

## AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias  
ISSN (on line) 1981-0997  
v.7, n.2, p.204-212, abr.-jun., 2012  
Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br  
DOI:10.5039/agraria.v7i2a1063  
Protocolo 1063 - 15/08/2010 • Aprovado em 08/11/2011

José A. A. Pereira<sup>1</sup>

Rodrigo M. Goulart<sup>2</sup>

Marx L. N. Silva<sup>1</sup>

Ricardo A. Loschi<sup>3</sup>

Leonardo M. Ogusuku<sup>4</sup>

Malcon do P. Costa<sup>5</sup>

1 Universidade Federal de Lavras, Campus  
Universitário da UFLA, CEP 37200-000, Lavras-MG,  
Brasil. Caixa Postal 3037. Fone: (35) 3829-1430.  
Fax: (35) 3829-1411. E-mail: j.aldo@ufla.br;  
marx@ufla.br

2 Instituto Estadual de Florestas, Escritório Regional  
Centro-Oeste, Rua Bananal, 549, Santo Antônio,  
CEP 35502-034, Divinópolis-MG, Brasil. Fone: (37)  
3229-2800. E-mail: martinsgoulart@yahoo.com.br

3 Instituto Estadual de Florestas, Escritório Regional  
Centro-Sul, Rua Freire de Andrade, 131, Centro,  
CEP 36.200-098, Barbacena-MG, Brasil. Fone: (32)  
3331.2999. E-mail: riloschi@gmail.com

4 Instituto Estadual de Florestas, Escritório Regional  
Triângulo, Av. Cesário Alvim, 3.170, Brasil, CEP  
38400-696, Uberlândia-MG, Brasil. Fone: (34) 3212-  
2451. E-mail: imozero@yahoo.com.br

5 Universidade Federal de Santa Maria, Campus  
Universitário, Centro de Ciências Rurais, Prédio 44,  
Faixa de Camobi, Km 09, CEP 97105-900, Santa  
Maria-RS, Brasil. Fone: (55) 3220-8336. E-mail:  
malconfloresta@gmail.com

# Caracterização dos atributos dos regolitos de uma voçoroca em Nazareno, Minas Gerais

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os atributos físicos e químicos de regolitos nas diferentes condições de sítios existentes em uma voçoroca no município de Nazareno, região Campo das Vertentes, Minas Gerais. Foram locados seis transectos, distribuídos ao longo da insurgência de água na voçoroca, dispostos de forma a captar gradientes de umidade ao longo dos compartimentos baixada úmida e terços inferior, médio e superior da encosta. Nestes locais foram realizados três procedimentos de coleta de solos, para análises químicas e de textura, para resistência à penetração e para o teor de umidade. Os resultados obtidos das medições de umidade (Método Padrão de Estufa) foram de 38 % - 47 % para a interface da baixada úmida com o terço inferior, 28 % - 38 % para o segmento médio e de 17 % - 36 % para o segmento superior; a temperatura do solo apresentou relação inversa à umidade do solo, chegando a 26° C no segmento superior (área 4) e 15° C no segmento inferior (área 1). A aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP) mostrou a alta complexidade do ambiente: os segmentos inferiores apresentaram maior correlação com umidade do solo, teor de areia e saturação por bases, enquanto os segmentos superiores melhor se correlacionaram com resistência do solo à penetração e o teor de silte.

**Palavras-chave:** Análise de componentes principais; compactação; umidade do solo

## Characterization of regolith features of the gully in Nazareno County, Minas Gerais State, Brazil

## ABSTRACT

The objective of the current study was to evaluate chemical and physical soil properties in different site conditions of a gully in the county of Nazareno, Campo das Vertentes region, Minas Gerais State, Brazil. Six transects were located along the gully water insurgency, with the purpose evaluating the moisture gradient, along the slope segments humid depression and lower, medium and upper slope sections. In these segments, soil samples were collected for determination of chemical properties, particle size distribution, penetration resistance and moisture content. The results of the moisture content measurements (Standard Oven Method) were: 38 % - 47 % for the humid lowland - lower slope interface; 28 % - 38 % for the medium slope position; and 17 % - 36 % for the upper slope. Soil temperature showed an inverse relationship with soil moisture, varying from 26° C in the upper slope (area 4) and 15° C in the lower slope (area 1). The application of the Principal Component Analysis (ACP) showed high complexity of the environment: the lower slopes presented an increased correlation with soil moisture, sand content and base saturation, whilst the upper slopes correlated better with soil penetration resistance and silt content.

**Key words:** Principal component analysis, compaction, soil moisture

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação com a qualidade ambiental tem merecido destacada atenção. A região Sul de Minas Gerais apresenta um quadro preocupante, com grandes áreas comprometidas por voçorocas. Os solos desta região, além do histórico de uso e manejo inadequados, possuem, geralmente, horizontes A e B rasos e o horizonte C espesso, condições estas que favorecem a ocorrência de grande quantidade de voçorocas na região, diminuindo a capacidade produtiva dos solos (Ferreira, 2005).

O solo, quando utilizado de maneira incorreta e submetido a práticas inadequadas, tais como desmatamento, cultivo intensivo, estradas e mineração, têm seus atributos alterados, caracterizando um estado de degradação. Dentre os processos causadores da degradação, destacam-se a redução da cobertura vegetal, erosão hídrica, acidificação dos solos, exaustão de nutrientes e diminuição do carbono orgânico e da biodiversidade. Posteriormente, a perda do solo mais fértil dificulta o estabelecimento da vegetação em sua sucessão natural, tornando-o inviável para a exploração sócio-econômica e ambiental (Gomide, 2009).

Estudos de determinação das perdas de solo e água por erosão hídrica para o município de Lavras (MG) apresentaram resultados que denotam maior resistência ao Latossolo Vermelho e maior susceptibilidade ao Cambissolo, em consonância com o relevo de ocorrência, os atributos e a capacidade de uso desses solos (Silva et al., 2001). Os Cambissolos possuem os maiores teores de silte e areia fina, o que favorece o encrustamento e a baixa permeabilidade, elevando significativamente o deflúvio superficial. Em média, um solum pouco espesso, com horizonte C profundo, pobreza química acentuada e local de relevo acidentado, pode tornar um sistema muito instável e com elevada susceptibilidade ao voçorocamento (Silva, 1990).

As voçorocas podem atingir vários metros de comprimento e de profundidade, devido ao fluxo de água que é possibilitado em seu interior, causando uma grande movimentação de partículas. Algumas voçorocas podem chegar até mesmo ao nível do lençol freático do local onde ocorrem. Sobre isso, Ferreira et al. (2007) afirmaram que as voçorocas são consideradas um dos piores problemas ambientais em áreas de rochas cristalinas, nas regiões montanhosas tropicais, onde são frequentes e podem alcançar grandes dimensões.

A voçoroca, assim como as outras formas de erosão, é um fenômeno natural, sendo considerado importante para a dinâmica natural da paisagem. Uma voçoroca, sob determinado ponto de vista, pode ser considerada como uma microbacia em formação. É a degradação ambiental provocada pela atividade antrópica que torna tais manifestações nocivas ao ambiente (Thomas, 1994).

Para a contenção dos processos erosivos faz-se necessário conhecer os atributos físicos, químicos e morfológicos dos solos, além das condições geomorfológicas (Silva et al., 2009). Vários atributos físicos do solo são utilizados para quantificar as alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo ou, até mesmo, como indicadores de qualidade do solo em relação à erosão hídrica. Dentre eles destacam-se: densidade

do solo, porosidade total, resistência à penetração e permeabilidade (Karlen & Scott, 1994).

Áreas degradadas apresentam baixos teores de matéria orgânica e elevada deficiência de N; o pH pode ser muito baixo, o que afetará a disponibilidade de vários nutrientes no solo, sendo limitante para o desenvolvimento e o crescimento de espécies vegetais (Siqueira et al., 2008). Em relação aos parâmetros da fertilidade do solo, a redução do pH do solo é acompanhada por um decréscimo da CTC e, geralmente, da porcentagem de saturação por bases (Rheinheimer et al., 2000; Petrere & Anghinoni, 2001; Reichert et al., 2003). Tal fato é mais evidenciado em ambiente de voçoroca, uma vez que as camadas, superficial e subsuperficial do solo, são removidas, contribuindo para o declínio da fertilidade.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os atributos físicos e químicos do solo e do saprolito, em diferentes pontos de uma voçoroca, no município de Nazareno, Minas Gerais.

## MATERIAL E MÉTODOS

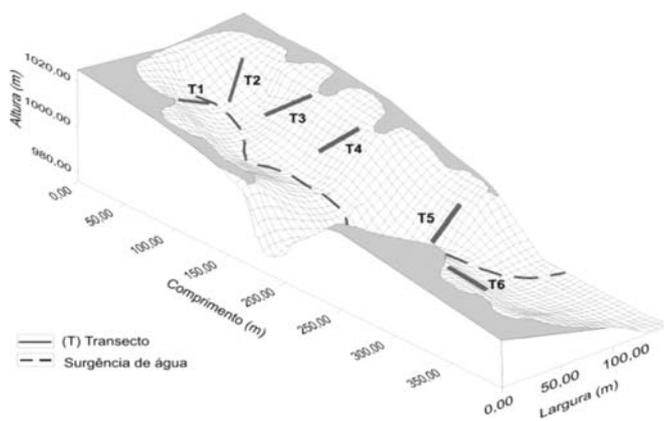
A região em estudo faz parte do “Domínio dos Remanescentes de Cadeias Dobradas”, dentro da “Região dos Planaltos do Alto Rio Grande”, na unidade geomorfológica denominada “Planalto de Andrelândia”. O clima é o Cwa (tropical de altitude) de Köppen e o tipo de vegetação dominante é de transição entre Florestas Estacionais Semidecíduas e os Cerrados (Oliveira-Filho & Fontes, 2000). Nela são frequentes voçorocas com dezenas de metros de extensão e largura considerável, por causa da conjugação dos fatores de alteração da rocha, elevada quantidade de mica e ausência de cobertura vegetal, o que facilita o deslizamento dos pacotes alterados (Ferreira, 2005).

A voçoroca em estudo localiza-se no município de Nazareno (21°14'37" a 21°15'50" S e 44°29'28" a 44°30'59" W), na região sudeste do Brasil, no estado de Minas Gerais, mesorregião Campo das Vertentes. Integra a superfície cristalina do Alto Rio Grande, cuja altitude varia de 960 e 1.060 m e abrange uma área de 323,5 km<sup>2</sup>.

Possui forma oval e suas dimensões máximas são: 400 m de comprimento, 130 m de largura, 864 m de perímetro e 20 m de profundidade e, aproximadamente, 3,2 ha de área (Figura 1).

O solo da encosta onde se localiza a voçoroca é variável, apresentando-se em camadas bem diferenciadas, variando de Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVEd), a Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico (LVd), quando se aproxima da parte mais baixa da encosta onde a voçoroca está inserida.

No interior da voçoroca foram locados seis transectos, distribuídos ao longo da insurgência de água na voçoroca (Figura 1) e dispostos de forma a captar gradientes de umidade, ao longo dos compartimentos, baixada úmida e terços inferior, médio e superior da encosta. As transeções foram caracterizadas por meio da determinação de medidas de umidade nos taludes, adotando-se três segmentos para as coletas em cada transecto: o segmento inferior (umidade da



**Figura 1.** Mapa planialtimétrico da voçoroca em estudo. Localização dos transectos (%) e surgência de água (- - -)

**Figure 1.** Planialtimetric map of the gully. Transects locations (%) and water appearance (- - -)

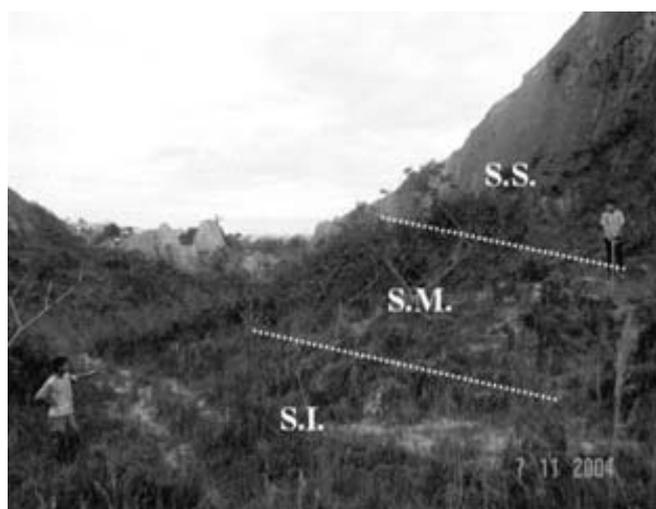
baixada úmida + umidade do terço inferior); segmento médio (umidade do terço médio) e o segmento superior (umidade do terço superior). A amostragem foi realizada durante doze meses, a partir de dezembro de 2003, sempre na terceira semana de cada mês e no período da manhã, sendo coletadas quatro amostras nos três segmentos de cada transecto.

Foram feitas análises físicas (granulométrica) e químicas (P, K,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , H+Al,  $\text{Al}^{3+}$ , S, T, V, m) dos regolitos nas seis áreas selecionadas, nas quais as amostras foram coletadas a 20 cm de profundidade, com auxílio do trado holandês. As coletas foram realizadas nas seis transecções distribuídas ao longo da insurgência de água da voçoroca, sendo distribuídas nos segmentos inferior, médio e superior e na área de contribuição.

Para a obtenção da temperatura do solo utilizou-se o termômetro de solo com bulbo de mercúrio, inserindo-se o bulbo a cerca de cinco cm de profundidade, próximo aos locais onde foram extraídas as amostras de umidade, no mesmo período, obtendo-se, mensalmente, três temperaturas (segmentos inferior, médio e superior) por área (Figura 2). O período de coleta das temperaturas transcorreu de maio até novembro de 2004, totalizando sete repetições.

A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada em setembro de 2004, utilizando-se o penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF. Em cada área de estudo a resistência foi avaliada em doze pontos amostrais, em cada ponto do segmento, totalizando 72 pontos amostrados no interior da voçoroca, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Para os cálculos utilizou-se o programa computacional "PENETRON" (Stolf, 1991), cujos valores foram obtidos em  $\text{kgf.cm}^{-2}$  e multiplicados pela constante 0,098 para transformação em unidades MPa.

As inter-relações entre as áreas estudadas e os seus respectivos parâmetros ambientais foram avaliadas pela Análise de Componentes Principais (ACP). Em trabalhos com elevada coleta de dados ambientais surge à necessidade de sintetizá-los por meio de técnicas multivariadas. Para a presente pesquisa, a Análise de Componentes Principais (ACP) é a técnica apropriada, pois representa o peso dos



**Figura 2.** Figura mostrando a separação dos três segmentos da vertente em um transecto amostrado na voçoroca em estudo, com destaque para a distribuição da vegetação

**Figure 2.** Picture showing the separation of the three slope segments in a transect in the studied gully, evidencing plant distribution

componentes ambientais correlacionados com as unidades amostrais que, por sua vez, refletem a variância relativa deste componente sobre a variância total. Os valores, quando alocados no gráfico, representam a pontuação ou o peso dos componentes para explicar a variância total. Na formação dos eixos gráficos, onde as variáveis ambientais são alocadas, é propriedade da ACP que eles sejam extraídos em ordem decrescente de importância. As variáveis que têm altas pontuações no eixo 1 tendem a tê-las baixas no eixo 2 (Kent & Coker, 1992). Esta análise multivariada é destinada principalmente para ordenar variáveis ambientais. Para isso, utilizou-se o programa Pc-Ord for Windows versão 4.0 (McCune & Mefford, 1999).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises químicas do solo (Tabela 1) indicaram acidez média (CFSEMG, 1989), acompanhando os padrões médios dos solos do cerrado brasileiro, que apresentam pH variando entre 4,0 e 7,5 (Lopes, 1994). A toxidez por  $\text{Al}^{3+}$ , no geral, apresentou-se média, mas com alterações em alguns segmentos. Os níveis de P, K, Ca e Mg foram baixos, apresentando como resultado uma diminuta soma de bases (S), em relação aos valores encontrados em solos da região (Silva, 1990).

De modo geral, os solos dos transectos apresentaram baixos teores de matéria orgânica, com valores comparativos mais elevados na área de contribuição dos seis locais analisados (Tabela 1). Os baixos teores encontrados nos segmentos inferiores da voçoroca, em média  $7,3 \text{ g kg}^{-1}$ , são indícios de que o processo de arraste de material está bastante ativo. Apesar das características químicas variarem de um transecto para outro e dentro do mesmo transecto, os segmentos inferior, médio e superior apresentaram solos de

**Tabela 1.** Análises químicas das amostras de solos, realizadas no mês de Novembro de 2004, correspondentes aos segmentos dos transectos**Table 1.** Soil Chemical analyses, carried out in November, 2004, corresponding to the transect segments

Transecto	Segmento	pH	MO	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al	Al <sup>3+</sup>	S	T	V	m
			dag kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....	.....	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	.....	.....	.....	.....	.....	.....
I	SI	5,7	3	0,9	14	0,8	0,2	1,5	0,4	1,0	2,5	40,9	28
	SM	5,9	2	0,6	8	0,6	0,2	1,9	0,7	0,8	2,7	30,1	46
	SS	6,0	5	0,6	6	0,7	0,2	1,5	0,5	0,9	2,4	38,0	35
	AC	5,3	16	0,4	19	0,8	0,2	5,0	0,5	1,1	6,1	17,4	32
II	SI	6,0	9	0,4	13	0,8	0,2	1,9	0,3	1,0	2,9	35,2	23
	SM	5,3	10	0,6	16	0,8	0,2	2,3	0,0	1,0	3,3	31,1	0
	SS	5,8	6	0,4	13	0,6	0,2	2,6	0,2	0,8	3,4	24,2	19
	AC	5,2	15	0,4	36	0,6	0,2	5,0	0,5	1,0	6,0	16,2	34
III	SI	6,0	10	1,7	20	0,6	0,2	1,7	0,3	0,9	2,5	33,3	26
	SM	5,9	10	0,6	19	0,7	0,2	3,2	1,1	1,0	4,2	22,9	54
	SS	5,6	10	6,2	13	0,8	0,2	2,3	0,4	1,0	3,3	30,9	28
	AC	5,4	13	0,4	17	0,7	0,2	3,6	0,2	0,9	4,5	20,7	18
IV	SI	5,4	10	0,9	30	0,8	0,2	2,6	0,7	1,1	3,7	29,3	39
	SM	5,3	14	0,6	31	0,8	0,2	4,5	0,7	1,1	5,6	19,4	39
	SS	5,3	10	11,5	25	0,8	0,2	2,9	0,4	1,1	4,0	26,8	27
	AC	5,3	14	0,4	19	0,8	0,2	3,6	0,3	1,1	4,7	22,6	22
V	SI	5,9	6	0,9	23	0,7	0,2	1,7	0,4	1,0	2,7	36,1	29
	SM	4,9	8	1,7	19	0,7	0,2	2,3	1,1	1,0	3,3	29,2	54
	SS	5,1	8	2,3	17	0,7	0,2	2,1	0,8	0,9	3,0	30,9	46
	AC	5,1	13	0,6	20	0,7	0,2	5,0	0,6	1,0	6,0	16,0	39
VI	SI	5,7	6	0,4	14	0,5	0,2	1,5	0,5	0,7	2,2	33,0	40
	SM	5,7	6	1,4	19	1,1	0,5	1,7	0,3	1,7	3,4	49,3	15
	SS	5,5	4	0,1	14	0,8	0,2	2,1	0,9	1,0	3,1	33,1	46
	AC	5,1	11	0,4	20	0,7	0,2	4,5	0,9	1,0	5,5	17,4	49

MO: matéria orgânica; H+Al: acidez trocável; S: soma de bases trocáveis; T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por Al<sup>3+</sup>; SI: segmento inferior; SM: segmento médio; SS: segmento superior; AC: área de contribuição; pH: potencial hidrogeniônico determinado na proporção 1:2,5 (solo:H<sub>2</sub>O); P: Fósforo (Lábil).

baixa fertilidade, não havendo diferenças entre eles e para as distintas áreas estudadas no interior da voçoroca.

De acordo com as análises granulométricas (Tabela 2), os solos dos segmentos (inferior, médio e superior) são de textura média, com exceção daqueles do transecto II, que possuem textura argilosa a muito argilosa. A análise da área de contribuição indicou solos argilosos para todas as áreas analisadas, coincidindo com a classificação argilosa dos segmentos da área II, que está relacionada à ocorrência de um deslizamento de solo proveniente da área de contribuição. Segundo Ferreira & Dias Júnior (1997) como a textura é uma das características físicas mais estáveis dos solos, a classificação textural da área de contribuição foi preservada na encosta do transecto II, diferenciando-se dos demais no interior da voçoroca. Pode-se observar que quanto mais próximo do segmento inferior, menor a quantidade de argila nos solos, ocorrendo o inverso para a areia, refletindo uma granulometria mais grossa, decorrente da retirada das partículas mais finas do sistema à medida que o processo de voçorocamento se intensifica. O silte apresentou-se em menor quantidade na área de contribuição, havendo um elevado teor de silte no segmento superior e diminuindo no sentido do segmento inferior, fato pouco comum nestes locais (Figura 3).

O processo de retirada de grande parte dos minerais argilosos e compostos orgânicos do interior de uma voçoroca, cujos compostos compõem a parte mais ativa e importante do solo (Gomide, 2009), agrava os efeitos de erodibilidade e fertilidade do ambiente em estudo.

As variações médias mensais da umidade do solo nos taludes (Figura 4) mostram que o segmento inferior apresentou maior umidade do solo (38 % - 47 %) no decorrer do ano, seguido dos segmentos médio (28 % - 38 %) e superior (17 % - 36 %). De acordo com Reichardt (1985), como a drenagem do solo se dá de cima para baixo (água gravitacional), espera-se que a distribuição de umidade no perfil aumente em profundidade, fato que é potencializado em solos de textura média (Tabela 2).

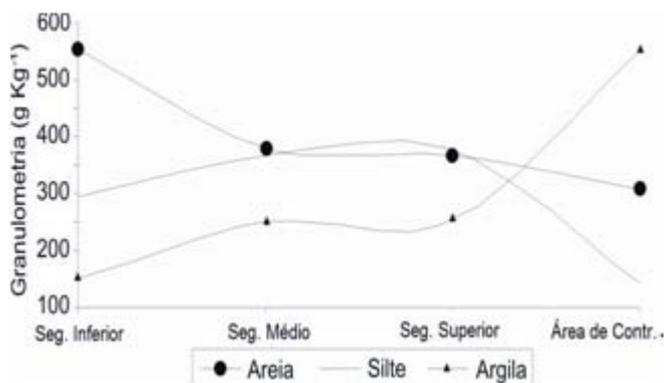
O transecto II foi o que apresentou locais com textura de franco-argilosa, segmento inferior a muito argilosa, na área de contribuição (Tabela 2). Observa-se (Figura 4) que a variação da umidade foi menor nos segmentos inferior e médio, cerca de 10 % durante o ano. O segmento superior, onde a vegetação é praticamente inexistente, apresentou a maior amplitude, próxima a 20 %.

Quando se analisa a umidade do solo nas áreas separadamente, percebe-se que em alguns meses houve inversão de umidade entre os segmentos, ou seja, segmentos médios apre-

**Tabela 2.** Análise granulométrica das amostras de solo (0-20 cm de profundidade) nos segmentos dos transectos em estudo

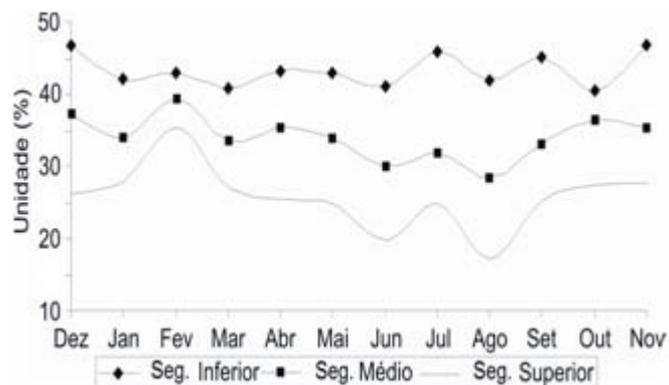
**Table 2.** Particle size distribution of the soil samples (0-20 cm depth) from each slope segment in the studied transects

Transecto	Segmento	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
		..... g kg <sup>-1</sup> .....			
I	SI	560	320	120	Franco-Siltoso
	SM	340	540	120	Franco-Siltoso
	SS	330	560	110	Franco-Argilo-Arenoso
	AC	270	160	570	Argiloso
II	SI	480	280	240	Franco-Siltoso
	SM	280	180	540	Argiloso
	SS	280	150	570	Argiloso
	AC	230	130	640	Muito Argiloso
III	SI	590	280	130	Franco
	SM	400	440	160	Franco-Siltoso
	SS	400	340	260	Franco-Siltoso
	AC	300	150	550	Argiloso
IV	SI	520	270	210	Franco
	SM	340	280	380	Franco-Argilo-Siltoso
	SS	290	370	340	Franco-Argilo-Siltoso
	AC	300	160	540	Argiloso
V	SI	440	440	120	Franco-Siltoso
	SM	470	410	120	Franco-Siltoso
	SS	510	380	110	Franco-Siltoso
	AC	300	150	550	Argiloso
VI	SI	730	180	90	Franco-Arenoso
	SM	500	370	130	Franco-Siltoso
	SS	420	470	110	Siltoso
	AC	440	110	450	Argiloso



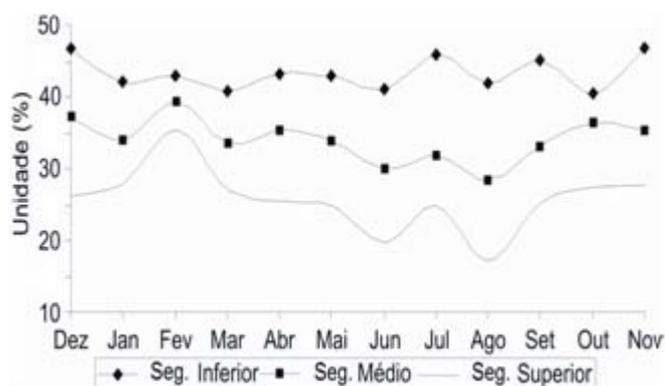
**Figura 3.** Teores médios de areia, silte e argila nos três segmentos (inferior, médio e superior) da voçoroca

**Figure 3.** Sand, silt and clay average contents in the three slope segments (low, medium, upper) of the gully



**Figura 4.** Variação mensal das médias de umidade do solo (0-20 cm de profundidade) nos três segmentos (inferior, médio e superior) do transecto II, durante o período do estudo

**Figure 4.** Monthly variation of the average soil moisture (0-20 cm depth) in the three segments (lower, medium and upper) of the transect II, during the studied period



**Figura 5.** Variação mensal média da umidade do solo nos três segmentos (inferior, médio e superior) do Transecto III

**Figure 5.** Monthly variation of the average soil moisture in the three segments (lower, medium and upper) of the transect III

sentaram umidades maiores que os inferiores, como no transecto III (Figura 5). Este fato pode estar relacionado à surgência de água na parede dos taludes, decorrente de chuvas que antecederam a época da coleta das amostras para umidade, fato observado em campo. A água retida pelo solo depende, principalmente, da quantidade e natureza da fração argila e do teor de matéria orgânica (Espig et al., 2008), menor nos segmentos superiores (Tabelas 1 e 2). Reichardt (1985) ressaltou, ainda, que a velocidade de drenagem depende da condutividade hidráulica do solo que, em geral, é rápida nos solos de textura média e mais lenta nos solos argilosos. Portanto, observando-se a composição granulométrica (Tabela 2) dos taludes, especula-se que o aumento no teor de argila no sentido do segmento superior, contribui para a dificuldade de drenagem dos segmentos mais argilosos em relação aos menos argilosos, permanecendo estes úmidos por maior período após a ocorrência de chuvas.

Outro fato relevante é a amplitude da umidade constatada nos taludes quando observados separadamente, como pode ser exemplificado pelo transecto III (Figura 5), na qual a umidade variou de 12 % e 60 % entre os segmentos, enfatizando a necessidade criteriosa da seleção de espécies por ocasião do planejamento de plantio nas áreas de voçorocas. A seleção de espécies adequadas para cada local reduzirá, conforme exigências específicas, a mortalidade das plantas.

As menores umidades foram constatadas nos segmentos superiores (Figura 4) e no Transecto VI (11 % - 38 %) (Figura 6), onde os menores teores de argila podem contribuir para uma menor retenção de água, e nos quais a vegetação encontra-se em menor quantidade dentre as localidades analisadas no interior da voçoroca (Figura 2).

A temperatura do solo no interior da voçoroca (Figura 7) apresentou relação inversa em relação à umidade do solo. Os maiores valores de temperaturas do solo foram encontrados para os segmentos superiores (26 °C), que são menos úmidos e desnudos, seguidos dos segmentos médios e inferiores. Estes resultados concordaram com Reichardt (1985), o qual justificou que a água tem um calor específico cerca de cinco vezes maior do que o solo. Portanto, quanto maior a quantidade de água em um solo, menor será o aumento da temperatura para uma dada quantidade de radiação latente, corroborando a afirmativa de que a drenagem influi na temperatura do solo e, como toda atividade biológica é diretamente proporcional à temperatura, influi também no crescimento vegetal e na atividade microbiana. No estado seco, os solos orgânicos têm calor específico mais baixo que os minerais, devido à baixa densidade do primeiro. No campo, os solos orgânicos e de textura fina (mais argilosos), têm ordinariamente, maior calor específico que os solos com textura grossa (mais arenosos), devido à alta capacidade de retenção de água destes primeiros solos. Em geral, os segmentos superiores apresentaram textura mais argilosa.

Relacionando resistência do solo à penetração, pode-se observar que, na média (Figura 8A), os solos do segmento superior apresentaram maior adensamento (1,15 a 1,77 MPa), seguidos pelos do segmento médio (0,87 a 1,28 MPa) e inferior (0,64 a 1,08 MPa). Enquanto a umidade do solo apresentou-se mais elevada nos segmentos inferiores decrescendo nos segmentos superiores (Figura 8B) que apesar de mais argilosos, devido à menor insurgência de água maiores níveis de radiação obtiveram este padrão comportamental.

De acordo com Karlen & Scott (1994), em qualquer densidade do solo, a resistência mecânica à penetração está inversamente relacionada ao teor de água. Klein et al. (1998) ressaltaram que, pequenas alterações na condição de umidade do solo proporcionam variações acentuadas na resistência do solo à penetração.

A maior resistência do solo à penetração no segmento superior pode também estar relacionada a dois outros fatores: maior teor de silte encontrado para este local (Tabela 2), o que indica que o solo não possui estrutura definida, sendo adensado mais facilmente (Cunha et al., 2002) e maior amplitude (20 %) dos valores de umidade do solo deste segmento quando relacionado aos demais (Figura 4). Este fator

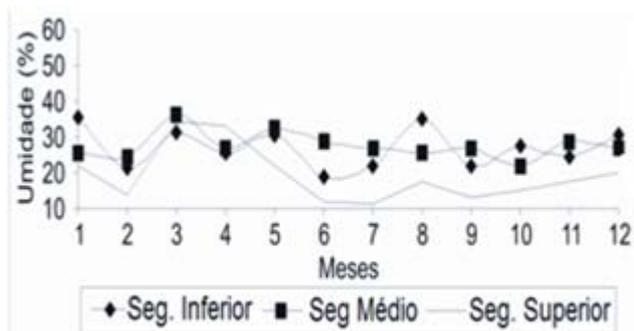


Figura 6. Variação das médias mensais da umidade do solo nos três segmentos (inferior, médio e superior) do Transecto VI

Figure 6. Monthly variation of the average soil moisture in three segments (lower, medium and upper) of the transect VI

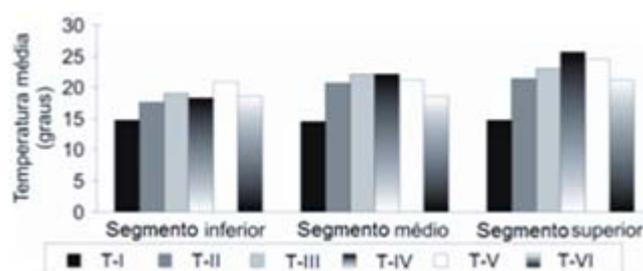


Figura 7. Temperatura média do solo dos segmentos inferior, médio e superior, nos seis transectos (T-I até T-VI)

Figure 7. Soil average temperature of the segments (lower, medium and upper) in the six transects (T-I until T-VI)

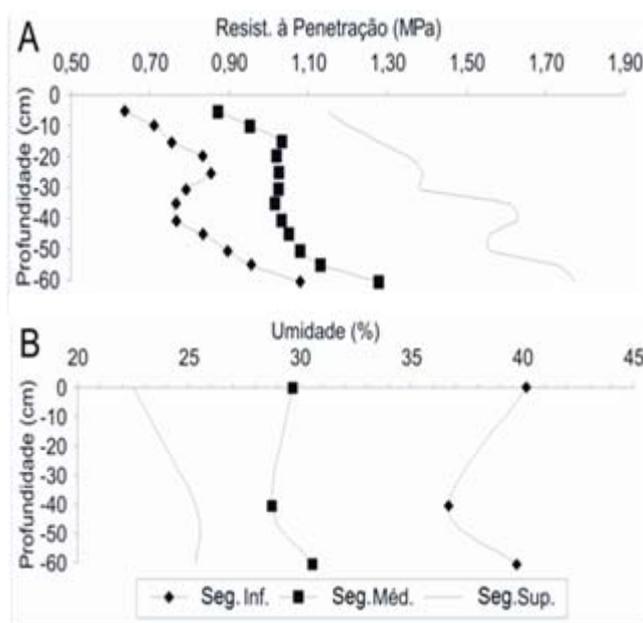


Figura 8. Representação das relações entre (A) profundidade do solo e as médias de resistência do solo à penetração e (B) profundidade do solo e média de umidade nos três segmentos dos transectos estudados na voçoroca

Figure 8. Relationships between (A) soil depth and soil penetration resistance and (B) soil depth and moisture content in the three segments of the studied transects in the gully

influencia os ciclos de umedecimento e secagem e, ainda, devido à falta de vegetação, ocasiona o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, o que pode proporcionar o adensamento do mesmo.

A resistência do solo à penetração aumenta com o seu adensamento, sendo restritiva ao crescimento radicular acima de valores que variam de 1,5 a 4,0 MPa (Imhoff et al. 2000), sendo assim os segmentos superiores apresentaram maior resistência a penetração de raízes e menores níveis de umidade. Para Miller (1987), a penetração das raízes pode ser reduzida se a resistência do solo atingir valores da ordem de 3,0 MPa, fato não ocorrido no presente estudo, que apresentou valores inferiores a 2,6 MPa. Entretanto, Mielniczuk et al. (1985) ressaltaram que as plantas apresentam diferentes respostas à resistência do solo à penetração, variando entre culturas.

A Análise de Componentes Principais (ACP), sintetizada na Figura 9, apresenta as correlações entre os segmentos das áreas estudadas e as variáveis ambientais mais importantes. As variáveis ambientais utilizadas na ACP explicaram 56,2 % da variância total, com variância de 34,9 % no eixo 1 e 21,3 % no eixo 2. Estes valores encontrados podem ser explicados devido à alta complexidade do ambiente. Em estudo no entorno dos reservatórios de Camargos/Itutinga, MG, Pereira et al. (1996) utilizando-se deste mesmo tipo de análise e semelhantes variáveis ambientais, concluíram que as variáveis testadas explicaram 100% da variância total em somente dois eixos de ordenação.

Como pode ser observado no eixo de ordenadas, há uma distinção entre os três segmentos selecionados para o estudo. O segmento inferior mostrou-se mais homogêneo, considerando o agrupamento das áreas, indicando que os fatores ambientais determinantes foram à matéria orgânica e a textura (Tabela 3). Todas as áreas deste segmento possuem

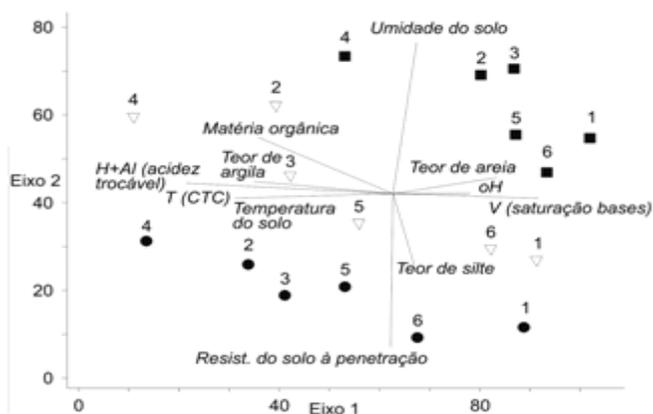


Figura 9. Análise de componentes principais (ACP): diagrama de ordenação dos transectos I, II, III, IV, V, VI, com suas respectivas variáveis ambientais. Segmentos: inferior (■), médio (▽) e superior (●)

Figure 9. Principal Component Analysis (ACP): diagram of transects ordering I, II, III, IV, V, VI, with their respective environmental variables. Segments: lower (■), Medium (▽) and upper (●)

Tabela 3. Peso das variáveis de solo nas seis primeiras componentes encontradas na Análise de Componentes Principais

Table 3. Weight of the soil variables in six first components found in the Principal Component Analysis (PCA)

Variáveis	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Resistência à penetração (Mpa)	0,0414	-0,1951	0,0201	0,2630	-0,0203	-0,0844
Umidade (%)	-0,0132	0,2847	0,0491	-0,4275	0,0303	-0,0575
Temperatura (°C)	-0,1744	0,0290	-0,1535	0,1451	0,0048	-0,0538
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	0,3643	0,4109	0,0726	0,1076	0,0527	-0,0956
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	0,4711	-0,2989	-0,4701	-0,1874	-0,0992	-0,0262
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	-1,1830	-0,1916	0,1712	-0,1015	-0,0830	-0,0436
MO (g kg <sup>-1</sup> )	-0,5790	0,4379	-0,3769	0,1107	-0,1356	0,0491
pH	0,0319	-0,0062	0,0333	-0,0301	-0,0219	0,0167
H+Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	-0,3169	-0,0455	-0,2038	-0,0055	0,1670	-0,0452
T (cmolc dm <sup>-3</sup> )	-0,2528	-0,0409	-0,1840	-0,0084	0,0856	-0,1078
V (%)	0,2784	0,0371	0,1440	-0,0035	-0,2580	-0,0888

correlação com umidade do solo, teor de areia, pH e saturação por bases.

A área quatro possui também correlação com matéria orgânica, acidez e teor de argila. O segmento superior também se apresentou homogêneo, demonstrando maior correlação com resistência do solo à penetração. Todas as áreas deste segmento apresentaram correlação com resistência do solo à penetração, silte e temperatura, acidez, teor de argila e matéria orgânica para as áreas dois a cinco. O segmento médio apresentou maior diferenciação entre as áreas estudadas. Os transectos dois a cinco deste segmento apresentaram correlação com matéria orgânica, teor de argila, acidez e temperatura. Ainda para este segmento, as áreas um e seis apresentaram correlação com silte e resistência do solo à penetração.

Tabela 4. Correlações entre as oito primeiras componentes principais com as variáveis dos solos na voçoroca em estudo

Table 4. Correlation among the eight first principal components with the soil variables at the studied gully

Variáveis	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Resistência à penetração (Mpa)	0,000	0,249	0,000	-0,449	0,000	-0,380	0,406	0,572
Umidade (%)	0,000	-0,364	0,000	0,730	0,000	-0,259	0,424	0,165
Temperatura (°C)	-0,113	0,000	0,213	-0,248	0,000	-0,243	0,609	-0,584
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	0,237	-0,525	-0,101	-0,184	-0,140	-0,431	-0,181	0,000
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	0,306	0,382	0,651	0,320	0,264	-0,118	0,000	0,000
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	-0,769	0,245	-0,237	0,173	0,221	-0,196	0,000	0,000
MO (g kg <sup>-1</sup> )	-0,377	-0,560	0,522	-0,189	0,360	0,221	0,000	0,202
pH	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,481
H+Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	-0,206	0,000	0,282	0,000	-0,444	-0,204	-0,210	0,000
T (cmolc dm <sup>-3</sup> )	-0,164	0,000	0,255	0,000	-0,228	-0,485	-0,375	0,000
V (%)	0,181	0,000	-0,199	0,000	0,686	-0,400	-0,248	-0,167

As variáveis ambientais cujos vetores se opõem, mostram inter-relação negativa. Pode-se observar que o vetor de umidade está em posição oposta ao de resistência do solo à penetração (Tabela 4). Verifica-se também inter-relação negativa entre: acidez, capacidade de troca catiônica, temperatura e matéria orgânica com saturação por bases, teor de areia e pH.

## CONCLUSÕES

As variações encontradas nas características químicas e no teor de matéria orgânica de uma área para outra e dentro de cada área não se diferenciaram, pois os solos dos segmentos inferior, médio e superior apresentaram status nutricional baixo nos diferentes transectos.

O segmento inferior apresentou maior umidade do solo ao longo do período estudado, seguido do segmento médio e superior. A maior amplitude de variação de umidade foi encontrada no segmento superior, demonstrando, por meio deste parâmetro, a realidade de campo, ou seja, condições naturais inapropriadas para o estabelecimento de vegetação colonizadora.

A resistência à penetração não demonstrou que este parâmetro é limitante ao desenvolvimento vegetal no interior da voçoroca, tendo os solos do segmento superior apresentado maiores adensamentos e temperaturas, seguidos pelos segmentos, médio e inferior.

A umidade do solo se relacionou com as características do relevo nos transectos, pois obteve maiores valores nos segmentos inferiores – onde o relevo tem forma mais côncava.

As variáveis ambientais medidas pela ACP explicaram 56,2 % da variância total, indicando a complexidade do ambiente estudado. O segmento inferior das transecções apresentou correlação com umidade do solo, teor de areia e saturação por bases, enquanto os segmentos superiores apresentaram maior correlação com a resistência à penetração e o teor de silte.

## LITERATURA CITADA

Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa: CFSEMG, 1989. 176p.

Cunha, J. P. A. R. da; Vieira, L. B.; Magalhães, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. *Engenharia na Agricultura*, v.10, n.1-4, p. 1-7, 2002. <<http://www.ufv.br/dea/reveng/arquivos/Vol10/v10n1-4p01-07.pdf>>. 12 Jan. 2011.

Espig, S. A.; Freire, F. J.; Marangon, L. C.; Ferreira, R. L. C.; Freire, M. B. G. dos s.; Espig, D. B. Distribuição de nutrientes entre a vegetação florestal e o solo em fragmento de Mata Atlântica. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.3, n.2, p.132-137, 2008. <<http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=342>>. doi:10.5039/agraria.v3i2a342. 17 Fev. 2011.

Ferreira, M.M.; Dias Júnior, M.S. Física do solo. Lavras:

UFPA/FAEPE, 1997. 63p.

Ferreira, R. R. M.; Ferreira, V. M.; Tavares Filho, J.; Ralisch, R. Origem e evolução de voçorocas em Cambissolos na bacia do alto Rio Grande, Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31., 2007, Gramado. Anais. Gramado: SBCS, 2007. Cd Rom.

Ferreira, V. M. Voçorocas no município de Nazareno, MG: origem, uso da terra e atributos do solo. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 84 p. Dissertação Mestrado.

Gomide, P. H. O. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras-MG. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2009. 89p. Dissertação Mestrado.

Imhoff, S.; Silva, A.P.; Tormena, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.7, p.1493-1500, 2000. <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n7/1493.pdf>>. doi:10.1590/S0100-204X200000700025. 12 Ago. 2011.

Karlen, D. L.; Scott, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdicek, D. F.; Stewart, B. A. (Ed.). *Defining soil quality for sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. chap. 1, p. 3-21. (Special publication, 35).

Kent, M.; Coker, P. *Vegetation description and analysis: a practical approach*. London: Belhaven, 1992. 363p.

Klein, V.A.; Libardi, P.L.; Silva, A.P. Resistência do solo à penetração sob diferentes condições de umidade. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1998, Poços de Caldas. Anais... Poços de Caldas: SBEA, 1998. v.3, p.61-63.

Lopes, A.S. Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária. 2.ed. São Paulo, ANDA, 1994. 62p. (Boletim Técnico, 5)

McCune, B.; Mefford, M.J. PC-ORD version 4.0: multivariate analysis of ecological data; users guide. Glaneden Beach: MjM Software Design, 1999. 237p.

Mielniczuk, J.; Carpenedo, V.; Pedo, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. *Lavoura Arrozeira*, v.38, p.42-43, 1985.

Miller, D.E. Effect of subsoiling and irrigation regime on dry bean production in the Pacific Northwest. *Soil Science Society of America Journal*, v.51, n.3, p.784-787, 1987. <[http://soilslab.cfr.washington.edu/SSSAJ/SSAJ\\_Abstracts/data/contents/a051-03-0784.pdf](http://soilslab.cfr.washington.edu/SSSAJ/SSAJ_Abstracts/data/contents/a051-03-0784.pdf)>. doi:10.2136/sssaj1987.03615995005100030038x. 12 Jan. 2011.

Oliveira-Filho, A. T.; Fontes, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forest in South-eastern Brazil, and influence of climate. *Biotropica*, v. 32, n. 4b, p. 139-158, 2000. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x/abstract>>. doi:10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x. 12 Jan. 2011.

Pereira, J.A.A.; Davide, A.C.; Botelho, S.A.; Oliveira-Filho, A.T. Análise das correlações entre fatores de sítio e crescimento de espécies arbóreas por meio da aplicação de

- análise de componentes. In: Congresso Brasileiro de Ecologia, 3, Brasília, 1996. Anais... Brasília: UnB, 1996. p. 431.
- Petrere, C.; Anghinoni, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n.4, p. 885-895, 2001. <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/1802/180218240011.pdf>>. 17 Jan. 2011.
- Reichardt, K. Processo de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 4. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.
- Reichert, J. M.; Reinert, D. J.; Braida, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência & Ambiente*, v. 27, p. 29-48, 2003. <[http://w3.ufsm.br/fisicadosolo/downloads/Producao\\_Artigos/5.pdf](http://w3.ufsm.br/fisicadosolo/downloads/Producao_Artigos/5.pdf)>. 15 Nov. 2010.
- Rheinheimer, D. S.; Santos, E.J.S.; Kaminski, J.; Bortoluzzi, E.C.; Gatiboni, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 797-805, 2000. <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v24n4a12.pdf>>. 16 Nov. 2010.
- Silva, A.C. Relação entre voçorocas e solos na região de Lavras (MG). Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1990. 124p. Dissertação Mestrado.
- Silva, A.M.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Lima, J.M.; Barreto, V.C.M.; Silva, T.F. Perdas por erosão e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo Roxo no Sul de Minas Gerais – Resultados Preliminares. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7., Goiânia, 2001. Anais dos Trabalhos Completos... Goiânia: Associação Brasileira Geologia de Engenharia Ambiental, 2001.p.1-8. p. 55-57.
- Silva, J. M. A.; Pruski, F. F.; Rodrigues, L. N.; Cecílio, R. A. Modelo para a obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas. 2. Avaliação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v.4, n.2, p.192-197, 2009. <<http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=218>>. doi:10.5039/agraria.v4i2a12. 12 Jan. 2011.
- Siqueira, J. O.; Soares, C. R. F. S.; Silva, C. A. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: Santos, G. A.; Silva, L. S.; Canellas, L. P.; Camargo, F. A. O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2008. cap. 26, p. 495-524.
- Stolf, R. Teoria e tese experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.15, n.3, p.229-235, 1991.
- Thomas, M. F. Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes. Chichester: John Wiley, 1994. 460p.