

## Comissão 3.2 - Manejo e conservação do solo e da água

# ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO EM AMBIENTES DE VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE LAVRAS – MG<sup>(1)</sup>

Plínio Henrique Oliveira Gomide<sup>(2)</sup>, Marx Leandro Naves Silva<sup>(3)</sup> & Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares<sup>(4)</sup>

### RESUMO

A região Sul de Minas Gerais apresenta grandes áreas comprometidas por erosões do tipo voçoroca, e a avaliação dos atributos do solo nesses ambientes é de extrema importância, pela sua sensibilidade às alterações na qualidade do solo. Os objetivos deste estudo foram avaliar os atributos físicos, químicos e biológicos dos solos e suas relações com a cobertura vegetal ocorrente no interior das voçorocas. O estudo foi realizado em três voçorocas, uma sob Cambissolo Háptico e as outras duas sob Latossolo Vermelho-Amarelo – LVA1 e LVA2, localizadas em Lavras, MG. Diferentes ambientes das voçorocas foram avaliados, compreendendo o leito, o terço médio sem vegetação (TMSV) e o terço médio com vegetação (TMCV), que foram comuns às três voçorocas, bem como outros dois ambientes encontrados na voçoroca sob LVA2: terço médio com eucalipto (TMEucalipto) e terço médio com candeia (*Eremanthus incanus*) (TMCandeia), além de áreas sob vegetação nativa (VN), próximas de cada voçoroca, adotadas como referência. Entre os atributos físicos, os mais alterados foram volume total de poros (VTP), macro e microporosidade e densidade do solo (Ds). A erosão hídrica provocou decréscimo acentuado na fertilidade do solo, expresso pela redução de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , P e teores de matéria orgânica, além do acréscimo dos teores de  $\text{Al}^{3+}$ , H + Al e saturação por  $\text{Al}^{3+}$  (m). Entre os atributos biológicos analisados, o C da biomassa microbiana apresentou reduções superiores a 80 % nos ambientes TMSV nas voçorocas sob Cambissolo e LVA1 e leito sob LVA2, em relação às suas respectivas áreas de referência. O  $\text{qCO}_2$  mostrou-se um índice sensível às alterações do ambiente, e os maiores valores encontrados foram no leito, ocasionados pelo excesso de umidade, e no ambiente TMSV, devido ao baixo teor de matéria orgânica e à ausência de

---

<sup>(1)</sup> Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Recebido para publicação em fevereiro de 2010 e aprovado em dezembro de 2010.

<sup>(2)</sup> Mestre em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: pliniogomide@gmail.com

<sup>(3)</sup> Professor Associado III do Departamento de Ciência do Solo, DCS/UFLA. Bolsista CNPq. E-mail: marx@dcs.ufla.br

<sup>(4)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia (MIP) do Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina – CCB/UFSC. Caixa Postal 476, CEP 88040-900 Florianópolis (SC). E-mail: crfsoares@gmail.com

**vegetação. O número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares apresentou decréscimo superior a 75 % nos ambientes mais degradados. Os resultados evidenciam que os atributos de solo analisados foram sensíveis às alterações nos ambientes de voçorocas e podem servir como indicadores para o monitoramento da dinâmica de ambientes degradados pela erosão hídrica.**

**Termos de indexação: qualidade ambiental, degradação do solo, erosão hídrica.**

**SUMMARY: PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL SOIL PROPERTIES OF GULLY ENVIRONMENTS IN LAVRAS – MG**

*In the southern region of Minas Gerais large areas are affected by gully erosion. The evaluation of soil properties in these environments is extremely important, in view of their sensitivity to changes in soil quality. The objectives of this study were to evaluate physical, chemical and biological soil properties and their relationship with vegetation in the gullies. The study examined three gullies, one on an Inceptisol and two on Oxisols- LVA1 and LVA2, in Lavras, Minas Gerais (SE Brazil). Different environments of the gullies were evaluated including the river bed, an intermediate position without vegetation (TMSV) and an intermediate position with vegetation (TMCV) that were common to the three gullies. Other environments found in two gullies on LVA2 were also assessed: an intermediate position with eucalyptus (TMEucalypt) and an intermediate position with Candeia (*Eremanthus incanus*) (TMCandeia), as well as areas under native vegetation (NV), adjacent to each gully, as reference. Of the physical properties, the most affected were the total pore volume, macro and microporosity and bulk density (Ds). Water erosion has caused a sharp decrease in soil fertility, expressed by the reduction of  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ , P, and organic matter contents, as well as increases in the levels of  $Al^{3+}$ ,  $H + Al$  and Al saturation (m). Of the biological properties, microbial biomass C decreased more than 80 % in the environments TMSV in LVA1, Inceptisol gullies and river bed under LVA2, compared to their respective reference areas. The  $qCO_2$  proved to be a sensitive index to environmental changes; highest values were found in the bed, caused by excess moisture and in TMSV, due to low organic matter content and absence of vegetation. The decrease in the number of spores of mycorrhizal arbuscular fungi was greater than 75 % in most degraded environments. Results show the sensitivity of the analyzed soil properties to environmental changes in gullies and can serve as indicators for monitoring the dynamics of environments degraded by water erosion.*

*Index terms: environmental quality, soil degradation, water erosion.*

## INTRODUÇÃO

Dentre os processos causadores da degradação do solo, destaca-se a erosão hídrica, a qual ocasiona redução da cobertura vegetal, acidificação dos solos, exaustão de nutrientes e diminuição do teor de C orgânico e da biodiversidade, tornando-o inviável para a exploração socioeconômica e ambiental (Carneiro et al., 2009).

A região Sul de Minas Gerais apresenta um quadro preocupante, com grandes áreas comprometidas com a degradação do solo pela erosão hídrica do tipo voçoroca. Segundo Silva et al. (1993), as atividades de mineração contribuíram para o surgimento de cerca de 35 % das voçorocas na região de Lavras e Ijaci (MG), principalmente nos Latossolos. Os Cambissolos apresentaram a maior incidência de voçorocas (maior

relação voçoroca/quilômetro quadrado) na região estudada. Em condições equiparáveis, os solos provenientes da alteração de micaxistos e quartzitos são mais suscetíveis ao voçorocamento do que aqueles oriundos da alteração do gnaisse granítico. De acordo com Ferreira (2005), os solos dessa região, além do histórico de uso e manejo inadequados, possuem, geralmente, horizontes A e B rasos e o horizonte C espesso, condições essas que favorecem a ocorrência de grande quantidade de voçorocas na região, diminuindo a capacidade produtiva dos solos.

Os estudos relacionados às voçorocas, até os dias atuais, tinham sido negligenciados em razão das dificuldades de investigação e de previsão (Valentin et al., 2005). Segundo Chaves (1994), a ocorrência de processos distintos no fenômeno da erosão hídrica do tipo voçoroca torna sua modelagem complexa. A essa

complexidade soma-se a alta variabilidade espacial e temporal de vários atributos que influem em sua evolução, como as variações do nível freático, da coesão dos taludes, da resistência do fundo do canal, dos atributos de solo e da cobertura vegetal.

Nesse contexto, a avaliação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes degradados pela erosão hídrica é de extrema importância devido à sua sensibilidade às alterações na qualidade do solo, uma vez que pode fornecer subsídios para o estabelecimento de sistemas racionais de manejo e contribuir para a manutenção de ecossistemas sustentáveis (Carneiro et al., 2009).

Segundo Doran & Parkin (1994), a qualidade desses atributos propicia condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo. Assim, qualquer modificação no solo pode alterar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos na qualidade ambiental e produtividade das culturas (Brookes, 1995). No entanto, informações a respeito desses indicadores em ambientes de voçorocas são pouco conhecidas, ou inexistentes, sendo necessários estudos para uma futura relação dos atributos físico-químicos com os indicadores biológicos do solo, auxiliando no monitoramento dos ambientes degradados pela erosão hídrica.

O presente estudo teve como objetivos avaliar os atributos físicos, químicos e biológicos de diferentes ambientes de voçoroca e estudar as relações com a cobertura vegetal, a fim de gerar informações úteis para um diagnóstico mais embasado sobre a dinâmica e o estágio de desenvolvimento das voçorocas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em três voçorocas localizadas no município de Lavras, MG. O clima da região é do tipo Cwa de Köppen, com temperatura média anual

de 19 °C e precipitação pluvial média anual em torno de 1.530 mm. No período da coleta dos solos, realizada no mês de agosto de 2008, a variação de temperatura foi de 10,0 a 33,8 °C, com temperatura média no período de 28 °C e precipitação pluvial média de 14 mm (Estação Meteorológica da UFPA).

Os dados foram coletados em diferentes ambientes das voçorocas, sendo uma sob Cambissolo Háptico distrófico textura arenosa (21 ° 23 ' 18 " S e 45 ° 4 ' 36 " W) e duas sob Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa: LVA1 (21 ° 23 ' 20 " S e 45 ° 6 ' 54 " W) e LVA2 (21 ° 20 ' 43 " S e 45 ° 12 ' 43 " W) (Embrapa, 2006).

O estudo consistiu na avaliação do solo de diferentes ambientes das voçorocas: leito, terço médio sem vegetação (TMSV) e terço médio com vegetação (TMCV), que foram comuns às três voçorocas, além de um fragmento com vegetação nativa (VN) localizado mais próximo às voçorocas e adotado como referência. Na voçoroca LVA2, realizou-se amostragem de solo em locais em que foram implantados vegetação com eucalipto e candeia, com o intuito de minimizar o processo erosivo desta voçoroca, sendo esses ambientes denominados terço médio com eucalipto (TMEucalipto) e terço médio com candeia (*Eremanthus incanus*) (TMCandeia). A descrição e a caracterização dos ambientes de coleta nas três voçorocas são apresentadas no quadro 1.

Foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas, na profundidade de 0–20 cm, distanciadas 10 m uma da outra, de modo a representar todo o ambiente de voçoroca. Em cada ponto, foram retiradas seis amostras simples, para formar uma amostra composta. A coleta foi realizada em 14 ambientes das três voçorocas, sendo quatro na voçoroca sob Cambissolo, quatro na de LVA1 e seis ambientes na voçoroca sob LVA2, com cinco repetições, totalizando 70 amostras.

As amostras deformadas foram coletadas com trado, e aquelas com estrutura indeformada, com o uso do amostrador de Uhland. Parte das amostras

**Quadro 1. Descrição e caracterização dos ambientes de estudo localizados nas voçorocas, no município de Lavras, MG**

Ambiente <sup>(1)</sup>	Descrição dos ambientes
VN	<b>Cambissolo Háptico:</b> A vegetação nativa (VNC) é classificada como Cerrado ( <i>sensu lato</i> ), com predomínio de vegetação típica gramíneo-arbustiva e ocorrência de sinais de queimada com porções de solo exposto. (21°23'18" S e 45°4'36" W). <b>LVA1:</b> A vegetação nativa (VN1) é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (fitofisionomia do Domínio de Mata Atlântica), com alguns elementos de Cerrado, com ocorrência de apenas dois estratos florestais: estrato arbustivo (predominante) e estrato arbóreo superior, com poucas espécies emergentes, denotando perturbação de origem antrópica recente (21°23'20" S e 45°6'54" W). <b>LVA2:</b> A vegetação nativa (VN2) é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (fitofisionomia do Domínio de Mata Atlântica), com alguns elementos de Cerrado, como <i>Zeyheria tuberculosa</i> e <i>Caryocar brasiliense</i> , em estágio inicial de sucessão. A borda da cota superior da voçoroca possui estrato herbáceo e arbustivo incipiente, com indivíduos arbóreos exóticos, como <i>Eucalyptus</i> sp. Na borda da cota inferior da voçoroca predomina a formação de Floresta Estacional Semidecidual em estágio mais avançado de sucessão, com predomínio de espécies arbóreas típicas desta formação (21°20'43" S e 45°12'43" W).

Continua...

Quadro 1. Continuação

Ambiente <sup>(1)</sup>	Descrição dos ambientes
TMCV	Cambissolo Háplico: Predomínio de espécies típicas dos estádios iniciais da sucessão, como <i>Gleichenia</i> sp. e <i>Melinis minutiflora</i> , dentre outras espécies da família Poaceae, recobrando aproximadamente 90 % da área total. O restante da área possui espécies típicas do Cerrado do entorno e espécies de ocupação generalista. As espécies predominantes são <i>Stryphnodendron adstringens</i> , <i>Eremanthus glomerulatus</i> , <i>Miconia</i> spp., <i>Tibouchina</i> sp., ocorrendo também, em menor proporção, as espécies <i>Vochysia thyrsoidea</i> , <i>Cecropia pachystachya</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Lychnophora ericoides</i> , <i>Baccharis trimera</i> , <i>Myrsine umbellata</i> , <i>Rudgea viburnoides</i> , <i>Palicourea rigida</i> , <i>Schefflera macrocarpa</i> , <i>Acosmium dasycarpum</i> , <i>Machaerium</i> sp., <i>Erythroxylum</i> sp. e <i>Zeyheria montana</i> . Região úmida (21°23'55" S e 45°4'18" W). LVA1: Predomínio de vegetação herbáceo-arbustivo, com ocorrência de espécies de Floresta Estacional Semidecidual, com alguns elementos de Cerrado. Ocorrência predominante das espécies da família Melastomataceae (gêneros <i>Miconia</i> e <i>Tibouchina</i> ), <i>Tapirira guianensis</i> , <i>Protium spruceanum</i> , <i>Cecropia pachystachya</i> , <i>Rudgea viburnoides</i> , <i>Ocotea pulchella</i> , <i>Piper</i> sp., <i>Lamanonia ternata</i> , <i>Lithraea molleoides</i> e <i>Stryphnodendron adstringens</i> . Ocorrência da espécie <i>Gleichenia</i> sp. em alguns trechos. Região úmida (21°23'48" S e 45°6'28" W). LVA2: Predomínio da espécie <i>Brachiaria decumbens</i> e espécies representativas da Floresta Estacional Semidecidual (fitofisionomia do Domínio de Mata Atlântica), com alguns elementos de Cerrado. As espécies predominantes são <i>Anadenanthera colubrina</i> , <i>Dipteryx alata</i> , <i>Bambusa</i> sp., <i>Eucalyptus</i> sp., <i>Casuarina</i> sp., <i>Miconia albicans</i> , <i>Tibouchina</i> sp., <i>Gleichenia</i> sp., <i>Cecropia pachystachya</i> , <i>Lithraea molleoides</i> , <i>Stryphnodendron adstringens</i> , <i>Rudgea viburnoides</i> , <i>Myrcia splendens</i> e <i>Myrciaria</i> sp. Nitidamente pode ser observado um gradiente sucessional ao longo desta porção da vocoroca, com porções de solo exposto, porção com ocupação por espécies arbóreas exóticas ( <i>Eucalyptus</i> sp. e <i>Casuarina</i> sp.) e herbácea exótica ( <i>Brachiaria decumbens</i> ) (21°31'9" S e 45°2'41" W).
TMSV	Cambissolo Háplico: Sem vegetação no talude, muito seco, bastante siltoso (21°24'6" S e 45°4'22" W). LVA1: Presença de poucos arbustos, distribuídos aleatoriamente na área, com pouca vegetação herbácea. Solo com baixa umidade (21°24'4" S e 45°6'26" W). LVA2: Solo praticamente desnudo, bastante erodido, vegetação muito esparsa (21°24'00" S e 45°12'37" W).
Leito	Cambissolo Háplico: Ambiente pedregoso e seco. Predomínio de vegetação herbácea com espécies da família Poaceae, como <i>Melinis minutiflora</i> (aproximadamente 90 % da área), sendo o restante da área ocupado, principalmente, pelas espécies de Cerrado e outras de ocupação generalista. As espécies dominantes são <i>Gleichenia</i> sp., <i>Stryphnodendron adstringens</i> , <i>Myrsine umbellata</i> , <i>Vochysia thyrsoidea</i> , <i>Cecropia pachystachya</i> , <i>Tibouchina</i> sp., <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Lithraea molleoides</i> , <i>Roupala montana</i> , <i>Tapirira guianensis</i> , <i>Miconia albicans</i> , <i>Acosmium dasycarpum</i> , <i>Dalbergia miscolobium</i> , <i>Annona coriácea</i> e <i>Eremanthus glomerulatus</i> (21°24'9"S e 45°4'48" W). LVA1: Predomínio de vegetação herbácea, representada, em sua maior parte (aproximadamente 95 % da área), pela espécie <i>Andropogon</i> sp. A área está representada por espécies representativas de Floresta Estacional Semidecidual, com elementos de Cerrado, como é notado pela presença da espécie <i>Stryphnodendron adstringens</i> . O estrato inferior é constituído por espécies em regeneração e de arbustos (restante da área), representado, principalmente, pelas espécies <i>Tibouchina</i> sp., <i>Gleichenia</i> sp., espécies da família Bromeliaceae e Asteraceae, <i>Baccharis trimera</i> e <i>Lithraea molleoides</i> . Neste local existem pequenas áreas com solo exposto e área com afloramento de lençol freático (brejo) com predomínio das espécies <i>Andropogon</i> , <i>Tibouchina</i> sp. (em regeneração) e espécies da família Araceae. (21°23'59" S e 45°6'53" W). LVA2: Predomínio de vegetação herbácea com ocorrência de <i>Gleichenia</i> sp. em sua maior parte (aproximadamente 95 % da área) e ocorrência de <i>Eucalyptus</i> sp., <i>Casearia arborea</i> , <i>Eremanthus incanus</i> , <i>Miconia albicans</i> e <i>Bambusa</i> sp. Ocorrência de vestígios de gado e fogo, porém, com poucas áreas de solo exposto. Área com elevada umidade (21°22'19" S e 45°12'58" W).
TMEucalipto	LVA2: Presença predominante de <i>Eucalyptus</i> sp., <i>Gleichenia</i> sp. e <i>Miconia</i> sp., com alguns indivíduos de <i>Eremanthus incanus</i> e <i>Lithraea molleoides</i> com vegetação herbácea incipiente. Área muito declivosa (21°21'31" S e 45°12'34" W).
TMCandeia	LVA2: Presença dominante da espécie <i>Eremanthus incanus</i> (Candeia), com vegetação herbácea incipiente. Área declivosa (21°21'28" S e 45°13'5" W).

<sup>(1)</sup> VNC: vegetação nativa no Cambissolo Háplico; VN1: vegetação nativa no LVA1; VN2: vegetação nativa no LVA2; TMCV: terço médio com vegetação; TMSV: terço médio sem vegetação; TMEucalipto: terço médio com vegetação de eucalipto; TMCandeia: terço médio com vegetação de candeia e leito da vocoroca.

deformadas foi seca ao ar, até massa constante, e passada em peneira de 2 mm de abertura, para determinação dos atributos químicos. Para as análises biológicas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração (4 °C), até a realização das análises. Os métodos utilizados na avaliação dos atributos físicos, químicos e biológicos são apresentados no quadro 2.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de média (Scott-Knott, 5 %), pelo programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2003). Posteriormente, os atributos analisados foram submetidos à análise de componentes principais (ACP), com o auxílio do programa CANOCO versão 4.5 (Ter Braak & Smilauer, 1998). As variáveis V, MOS e m foram transformadas pela expressão arco-seno (raiz

**Quadro 2. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo e métodos utilizados para sua determinação**

Atributo	Método	Referência
<b>Físico</b>		
Granulometria do Solo	Pipeta	Embrapa (1997)
Densidade do Solo	Anel volumétrico	Blake & Hartage (1986)
Volume total de poros, macro e microporosidade	Mesa de Tensão	Embrapa (1997)
Diâmetro médio geométrico	Peneiramento em água após pré-umedecimento	Kemper & Rosenau (1986)
<b>Químico</b>		
Acidez do Solo	Determinação por meio do peagâmetro	Embrapa (1997)
Al <sup>3+</sup> , Ca <sup>2+</sup> e Mg <sup>2+</sup>	Cloreto de potássio	Embrapa (1997)
H + Al	Acetato de cálcio	Embrapa (1997)
K e P	Uso de extrator Mehlich-1	Embrapa (1997)
MOS	Oxidação por dicromato de potássio	Embrapa (1997)
<b>Biológico</b>		
Carbono da biomassa microbiana	Fumigação e extração	Vance et al. (1987)
Respiração microbiana do solo	CO <sub>2</sub> evoluído com extração pelo NaOH	Alef & Nannipieri (1995)
Quociente metabólico ( <i>q</i> CO <sub>2</sub> )	Relação entre respiração e o carbono da biomassa microbiana	Anderson & Domsch (1993)
Quociente microbiano	Relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total	Anderson & Domsch (1993)
Fosfatase ácida	Leitura em espectrofotômetro do <i>p</i> -nitrofenol	Dick et al. (1996)
Densidade de fungos micorrízicos arbusculares	Extração úmida de esporos de FMA do solo	Gerdemann & Nicolson (1963)

(x)), já que se trata de dados proporcionais (McCune & Mefford, 1999). Para diminuir a discrepância entre os dados, os valores quantitativos foram logaritmizados (log (x+1)).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na voçoroca sob Cambissolo, em razão da remoção da camada superficial do solo, horizonte A e B incipiente, pelo processo erosivo, materiais de granulometria menores que a fração areia foram removidos, predominando a fração arenosa na maioria dos ambientes, exceto na área de VNC, onde foi encontrada a fração textural média (Quadro 3). Nas voçorocas sob Latossolo Vermelho-Amarelo a fração textural predominante na maioria dos ambientes foi argilosa, exceto no ambiente leito e na área de referência (VN2) da voçoroca sob LVA2, que apresentaram fração textural arenosa e muito argilosa, respectivamente. A diferença na composição textural do solo é um dos fatores determinantes do teor de umidade; solos de textura argilosa tendem a reter mais umidade do que os arenosos. O teor médio de argila nos ambientes da voçoroca sob Cambissolo foi de 11,25 g kg<sup>-1</sup>, sendo responsável pela baixa umidade atual (UA), cujo valor médio foi de 11 %, enquanto para as duas voçorocas sob LVA1 e LVA2 os valores médios de teor de argila foram superiores a 47 g kg<sup>-1</sup> – portanto, eles retiveram maior umidade, cujo valor médio ficou acima de 26 %.

Os valores de densidade do solo (Ds) obtidos na voçoroca sob Cambissolo não diferiram significativa-

mente entre os ambientes (Quadro 3). Na voçoroca sob LVA1, o menor valor foi observado no ambiente TMSV, o qual não diferiu do VN1, enquanto na voçoroca LVA2 os maiores valores foram encontrados nos ambientes TMEucalipto e TMCandeia, não apresentando diferença significativa entre si. Segundo Bertol et al. (2000), o material orgânico adicionado ao solo pela vegetação – especialmente pelas raízes no campo natural e pelas folhas e galhos na vegetação nativa – é que contribui para menores valores de densidade do solo nesses ambientes.

O volume total de poros (VTP) e a distribuição de poros por tamanho foram significativamente alterados pelos diferentes ambientes das voçorocas (Quadro 3). Na voçoroca sob Cambissolo, TMSV e TMCV foram os ambientes que apresentaram maiores valores de VTP. Na voçoroca sob LVA1 o TMSV apresentou maior valor de VTP, sendo este superior ao dos ambientes TMCV e leito da voçoroca. Já na voçoroca sob LVA2, TMEucalipto, TMCandeia e TMCV foram os ambientes que apresentaram menores valores para esse atributo, sendo até 7,6 % menor que os apresentados nos demais ambientes. As áreas VN1 e VN2 mostraram os maiores valores para o VTP em decorrência do elevado teor de matéria orgânica nesses ambientes, contribuindo para melhor estruturação do solo. O ambiente TMSV apresentou maiores valores de VTP nas três voçorocas estudadas, favorecido por encontrar-se sob material não consolidado, bem como por apresentar ocorrência de fendilamentos devido às oscilações abruptas de umidade.

A macroporosidade (Quadro 3) apresentou-se como atributo sensível às alterações impostas ao solo, contribuindo para os baixos valores da porosidade

**Quadro 3. Atributos físicos dos diferentes ambientes de três voçorocas**

Ambiente <sup>(1)</sup>	Areia	Silte	Argila	Classe textural	Ds	VTP	Ma	Mi	DMG	UA
	g kg <sup>-1</sup>				Mg m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			mm	%
Cambissolo Háplico										
VNC	39	38	23	Média	1,48 a	0,39 b	0,02 a	0,37 b	4,89 a	11
TMCV	23	65	12	Arenosa	1,35 a	0,43 a	0,04 a	0,39 a	4,51 c	16
TMSV	60	36	4	Arenosa	1,38 a	0,47 a	0,04 a	0,43 a	2,26 d	10
Leito	35	59	6	Arenosa	1,45 a	0,39 b	0,04 a	0,35 b	4,63 b	7
Latossolo Vermelho-Amarelo 1										
VN1	27	27	46	Argilosa	1,06 b	0,55 a	0,13 b	0,42 a	4,78 a	27
TMCV	32	15	53	Argilosa	1,28 a	0,49 b	0,09 c	0,40 b	4,54 b	24
TMSV	27	13	60	Argilosa	1,09 b	0,56 a	0,17 a	0,39 b	4,03 c	20
Leito	22	23	55	Argilosa	1,27 a	0,47 b	0,06 c	0,41 a	4,52 b	52
Latossolo Vermelho-Amarelo 2										
VN2	22	17	61	Muito Argilosa	1,17 b	0,53 a	0,11	0,42 b	4,80 a	37
TMCV	30	13	57	Argilosa	1,16 b	0,49 b	0,08 a	0,41 b	3,32 c	23
TMSV	37	23	40	Argilosa	1,17 b	0,52 a	0,12 a	0,40 b	1,77 e	21
TMCandeia	32	9	59	Argilosa	1,25 a	0,49 b	0,07 a	0,42 b	3,07 d	17
TMEucalipto	31	12	57	Argilosa	1,24 a	0,49 b	0,06 a	0,43 b	4,00 b	22
Leito	20	68	12	Arenosa	1,15 b	0,53 a	0,06 a	0,47 a	3,97 b	41

<sup>(1)</sup> VNC: vegetação nativa no Cambissolo Háplico; VN1: vegetação nativa no LVA1; VN2: vegetação nativa no LVA2; TMCV: terço médio com vegetação; TMSV: terço médio sem vegetação; leito; TMCandeia: terço médio com vegetação de candeia; TMEucalipto: terço médio com vegetação de eucalipto. Atributos físicos: Ds: densidade do solo; VTP: volume total de poros; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade, DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados e UA: umidade atual. Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas (entre os ambientes de cada voçoroca), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

total. No presente trabalho, alguns ambientes apresentaram valores de macroporosidade abaixo de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. De acordo com Souza & Alves (2003), valores inferiores ao citado tornam-se críticos para o crescimento e o desenvolvimento radicular das plantas, contribuindo com o aumento da erosão hídrica, principalmente pela vulnerabilidade do solo ao impacto das gotas das chuvas.

Os maiores valores de diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) observados foram de 4,89, 4,78 e 4,80 mm, para as áreas de referência VNC, VN1 e VN2, respectivamente (Quadro 3). A elevada estabilidade dos agregados nesses ambientes é justificada pelos teores elevados de matéria orgânica e fração textural dos solos estudados. Nas três voçorocas, os ambientes sem vegetação (TMSV) foram os que apresentaram menores valores de DMG (2,26, 4,03 e 1,77 mm, para o Cambissolo, LVA1 e LVA2, respectivamente), resultante da ausência de vegetação e do baixo teor de matéria orgânica (Quadro 4). Ferreira (2005), avaliando a estabilidade de agregados em voçorocas no município de Nazareno (MG), verificou que os valores de DMG no horizonte A variaram de 2,05 a 4,15 mm e de 3,12 a 4,18 mm, nas voçorocas sob Cambissolo e Latossolo Vermelho-Amarelo, respectivamente, corroborando os valores encontrados neste estudo para os mesmos tipos de solo.

Observa-se que o processo erosivo promoveu alterações nos atributos químicos do solo nos diferentes ambientes das voçorocas na camada superficial do solo (0–20 cm) (Quadro 4).

Em função da remoção da camada superficial e subsuperficial do solo e, conseqüentemente, da vegetação, os teores de P, K, Ca, Mg e MOS e os valores de soma de bases (SB), CTC total (T) e CTC efetiva (t), nas três voçorocas, foram significativamente reduzidos pelo processo erosivo; em contrapartida, os valores de acidez potencial (H + Al), Al<sup>3+</sup> e saturação por Al<sup>3+</sup> (m) foram elevados, trazendo grandes prejuízos à reabilitação desses ambientes, o que torna o solo mais limitante ao estabelecimento da vegetação. Esses resultados podem ser atribuídos à baixa densidade da vegetação encontrada, além da baixa deposição de material orgânico proveniente dessa vegetação. O processo de decomposição e mineralização é a principal fonte de nutrientes para as plantas em ambientes não fertilizados, como no caso de voçorocas (Silva et al., 1993; Machado et al., 2010). O ambiente TMSV, nas três voçorocas, apresentou os menores valores de teores de MOS (Quadro 4), com reduções da ordem de 6,5, 3,7 e 6,7 vezes em relação às suas respectivas áreas de referência (VNC, VN1 e VN2) – efeito atribuído à remoção da cobertura vegetal e ao menor aporte de material orgânico na superfície deste solo.

A redução da fertilidade do solo nos ambientes de voçoroca deveu-se à diminuição do conteúdo de matéria orgânica, condicionada pela remoção da vegetação nesses ambientes, determinando, assim, menor ciclagem de nutrientes e aumento de perdas por lixiviação. Desse modo, o teor de matéria orgânica assume importante papel na manutenção de ambientes de baixa fertilidade natural e não

**Quadro 4. Atributos químicos dos diferentes ambientes de voçorocas**

Ambiente <sup>(1)</sup>	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	t	T	V	m	MOS	P-Rem
		— mg dm <sup>-3</sup> —			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> —						% —		g kg <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>
Cambissolo Háplico														
VNC	5,2b	0,60b	48,0a	0,10b	0,10 b	1,30 a	3,84 a	0,30 b	1,60 b	4,14 b	7,82 b	79,8 a	14,4 a	21,5 b
TMCV	5,2b	2,44a	61,2 a	0,10 b	0,14 b	2,06 a	5,04 a	0,42 b	2,48 b	5,44 a	7,28 b	83,8 a	11,2 a	19,3 b
TMSV	5,6a	0,74 b	18,2b	1,64 a	1,08 a	1,60 a	3,22 a	2,76 a	4,36 a	5,98 a	46,1 a	45,0 b	2,2 c	35,2 a
Leito	5,5a	1,20b	46,9 a	0,36 b	0,60 a	0,76 a	2,28 a	1,08 b	1,84 b	3,36 b	32,7 a	42,0 b	8,0 b	31,8 a
Latossolo Vermelho-Amarelo 1														
VN1	4,6b	0,72 a	78,4 a	0,32 a	0,20 a	1,90 a	13,9 a	0,74 a	2,64 a	14,7 a	5,0 b	72,8 a	31,8 a	8,26 a
TMCV	5,3a	0,32b	61,2 a	0,52 a	0,30 a	1,02 b	5,56 b	0,98 a	2,00 a	6,54 b	14,6 b	49,4 b	18,0 b	9,02 a
TMSV	5,4a	0,40b	58,8 a	0,20 a	0,14 a	1,42 a	5,66 b	0,48 a	1,90 a	6,14 b	8,18 b	73,0 a	8,6 c	8,66 a
Leito	5,7a	0,68 a	50,0 a	0,58 a	0,14 a	0,44 b	3,16 b	0,82 a	1,64 a	4,36 b	29,0 a	34,0 b	15,2 b	13,3 a
Latossolo Vermelho-Amarelo 2														
VN2	4,6b	1,10 a	59,6 b	0,10 b	0,18 b	1,58 a	12,9 a	0,34 b	1,92	13,2 a	2,88 b	80,2 a	36,0 a	5,66 b
TMCV	5,4a	1,28 a	71,6 a	3,76 a	0,72 a	0,88 b	9,2 b	4,82 a	4,88 a	13,2 a	33,3 a	26,8 b	37,8 a	19,6 a
TMSV	5,6a	0,28b	23,2c	0,14 b	0,10 b	0,20 c	2,50 c	0,34 b	0,54 b	2,84 b	10,9 b	33,0 b	5,4 c	3,8 b
TMEucalipto	5,3a	0,32b	32,4c	0,10 b	0,10 b	0,32 c	3,90 c	0,30 b	0,62 b	4,20 b	6,94 b	50,2 a	13,6 b	4,28 b
TMCandeia	5,2a	0,10b	34,4c	0,10 b	0,10 b	0,48 c	4,04 c	0,30 b	0,78 b	4,34 b	6,72 b	60,0 a	16,0 b	7,08 b
Leito	5,4a	0,86 a	31,2c	0,14b	0,10 b	0,86 b	2,78 c	0,34 b	1,20 b	3,12 b	10,3 b	64,8 a	6,8 c	16,6 a

<sup>(1)</sup> VNC: vegetação nativa no Cambissolo Háplico; VN1: vegetação nativa no LVA1; VN2: vegetação nativa no LVA2; TMCV: terço médio com vegetação; TMSV: terço médio sem vegetação; leito; TMCandeia: terço médio com vegetação de candeia; TMEucalipto: terço médio com vegetação de eucalipto. SB: soma de bases trocáveis; t: CTC efetiva e T: CTC potencial; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; MOS: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente. Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas (entre os ambientes de cada voçoroca), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

fertilizados. Portanto, práticas que favoreçam ou incrementem os teores de MOS nesses ambientes devem ser estimuladas.

Houve diferenças significativas para todos os atributos biológicos do solo avaliados nas três voçorocas estudadas (Quadro 5).

Na voçoroca sob Cambissolo, o C-BM no ambiente TMSV apresentou redução de 85 % em relação à área de referência (VNC), a qual não diferiu dos demais ambientes. Na voçoroca LVA1, os ambientes TMCV, leito e TMSV apresentaram reduções de 54, 75 e 79 %, respectivamente, em relação a VN1. Na voçoroca sob LVA2, os ambientes TMCandeia, TMSV, leito e TMEucalipto apresentaram reduções superiores a 75 % em relação a sua de área de referência VN2. Segundo Moreira & Siqueira (2006), geralmente, os menores valores de biomassa são encontrados em áreas degradadas, incluindo-se aquelas sob erosão hídrica, onde os valores encontrados são geralmente inferiores a 100 mg kg<sup>-1</sup> C, corroborando os resultados deste estudo.

Nas três voçorocas, o ambiente TMSV apresentou baixos valores de RB (Quadro 5), com reduções de aproximadamente 40, 73 e 28 % em relação às suas respectivas áreas de referência, consequência dos baixos teores de MOS (Quadro 4), decorrentes da ausência de vegetação. A taxa respiratória no solo do leito refletiu a condição de umidade, apresentando baixa emissão de CO<sub>2</sub> na voçoroca sob Cambissolo, cuja umidade foi de apenas 7 %, enquanto nos leitos

das voçorocas sob LVA, com umidades de 52 e 41 %, observaram-se maiores valores de liberação de CO<sub>2</sub> (Quadro 5). Segundo Islam & Weil (2000), altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio como um alto nível de produtividade do ecossistema.

Os elevados valores de qCO<sub>2</sub> (19,73, 30,60 e 53,60 µg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> Cmic<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) observados no ambiente TMSV da voçoroca sob Cambissolo e em leitos das voçorocas sob LVA1 e LVA2, respectivamente, devem-se ao fato de esses ambientes estarem sob condições estressantes para a microbiota edáfica (ausência da cobertura vegetal no ambiente TMSV e excesso de umidade nos leitos das voçorocas sob LVA), ocasionando maior gasto energético para a manutenção da sua biomassa microbiana – sobressaindo como um indicador sensível às alterações ambientais. Valores elevados de qCO<sub>2</sub> são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio, enquanto baixos valores indicam economia na utilização de energia e, supostamente, reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio (Tótolá & Chaer, 2002).

Os valores da relação entre C da biomassa microbiana e C orgânico total (C-BM/COT) variaram de 0,8 a 7,2 %, com o menor valor apresentado no ambiente TMEucalipto, o que se justifica pela composição recalcitrante de sua serrapilheira. A relação C-BM/COT reflete o quanto do C orgânico está imobilizado na biomassa microbiana e mostra o

**Quadro 5. Atributos biológicos em diferentes ambientes de três voçorocas**

Ambiente <sup>(1)</sup>	C-BM	RB	qCO <sub>2</sub>	CBM/COT	AF	FMA Esporos
	µg C - BM / g solo seco	µg C - CO <sub>2</sub> g solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	µg C - CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> Cmic <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	%	µg PNF g solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	50 cm <sup>3</sup> solo
Cambissolo Háplico						
VNC	375,20 a	1,33 a	3,73 b	4,5	12.057,0 a	191 a
TMCV	296,53 a	1,53 a	5,80 b	4,6	1969,4 c	62b
TMSV	54,53 b	0,80 b	19,73 a	4,3	910,7 c	52b
Leito	335,20 a	0,60 b	2,26 b	7,2	4877,6 b	46b
Latossolo Vermelho-Amarelo 1						
VN1	691,86 a	4,66 a	7,73 b	3,75	3136,8 b	430 a
TMCV	319,53 b	3,66 b	18,60 b	3,06	5448,1 a	541 a
TMSV	141,53 c	1,26 c	12,46 b	2,8	1781,1 b	332 a
Leito	171,26 c	3,06 b	30,60 a	1,9	2301,2 b	103 b
Latossolo Vermelho-Amarelo 2						
VN2	515,73 a	1,66 b	3,33 c	2,47	1924,0 b	82b
TMCV	446,93 b	1,00 c	2,46 c	2,04	4154,3 a	265 a
TMSV	113,73 c	1,20 c	19,86 b	3,63	1009,2 c	56b
TMEucalipto	63,26 c	0,60 c	15,66 b	0,80	1503,7 b	182 a
TMCandeia	126,40 c	1,66 b	17,93 b	1,36	2045,4 b	197 a
Leito	78,00 c	2,33 a	53,60 a	1,97	724,8 c	207 a

<sup>(1)</sup>VNC: vegetação nativa no Cambissolo Háplico; VN1: vegetação nativa no LVA1; VN2: vegetação nativa no LVA2; TMCV: terço médio com vegetação; TMSV: terço médio sem vegetação; leito; TMCandeia: terço médio com vegetação de candeia; (TMEucalipto): terço médio com vegetação de eucalipto. Atributos biológicos: C-BM: carbono da biomassa microbiana; RB: respiração basal; qCO<sub>2</sub>: quociente metabólico; C-BM/COT: relação carbono biomassa microbiana e carbono orgânico total; AF: atividade da fosfatase e FMA: fungos micorrízicos arbusculares. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna (entre os ambientes de cada voçoroca), não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

potencial de reserva desse elemento no solo (Anderson & Domsch, 1989, 1993). Os resultados encontrados neste estudo sugerem que a relação C-BM/COT foi influenciada pelas características e propriedades do solo em cada ambiente, como textura, teor de nutrientes e MOS, umidade, além da condição de cobertura, corroborando Anderson & Domsch (1989), Sparling (1992) e Weigand et al. (1995).

O teor médio de P variou de 0,10 a 2,44 mg dm<sup>-3</sup>; essa baixa disponibilidade explica os elevados valores para a atividade da enzima fosfatase ácida, os quais apresentaram-se superiores a 700 µg PNF g solo<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. De acordo com Moreira & Siqueira (2006), fosfatases são sintetizadas por microrganismos do solo, raízes das plantas e induzidas pela baixa disponibilidade de P no solo.

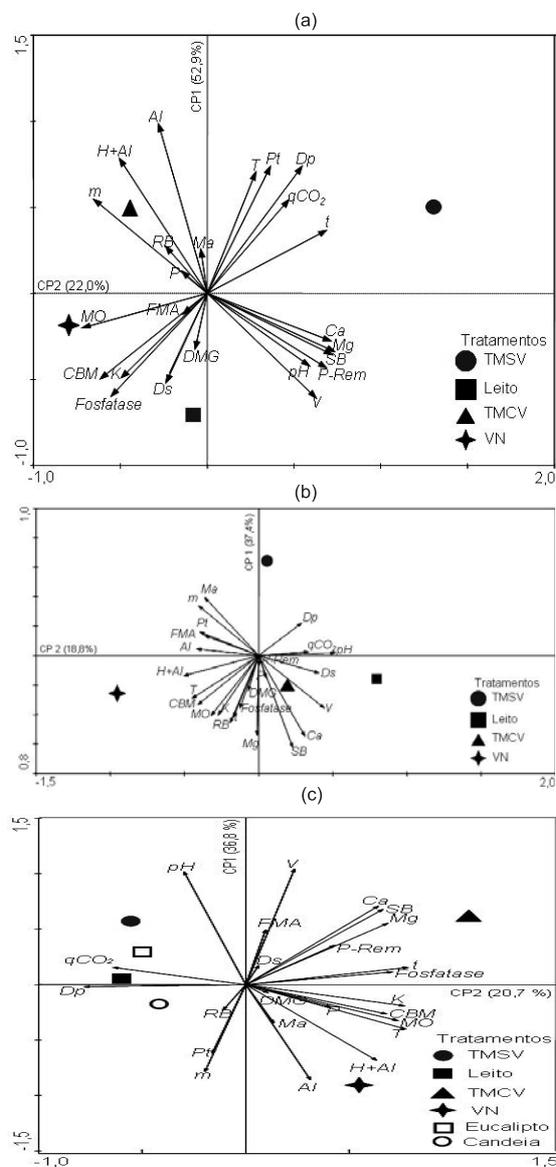
O número de esporos de FMAs mostrou variação entre 46 e 541 esporos por 50 cm<sup>3</sup> de solo nas três voçorocas, apresentando valores inferiores, iguais e até mesmo superiores aos das suas respectivas áreas de referência. Esse resultado demonstra que, mesmo em ambientes degradados, a presença desses micossimbiontes é de ocorrência generalizada (Siqueira et al., 2007). Como os FMAs são influenciados por diversos fatores edáficos, entre os quais: disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente o P, pH, diversidade vegetal, característica, uso e manejo do solo (Moreira & Siqueira, 2006), qualquer inter-

ferência em um desses fatores ou conjunto deles pode alterar sua densidade e, ou, diversidade.

Verificou-se ocorrência das seguintes espécies de FMAs: *Acaulospora spinosa*, *Glomus* sp., *G. etunicatum*, *G. diaphanum* e *Paraglomus occultum* na voçoroca sob Cambissolo; *Acaulospora morrowiae*, *A. scrobiculata*, *A. spinosa*, *Glomus* sp., *Gomus diaphanum*, *Paraglomus occultum*, *Scutellospora heterogama* e *S. pellucida* na voçoroca sob LVA1; e *Acaulospora colombiana*, *A. longula*, *A. mellea*, *Acaulospora morrowiae*, *A. scrobiculata*, *A. spinosa*, *Gigaspora* sp., *Glomus* sp., *G. diaphanum*, *Paraglomus occultum*, *Scutellospora* sp. e *Scutellospora heterogama* na voçoroca sob LVA2. Esse é o primeiro relato da ocorrência desse grupo de microrganismos em ambiente de voçoroca no Sul de Minas Gerais. Esses resultados demonstram que, mesmo em áreas degradadas pela erosão hídrica, como no presente estudo, a ocorrência de FMAs pode exercer papel de fundamental importância para o estabelecimento da vegetação em processos de recuperação em ambientes de voçorocas. Por mostrarem-se sensíveis às alterações nas diferentes voçorocas, os atributos biológicos do solo podem servir como indicadores para o monitoramento e a recuperação desses ambientes.

A análise de componentes principais (ACP) demonstrou, por meio da relação entre a componente

principal 1 (CP 1) e a componente principal 2 (CP 2), que houve separação entre os ambientes das voçorocas estudados (Figura 1a,b,c).



**Figura 1.** Relação entre o componente principal 1 (CP 1) e o componente principal 2 (CP 2), discriminando os ambientes das voçorocas sob (a) Cambissolo Háplico, (b) Latossolo Vermelho-Amarelo1 e (c) Latossolo Vermelho-Amarelo2, respectivamente. Variáveis químicas, físicas e microbiológicas explicativas (—>). pH; P; K; Ca; Mg; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases trocáveis; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio;  $Al^{3+}$ ; t: CTC efetiva e T: CTC potencial; P-Rem: fósforo remanescente; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; Pt: porosidade total; Ma: macroporosidade; DMG: diâmetro médio geométrico; CBM: carbono da biomassa microbiana; RB: respiração basal;  $qCO_2$ : quociente metabólico; FMA: fungos micorrízicos arbusculares e fosfatase.

Na voçoroca sob Cambissolo, os resultados da ACP demonstram claramente que os ambientes VNC, TMCV e leito diferiram do TMSV, separados pela CP 1, sendo este auxiliado pelo atributo biológico  $qCO_2$  (Figura 1a). Os atributos MO, CBM e fosfatase foram os que mais influenciaram na separação da VNC dos demais ambientes.

Na voçoroca sob LVA1, resultado semelhante ao da voçoroca sob Cambissolo foi observado, tendo o ambiente TMSV ficado separado dos demais pela CP2; os atributos físicos (Ds e Ma), químicos (MO, V, SB, Ca, K, T, H + Al, m) e biológicos (CBM e RB) foram os que mais contribuíram para essa separação (Figura 1b).

Na voçoroca sob LVA2, VN e TMCV agruparam-se com atributos químicos (Ca, Mg, SB, V, Al, H + Al, T, K e MO) e biológicos (CBM e fosfatase), ficando separados dos demais ambientes (leito, TMSV, TMEucalipto e TMCandeia), os quais agruparam-se com o  $qCO_2$  (Figura 1c).

A análise de componentes principais mostrou, além da separação espacial das áreas estudadas, que houve diferenças na distribuição dos atributos analisados, de modo que alguns destes foram mais sensíveis aos danos causados pela erosão hídrica, distinguindo os ambientes mais degradados, como o TMSV e leito, daqueles que se apresentaram mais estabilizados, como o TMCV e áreas de referência. Dessa forma, a identificação de atributos físicos, químicos e biológicos apresenta potencial para a utilização como indicadores de distúrbios, o que possibilita seu uso para o monitoramento da qualidade do solo (Melloni et al., 2003). Sabe-se que a maior ou menor sensibilidade de cada atributo aos ambientes das voçorocas estudadas se deve, entre outros fatores, às condições climáticas, ao tipo de manejo do solo, ao histórico da área, às condições químicas e biológicas do solo, bem como à quantidade e qualidade dos resíduos vegetais. Assim, a erosão hídrica na forma mais avançada, o voçorocamento, atua negativamente sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

### CONCLUSÕES

1. Ambientes de voçoroca localizados no Sul de Minas Gerais apresentam-se em estágio avançado de degradação, conforme demonstrado por vários atributos físicos, destacando-se volume total de poros, macro e microporosidade e densidade do solo.
2. O voçorocamento ocasionou decréscimo acentuado na fertilidade do solo, expresso, principalmente, por redução nos teores de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , K e valores de SB, CTC potencial e CTC efetiva, além de promover perdas no estoque de matéria orgânica do solo.
3. Os atributos biológicos analisados foram sensíveis ao refletirem o estágio de degradação dos

ambientes de voçoroca, destacando-se o  $qCO_2$ , o qual apresentou maiores valores no leito e no ambiente terço médio sem vegetação.

4. Embora tenham sido encontradas espécies de fungos micorrízicos arbusculares em ambientes de voçoroca, o número de esporos foi bastante reduzido nos ambientes mais degradados. Entretanto, a presença de vegetação favoreceu a ocorrência desses micossimbiontes.

## AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa e financiamento deste estudo. Projeto financiado pela FAPEMIG processo CAG APQ 3776.3.08/07.

## LITERATURA CITADA

- ALEF, K. & NANNIPIERI, P., eds. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London, Academic Press, 1995. 576p.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 25:393-395, 1993.
- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon arable soils. *Soil Biol. Biochem.*, 21:471-479, 1989.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, E.X. & KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão CV. *Mott. Pesq. Agropec. Bras.*, 35:1047-1054, 2000.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.363-375.
- BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biol. Fert. Soils*, 19:269-279, 1995.
- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S. & AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:147-157, 2009.
- CHAVES, H.M.L. Métodos estocástico para a estimativa da erosão em sulcos e voçorocas. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:459-464, 1994.
- DICK, R.P.; BREAKWELL, D.P. & TURCO, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.247-272.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; CELEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Centro Nacional de Pesquisa em Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de análises de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FERREIRA, D.F. Sistema para análise de variância para dados balanceados (SISVAR). Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2003. Versão 4.3.
- FERREIRA, V.M. Voçorocas no município de Nazareno, MG: Origem, uso da terra e atributos do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2005. 84p. (Tese de Mestrado)
- GERDEMANN, J.W. & NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. British Mycol. Soc.*, 46:235-244, 1963.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. *J. Soil Water Conser.*, 55:69-78, 2000.
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Soil Science Society America, 1986. Part 1. p.425-441.
- MACHADO, R.L.; RESENDE, A.S.; CAMPELLO, E.F.C.; OLIVEIRA, J.A. & FRANCO, A.A. Soil and nutrient losses in erosion gullies at different degrees of restoration. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:945-954, 2010.
- MCCUNE, B. & MEFFORD, M.J. *Multivariate analysis of ecological data*. Glenden Beach, MjM Software, 1999. CD ROM.
- MELLONI, R.; SIQUEIRA, J.O. & MOREIRA, F.M.S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:267-276, 2003.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 626p.
- SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S.; SANTOS, J.G.D.; SCHNEIDER, J. & CARNEIRO, M.A.C. Micorrizas e a degradação do solo: Caracterização, efeitos e ação recuperadora. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S. & REIHCERT, J.M., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5. p.219-306.
- SILVA, A.C.; LIMA, J.M. & CURI, N. Relação entre voçorocas, usos da terra, solos e materiais de origem na região de Lavras (MG). *R. Bras. Ci. Solo*, 17:459-464, 1993.

- SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 7:18-23, 2003.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Austr. J. Soil Res.*, 30:195-207, 1992.
- TER BRAAK, C.J.F. & SMILAUER, P. CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: Software for canonical community ordination. New York, 1998. 352p. (version 4.5)
- TÓTOLA, M.R. & CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.195-276.
- VALENTIN, C.; POESEM, J. & LI, Y. Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63:132-153, 2005.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 19:703-707, 1987.
- WEIGAND, S.; AUERSWALD, K. & BECK, T. Microbial biomass in agricultural topsoils after 6 years of bare fallow. *Biol. Fert. Soils*, 19:129-134, 1995.

