestrian field's adjacent areas (Adjacente) along the highway MG-010, Serra do Cipó, MG, Brazil. Significant differences were determined by Student's t-test; n.s. = no significance.

| | Degradada | Adjacente | p |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------|
| pH (em água) | 4,77 ± 0,10 | 4,42 ± 0,07 | <0,05 |
| Carbono (%) | 0,61 ± 0,31 | 2,27 ± 0,27 | <0,01 |
| Nitrogênio (%) | 0,05 ± 0,03 | 0,20 ± 0,03 | <0,01 |
| Fósforo (mg/dm³) | 1,17 ± 0,35 | 1,63 ± 0,14 | n.s. |
| Potássio (cmol _c /dm³) | 0,03 ± 0,01 | 0,10 ± 0,03 | <0,05 |
| Cálcio (cmol _c /dm³) | 0,20 ± 0,04 | 0,33 ± 0,11 | n.s. |
| Magnésio (cmol _c /dm³) | 0,06 ± 0,01 | 0,13 ± 0,03 | <0,05 |
| SB (cmol _c /dm³) | 0,28 ± 0,05 | 0,56 ± 0,15 | n.s. |
| CTC (cmol _c /dm³) | 0,62 ± 0,15 | 2,17 ± 0,38 | <0,01 |
| Saturação de bases (%) | 26,3 ± 8,3 | 8,1 ± 1,3 | n.s. |
| Alumínio (cmol _c /dm³) | 0,34 ± 0,11 | 1,60 ± 0,28 | <0,01 |
| H + Al (cmol _c /dm³) | 1,74 ± 0,74 | 5,83 ± 0,75 | <0,05 |
| Saturação de Alumínio (%) | 49,6 ± 7,1 | 73,8 ± 5,5 | <0,05 |

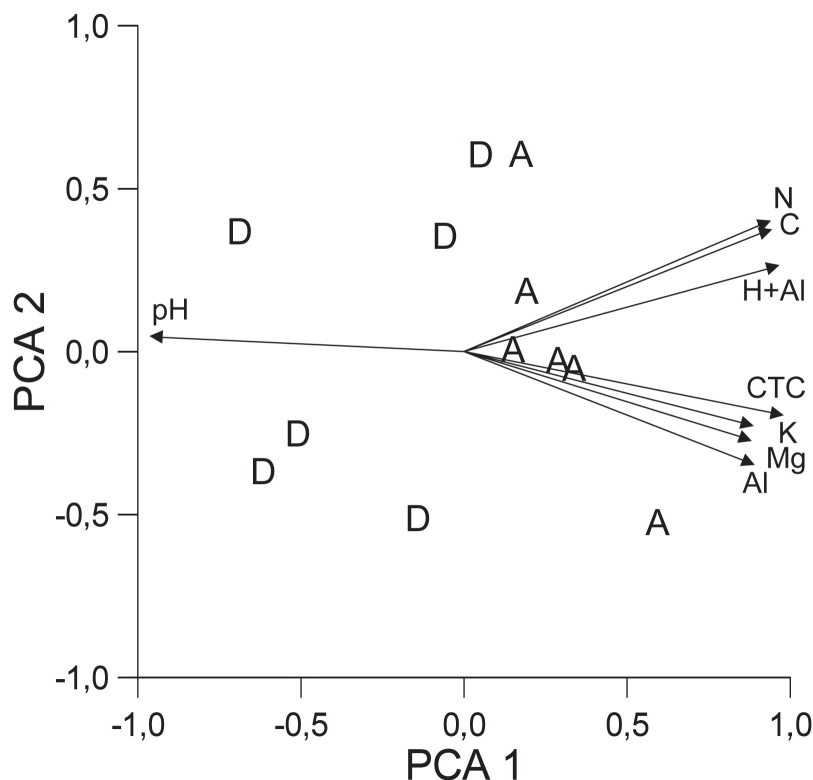


Figura 1. Biplot (eixos 1 e 2) da análise de componentes principais (PCA) de uma matriz de 12 áreas × 8 parâmetros químicos do solo. (D: área degradada; A: área adjacente; C: carbono orgânico; N: nitrogênio total; K: potássio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: acidez potencial; CTC: capacidade de troca catiônica efetiva; Autovalores: PCA 1 = 82,2%; PCA 2 = 7,8%).

Figure 1. Principal component analysis (PCA) biplot (axes 1 and 2) for a matrix of 12 areas × 8 soil chemical parameters. (D: degraded area; A: adjacent area; C: organic carbon; N: total nitrogen; K: potassium; Mg: magnesium; Al: aluminum; H+Al: potential acidity; CTC: effective cation exchange capacity; Eigenvalues: PCA 1 = 82,2%; PCA 2 = 7,8%).

e deficientes em todos os macronutrientes amostrados, em relação à classificação agrônômica utilizada para interpretação dos níveis nutricionais dos solos do Estado de Minas Gerais (Alvarez Venegas *et al.*, 1999). Entretanto, essa classificação não é capaz de indicar a magnitude das limitações nutricionais que estes solos possam estar oferecendo para a vegetação de campo rupestre local, visto que uma mesma condição nutricional pode ser limitante ou não, dependendo da espécie em particular, da variedade desta ou mesmo do genótipo individual (Chapin *et al.*, 1986; Negreiros *et al.*, 2009).

A fertilidade do solo depende da interação dos constituintes inorgâ-

nicos e dos processos biológicos relacionados a ele. As áreas degradadas avaliadas no presente estudo apresentaram franca alteração da sua estrutura físico-química. Visto que não foi observado nenhum tipo de regeneração substancial de vegetação nas áreas degradadas após décadas de retirada do solo superficial e abandono, há indicações de que a alteração da estrutura física combinada com a erosão e a descaracterização química destes solos tenham sido os principais fatores que impediram a regeneração natural dessas áreas. Tal fato sugere que os campos rupestres sejam ambientes extremamente frágeis e de baixa resiliência, demandando estratégias

de restauração ecológica de áreas degradadas condizentes com suas peculiaridades bióticas e abióticas. Assim, esforços devem ser realizados para o desenvolvimento de estudos mais detalhados em longo prazo nas áreas degradadas ocorrentes nas distintas subtipologias de campo rupestre, com fins de conservação da biodiversidade de uma das mais ricas vegetações do planeta. Além disso, em contraste com os métodos tradicionais de revegetação de áreas degradadas, nesses ambientes devem ser empregadas técnicas que mantenham as propriedades naturais de baixa fertilidade dos campos rupestres, a fim de prevenir a invasão de espécies exóticas nessas áreas.

Agradecimentos

Agradecemos a I.F. Malaguth e a B.M.O. Medina pelos comentários críticos nas versões iniciais do manuscrito, a J.A. Oliveira, A.B. Gomes, G. Lopes e a R.S. Galvão pelo apoio logístico nas diversas fases da pesquisa. Ao Laboratório de Solos da ENECON S.A., onde foram realizadas as análises físicas, e ao Laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa, onde foram feitas as análises químicas. Ao apoio financeiro da Planta Ltda., FAPEMIG (RDP-00048-10, CRA 583/03, CRA 697/06, EDT-465/07, APQ-01278/08), CNPq (303352/2010-8, 561883/2010-6, 476178/2008-8) e CAPES (BEX 323710-9, 02/2009 DRI/CGCI).

Referências

- ALMEIDA, R.O.P.O.; SÁNCHEZ, L.E. 2005. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. *Revista Árvore*, **29**:47-54. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000100006>
- ALVAREZ VENEGAS, V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. 1999. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: A.C. RIBEIRO; P.T.G. GUIMARÃES; V.H. ALVAREZ VENEGAS (eds.), *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Viçosa, CF-SEMG, p. 25-32.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 1999. *NBR 13030: Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração*. Rio de Janeiro, ABNT, 5 p.
- BARBOSA, N.P.U.; FERNANDES, G.W. 2008. A destruição do jardim. *Scientific American Brasil*, **79**:82-84.
- BARBOSA, N.P.U.; FERNANDES, G.W.; CARNEIRO, M.A.A.; JÚNIOR, L.A.C. 2010. Distribution of non-native invasive species and soil properties in proximity to paved roads and unpaved roads in a quartzitic mountainous grassland of southeastern Brazil (rupestrian fields). *Biological Invasions*, **12**:3745-3755. <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-010-9767-y>
- BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; SANTOS, H.G. 2007. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasileira de Botânica*, **30**:569-577.
- BERBARA, R.L.L.; SOUZA, F.A.; FONSECA, H.M.A.C. 2006. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: M.S. FERNANDES (ed.), *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 53-88.
- CHAPIN, F.S.III; VITOUSEK, P.M.; VANCE, K. 1986. The nature of nutrient limitation in plant communities. *American Naturalist*, **127**:48-58. <http://dx.doi.org/10.1086/284466>
- CURRY, J.P.; GOOD, J.A. 1992. Soil faunal degradation and restoration. *Advances in Soil Sciences*, **17**:171-225. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-2820-2_7
- DICK, R.P.; THOMAS, D.R.; HALVORSON, J.J. 1996. Standardized methods, sampling, and sample pretreatment. In: J.W. DORAN; A.J. JONES (eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*. Madison, SSSA Special Publication 49, p. 107-121
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). 1996. *Manual de Pavimentação*. vol.3. Rio de Janeiro, DNER, 648 p.
- GALVÃO, M.V.; NIMER, E. 1965. *Clima*. In: *Geografia do Brasil – Grande Região Leste*. Rio de Janeiro, IBGE, p. 139.
- GIULIETTI, A.M.; MENEZES, N.L.; PIRANI, J.R.; MEGURO, M.; WANDERLEY, M.G.L. 1987. Flora da Serra do Cipó: caracterização e lista de espécies. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, **9**:1-151.
- GIULIETTI, A.M.; PIRANI, J.R.; HARLEY, R.M. 1997. Espinhaço Range region. In: S.D. DAVIS; V.H. HEYWOOD; O. HERRERA-MACBRYDE; J. VILLA-LOBOS; A.C. HAMILTON (eds.), *Centers of plant diversity: a guide and strategy for their conservation*. Vol.3, Cambridge, IUCN Publication Unity, p. 397-404.
- LAL, R. 1990. Soil conservation and biodiversity. In: D.L. HAWKSWORTH (ed.), *The Biodiversity of microorganisms and invertebrates: its role in sustainable Agriculture*. Arizona, University of Arizona Press, p. 89-140.
- LAL, R. 1994. Soil erosion by wind and water: problems and prospects. In: R. LAL (ed.), *Soil Erosion Research Methods*. Flórida, St. Lucie Press, p. 1-9.
- MADEIRA, J.A.; FERNANDES, G.W. 1999. Reproductive phenology of sympatric taxa of *Chamaecrista* (Leguminosae) in Serra do Cipó, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, **15**:463-479. <http://dx.doi.org/10.1017/S0266467499000954>
- MENEZES, N.L.; GIULIETTI, A.M. 2000. Campos rupestres. In: M.P. MENDONÇA; L.V. LINS (eds.), *Lista Vermelha das Espécies Ameaçadas de Extinção da Flora de Minas Gerais*. Belo Horizonte, Fundação Biodiversitas, p. 65-73.
- MILTON, S.J.; DEAN, W.R.J.; DU PLESSIS, M.A.; SIEGFRIED, W.R. 1994. A conceptual model of arid rangeland degradation: the escalating cost of declining productivity. *Bioscience*, **44**:70-76. <http://dx.doi.org/10.2307/1312204>
- NEGREIROS, D.; MORAES, M.L.B.; FERNANDES, G.W. 2008. Caracterização da fertilidade dos solos de quatro espécies de leguminosas de campos rupestres, Serra do Cipó, MG, Brasil. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, **8**:30-39.
- NEGREIROS, D.; FERNANDES, G.W.; SILVEIRA, F.A.O.; CHALUB, C. 2009. Seedling growth and biomass allocation of endemic and threatened shrubs of rupestrian fields. *Acta Oecologica*, **35**:301-310. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2008.11.006>
- PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; MCNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, **267**:1117-1123. <http://dx.doi.org/10.1126/science.267.5201.1117>
- PIRANI, J.R.; MELLO-SILVA, R.; GIULIETTI, A.M. 2003. Flora de Grão-Mogol, Minas Gerais, Brasil. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo*, **21**:1-24.
- QUINN, G.P.; KEOUGH, M.J. 2002. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge, Cambridge University Press, 537 p.
- SILVA, F.C.; EIRA, P.A.; VAN RAIJ, B.; SILVA, C.A.; ABREU, C.A.; GIANELLO, C.; PÉREZ, D.V.; QUAGGIO, J.A.; TEDESCO, M.J.; ABREU, M.F.; BARRETO, W.O. 1999. Análises químicas para a avaliação da fertilidade do solo. In: F.C. SILVA (ed.), *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília, EMBRAPA, p. 75-169.
- VIANA, L.R.; FERNANDES, G.W.; SILVA, C.A. 2005. Ecological road threatens endemic Brazilian plant with extinction. *Plant Talk*, **41**:15.
- ZAR, J.H. 1998. *Biostatistical analysis*. 4 ed. New Jersey, Prentice-Hall, 939 p.

Submitted on April 18, 2011.

Accepted on August 9, 2011.