

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO  
JEQUITINHONHA E MUCURI - UFVJM**

**DANIELLE CRISTINA FONSECA SANTOS**

**QUALIDADE DO SOLO EM FAIXAS DE RESERVAS COM  
RESTAURAÇÃO ESPONTÂNEA DA COBERTURA VEGETAL EM  
ÁREAS ANTERIORMENTE CULTIVADAS COM EUCALIPTO**

**DIAMANTINA - MG**

**2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**DANIELLE CRISTINA FONSECA SANTOS**

**QUALIDADE DO SOLO EM FAIXAS DE RESERVAS COM  
RESTAURAÇÃO ESPONTÂNEA DA COBERTURA VEGETAL EM  
ÁREAS ANTERIORMENTE CULTIVADAS COM EUCALIPTO**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de “Mestre”.**

**Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Graziotti**

**DIAMANTINA-MG  
2009**

**QUALIDADE DO SOLO EM FAIXAS DE RESERVAS COM  
RESTAURAÇÃO ESPONTÂNEA DA COBERTURA VEGETAL EM  
ÁREAS ANTERIORMENTE CULTIVADAS COM EUCALIPTO**

**DANIELLE CRISTINA FONSECA SANTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal, da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

---

Prof. Dr. Paulo Henrique Graziotti- Orientador - UFVJM

---

Prof. Dr. Alexandre Christófaros Silva - UFVJM

---

Prof. Dr. Reynaldo Campos Santana - UFVJM

---

Dr. Aldo Vilar Trindade - EMBRAPA (Mandioca e Fruticultura Tropical)

DIAMANTINA- MG  
2009

*A Deus, por ter me concedido o dom da vida, pela certeza de que o Senhor está sempre comigo. Aquilo que determinei, Ele me ajudou a concretizar.*

*Ao querido Paulo Henrique, pela paciência e pelo grande apoio. À minha filha Ana Júlia, que esteve comigo nos momentos mais difíceis. Aos meus pais, Jadir e Sônia, por sempre acreditarem em mim.*

*Com amor, dedico!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, força e coragem para enfrentar tantos obstáculos e finalmente atingir este objetivo.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), pela oportunidade de me tornar um profissional qualificado.

À ArcelorMittal Energética Jequitinhonha Ltda, pelo financiamento do projeto de pesquisa, total apoio e concessão de bolsa de estudos.

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Paulo Henrique Graziotti, pela orientação e valiosos ensinamentos, confiança, pelas críticas construtivas e pela atenção.

Ao meu esposo, mais que orientador, pelo amor, carinho, paciência, incentivo e pelo companherismo.

A todos os professores da UFVJM, que, de certa forma, contribuíram para esta realização.

Aos meus pais, Jadir e Sônia, pelo amor e confiança.

Aos meus irmãos Maryana, Thiago e João Víctor, por fazerem parte da minha vida.

Aos colegas do Laboratório de Microbiologia do Solo da UFVJM: Víctor (Fuxo), Alisson (Maionese), Pablo, Marcus, Amanda, Samuel, Lidiomar (Kamafeu)... pela amizade e pela grande ajuda.

À Francine, Talita, Karol, Mayara, Priscila e Paula, pela amizade e por estarem sempre presentes.

Enfim, agradeço a todos que fizeram parte dessa caminhada e torceram por minha vitória.

## RESUMO

SANTOS, D.C.F. **Qualidade do solo em faixas de reservas com restauração espontânea da cobertura vegetal em áreas anteriormente cultivadas com eucalipto**. 2009. 63p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina - MG, 2009.

As características microbiológicas e bioquímicas do solo têm sido reconhecidas como eficientes na avaliação da qualidade dos solos. No presente trabalho, essas características foram usadas no monitoramento do estágio de restauração de faixas de reserva instaladas entre plantios comerciais de eucaliptos no Alto do Vale Jequitinhonha, em Minas Gerais. Nessas faixas, a cobertura vegetal nativa se encontrava em processo de restauração espontânea e, geralmente, com a ocorrência de plantas de eucaliptos remanescentes do último cultivo. As áreas estudadas foram: restauração inicial com e sem remanescente de eucaliptos, restauração avançada com e sem remanescente de eucaliptos; e como referências foram avaliadas três áreas com diferentes vegetações: cerrado, mata e plantio de eucaliptos. No primeiro artigo científico, as características microbiológicas e bioquímicas do solo foram avaliadas em agosto e dezembro de 2004 nas camadas de 0-5 e 5-20 cm de profundidade, sendo a camada mais superficial mais influenciada pelo tipo de cobertura vegetal e, portanto, mais eficiente no monitoramento das áreas. Essas características indicaram um estágio intermediário de restauração, com ligeira superioridade para o estágio mais avançado com eucalipto remanescente, com maior proximidade ao cerrado e pouca influência das plantas remanescentes de eucalipto na restauração das áreas. No segundo artigo, essas características foram avaliadas de 2005 a 2008, nos períodos de estiagem e chuvoso, apenas na primeira camada de solo, de 0-5 cm, quando se confirmou a restauração das características microbiológicas e bioquímicas do solo das áreas em restauração, com maior semelhança ao cerrado. Entretanto, a restauração avançada sem eucalipto demonstrou menor evolução na revegetação. As áreas em restauração com eucaliptos remanescentes apresentaram melhor qualidade dos solos, o que pode ter sido favorecido pela maior produção de serrapilheira. O C da biomassa microbiana do solo e hidrólise do diacetato de fluoresceína se mostraram mais eficientes na distinção das áreas estudadas.

**Termos de Indexação:** restauração espontânea, biomassa microbiana, C orgânico, quociente metabólico, quociente microbiano, hidrólise do FDA, serrapilheira.

## ABSTRACT

SANTOS, D.C.F. **Soil quality on reserve ranges with spontaneous restoration of native vegetation in areas previously planted with eucalyptus. 2009.** 63p. Dissertation (Master Degree in Vegetation Production) - Federal University of the Valleys of the Jequitinhonha and Mucuri, Diamantina - MG, 2009.

Soil microbiological and biochemical characteristics have been recognized as effective in assessing soil quality. In this study, these characteristics were used to monitor the stage of recovery of the reserve ranges located between commercial planting of eucalyptus in High Jequitinhonha Valley, in Minas Gerais. In these ranges, native vegetation was in process of spontaneous regeneration, usually, with remnant eucalyptus of the last cultivation. The studied areas were: areas at initial recovery with and without remnant eucalyptus; advanced recovery with and without remnant eucalyptus; three areas with different vegetation: cerrado, forest and planting of eucalyptus. In the first paper, the soil microbiological and biochemical characteristics were accessed in August and December 2004 in 0-5 and 5-20 cm of soil depth, being the upper layer more influenced by the vegetation type and, therefore, more efficient in monitoring the areas. These characteristics indicated an intermediate stage of recovery, with slight superiority for the more advanced stage, with more proximity to the cerrado and little influence of eucalyptus plants remaining in the recovery of areas. In the second paper, these characteristics were accessed from 2005 to 2008 in dry and wet season, just in the more superficial soil layer (0-5 cm of depth), and the results confirmed the recovery of soil microbiological and biochemical characteristics in recuperation areas, with greater similarity to the cerrado. However, the advanced recovery without eucalypt showed minor changes in eucalypt regeneration. The recovery areas with remnant eucalyptus had better quality soil, which may have been favored by greater production of litter. The soil microbial biomass C and fluorescein diacetate hydrolysis were more efficient in distinguishing the studied areas.

*Index Terms: spontaneous restoration, microbial biomass, organic C, metabolic quotient, microbial quotient, FDA hydrolysis, litter.*

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	9
ARTIGO CIENTÍFICO 1: QUALIDADE DO SOLO EM FAIXAS DE RESERVAS COM REVEGETAÇÃO ESPONTÂNEA .....	11
RESUMO .....	12
ABSTRACT .....	13
INTRODUÇÃO .....	14
MATERIAL E MÉTODOS .....	15
RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	18
CONCLUSÕES .....	22
LITERATURA CITADA .....	24
ARTIGO CIENTÍFICO 2: CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DO SOLO E PRODUÇÃO DE SERRAPILHEIRA EM ÁREAS SOB REVEGETAÇÃO ESPONTÂNEA .....	27
RESUMO .....	28
ABSTRACT .....	29
INTRODUÇÃO .....	30
MATERIAL E MÉTODOS .....	32
RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	37
CONCLUSÕES .....	46
LITERATURA CITADA .....	48
CONCLUSÕES GERAIS .....	52
ANEXO A .....	53
ANEXO B .....	58

## INTRODUÇÃO GERAL

O eucalipto é a essência florestal mais plantada no Brasil, sendo que o setor responde pela segunda posição na balança comercial do agronegócio brasileiro, depois da cultura da soja (ABRAF, 2007). O Brasil é um grande exportador de produtos florestais, o que se deve à melhoria tecnológica nas diversas partes da cadeia desse agronegócio e ao aprimoramento de práticas silviculturais. Dessa forma, as projeções indicam que, para suprir a demanda interna de madeira, o país deverá ampliar a área e manter, de modo sustentável, a produtividade florestal. Contudo, a retirada da vegetação nativa para a instalação de monocultivos reduz a sustentabilidade dos ecossistemas, e isto, em parte, é devido à redução da qualidade das características físico-químicas e microbiológicas do solo. O setor florestal brasileiro tem buscado novas técnicas para alcançar a sustentabilidade, diminuindo os impactos negativos gerados pelo monocultivo e uma delas é a criação de áreas com vegetação nativa, em faixas, entre os seus plantios comerciais.

Tais áreas, em geral, foram anteriormente cultivadas com eucalipto e necessitam de uma restauração ecológica que possibilite a sustentabilidade do ecossistema. A opção mais adotada tem sido a regeneração espontânea da vegetação, que pode ser uma estratégia eficaz para restaurar a melhor sustentabilidade de áreas degradadas, com destaque às áreas sob cerrado que ocorrem no Brasil Central, pois essa vegetação possui elevada capacidade de restauração, mesmo após anos de perturbação antrópica. Entretanto, o monitoramento dessas áreas é de extrema importância, permitindo avaliar a eficiência da restauração e possibilitar alguma interferência, se necessária, capaz de facilitar ou acelerar tal processo. Nesse sentido, faz-se necessário o uso de indicadores ecológicos apropriados, que reflitam tanto as perturbações nos ecossistemas quanto o processo de restauração de áreas.

A qualidade do solo não pode ser mensurada diretamente, mas pode ser estimada a partir de indicadores de sua qualidade, que permitem caracterizar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas num dado ecossistema. Nesse contexto, indicadores bioquímicos e microbiológicos de qualidade do solo são relevantes quando se deseja obter informações sobre o desempenho de funções-chave do solo, como a capacidade de ciclar e armazenar nutrientes. A literatura científica cita que as características microbianas e bioquímicas do solo são mais eficientes na avaliação da qualidade dos solos que as físicas e químicas, como teor de carbono do solo, o qual, para sofrer alterações quantificáveis, necessitaria de um grande período de interferência.

Nas faixas de reserva que a ArcelorMittal Jequitinhonha instalou entre seus plantios comerciais, a cobertura vegetal nativa encontra-se em processo de regeneração espontânea e, geralmente, ocorre a presença de eucaliptos remanescentes do último cultivo. No entanto, não existem informações sobre o processo da revegetação na região e nem do efeito dos eucaliptos remanescentes nessas áreas. Diante do exposto, este trabalho foi executado para monitorar a restauração dessas faixas de reserva, comparando-as com áreas sob vegetação nativa da região, por meio de características químicas, físicas e microbiológicas e pela produção de serrapilheira.

No primeiro artigo, as características físico-químicas e microbiológicas do solo, como a respiração basal e C da biomassa microbiana, foram avaliadas em duas épocas: dezembro e agosto de 2004, e em duas profundidades: 0-5 e 5-20 cm. No segundo artigo, o avanço na restauração das áreas foi avaliado entre os anos de 2005 e 2008, pelas características usadas no primeiro artigo mais a atividade enzimática pela hidrólise do diacetato de fluoresceína e a produção de serrapilheira. Entretanto, as amostras de solo foram coletadas somente na camada de 0-5 cm de solo.

**ARTIGO CIENTÍFICO 1:**

**QUALIDADE DO SOLO EM FAIXAS DE RESERVAS COM RESTAURAÇÃO  
ESPONTÂNEA DA COBERTURA VEGETAL**

## RESUMO

Objetivando minimizar os impactos negativos do monocultivo, algumas empresas de bioenergia estão destinando parte de suas áreas, anteriormente plantadas com eucalipto, para formação de faixas de reserva entre plantios comerciais. Nessas áreas, a cobertura vegetal encontra-se em processo de restauração espontânea, em geral, com a ocorrência de plantas de eucaliptos remanescentes do último cultivo. Neste estudo, características microbiológicas e bioquímicas do solo foram usadas para avaliar o estágio de restauração e os efeitos dos eucaliptos remanescentes nas áreas em restauração espontânea da vegetação nativa. O experimento constou de sete tratamentos: restauração inicial (< 3 anos) com e sem remanescentes de eucalipto, restauração avançada (> 3 anos) com e sem remanescente de eucaliptos e os controles cerrado, mata e eucalipto, e duas profundidades: 0-5 e 5-20 cm, com quatro repetições. As amostras de solo foram coletadas em agosto e dezembro de 2004. Em agosto, período seco, a respiração basal ( $R_{\text{basal}}$ ), o C da biomassa microbiana ( $C_{\text{mic}}$ ) e o quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) foram sempre maiores na camada de 0-5 cm e não diferiram entre os tipos de cobertura vegetal. Em dezembro, a  $R_{\text{basal}}$ , o  $C_{\text{mic}}$  e o C orgânico ( $C_{\text{org}}$ ), em geral, também foram maiores nessa profundidade. Na camada de 5-20 cm, independente da época, não foram verificadas diferenças entre as faixas em restauração para as variáveis estudadas, exceto para  $C_{\text{org}}$ , que foi maior na mata, em agosto. As faixas em restauração diferiram entre si apenas no período úmido, quando a restauração avançada com eucalipto apresentou maior  $R_{\text{basal}}$  e  $C_{\text{mic}}$  e a restauração inicial com eucaliptos apresentou maior teor de  $C_{\text{org}}$ . O solo sob plantio de eucaliptos apresentou, em geral, maior teor de  $C_{\text{org}}$  e  $R_{\text{basal}}$  e menor  $C_{\text{mic}}$ , o que justifica seu maior  $q\text{CO}_2$  e menor quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ ), observados em dezembro. O tipo de cobertura vegetal influenciou as características microbiológicas e bioquímicas do solo mais acentuadamente na camada superficial e essas características indicaram que as faixas de reserva se encontram em estágio intermediário de restauração, com ligeira superioridade para o estágio mais avançado, com maior proximidade ao cerrado e pouca influência das plantas remanescentes de eucalipto na restauração das áreas.

Termos de indexação: respiração basal, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico, atributos microbiológicos do solo.

## SOIL QUALITY ON RESERVE RANGES WITH SPONTANEOUS REGENERATION OF VEGETATION COVERING

### ABSTRACT

Aiming to minimize the negative impacts of monoculture, some Brazilian bioenergy companies are destining part of their areas, previously planted with eucalyptus, to forming ranges with nature vegetation between commercial plantations. In these areas, the vegetation covering is in natural process of regeneration, in general, with remnant eucalyptus of the last cultivation. In this study, soil microbiological and biochemical characteristics were used to evaluate the recovery stage of native vegetation and the effect of remaining eucalyptus on the natural regeneration in reserve ranges. The experiment consisted of seven treatments: initial recovery (<3 years) with and without remnant of eucalyptus, advanced recovery (> 3 years) with and without remnant of eucalyptus and cerrado controls, forest and eucalyptus, and two depths soil layer: 0-5 and 5-20 cm, with four replications. Soil samples were collected in August and December 2004. In August, the dry season, the microbial basal respiration ( $R_{\text{basal}}$ ), the microbial biomass C ( $C_{\text{mic}}$ ) and metabolic quotient ( $q\text{CO}_2$ ) were always higher in the 0-5 cm layer and did not differ between the types of vegetation. In December, the wet season,  $R_{\text{basal}}$ , the  $C_{\text{mic}}$  and organic C ( $C_{\text{org}}$ ), in general, were also higher in this depth. In the 5-20 cm soil layer, regardless of the period, there were no differences between the recovery ranges for the variables studied, except for  $C_{\text{org}}$ , which was higher in the forest in August. The recovery ranges differed only in the wet season, when the advanced recovery with eucalyptus showed higher  $R_{\text{basal}}$  and  $C_{\text{mic}}$  and initial recovery with eucalyptus showed higher content of  $C_{\text{org}}$ . The soil under eucalyptus plantation presented, in general, higher content of  $C_{\text{org}}$  and  $R_{\text{basal}}$ , and lower  $C_{\text{mic}}$ , which justifies its higher  $q\text{CO}_2$  and lower microbial quotient, observed in December. The type of vegetation influenced the microbiological and biochemical characteristics more in the upper soil layer and these characteristics indicated that the reserve ranges are in intermediate stage of recovery, with slight superiority for the more advanced stage, with more proximity to the cerrado and little influence of remnant eucalyptus plants in the recovery of the areas.

*Index terms: basal respiration, microbial biomass carbon, microbial metabolic quotient, soil microbiological attributes.*

## INTRODUÇÃO

As empresas de bioenergia da região do Alto Vale do Jequitinhonha evoluíram nas práticas silviculturais nos últimos quarenta anos e conseguiram um aumento de produtividade de  $9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para os atuais  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Stape et al., 2001), graças a grandes investimentos em pesquisas e adoção de novas técnicas que, também, proporcionam menores impactos ambientais negativos e maior sustentabilidade ao setor. Entre essas técnicas foram adotados procedimentos ecológicos como a destinação de áreas anteriormente plantadas com eucalipto para a formação de faixas de reserva. Para a formação dessas faixas, a técnica adotada foi a restauração espontânea da vegetação nativa e, em geral, ocorrem plantas de eucalipto remanescentes do último cultivo. Behera & Sahani (2003) consideraram que a regeneração espontânea foi apropriada para restaurar a sustentabilidade de áreas anteriormente cultivadas com eucalipto. No entanto, não existem informações sobre o estágio de evolução da restauração espontânea da vegetação nativa na região, bem como sobre o efeito das plantas de eucaliptos remanescentes sobre a restauração.

Considerando o solo como um importante componente relacionado ao crescimento das plantas, por ser ele o responsável pelo suprimento de água e de nutrientes, a conservação ou a melhoria da sua qualidade é vital para sustentabilidade dos ecossistemas. Assim, a avaliação da qualidade do solo tem sido proposta como um indicador integrado à qualidade do ambiente e à sustentabilidade do ecossistema. Nesse contexto, a análise de indicadores bioquímicos e microbiológicos de qualidade do solo é relevante quando se deseja obter informações sobre o desempenho de funções-chave do solo, como a capacidade de ciclar e armazenar nutrientes.

A biomassa microbiana do solo atua na decomposição da matéria orgânica, na dinâmica dos nutrientes e regeneração da estabilidade dos agregados (Bastida et al., 2008), sendo esses processos muito sensíveis às variações sazonais de umidade e temperatura, ao manejo do solo, ao tipo de cultivo e de resíduos vegetais (Perez & Ramos, 2004). Assim, os indicadores microbiológicos têm sido frequentemente sugeridos como mais sensíveis aos impactos causados pelo manejo do solo, quando comparados àqueles de caráter físico ou químico (Knoepp et al., 2000; Bending et al., 2004; Potthoffa et al., 2006; Chaer & Tótola, 2007; Gama-Rodrigues et al., 2008; Yusuf et al., 2009).

Gama-Rodrigues et al. (2008), estudando três diferentes tipos de cobertura vegetal em área em restauração e duas coberturas de referência, observaram que o C e N microbiano foram mais discriminantes que o C orgânico do solo em aferir a dissimilaridade entre as coberturas vegetais. Resultados semelhantes também foram observados na Europa entre

plantios homogêneos de *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea*, *Norway spruce* e *Pseudotsuga menziesii* em quatro áreas e avaliadas em duas épocas diferentes (Malchair & Carnol, 2009).

Assim, essa maior sensibilidade dos indicadores microbiológicos pode ser de grande importância na avaliação precoce de eventuais efeitos do manejo adotado sobre a qualidade do solo e, conseqüentemente, da sustentabilidade do ecossistema. Dessa forma, no presente estudo, características bioquímicas e microbiológicas do solo foram usadas com o objetivo de avaliar o estágio de restauração e do efeito dos eucaliptos remanescentes sobre a restauração espontânea da cobertura vegetal em faixas de reserva.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em áreas da ArcelorMittal Energética Jequitinhonha Ltda, localizadas nos municípios de Itamarandiba, Turmalina, Capelinha e Minas Novas, em Minas Gerais, Brasil. O modelo experimental foi em delineamento inteiramente casualizado com classificação hierárquica, sendo sete tipos de cobertura vegetal e duas profundidades, 0-5 e 5-20 cm, com quatro repetições. As parcelas experimentais foram de 20 x 20 metros.

As coberturas vegetais foram: restauração inicial (< 3 anos) com remanescentes de eucalipto, restauração inicial (< 3 anos) sem remanescentes de eucalipto, restauração avançada (> 3 anos) com remanescentes de eucalipto, restauração avançada (> 3 anos) sem remanescentes de eucalipto e os controles mata, cerrado e plantio de eucalipto.

As faixas em restauração possuem 200 m de largura e estão entremeadas a áreas cultivadas com eucalipto, de 2.000 m de largura. A técnica adotada para a criação dessas faixas foi a restauração espontânea da cobertura vegetal nativa em áreas anteriormente cultivadas com eucalipto. Nas faixas que compuseram os tratamentos “restauração sem eucaliptos”, as rebrotas dos eucaliptos foram removidas manualmente da área e, nas que compuseram “restauração com eucaliptos”, deixou-se crescerem livremente.

Nas áreas em restauração predominam espécies vegetais do bioma cerrado, tais como: *Banisteriopsis sp.*, *Bowdichia virgilioides*, *Cabrlea canjerana*, *Caryocar brasiliense*, *Chamaecrista sp.*, *Dalbergia miscolobium*, *Enterolobium gummiferum*, *Eriotheca gracilipes*, *Heteropterys byrsonimifolia*, *Kielmeyera lathrophytum*, *Miconia pohliana*, *Mimosa gemullata*, *Mimosa pithecolobioides*, *Ocotea aciphylla*, *Piptocarpa sp.*, *Pouteria ramiflora* e *Stryphnodendron adstringens*.

Os solos dominantes nas faixas em restauração, de acordo com Ferreira (2008), são o Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura muito argilosa e o Latossolo Vermelho

Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, solos característicos das “Chapadas”, áreas de relevo plano a suave ondulado, onde se situam as faixas em restauração e os povoamentos florestais.

As amostras de solo foram coletadas em duas épocas: agosto de 2004, período de estiagem, e dezembro de 2004, início do período de chuvas. Em cada parcela foram coletadas 10 subamostras de solo, que foram homogeneizadas para formarem uma amostra composta de 1 dm<sup>3</sup> de solo. As amostras compostas foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas em caixas térmicas para o Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, em Diamantina, onde foram passadas em peneiras de malha de 2 mm, removendo-se os resíduos orgânicos superficiais e raízes. As amostras de solo foram mantidas sob refrigeração a 4 °C até o processamento das análises.

A umidade e capacidade máxima de retenção de água (CMRA) foram determinadas segundo a Embrapa (2000). Para as análises microbiológicas, a umidade das amostras foi ajustada para 60 % da CMRA. Analisaram-se a respiração basal do solo ( $R_{\text{basal}}$ ) segundo Alef (1995) e o carbono da biomassa microbiana ( $C_{\text{mic}}$ ), que foi determinado pela técnica de fumigação e incubação descrita por Jenkinson & Powlson (1976), utilizando-se um fator de correção ( $K_c$ ) de 0,45 (Joergensen, 1995). O quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) foi calculado pela razão entre a taxa de  $R_{\text{basal}}$  e o  $C_{\text{mic}}$  (Anderson & Domsch, 1993), sendo expresso em  $\mu\text{g CO}_2 \mu\text{g C}_{\text{mic}}^{-1} \text{dia}^{-1}$ . A quantidade de carbono orgânico do solo ( $C_{\text{org}}$ ) foi medida através do método Walkley-Black (Nelson & Sommers, 1982). Calculou-se o quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ ), que é a relação  $C_{\text{mic}}:C_{\text{org}}$ , expressa em porcentagem. Para as características químicas e físicas (Quadro 1) as amostras de solo foram enviadas ao Laboratório de Solos da UFVJM e foram feitas as seguintes determinações, conforme os métodos descritos em Embrapa (1997): pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ); P e K extraíveis, por Mehlich-1; Ca, Mg e Al trocáveis, por KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e H + Al, por acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0 e a quantidade de areia, argila e silte pelo método da pipeta. Os resultados de cada época foram avaliados separadamente pela análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5%. Para análise das correlações entre os diferentes tipos de vegetação, todas as características avaliadas na camada de solo de 0 a 5 cm foram submetidas à análise de Componentes Principais (Valentin, 2000), utilizando-se o programa PC-ORD for Windows versão 4.14 (McCune & Mefford, 1999).

Quadro 1. Médias referentes aos valores de pH, P disponível, K, Mg, Ca e Al trocáveis, H+Al, granulometria e capacidade máxima de retenção de água (CMRA) dos solos em faixas de reserva em diferentes estágios de restauração e manejo, e aos controles plantio de eucalipto, cerrado e mata, avaliadas em agosto e dezembro de 2004.

Cobertura Vegetal	Prof	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Areia	Argila	Silte	CMRA
	cm		----- mg dm <sup>-3</sup> -----		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					g kg <sup>-1</sup>		dag kg <sup>-1</sup>
Plantio de Eucalipto		4,31	4,28	49,25	0,48	0,15	2,45	20,51	104	623	273	968
Restauração inicial com eucalipto		4,50	2,71	39,13	0,46	0,14	1,75	14,30	243	510	247	1137
Restauração inicial sem eucalipto		4,46	5,15	32,88	0,40	0,14	1,83	14,55	210	523	268	1058
Restauração avançada com eucalipto	0 - 5	4,46	3,90	27,50	0,45	0,10	1,98	15,56	283	485	232	1129
Restauração avançada sem eucalipto		4,61	3,08	19,88	0,38	0,10	1,38	10,85	283	535	182	809
Cerrado		4,54	3,05	18,88	0,31	0,14	1,48	12,66	161	623	217	1177
Mata		4,51	3,26	17,50	0,46	0,13	1,53	12,19	125	635	240	1566
Plantio de Eucalipto		4,61	4,29	14,75	0,49	0,15	1,20	11,28	95	523	383	1015
Restauração inicial com eucalipto		4,64	3,14	16,50	0,48	0,13	1,43	11,45	235	385	380	1137
Restauração inicial sem eucalipto		4,49	4,73	33,63	0,39	0,11	1,64	14,23	191	460	350	1178
Restauração avançada com eucalipto	5-20	4,46	3,95	18,63	0,43	0,11	1,33	10,63	266	460	274	1102
Restauração avançada sem eucalipto		4,59	3,24	9,63	0,38	0,11	1,18	9,53	248	435	317	985
Cerrado		4,63	2,39	13,75	0,34	0,10	1,51	10,68	148	560	292	1138
Mata		4,69	3,15	14,88	0,35	0,10	1,60	11,00	93	573	335	1319

pH em água - Relação 1:2,5; P e K - Extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H + Al - Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>; Areia, Argila e Silte - método da pipeta (Embrapa, 1997); CMRA – Embrapa, 2000.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade do solo foi influenciada somente pela cobertura vegetal em cada época (Quadro 2). No entanto, entre as áreas em revegetação só foi observada diferença em dezembro, quando a umidade foi menor na restauração avançada sem eucalipto. Nas duas épocas, o controle mata apresentou maior umidade, não diferindo apenas do cerrado e do plantio de eucalipto em agosto (Quadro 2). A maior umidade do solo na área de mata pode ser devida a uma maior densidade de plantas e maior deposição de resíduos vegetais, que contribuem para uma menor incidência de luz e maior teor de matéria orgânica no solo (Quadro 3), que retém grandes quantidades de água. Esse efeito pode explicar também a maior umidade do solo observada em dezembro na restauração avançada com eucalipto em relação à restauração avançada sem eucalipto (Quadro 2), já que os eucaliptos remanescentes contribuem para a menor incidência de luz e deposição de grande quantidade de resíduos no solo.

Quadro 2. Umidade do solo avaliada em duas profundidades e duas épocas em faixas de reserva em diferentes estágios de restauração e manejo, e nos controles cultivo de eucalipto, cerrado e mata.

Cobertura Vegetal	agosto/2004			dezembro/2004		
	0 – 5	5 - 20	Médias	0 – 5	5 - 20	Médias
	----- Umidade, g kg <sup>-1</sup> -----					
Plantio de Eucalipto	252 <sup>1/</sup>	248	250 ab	247	266	257 b
Restauração inicial com eucalipto	239	216	228 bcd	262	288	275 b
Restauração inicial sem eucalipto	208	206	207 cd	261	307	284 b
Restauração avançada com eucalipto	204	200	202 d	278	294	286 b
Restauração avançada sem eucalipto	191	202	196 d	160	242	201 c
Cerrado	249	240	245 abc	266	283	275 b
Mata	300	252	276 a	362	331	346 a
Médias	235	223		262	287	

<sup>1/</sup> Para uma mesma época, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %. Letras minúsculas comparam médias na coluna.

Quadro 3. Respiração Basal, Quociente Metabólico, C da Biomassa Microbiana, Carbono orgânico e Quociente Microbiano, avaliados em duas profundidades (0-5 e 5-20 cm) e duas épocas - agosto e dezembro de 2004, em faixas de reserva em diferentes estágios de restauração e manejo, e nos controles cultivo de eucalipto, cerrado e mata.

Cobertura vegetal	agosto/2004			dezembro/2004		
	0 - 5	5 - 20	Médias	0 - 5	5 - 20	Médias
----- Respiração basal ( $R_{\text{basal}}$ ), $\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1} \text{CO}_2$ -----						
Plantio de Eucalipto	5,44	1,23	3,33	4,08 Aa	1,59 Ba	2,84
Restauração inicial com eucalipto	4,54	1,91	3,23	4,85 Aa	0,88 Ba	2,86
Restauração inicial sem eucalipto	4,78	1,24	3,01	4,29 Aa	0,69 Ba	2,49
Restauração avançada com eucalipto	3,47	1,03	2,25	2,06 Abc	0,72 Aa	1,39
Restauração avançada sem eucalipto	4,84	0,59	2,72	3,92 Aab	0,99 Ba	2,46
Cerrado	5,04	1,90	3,47	1,79 Ac	1,70 Aa	1,74
Mata	4,41	1,36	2,88	3,85 Aab	2,02 Ba	2,94
Médias	4,65 A <sup>1/</sup>	1,32 B		3,55	1,23	
----- C da biomassa microbiana ( $C_{\text{mic}}$ ), $\text{mg de C kg}^{-1}$ -----						
Plantio de Eucalipto	533 <sup>1/</sup>	521	527	280 Ad	121 Aa	220
Restauração inicial com eucalipto	778	485	631	343 Acd	210 Aa	303
Restauração inicial sem eucalipto	529	512	521	605 Abc	206 Ba	445
Restauração avançada com eucalipto	554	657	606	799 Ab	413 Ba	665
Restauração avançada sem eucalipto	573	625	599	504 Abcd	438 Aa	517
Cerrado	650	327	489	735 Ab	211 Ba	519
Mata	955	459	707	2148 Aa	382 Ba	1388
Médias	653 A	512 B		773	283	
----- Quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), $\mu\text{g CO}_2 \mu\text{g C}_{\text{mic}}^{-1} \text{dia}^{-1}$ -----						
Plantio de Eucalipto	0,27	0,06	0,16	0,56	0,30	0,43 a
Restauração inicial com eucalipto	0,18	0,10	0,14	0,37	0,09	0,23 b
Restauração inicial sem eucalipto	0,23	0,06	0,14	0,15	0,15	0,15 b
Restauração avançada com eucalipto	0,15	0,04	0,09	0,08	0,05	0,06 b
Restauração avançada sem eucalipto	0,21	0,02	0,11	0,17	0,05	0,11 b
Cerrado	0,20	0,13	0,17	0,05	0,21	0,13 b
Mata	0,13	0,07	0,10	0,04	0,12	0,08 b
Médias	0,20 A	0,07 B		0,20	0,14	
----- C orgânico ( $C_{\text{org}}$ ), $\text{g kg}^{-1}$ de solo -----						
Plantio de Eucalipto	143 Ab	64 Bab	103	121 Ab	36 Ba	79
Restauração inicial com eucalipto	51 Ad	36 Ab	43	92 Ac	29 Ba	61
Restauração inicial sem eucalipto	50 Ad	36 Ab	43	50 Ade	30 Aa	40
Restauração avançada com eucalipto	44 Ad	35 Ab	39	50 Ade	34 Aa	42
Restauração avançada sem eucalipto	47 Ad	34 Ab	40	45 Ae	29 Aa	37
Cerrado	80 Ac	44 Bb	62	73 Acd	32 Ba	53
Mata	215 Aa	88 Ba	152	156 Aa	49 Ba	103
Médias	90	48	69	84	34	59
----- Quociente Microbiano ( $q\text{MIC}$ ), % -----						
Plantio de Eucalipto	0,37	1,22	0,79 b	0,22	0,39	0,31 e
Restauração inicial com eucalipto	1,57	1,35	1,46 a	0,38	0,71	0,55 de
Restauração inicial sem eucalipto	1,08	1,54	1,31 a	1,19	0,68	0,94 bcd
Restauração avançada com eucalipto	1,31	1,89	1,60 a	1,67	1,25	1,46 a
Restauração avançada sem eucalipto	1,22	1,88	1,55 a	1,14	1,54	1,34 ab
Cerrado	0,79	0,74	0,76 b	1,02	0,62	0,82 cd
Mata	0,44	0,53	0,49 b	1,46	0,91	1,18 abc
Médias	0,97 B	1,31 A	1,14	1,01	0,87	0,94

<sup>1/</sup> Para uma mesma época, as médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%. Letras minúsculas comparam médias na coluna. Letras maiúsculas comparam médias na linha.

No geral, nas duas épocas, o  $C_{org}$  só diferiu entre as áreas em restauração na camada de 0-5 cm em dezembro, sendo maior na restauração inicial com eucalipto (Quadro 3) e, em agosto, foi maior na camada superficial no controle mata, seguido de plantio de eucalipto e cerrado. Esse resultado para os sistemas naturais se deve ao fato de que esses solos não foram cultivados e, assim, com a deposição dos resíduos vegetais ao longo dos anos, o  $C_{org}$  predomina nessa camada. No plantio de eucalipto, isso pode ser resultado da elevada densidade de plantas com crescimento rápido e consequente produção de grande biomassa que é depositada na superfície do solo com a queda das folhas e galhos e das raízes, o que pode explicar maiores teores nesse ambiente em relação ao cerrado. O maior teor de  $C_{org}$  na faixa em restauração inicial com eucalipto na camada de 0-5 cm em dezembro pode ter sido devido a uma colheita mais recente e à presença dos eucaliptos remanescentes. Os solos dessas áreas em restauração são solos que foram cultivados e que hoje não possuem grande número de plantas com o padrão de crescimento e produção de biomassa do eucalipto.

Em agosto, a  $R_{basal}$ , o  $C_{mic}$  e o  $qCO_2$  foram sempre maiores na camada mais superficial do solo (0-5 cm) do que na segunda camada (5-20 cm) e não diferiram entre os tipos de cobertura vegetal (Quadro 3). A ocorrência de maior biomassa microbiana e maior atividade na camada mais superficial é favorecida pela oxigenação do solo e maior aporte de resíduos vegetais, que são a fonte de energia e carbono para atividade heterotrófica dos microrganismos do solo. Em dezembro, a  $R_{basal}$  e o  $C_{mic}$ , em geral, também foram maiores na camada de 0-5 cm (Quadro 3). Nessa mesma época e profundidade, a  $R_{basal}$  foi menor para cerrado e faixa em restauração avançada com eucalipto, sendo que o último não diferiu da faixa em restauração avançada sem eucalipto e mata. Apesar de terem sido observados maiores valores de  $R_{basal}$  na restauração inicial com e sem eucaliptos e cultivo de eucalipto, o  $C_{mic}$  delas foi, em geral, o menor, o que justifica o maior  $qCO_2$  para o eucalipto. Maiores teores de  $C_{mic}$  na camada de 0-5 cm também foram observados por Oliveira et al. (2001) em pastagens consorciadas, comparativamente às áreas de culturas anuais. Os autores atribuíram esses resultados ao maior acúmulo de serrapilheira na camada mais superficial do solo.

Ainda em dezembro, na camada de 0-5 cm do solo, entre as áreas em revegetação, o maior  $C_{mic}$  foi observado na faixa em restauração avançada com eucalipto, porém só diferiu da restauração inicial com eucalipto (Quadro 3). Contudo,  $C_{mic}$  na restauração avançada com eucalipto foi maior que o controle eucalipto, igual ao cerrado e inferior à mata. Como se pode observar, o  $C_{mic}$  foi, em geral, maior nas vegetações nativas e menor no plantio de eucalipto, sendo variável entre os estágios de restauração com ligeira superioridade para o estágio avançado com eucalipto, indicando o início de uma restauração natural das faixas de reserva

estudadas (Quadro 3). Oliveira et al. (2001), quando compararam mata de galeria, cerradão, campo limpo, pastagens e cultura anual, também encontraram maiores teores de  $C_{mic}$  nas áreas de vegetação nativa. Segundo os autores, entre os fatores que explicam o maior  $C_{mic}$  na mata, podem estar o maior teor de matéria orgânica e de umidade do solo, a densa camada de serapilheira na sua superfície, além da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais retornados ao solo, uma vez que a composição florística dessas áreas é diferenciada e diversificada.

Em dezembro, observou-se um maior  $qCO_2$  no plantio de eucalipto, independentemente da profundidade. Maior  $qCO_2$  representa maior respiração por unidade de biomassa microbiana, indicando estresse ambiental, quando a microbiota do solo possui maior atividade metabólica para manter sua biomassa, com isso consumindo a matéria orgânica do solo. Esses resultados corroboram os observados por Behera & Sahani (2003), em que plantações de eucalipto apresentaram maior  $qCO_2$  que uma mata em restauração há 30 anos, e esta maior que uma mata não perturbada. Os autores propuseram que esse resultado se devia a uma pior qualidade dos resíduos gerados pelas plantas de eucalipto. Gama-Rodrigues et al. (2008) também observaram maior  $qCO_2$  em uma plantação de eucalipto, sendo este 2,2 vezes maior que em uma área em restauração com sabiá e 1,9 vez maior que em outra área com capoeira.

O  $qMIC$  no período de estiagem, em geral, foi maior na segunda camada de solo que na superfície, e isto foi devido à maior redução do  $C_{org}$  em profundidade, pois o  $C_{mic}$  reduziu menos (Quadro 3). Nessa época, os  $qMIC$  observados nas áreas em restauração não diferiram, independentemente da profundidade e da presença de eucaliptos remanescentes, sendo sempre inferiores aos controles. Em dezembro, em geral, a maior relação foi encontrada na restauração avançada com eucalipto, não diferindo da restauração avançada sem eucalipto, sendo essa superior à relação nos controles. O menor  $qMIC$  foi encontrado no eucalipto, seguido de restauração inicial com eucalipto. Esse índice indica a qualidade da matéria orgânica, quando os menores valores representam ambientes menos sustentáveis (Wardle, 1994), podendo ser usado para monitorar a dinâmica da matéria orgânica do solo (Sparling, 1992).

É interessante observar que, nas áreas estudadas, apesar do plantio de eucalipto apresentar relativamente uma elevada quantidade de  $C_{org}$ , também apresentou baixo  $C_{mic}$  e elevada  $R_{basal}$ , o que justifica seus elevados valores de  $qCO_2$  e menor  $qMIC$ , demonstrando que esse  $C$  orgânico não é adequado para sustentar uma maior biomassa microbiana, o que representa menor sustentabilidade do ambiente, pois a fração  $C_{mic}$  do solo, apesar de

representar uma pequena parte da fração ativa da matéria orgânica (De Luca, 1998), é a responsável pela maior parte dos nutrientes ciclados (Franzluebbbers et al., 1999). Esses resultados demonstram que os valores intermediários observados nas faixas em restauração indicam um avanço na sustentabilidade dessas áreas.

A Análise de Componentes Principais com todas as características físicas, químicas e microbiológicas do solo avaliadas neste trabalho (Figura 1) reuniu as áreas em estudos em três grupos distintos, sendo um grupo formado pela área de mata, outro pelo cerrado e as áreas em restauração avançada com ou sem eucalipto, e o último formado pelo plantio de eucalipto e pelas áreas em restauração inicial com ou sem eucalipto. Assim, essa análise confirma que está ocorrendo uma restauração espontânea das áreas destinadas às faixas ecológicas, sendo que as características microbiológicas estão mais próximas das da área de cerrado. Isso condiz com a predominância da vegetação de cerrado nessas áreas em restauração.

## CONCLUSÕES

O tipo de cobertura vegetal influenciou as características microbiológicas e bioquímicas do solo mais acentuadamente na camada mais superficial.

As características bioquímicas e microbiológicas estudadas indicaram que as faixas de reserva encontram-se em estágio intermediário de restauração, com ligeira superioridade para as faixas com mais de três anos em restauração, com maior proximidade ao cerrado e pouca influência das plantas remanescentes de eucalipto para a restauração das áreas.

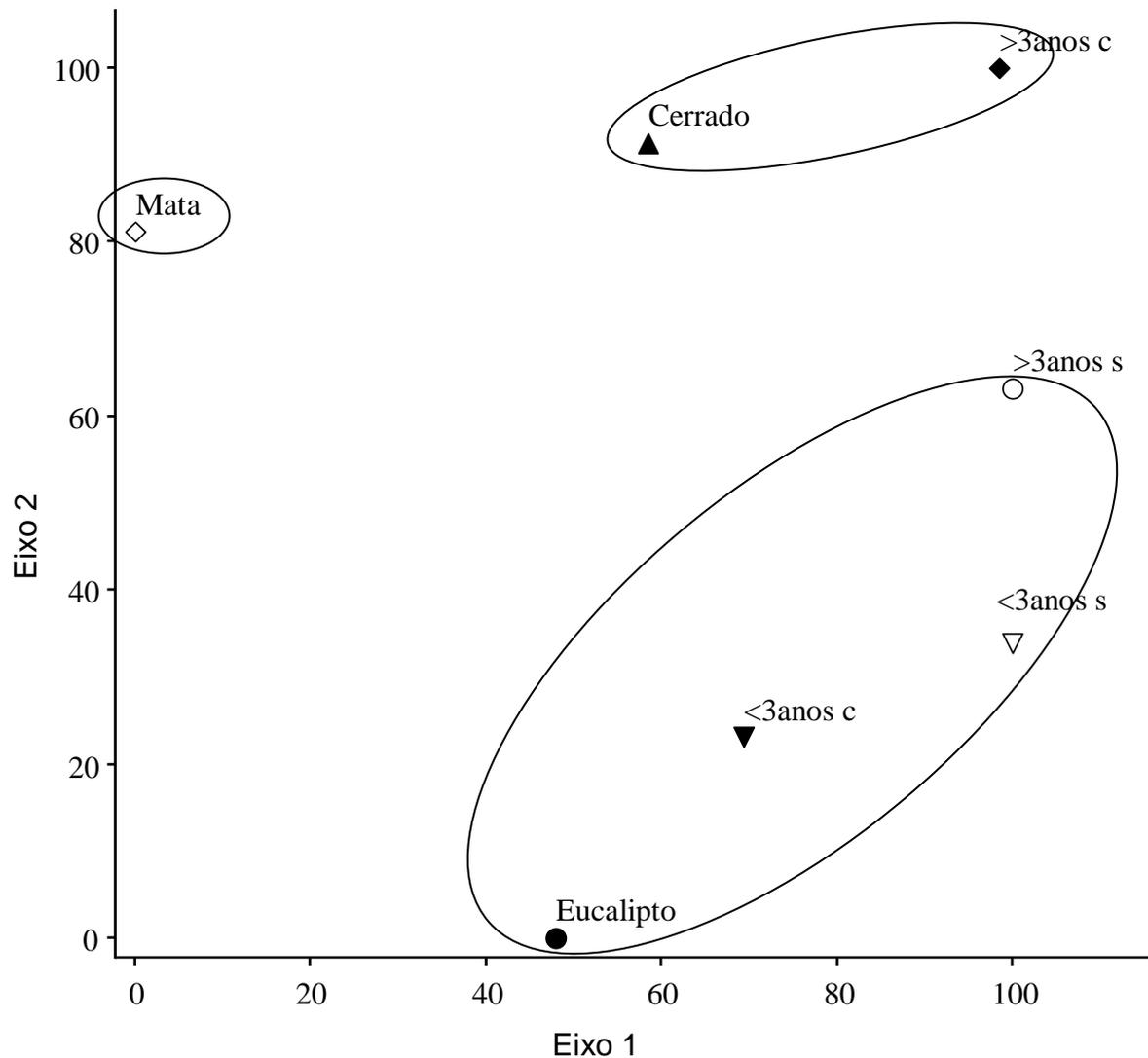


Figura 1. Diagrama de ordenação de Análise de Componentes Principais das características químicas, físicas e microbiológicas do solo avaliadas em agosto e dezembro de 2004 na camada de solo de 0-5 cm em áreas com diferentes tipos de vegetação, em que: Al - alumínio trocável, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio,  $C_{org}$  - carbono orgânico,  $C_{mic}$  - carbono da biomassa microbiana do solo,  $R_{basal}$  - respiração basal,  $qCO_2$  - quociente metabólico, CMRA - capacidade máxima de retenção de água, <3nos c - restauração inicial com remanescentes de eucalipto, <3nos s - restauração inicial sem remanescentes de eucalipto, >3nos c - restauração avançada com remanescentes de eucalipto, >3nos s - restauração avançada sem remanescentes de eucalipto.

**LITERATURA CITADA**

- ALEF, K. & NANNIPIERI, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London: Academic Press, 1995. 576p.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient ( $q\text{CO}_2$ ) 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.
- BASTIDA, F.; ZSOLNAY, A.; HERNÁNDEZ, T. & GARCÍA, C. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma* 147:159–171, 2008.
- BEHERA, N. & SAHANI, U. Soil microbial biomass and activity in response to *Eucalyptus* plantation and natural regeneration on tropical soil. *For. Ecol. Manag.*, 174:1-11, 2003.
- BENDING, G.D.; TURNER, M.K.; RAYNS, F.; MARX, M.C. & WOOD, M. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biol. Biochem.*, 36:1785-1792, 2004.
- CHAER, G.M. & TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*. Viçosa, 3:1381-1396, 2007.
- DE LUCA, T.H. Relationship of 0,5 M  $\text{K}_2\text{SO}_4$  extractable anthrone-reactive carbon to indices of microbial activity in forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 30:1293-1299, 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de pesquisa de solos. 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico. 1ª ed. Rio de Janeiro. 2000. 198 p.
- FERREIRA, C.A. Gênese de “Latosolos Acinzentados” em topossequências de Latossolos das chapadas no Alto do Vale Jequitinhonha, MG. Diamantina, MG. UFVJM. 2008. (Dissertação de Mestrado).
- FRANZLUEBBERS, A.J.; HANEY, R.L. & HONS, F.M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. *Soil Biol. Biochem.*, 31:395-405, 1999.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. E FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, 32:1521-1530, 2008.

- JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 8:209-213, 1976.
- JOERGENSEN, R.G. The fumigation incubation method. In: ALEF, K. & NANNIPIERI, P. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, 1995. p.376-381.
- KNOEPP, J.D.; COLEMAN, D.C.; CROSSLEY, D.A. & CLARK, J.S. Biological indices of soil quality: An ecosystem case study of their use. *For. Ecol. Manag.*, 138:357-368, 2000.
- Malchair, S. & Carnol, M. Microbial biomass and C and N transformations in forest floors under European beech, sessile oak, Norway spruce and Douglas-fir at four temperate forest sites, *Soil Biol. Biochem*, 41:831–839, 2009.
- McCUNE, B. & MEFFORD, M. J. *Multivariate analysis of ecological data*. Gleneden Beach, MjM Software. 1999.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. *Methods of soil analysis - chemical and microbiological properties*. Part 2, 2ed. Madison: American Society of Agronomy e Soil Science Society of America, 1982. p.539-579.
- OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C. & VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação incubação e fumigação extração. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:863-871, 2001.
- PEREZ, K.S.S. & RAMOS, M.L.G. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. *Pesq. agropec. bras.*, 39:567-573, 2004.
- POTTHOFFA, M.; STEENWERTHB, K. L.; JACKSONA, L.E.; DRENOVSKY, R.E.; SCOWA, K.M. & JOERGENSEN, R.G. Soil microbial community composition as affected by restoration practices in California grassland. *Soil Biol. Biochem.*, 38:1851–1860. 2006.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.*, 30:195-207, 1992.
- STAPE, J.L.; GONÇALVES, J.L.M. & GONÇALVES, A.N. Relationships between nursery practices and field performance for Eucalyptus plantations in Brazil: A historical overview and its increasing importance. *Kluwer Academic Publishers. New Forests* 22:19–41, 2001.
- VALENTIN, J.L. *Ecologia numérica: Uma Introdução à Análise Multivariada de Dados Ecológicos*. Rio de Janeiro, Interciência, 2000.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. eds. Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Brasília, Embrapa, 1994. p.419-436.

Yusuf, A.A.; Abaidoo, R.C.; Iwuafor, E.N.O.; Olufajo, O.O.; Sanginga, N. Rotation effects of grain legumes and fallow on maize yield, microbial biomass and chemical properties of an Alfisol in the Nigerian savanna, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 129, 325–331, 2009.

**ARTIGO CIENTÍFICO 2:**

**CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DO SOLO E PRODUÇÃO DE  
SERRAPILHEIRA EM ÁREAS SOB REVEGETAÇÃO ESPONTÂNEA**

## RESUMO

O setor florestal tem adotado novas medidas com o objetivo de reduzir os impactos negativos do monocultivo, e uma delas é a criação de faixas de vegetação nativa entre os seus plantios comerciais. O método utilizado para a criação dessas faixas no Alto Jequitinhonha (MG) tem sido a revegetação espontânea em áreas anteriormente cultivadas com eucalipto. O objetivo deste trabalho foi avaliar esse método por meio de características microbiológicas e bioquímicas do solo e avaliar o efeito dos eucaliptos remanescentes sobre a restauração espontânea da vegetação nativa. As áreas estudadas foram: restauração inicial (< 4 anos) com e sem remanescentes de eucalipto, restauração avançada (> 4 anos) com e sem remanescentes de eucalipto, e como referências foram avaliadas também áreas de plantio de eucalipto, de cerrado e de mata. As amostras de solo foram coletadas por três anos consecutivos nos meses de agosto e fevereiro, representando, respectivamente, o período de estiagem e de chuvas. As áreas em restauração, independente da presença de eucaliptos remanescentes, não diferiram quanto às características microbiológicas e bioquímicas avaliadas, exceto para quociente metabólico ( $qCO_2$ ) em fevereiro de 2007, período chuvoso. Nessa época, esse índice microbiano foi maior na restauração avançada sem eucalipto que na restauração inicial sem eucalipto e restauração avançada com eucalipto. As áreas em restauração, em geral, também não diferiram daquelas de referência - plantio de eucalipto e cerrado. Com relação ao controle mata, as áreas em restauração apresentaram, em geral, menores C orgânico, C microbiano, respiração basal e hidrólise do diacetato de fluoresceína, não diferindo quanto ao  $qCO_2$  e quociente microbiano. A maior quantidade de serrapilheira depositada no solo foi no plantio de eucalipto, sendo  $2,5 t ha^{-1} ano^{-1}$  a mais que na área de mata e  $6,3 t ha^{-1} ano^{-1}$  a mais que na de cerrado. Em média, a produção de serrapilheira nas áreas em restauração com eucalipto foi 2,2 vezes maior que nas áreas em restauração sem eucalipto. Esses resultados e a análise de componentes principais indicam um avançado estágio de restauração para as áreas estudadas, com maior semelhança ao cerrado. As áreas em restauração avançada sem eucaliptos apresentaram um estágio menos avançado de restauração em relação às áreas em restauração avançada com remanescentes de eucalipto.

Termos de indexação: Restauração espontânea; biomassa microbiana; quociente metabólico ( $qCO_2$ ); diacetato de fluoresceína (FDA).

## SOIL MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND LITTER PRODUCTION IN AREAS UNDER SPONTANEOUS REVEGETATION

### ABSTRACT

The forest business has adopted new proceedings to reduce the monoculture negative impacts, and one of them is the creation of areas with native vegetation between their commercial plantations. In the High Jequitinhonha Valley (MG), the most used method for recolonization of those areas, previously planted with eucalyptus, has been the spontaneous revegetation. The objective of this study was to evaluate this method by soil microbiological and biochemical characteristics, and to evaluate the effect of remnant eucalyptus on the regeneration on native vegetation. The studied areas were: initial recovery (< 4 years) with and without remnants eucalyptus, advanced recovery (> 4 years) with and without remnants eucalyptus, and as reference were evaluated areas with cerrado, forest and planted with eucalyptus. Soil samples were collected in August and February for three consecutive years, representing, respectively, the drought and rainy season. The soil microbiological and biochemical characteristics evaluated did not detect differences between the areas in recovery, regardless of the presence of eucalyptus remaining, except for microbial metabolic quotient ( $qCO_2$ ) in February 2007, the rainy season. In this period, this microbial index was bigger in the advanced recovery without eucalyptus than initial recovery without eucalyptus and advanced recovery with eucalyptus. In general, the areas in recovery did not differ of those ones of referencing with eucalyptus and cerrado either. In comparison with forest, in general, C organic, C microbial biomass, basal respiration and fluorescein diacetate hydrolysis were lower in areas in recovery, although,  $qCO_2$  and microbial quotient did not differ between these areas. The largest amount of litter on the soil was available in planted area with eucalypts, been  $2.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  more than in the forest and  $6.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  more than in the cerrado. On average, the production of litter in areas in recovery with remnant eucalypt was 2.2 times higher than in areas without remnant eucalypts. Theses results and multivariate analyses indicated an advanced stage of recovery for the studied areas, with greater similarity to the cerrado. The area in advanced recovery without remnants eucalypts showed worst soil microbiology characteristic and so, a less recovery than those areas with remnant eucalypts.

*Index terms: spontaneous restoration, microbial biomass, microbial metabolic quotient ( $qCO_2$ ), fluorescein diacetate (FDA).*

## INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil possui 3,75 milhões de hectares plantados com eucalipto, sendo a maior área plantada com esse gênero no mundo. Em Minas Gerais, encontra-se a maior área plantada do país, com 1,1 milhão de ha (ABRAF, 2009), sendo 27% dela no Vale do Jequitinhonha. No entanto, Minas Gerais produz apenas 25 % dos 120 mil ha de florestas que consome anualmente. Dessa forma, existe uma previsão de aumento da área plantada, inclusive no Vale do Jequitinhonha.

O setor florestal tem adotado novas medidas que visam reduzir os impactos negativos do monocultivo. Entre essas medidas, destaca-se a criação de faixas de vegetação nativa entre os seus plantios comerciais. Essas faixas, além de reduzir os impactos negativos do monocultivo, como a proliferação de pragas e doenças, podem, no futuro, constituírem-se em corredores ecológicos, contribuindo para a manutenção da biodiversidade e serem utilizadas como modelos e fonte de sementes para a restauração de áreas degradadas ou cultivadas. O método mais utilizado para a criação dessas faixas no Alto Jequitinhonha tem sido a restauração espontânea da vegetação nativa em áreas anteriormente cultivadas com eucalipto. Assim, é comum a presença de remanescentes dessa espécie. Alguns autores têm demonstrado que a revegetação espontânea é apropriada para restaurar a sustentabilidade de áreas anteriormente cultivadas (Souza et al., 2002; Behera & Sahani, 2003; Barbosa, 2007).

Por meio da restauração espontânea, a vegetação apresenta capacidade de se recuperar de distúrbios pela sucessão secundária, que se encarrega de promover a colonização da área aberta e conduzir a vegetação por uma série de estádios sucessionais, caracterizados por grupos de plantas que vão se substituindo ao longo do tempo, modificando as condições ecológicas locais até chegarem a uma comunidade bem estruturada e mais estável (Barbosa, 2007). Entretanto, faz-se necessário o uso de indicadores ecológicos apropriados, que reflitam tanto as perturbações nos ecossistemas quanto o processo de restauração de áreas. Nesse contexto, a análise de indicadores bioquímicos e microbiológicos de qualidade do solo é relevante quando se deseja obter informações sobre o desempenho de funções-chave do solo, como a capacidade de ciclar e armazenar nutrientes.

Pelo fato dos microrganismos atuarem direta e indiretamente na decomposição da matéria orgânica e na promoção e manutenção de diversas propriedades do solo, algumas características das comunidades microbianas do solo podem ser utilizadas como indicadores ecológicos funcionais das perturbações nos ecossistemas ou da restauração da cobertura

vegetal (Bentham et al., 1992; Gama-Rodrigues et al., 2008; Yusuf et al., 2009). Entre as características microbiológicas do solo, a biomassa microbiana tem sido considerada uma das mais sensíveis e eficientes, pois é um compartimento da matéria orgânica do solo diretamente influenciado por fatores bióticos e abióticos, sendo, portanto, sensível às mudanças ocorridas no sistema (Gama-Rodrigues et al., 2005).

Em áreas de mineração de carvão na Índia, o C e o N da biomassa microbiana foram eficientes em distinguir áreas em restauração com 20 anos em revegetação espontânea de solos sob florestas naturais (Srivastava et al., 1989), sendo que a área em restauração apresentou biomassa microbiana 50% inferior à da mata. Lifei (2008), ao avaliar as alterações do C da biomassa microbiana ao longo do processo sucessional de uma área em restauração, na China, concluiu que essa foi uma das principais características de qualidade do solo no processo de restauração espontânea da vegetação, pois foi crescendo ao longo da sucessão ecológica da seguinte forma: solo sem vegetação < vegetação herbácea < vegetação arbustiva < vegetação arbórea. O autor concluiu que a qualidade do solo está sendo restabelecida gradualmente com a proximidade do estágio climáxico da vegetação.

Outras características microbiológicas e bioquímicas do solo, como quociente microbiano (qMIC), que é a relação C microbiano:C orgânico, e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), também têm sido referidas na literatura como características eficientes na avaliação da qualidade dos solos. No Rio de Janeiro, Gama-Rodrigues et al. (2008) estudaram a influência de acácia, sabiá e eucalipto, comparadas às coberturas de capoeira e pastagem, sobre as características químicas e microbianas do solo e verificaram que os índices microbianos (qCO<sub>2</sub>, qMIC, N microbiano:N total e C:N microbiana) foram mais discriminantes que as características microbianas (C microbiano, N microbiano e respiração basal), e estas mais que as características químicas (C orgânico e N total) em aferir a dissimilaridade entre as coberturas vegetais.

Entretanto, as características microbiológicas e bioquímicas do solo devem, sempre que possível, ser avaliadas em grupo e também com outras características correlatas, como aquelas químicas e físicas do solo, e também a produção de serrapilheira, uma vez que esta interfere diretamente na microbiota do solo, pois é fonte de energia e nutrientes. Dessa forma, a serrapilheira também tem sido recomendada como indicadora de qualidade do solo (Martins, 2001; Arato et al., 2003). A serrapilheira é a principal via de transferência no fluxo de nutrientes (Sanches et al., 2009) e é fundamental para a sustentabilidade de um ecossistema, pois permite que, pelo menos em parte, ocorra o retorno ao solo dos nutrientes absorvidos pelas plantas (Ferreira et al., 2007).

Até o momento não existem informações sobre o estágio de evolução da restauração espontânea da vegetação nativa na região do Alto Jequitinhonha. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar esse processo por meio de características microbiológicas e bioquímicas do solo e produção de serrapilheira, e avaliar o efeito dos eucaliptos remanescentes sobre a restauração da vegetação nativa.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área estudada**

O trabalho foi conduzido em áreas da ArcelorMittal Energética Jequitinhonha Ltda, situada no Alto Vale do Jequitinhonha, nos municípios de Itamarandiba, Capelinha, Turmalina e Minas Novas, em Minas Gerais. As áreas estudadas representaram sete coberturas vegetais, sendo: plantio de eucalipto (Controle), restauração inicial (menor que 4 anos) com remanescentes de eucalipto, restauração inicial (menor que 4 anos) sem remanescentes de eucalipto, restauração avançada (maior que 4 anos) com remanescentes de eucalipto, restauração avançada (maior que 4 anos) sem remanescentes de eucalipto, cerrado (Controle) e mata (Controle).

As faixas em restauração possuem 200 m de largura e estão entremeadas a áreas cultivadas com eucaliptos de 2.000 m de largura. A técnica adotada para a criação dessas áreas foi a restauração espontânea da cobertura vegetal nativa em áreas anteriormente cultivadas com eucalipto. Nas faixas que compuseram os tratamentos “restauração sem eucaliptos”, as rebrotas dos eucaliptos foram removidas manualmente da área e, nas que compuseram “restauração com eucaliptos”, foram deixadas para crescerem livremente.

Para melhor caracterização do estágio de restauração espontânea da cobertura vegetal, as características microbiológicas e bioquímicas foram avaliadas em duas épocas - estiagem e chuvosa, por três anos consecutivos. Assim, as épocas que compuseram cada ano de avaliação foram: agosto/2005 e fevereiro/2006 - ano 1; agosto/2006 e fevereiro/2007 - ano 2; e agosto/2007 e fevereiro/2008 - ano 3. O mês de agosto representou o período de estiagem e fevereiro, o período chuvoso. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com classificação hierárquica, composto pelas sete coberturas vegetais com quatro repetições, sendo cada parcela experimental de 20 x 20 metros (400 m<sup>2</sup>).

Os solos dominantes das faixas em restauração, de acordo com Ferreira (2008), são o Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura muito argilosa, e o Latossolo Vermelho

Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, solos característicos das “Chapadas”, áreas de relevo plano a suave ondulado, onde se situam as faixas em regeneração natural e os povoamentos florestais.

Ambos apresentam elevada profundidade, acidez e estrutura granular. São os solos característicos das “Chapadas” áreas de relevo plano a suave ondulado, onde se situam as faixas em restauração espontânea e o povoamento florestal. A vegetação original predominante é o cerrado, mas também são encontradas áreas colonizadas por floresta estacional semidecidual, notadamente nas áreas dissecadas.

O clima da região é tropical com estação seca de inverno, Aw segundo classificação de Köopen. A precipitação média anual de 2005 a 2008 foi de 1.050 mm, com mínima de 672 mm em 2007 e máxima de 1.250 mm em 2006. As chuvas são concentradas nos meses de novembro a março e, nos meses de maio a agosto, são registradas as menores precipitações médias (Figura 1).

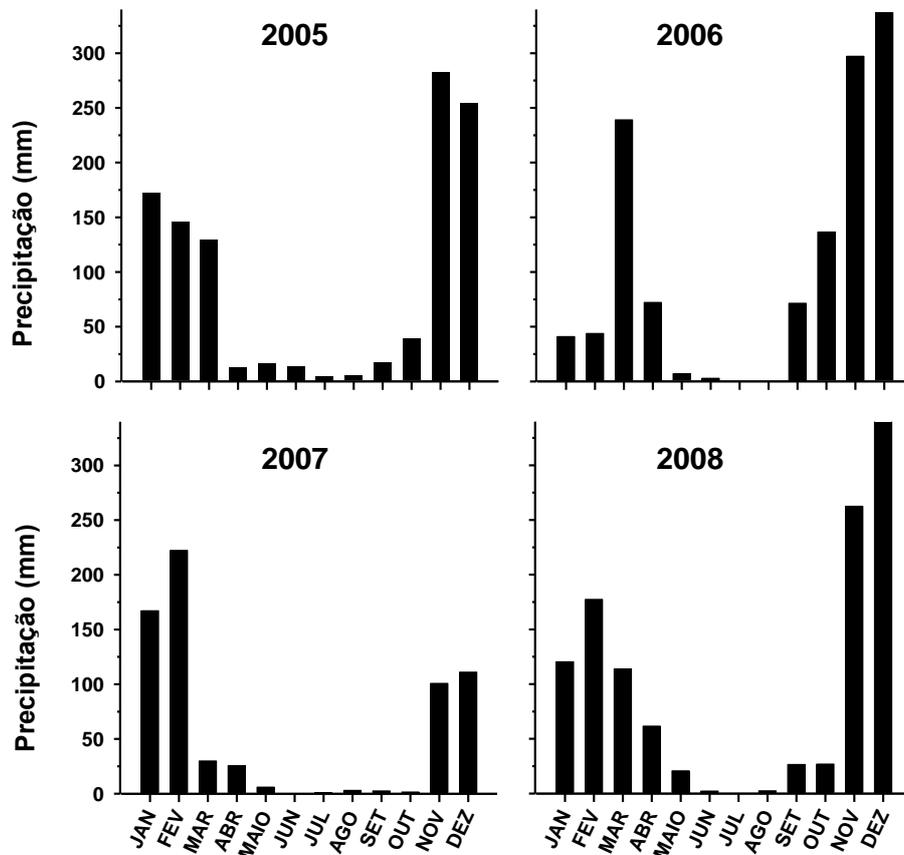


Figura 1. Precipitação pluviométrica média (mm) dos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008 nos municípios de Itamarandiba e Capelinha no Alto Jequitinhonha – MG. Fonte: Estação Meteorológica da ArcelorMittal Energética Jequitinhonha Ltda.

## **Amostragem**

As amostras de solo foram coletadas em seis épocas: agosto de 2005, fevereiro de 2006, agosto de 2006, agosto de 2007, fevereiro de 2007 e fevereiro de 2008. Para cada amostra composta, coletaram-se 10 amostras simples na camada de 0 - 5 cm. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos separadamente e transportadas em caixas térmicas para o Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, em Diamantina, quando foram passadas em peneiras de malha de 2 mm, removendo-se os resíduos orgânicos superficiais e raízes. Em seguida, as amostras foram acondicionadas sob refrigeração a 4 °C até o processamento das análises.

Para avaliar a quantidade de resíduos vegetais que cada estágio de restauração da vegetação deposita no solo, foram utilizados três coletores de tela branca (tipo mosquiteiro) de 1 m<sup>2</sup> em cada parcela, distribuídos aleatoriamente. As telas foram colocadas em julho de 2006 e o material depositado foi coletado em três épocas: março de 2007, fevereiro de 2008 e agosto de 2008, sendo a última representante do período mais seco. Após as coletas, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada a 65 °C até peso constante.

## **Análises de Laboratório**

Para as avaliações das características químicas e físicas (Quadro 1) as amostras de solo foram enviadas ao Laboratório de Solos da UFVJM e foram feitas as seguintes determinações, conforme os métodos descritos em Embrapa (1997): pH (H<sub>2</sub>O); P e K<sup>+</sup> extraíveis, por Mehlich-1; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis, por KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e H + Al, por acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0, e calculou-se a soma de bases, CTC efetiva e CTC a pH 7,0, saturação por bases e saturação por alumínio, e também determinou-se a porcentagem de areia, argila e silte pelo método da pipeta.

A umidade e capacidade máxima de retenção de água (CMRA) foram determinadas segundo Embrapa (2000). Para as análises microbiológicas, a umidade das amostras foi ajustada para 60% da CMRA. A respiração basal do solo (R<sub>basal</sub>) foi estimada pelo CO<sub>2</sub> liberado em quatro subamostras de 20 g de solo, acondicionadas em pote de 1 L hermeticamente fechado contendo 10 mL de KOH 0,3 M e titulado após três dias com HCl 0,1 M (Alef, 1995).

Quadro 1. Médias referentes aos valores de pH, P disponível, K, Mg, Ca e Al trocáveis, H+Al, soma de bases, CTC efetiva, CTC a pH 7,0, saturação de alumínio, saturação por bases e granulometria dos solos em faixas de reserva em diferentes estágios de restauração e manejo, e aos controles plantio de eucalipto, cerrado e mata, coletados na profundidade de 0-5 cm.

Cobertura vegetal	pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	m	V	Areia	Argila	Silte
		-- mg/dm <sup>3</sup> --		----- cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----								----- % -----		g kg <sup>-1</sup>	
Plantio de Eucalipto	4,42	2,18	22,0	0,49	0,30	1,99	22,6	0,84	2,83	23,5	70,2	4,8	125	635	240
Restauração inicial com eucalipto	4,49	1,28	22,3	0,33	0,23	1,55	20,5	0,62	2,17	21,1	71,5	3,6	161	623	217
Restauração inicial sem eucalipto	4,32	1,73	21,7	0,40	0,23	1,95	19,8	0,68	2,63	20,5	73,7	3,7	104	623	273
Restauração avançada com eucalipto	4,25	2,12	19,9	0,38	0,24	1,77	19,9	0,68	2,44	20,6	72,2	3,7	243	510	247
Restauração avançada sem eucalipto	4,16	1,97	24,4	0,43	0,26	2,19	23,0	0,75	2,94	23,8	73,9	3,7	210	523	268
Cerrado	4,36	1,19	21,6	0,35	0,22	1,90	19,7	0,63	2,53	20,3	74,7	3,4	283	485	232
Mata	4,26	1,31	22,7	0,44	0,28	1,96	19,7	0,78	2,74	20,5	68,5	5,0	283	535	182

pH em água - Relação 1:2,5; P e K - Extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H + Al - Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>; Areia, Argila e Silte - método da pipeta (Embrapa, 1997); SB – Soma de bases; t – CTC efetiva; T – CTC a pH 7,0; m – saturação de alumínio; V – saturação por bases.

O carbono da biomassa microbiana do solo ( $C_{mic}$ ) foi determinado pela técnica de fumigação e incubação descrita por Jenkinson & Powlson (1976). De cada amostra de solo, foram pesadas oito subamostras de 20 g e sua umidade corrigida para 60 % da CMRA, sendo que quatro subamostras foram imediatamente incubadas a 25°C, por 10 dias, em potes contendo 15 mL de KOH 0,3 M. As quatro outras subamostras foram fumigadas com 25 mL de clorofórmio isento de álcool, por 24 horas, em dessecador sob vácuo. Após esse período, o clorofórmio foi retirado com aspirações sucessivas e as subamostras de solo foram incubadas como descrito para as subamostras não fumigadas. Após o período de incubação, a solução de KOH 0,3 M foi titulada como descrito para  $R_{basal}$ . A quantidade de  $C_{mic}$  foi determinada pela diferença entre o  $CO_2$  liberado das amostras fumigadas e não-fumigadas, utilizando-se o fator de correção ( $K_c$ ) de 0,45 (Joergensen, 1995). Fazendo-se a razão entre a  $R_{basal}$  e o  $C_{mic}$  determinou-se o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) (Anderson & Domsch, 1993), sendo expresso em  $\mu g CO_2 \mu g C_{mic}^{-1} dia^{-1}$ .

O teor de carbono orgânico do solo ( $C_{org}$ ) foi determinado segundo Walkley & Black, (1944). Pesou-se 1 g de solo em Erlenmeyers de 300 mL; em seguida foram adicionados 7 mL de uma solução de dicromato de potássio, 0,4 M e 40 mL de ácido sulfúrico concentrado. Após o resfriamento em capela, foram adicionados 200 mL de água, 10 mL de ácido fosfórico concentrado e 1 mL de uma solução de difenilamina 0,5%. Em seguida, procedeu-se a titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,4 M. O quociente microbiano ( $qMIC$ ) foi determinado pela razão  $C_{mic}/C_{org}$ , expressa em porcentagem.

A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) pelos microrganismos do solo foi avaliada segundo Embrapa (2000). Esse método se baseia em estimar a fluoresceína produzida no solo tratado com solução de FDA. Assim, amostras de 3 g de solo foram distribuídas em Erlenmeyers de 125 mL, em cinco repetições. Acrescentaram-se 20 mL de tampão fosfato e adicionaram-se 200  $\mu L$  de uma solução contendo 2 mg de FDA  $mL^{-1}$ . Os frascos foram fechados com folha de alumínio e incubados em agitador orbital a 150 rpm a 24°C, por 20 minutos. Após esse período de incubação, a reação foi interrompida pela adição de 20 mL de acetona. A suspensão de solo foi filtrada tomando-se alíquotas do sobrenadante para análise em espectrofotômetro a 490 nm. Para cada amostra de solo, preparou-se uma curva de calibração, com duas repetições, nas concentrações de 0, 50, 100, 150 e 200  $\mu L$  da solução de FDA.

Para avaliar a quantidade de resíduos vegetais que cada faixa em restauração da vegetação nativa deposita no solo, as amostras de serrapilheira foram secas em estufa de circulação forçada a 65 °C até peso constante.

## **Análises estatísticas**

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Saeg® (UFV). Os resultados de cada ano foram submetidos, separadamente, à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

Para análise das correlações entre os diferentes tipos de vegetação, foi empregada uma Análise de Componentes Principais (Valentin, 2000), com as 23 características de solo estudadas, sendo 5 físicas, 13 químicas e 5 microbiológicas, mais a produção de serrapilheira nos diferentes tipos de cobertura vegetal, avaliadas em seis épocas de coleta (exceto as porcentagens de areia, silte e argila, avaliadas em apenas uma época). Foi utilizado o programa PC-ORD for Windows versão 4.14 (McCune & Mefford, 1999).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A CMRA, nos anos 1 e 2, só foi influenciada significativamente pela época, sendo sempre maior em fevereiro, período das chuvas (Quadro 2). No terceiro ano, observou-se efeito apenas de cobertura vegetal, mas não houve diferença, em geral, entre as áreas em restauração e estas em relação aos controles, exceto para a restauração avançada sem eucalipto, que foi menor que o controle mata, no qual se observou maior CMRA. A umidade do solo foi influenciada pela época nos anos 2 e 3, sendo também maior no período das chuvas, exceto para restauração inicial com e sem eucalipto e restauração avançada com eucalipto no ano 2 (Quadro 2). Nos três anos, no geral, a menor umidade foi observada na área em restauração avançada sem eucalipto, mas ela não diferiu das demais áreas em restauração, exceto da área em restauração avançada com eucalipto em agosto de 2006.

A atividade microbiana, avaliada através da hidrólise do FDA, foi influenciada pela época de amostragem e tipo de cobertura vegetal nos anos 1 e 2, e somente pela época de amostragem no ano 3 ( $p < 0,05$ ) (Quadro 3). No entanto, as áreas em restauração não diferiram entre si em nenhuma época, e essa atividade foi inferior à dos controles cerrado e mata nos anos 1 e 2. Nesses anos, em média, as áreas em restauração tiveram atividade microbiana 32% menor que o cerrado e 54% menor que a mata. Resultados semelhantes também foram observados por Godoi (2001), segundo o qual áreas em restauração apresentaram uma hidrólise do FDA 27% menor do que a mata. Da mesma forma, Silva et al. (2004) observaram uma menor atividade microbiana medida pela hidrólise do FDA em uma área sem vegetação, intermediária em áreas em restauração e maior em uma área de mata.

Esses autores também observaram pouca diferença na atividade microbiana em áreas reflorestadas com espécies nativas em relação a espécies exóticas, entre elas *Eucalyptus* spp..

Quadro 2. Umidade do solo e Capacidade Máxima de Retenção de Água (CMRA) em faixas de reserva em diferentes estágios de restauração e manejo, e nos controles plantio de eucalipto, cerrado e mata.

Cobertura vegetal	Época								
	ANO 1			ANO 2			ANO 3		
	ago/05	fev/06	Médias	ago/06	fev/07	Médias	ago/07	fev/08	Médias
	----- Capacidade Máxima de Retenção de Água (CMRA), dag kg <sup>-1</sup> -----								
Plantio de Eucalipto	1002	959	980	779	1094	936	922	1042	982 ab
Rec. inicial c/ eucalipto	936	1023	980	841	994	918	1112	1106	1109 ab
Rec. inicial s/ eucalipto	818	1077	947	926	935	931	1088	1181	1135 ab
Rec. avançada c/ eucalipto	942	985	964	856	919	888	1072	1068	1070 ab
Rec. avançada s/ eucalipto	811	948	879	875	914	894	970	954	962 b
Cerrado	926	1169	1047	932	1069	1000	1050	949	999 ab
Mata	959	1194	1077	1004	1287	1145	1244	1355	1300 a
Médias	913 B	1051 A	982	888 B	1030 A	959	1065	1094	1080
	----- Umidade, dag kg <sup>-1</sup> -----								
Plantio de Eucalipto	261	232	247 ab	207 Bab	347 Aab	277	204	375	289 ab
Rec. inicial c/ eucalipto	245	253	249 ab	221 Aab	283 Aab	252	233	335	284 ab
Rec. inicial s/ eucalipto	231	205	218 ab	221 Aab	285 Aab	253	263	353	308 ab
Rec. avançada c/ eucalipto	225	227	226 ab	259 Aa	250 Ab	254	251	327	289 ab
Rec. avançada s/ eucalipto	216	162	189 b	139 Bb	272 Aab	206	182	305	244 b
Cerrado	252	261	256 ab	211 Bab	348 Aab	279	182	292	237 b
Mata	297	294	295 a	291 Ba	379 Aa	335	310	392	351 a
Médias	247	233	240	221	309	265	232 B	340 A	286

<sup>1/</sup> Para uma mesma época, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam médias na coluna. Letras maiúsculas comparam médias na linha.

A  $R_{\text{basal}}$  foi influenciada pela época de coleta e pela cobertura vegetal nos anos 1 e 2, e somente pela cobertura vegetal no ano 3 ( $p < 0,05$ ) (Quadro 3). Não foi observada diferença entre as áreas em restauração em nenhuma época ou ano de amostragem. A  $R_{\text{basal}}$  nas áreas em restauração foi igual ao controle plantio de eucalipto em todas as coletas. No entanto, no ano 1, as restaurações iniciais com e sem remanescentes de eucalipto e, no ano 2, a restauração inicial com eucalipto, não diferiram do controle mata, quando foi observada maior  $R_{\text{basal}}$ . No ano 3, a maior  $R_{\text{basal}}$  foi observada no cerrado, não diferindo das restaurações inicial e avançada com eucalipto e mata. Esses resultados demonstram que, com relação à  $R_{\text{basal}}$ , os efeitos dos remanescentes de eucalipto aproximam mais as áreas em restauração dos controles mata e cerrado.

Quadro 3. Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína, Respiração Basal, C da Biomassa Microbiana, Quociente metabólico, Carbono Orgânico e Quociente Microbiano em faixas de reserva em diferentes estágios de restauração e manejo, e nos controles plantio de eucalipto, cerrado e mata.

Cobertura vegetal	Época								
	Ano 1			Ano 2			Ano 3		
	ago/05	fev/06	Médias	ago/06	fev/07	Médias	ago/07	fev/08	Médias
----- Hidrólise do Diacetato de fluoresceína (FDA), mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> de FDA -----									
Plantio de Eucalipto	271	250	261 b	231	292	261 bc	208	377	293
Recup. inicial com eucalipto	278	250	264 b	246	241	243 bc	219	417	318
Recup. inicial sem eucalipto	285	191	238 b	187	331	259 bc	166	388	277
Recup. avançada com eucalipto	322	280	301 b	178	220	199 c	234	453	344
Recup. avançada sem eucalipto	241	273	257 b	125	177	151 c	123	360	241
Cerrado	409	287	348 b	308	408	358 ab	269	321	295
Mata	619	470	544 a	469	519	494 a	399	383	391
Médias	346 A	286 B	316	249 B	312 A	281	231 B	386 A	308
----- Respiração basal (R <sub>basal</sub> ), mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> de CO <sub>2</sub> -----									
Plantio de Eucalipto	2,60 Ab <sup>1/</sup>	3,08 Aa	2,84	4,80 Ab	2,16 Ba	3,48	3,83	1,47	2,65 b
Recup. inicial com eucalipto	3,43 Aab	4,09 Aa	3,76	6,60 Aab	2,66 Ba	4,63	4,79	4,32	4,55 ab
Recup. inicial sem eucalipto	4,86 Aab	3,51 Aa	4,19	5,72 Ab	0,36 Ba	3,04	4,83	2,97	3,90 b
Recup. avançada com eucalipto	2,95 Ab	3,39 Aa	3,17	5,94 Ab	1,49 Ba	3,71	4,05	4,92	4,49 ab
Recup. avançada sem eucalipto	2,63 Bb	4,65 Aa	3,64	4,04 Ab	2,32 Aa	3,18	3,02	2,95	2,99 b
Cerrado	3,07 Ab	4,08 Aa	3,58	4,95 Ab	1,46 Ba	3,20	7,67	7,22	7,44 a
Mata	6,01 Aa	3,53 Ba	4,76	10,25 Aa	1,10 Ba	5,67	6,18	5,04	5,61 ab
Médias	3,65	3,76	3,71	6,04	1,65	3,85	4,91	4,13	4,52
----- C da biomassa microbiana (C <sub>mic</sub> ), mg kg <sup>-1</sup> de C -----									
Plantio de Eucalipto	270	387	329 b	264	196	230 b	370	241	305 b
Recup. inicial com eucalipto	369	321	345 b	204	208	206 b	288	185	236 b
Recup. inicial sem eucalipto	306	364	335 b	266	211	238 b	302	287	294 b
Recup. avançada com eucalipto	329	302	316 b	220	195	207 b	239	213	226 b
Recup. avançada sem eucalipto	251	269	260 b	225	94	159 b	231	90	160 b
Cerrado	355	411	383 b	333	289	311 b	314	330	322 ab
Mata	743	704	724 a	655	374	515 a	602	459	531 a
Médias	375	394	384	309 A	224 B	267	335 A	258 B	296
----- Quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> ), µg CO <sub>2</sub> µg C <sub>mic</sub> <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> -----									
Plantio de Eucalipto	0,23	0,19	0,21	0,44 Aa	0,26 Aab	0,36	0,25	0,15	0,21 a
Recup. inicial com eucalipto	0,22	0,31	0,26	0,78 Aa	0,31 Bab	0,54	0,40	0,56	0,46 a
Recup. inicial sem eucalipto	0,38	0,23	0,30	0,52 Aa	0,04 Bb	0,31	0,38	0,25	0,32 a
Recup. avançada com eucalipto	0,22	0,27	0,24	0,65 Aa	0,18 Bb	0,43	0,41	0,55	0,48 a
Recup. avançada sem eucalipto	0,25	0,41	0,34	0,43 Ba	0,59 Aa	0,48	0,31	0,79	0,45 a
Cerrado	0,21	0,24	0,22	0,36 Aa	0,12 Ab	0,25	0,59	0,53	0,55 a
Mata	0,19	0,12	0,16	0,38 Aa	0,07 Bb	0,26	0,25	0,26	0,25 a
Médias	0,23	0,23	0,23	0,47	0,18	0,35	0,35	0,38	0,37
----- C orgânico (C <sub>org</sub> ), g Kg <sup>-1</sup> -----									
Plantio de Eucalipto	42	36	39 b	37	33	35 b	53	51	52 ab
Recup. inicial com eucalipto	49	38	44 b	40	25	32 b	51	41	46 ab
Recup. inicial sem eucalipto	41	33	37 b	39	25	32 b	44	40	42 b
Recup. avançada com eucalipto	32	27	30 b	37	22	30 b	45	36	40 b
Recup. avançada sem eucalipto	35	35	35 b	35	30	33 b	38	29	34 b
Cerrado	30	34	32 b	30	29	29 b	31	38	35 b
Mata	66	56	61 a	65	51	58 a	79	64	71 a
Médias	42 A	37 B	39	41 A	31 B	36	49	43	46
----- Quociente Microbiano (qMIC), % -----									
Plantio de Eucalipto	0,64	1,08	0,84	0,71	0,59	0,66 ab	0,70	0,47	0,59
Recup. inicial com eucalipto	0,75	0,84	0,78	0,51	0,83	0,64 ab	0,56	0,45	0,51
Recup. inicial sem eucalipto	0,75	1,10	0,91	0,68	0,84	0,74 ab	0,69	0,72	0,70
Recup. avançada com eucalipto	1,03	1,12	1,05	0,59	0,89	0,69 ab	0,53	0,59	0,57
Recup. avançada sem eucalipto	0,72	0,77	0,74	0,64	0,31	0,48 b	0,61	0,31	0,47
Cerrado	1,18	1,21	1,20	1,11	1,00	1,07 a	1,01	0,87	0,92
Mata	1,13	1,26	1,19	1,01	0,73	0,89 ab	0,76	0,72	0,75
Médias	0,89	1,06	0,98	0,75	0,72	0,74	0,68	0,60	0,64

<sup>1/</sup> Para uma mesma época, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letras minúsculas comparam médias na coluna. Letras maiúsculas comparam médias na linha.

No ano 2, a  $R_{\text{basal}}$  foi, em geral, maior em agosto de 2006, período de estiagem, ao contrário dos resultados encontrados por outros autores (Behera & Sahani, 2003; Araújo, 2003; Gama-Rodrigues et al., 2005). Entretanto, apesar da coleta ter sido realizada na época de estiagem, é importante salientar que houve maior precipitação no ano de 2006 (Figura 1), o que pode ter refletido na atividade microbiana nesse período. Gama-Rodrigues et al. (2005) evidenciaram que uma maior precipitação levou a uma maior produção de serrapilheira, a maior acúmulo de matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, ao aumento da atividade dos microrganismos.

Nos três anos de amostragem, o  $C_{\text{mic}}$  não diferiu entre as faixas em restauração (Quadro 3). Os maiores teores foram encontrados na mata, sendo que, somente no ano 3, a mata não diferiu do cerrado e este foi igual às demais coberturas vegetais. No presente estudo, as áreas de mata são do tipo estacional semidecidual e, em geral, o solo possui maior umidade, contribuindo para uma maior atividade da biomassa. Esses resultados indicam que as áreas em restauração se encontram em estágio equivalente ao do cerrado e inferiores ao da mata quanto ao  $C_{\text{mic}}$ , e que a presença de remanescentes de eucalipto não está influenciando essa característica microbiana. Carneiro et al. (2008) observaram que áreas de extração de bauxita em restauração apresentavam características microbianas, como  $C_{\text{mic}}$  e atividade enzimática pela hidrólise do FDA, semelhantes às áreas nativas após um ano de restauração da vegetação. Assim, isso pode explicar a ausência de diferenças entre as áreas em restauração e os controles com vegetação nativa avaliadas no presente trabalho, já que essas áreas possuíam pelo menos quatro anos de restauração. A maior semelhança das áreas em restauração ao cerrado, quanto às características estudadas, pode ser em virtude da predominância de plantas de cerrado nessas áreas. Os teores de  $C_{\text{mic}}$  no plantio de eucalipto semelhantes aos observados no cerrado podem ser explicados pela grande biomassa vegetal que essa planta produz, além de receber fertilizações, o que também favorece a microbiota do solo.

Maiores teores de  $C_{\text{mic}}$  em áreas nativas também foram observados por Oliveira et al. (2001), Chaer & Tótola (2007) e Gama-Rodrigues et al. (2008). Quando Oliveira et al. (2001) compararam mata de galeria, cerradão, campo limpo, pastagens e cultura anual, encontraram maiores teores de  $C_{\text{mic}}$  nas áreas nativas. Segundos os autores, entre os fatores que explicam o maior  $C_{\text{mic}}$  na mata, podem estar o maior teor de matéria orgânica e de umidade do solo, a densa camada de serrapilheira na sua superfície, além da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais retornados ao solo, uma vez que a composição florística dessas áreas é diferenciada e diversificada. Gama-Rodrigues et al. (2008), ao avaliarem a influência de acácia, sabiá e

eucalipto, comparadas às coberturas de capoeira e pastagem, sobre os atributos químicos e microbianos do solo, observaram teor máximo de  $C_{mic}$  na capoeira e o mínimo na acácia. As demais coberturas vegetais apresentaram pequenas variações nos teores de  $C_{mic}$ . Os autores também justificaram maior  $C_{mic}$  na vegetação nativa de capoeira por estar relacionado à melhor qualidade da serrapilheira, devido à combinação de diferentes espécies nesse ecossistema, favorecendo a imobilização de C pela biomassa microbiana. Resultados semelhantes também foram encontrados por Chaer & Tótola (2007); segundo os quais, solos sob vegetação nativa apresentaram maiores teores de  $C_{mic}$  em relação a plantios de eucalipto de 5,5 anos, após terem sido submetidos a diferentes métodos de manejo durante a fase de reforma do povoamento.

O  $qCO_2$  permite a identificação dos solos que contêm biomassa mais eficiente na utilização de carbono e energia ( $< qCO_2$ ) (Wardle & Ghani, 1995), os quais refletem, de acordo com a teoria do “desenvolvimento bioenergético dos ecossistemas” de Odum (1985), ambientes com menor grau de distúrbio ou estresse. O  $qCO_2$  é a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana. Em geral, um baixo  $qCO_2$  indica economia na utilização de energia e supostamente reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio, que é o caso das áreas com cobertura vegetal nativa; ao contrário, valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio. No ano 1, o  $qCO_2$  não foi significativamente influenciado pelo tipo de cobertura vegetal e nem pela época de amostragem (Quadro 3). No entanto, no ano 2, em fevereiro, época em que se observou maior precipitação nos meses antecedentes, sendo 167 mm em janeiro e 202 mm na média dos cinco meses anteriores (setembro de 2006 a janeiro de 2007), observou-se que a restauração avançada sem eucalipto apresentou o maior  $qCO_2$ , não diferindo apenas do plantio de eucalipto e restauração inicial com eucalipto. Já no ano 3, apesar de se observar efeito do tipo de vegetação pela análise de variância (Quadro 3B, Anexo B), o teste de média (Tukey,  $p < 0,05$ ) não detectou diferenças entre os tipos de cobertura vegetal, ainda que na mata e no plantio de eucalipto os índices de  $qCO_2$  foram os menores observados, sendo aproximadamente a metade das demais áreas e 2,4 vezes menor que a área com restauração avançada sem eucalipto (maior  $qCO_2$  observado). Esses resultados indicam que, apesar do avançado estágio de restauração das áreas estudadas, a área em restauração avançada sem eucalipto encontra-se um pouco inferior às demais. Anderson & Domsch (1990) consideram o  $qCO_2$  um indicador adequado em estudos de maturação progressiva do sistema solo.

O efeito de época sobre o  $qCO_2$  foi observado somente no ano 2. O  $qCO_2$  foi maior no período de estiagem em relação ao período das chuvas para as áreas de restauração inicial

com e sem eucalipto e avançada com eucalipto. Esses resultados podem explicar a maior  $R_{\text{basal}}$  observada nessas áreas também no período de estiagem do mesmo ano de amostragem (agosto de 2006) (Quadro 3). Os maiores  $q\text{CO}_2$  demonstram que a maior  $R_{\text{basal}}$  observada nessas áreas provavelmente não corresponde exclusivamente à maior biomassa microbiana nessa época em relação ao período das chuvas, e sim a condições de estresses ocorridas nesse período. Islam & Weil (2000) alertaram quanto ao cuidado ao analisar os dados de  $R_{\text{basal}}$  isoladamente na avaliação da qualidade do solo pois, em seus estudos, essa variável indicava atividade microbiana semelhante entre solos de uma floresta nativa e uma área cultivada. No entanto, quando os autores consideraram a taxa de respiração por unidade de biomassa, ou  $q\text{CO}_2$ , essa característica foi menor no solo de floresta nativa, o que demonstrou maior equilíbrio.

O  $C_{\text{org}}$  foi influenciado pela época de coleta nos dois primeiros anos e pelo tipo de cobertura vegetal nos três anos (Quadro 3); porém, as áreas em restauração não diferiram entre si e em relação aos controles cerrado e cultivo de eucaliptos. Nos três anos, o teor  $C_{\text{org}}$  foi maior na mata, exceto no último ano, quando a área de mata não diferiu da área com eucalipto e da restauração inicial com eucalipto. Esses resultados são semelhantes aos observados para  $C_{\text{mic}}$  nos três anos, quando também foram observados teores superiores na mata, sendo que os demais tipos de cobertura vegetal não diferiram entre si.

Quanto à época de amostragem, observou-se que, nos dois primeiros anos, o  $C_{\text{org}}$  foi sempre superior no período de maior estiagem e isso pode ser um reflexo do período anterior com maior umidade e conseqüente favorecimento à maior decomposição da serrapilheira. Esses resultados, em especial no ano 2, podem explicar em parte a maior  $R_{\text{basal}}$  observada no período de estiagem, em relação ao período das chuvas, para alguns tipos de cobertura vegetal.

O  $q\text{MIC}$ , porcentagem do  $C_{\text{org}}$  que é composta pelo  $C_{\text{mic}}$ , só foi influenciado pelo tipo cobertura vegetal no ano 2 (Quadro 3). Da mesma forma que o  $C_{\text{org}}$ , as áreas em restauração não diferiram entre si e dos controles, agora incluindo a mata, exceto para a restauração avançada sem eucalipto, que foi inferior ao controle cerrado. Esse resultado reforça o já observado para outras características, evidenciando que a área em restauração avançada sem eucalipto estava em um estágio inferior de equilíbrio do solo, indicando que, de alguma forma, a remoção das plantas de eucalipto contribuiu para esse resultado inferior.

Em solos brasileiros, altamente intemperizados e com baixo teor natural de nutrientes em seus minerais de argilas, como os deste estudo, um maior  $q\text{MIC}$  é favorável a um maior equilíbrio, pois os nutrientes imobilizados no  $C_{\text{mic}}$  podem ser ciclados até duas vezes ao ano. Já os nutrientes imobilizados no  $C_{\text{org}}$  podem estar em uma fração pouco lábil a não lábil, o que

significa um tempo de ciclagem que vai de 10 a 100 anos (Moreira & Siqueira, 2006). Maiores valores de qMIC indicam a existência de condições mais apropriadas para o desenvolvimento microbiano, as quais podem decorrer da adição de matéria orgânica de boa qualidade ou da eliminação de fatores limitantes, como estresse hídrico, acidez, falta de nutrientes, entre outros (Wardle, 1994; Yusuf et al., 2009). Nesse caso, a biomassa microbiana pode aumentar, mesmo se os níveis do carbono orgânico permanecerem inalterados (Powlson et al., 1987).

Dessa forma, a ausência de diferença significativa entre o controle cerrado e as faixas em restauração inicial com e sem eucalipto e a restauração avançada com eucalipto indica uma proximidade ao equilíbrio ecológico sob a restauração da vegetação nativa. A ausência de diferença dessas áreas com o monocultivo de eucalipto pode ser explicada pelas adubações realizadas nas áreas de eucalipto e ao fato que esses cultivos já possuíam sete anos.

Neste estudo, os valores do qMIC variaram entre 0,31 e 1,64 % (Quadro 3), semelhantes aos encontrados por Chaer & Tótola (2007) em solos sob diferentes manejos no cultivo de eucalipto e de mata (0,81 a 1,54 %); porém, esses valores são mais baixos que os encontrados em alguns solos sob culturas agrícolas em regiões de clima temperado (2 a 7 %) (Anderson & Domsch, 1989; Kandeler et al., 1993). Esses menores teores de qMIC nos solos de chapada no Alto Jequitinhonha, comparativamente aos valores reportados para solos localizados em regiões de clima temperado, devem estar relacionados às características dos latossolos dessa região, com baixa disponibilidade de nutrientes minerais para sustentar a biomassa microbiana, inibição dos microrganismos do solo por acidez excessiva ou toxicidade de  $Al^{3+}$ , ou a ambos. Além disso, segundo Yusuf et al. (2009), menor relação entre o  $C_{mic}$  e o  $C_{org}$  poderia ser causada por uma diminuição da biomassa microbiana ou pela reduzida eficiência na mineralização da matéria orgânica, sendo esta uma importante ferramenta para avaliar a qualidade dos solos.

Três grupos foram formados pela análise de componentes principais com todas as 23 características de solo avaliadas nos diferentes tipos de cobertura vegetal, nas seis épocas de amostragem: cerrado e áreas em restauração inicial com ou sem eucalipto e restauração avançada com eucalipto; área em restauração avançada sem eucalipto e plantio de eucalipto; área de mata (Figura 2).

Assim, a proximidade das áreas em restauração ao bioma cerrado confirma os resultados observados para todas as características microbianas do solo estudadas no presente trabalho, quando não foram observadas diferenças entre essas áreas, exceto para hidrólise do FDA no ano 2 (Quadro 3). Para a área em restauração avançada sem eucalipto, os índices

qCO<sub>2</sub> e qMIC indicaram um menor estágio de restauração, corroborando a análise de componentes principais, quando essa área foi agrupada ao plantio de eucalipto. Esse resultado demonstra que os remanescentes de eucalipto favorecem a restauração das áreas. A ausência de efeito negativo da remoção dos remanescentes de eucalipto nas áreas em restauração inicial pode ser em decorrência do menor tempo de restauração e da colheita mais recente, processo que deposita grande quantidade de biomassa vegetal ao solo. Essa maior eficiência dos índices microbianos na diferenciação entre áreas também foi observada por Gama-Rodrigues et al. (2008).

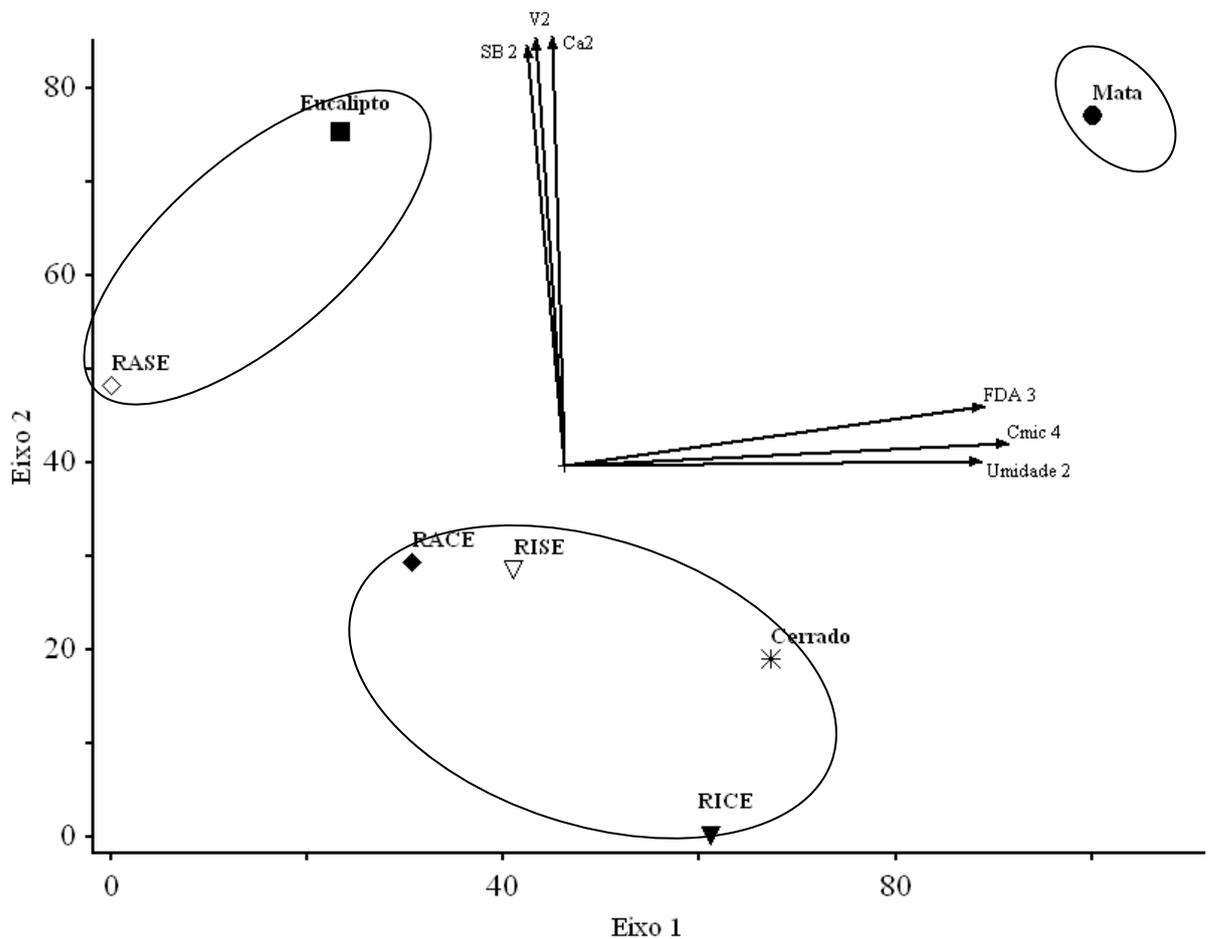


Figura 2. Diagrama de ordenação nos dois primeiros eixos da Análise de Componentes Principais de características químicas, físicas e microbiológicas do solo em áreas com diferentes tipos de vegetação, em que: Ca - cálcio, SB - Soma de Bases, V - saturação por bases, FDA - hidrólise do diacetato de Fluoresceína, C<sub>mic</sub> - carbono da biomassa microbiana do solo, RISE - restauração inicial sem remanescentes de eucalipto, RICE - restauração inicial com remanescentes de eucalipto, RACE - restauração avançada com remanescentes de eucalipto, RASE - restauração avançada sem remanescentes de eucalipto.

A decomposição dos resíduos orgânicos que formam a serrapilheira é o principal processo de ciclagem de nutrientes em um ecossistema florestal. A produção anual de serrapilheira nas áreas estudadas variou de 2,3 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na restauração inicial sem eucalipto a 10,9 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na área plantada com eucalipto (Figura 3). A produção anual de serrapilheira no Alto Jequitinhonha em mata foi semelhante à de outras florestas brasileiras, como: Floresta Atlântica de encosta, no Rio de Janeiro, com 8,9 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Oliveira & Lacerda, 1993); Floresta Amazônica, com 6,7 a 8,3 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Luizão & Luizão, 1991); Floresta Semidecídua secundária, em Minas Gerais, com produção de 6,9 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Paula & Lemos-Filho, 2001); Povoamentos de Sabiá, em Pernambuco, com 7,8 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Ferreira et al., 2007); entre outras.

As maiores quantidades de serrapilheira depositadas por ano foram observadas no plantio de eucalipto e restauração avançada com eucalipto, mas não diferiram ( $p < 0,05$ ) das demais coberturas vegetais, exceto da restauração inicial sem eucalipto (Figura 3). Contudo, observou-se que, no plantio de eucalipto, foram depositadas 2,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de serrapilheira a mais que na mata e 6,3 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> que no cerrado. Já entre as áreas em restauração se observou uma grande superioridade na quantidade de serrapilheira adicionada nas áreas com plantas de eucaliptos, sendo de 5,3 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na restauração inicial e de 4,4 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na restauração avançada. Como um dos primeiros passos para a restauração de áreas degradadas é o restabelecimento da ciclagem de nutrientes, pode-se crer que, de alguma forma, essa quantidade superior de serrapilheira tenha contribuído para o melhor resultado demonstrado pela análise de componentes principais para as áreas com eucalipto em relação às áreas sem eucalipto.

Quando se calculou a razão entre a produção mensal de serrapilheira média de todo o período de avaliação e a produção média no período seco, observou-se que, neste período, a massa seca de serrapilheira foi cerca de duas vezes maior para todos os tratamentos, exceto para restauração inicial sem eucalipto (Figura 4). Esses resultados corroboram os encontrados por Paula & Lemos-Filho (2001) quando avaliaram a produção de biomassa seca em mata mesófila semidecídua em regeneração, quando a variação média entre a produção máxima e a mínima foi da ordem de 2,37 vezes, sendo maior na época seca. Vários outros estudos demonstraram que ocorre uma maior produção de serrapilheira no período seco (Alho, 1992; Arato et al., 2003; Silva et al., 2007; Ferreira et al., 2007), pois é influenciada, principalmente, pelo estresse hídrico, podendo ser uma resposta da vegetação que, com a derruba de folhas, reduziria a perda de água por transpiração, o que poderia explicar maiores valores encontrados para  $R_{\text{basal}}$  e o  $C_{\text{org}}$  em período de estiagem (Quadro 3), em decorrência da maior

quantidade de substrato disponível, dos processos de decomposição da matéria orgânica, da imobilização (C e N) e mineralização (N).

A serrapilheira é particularmente importante por atuar na superfície do solo como um sistema de entrada e saída, recebendo entradas via vegetação e, por sua vez, decompondo-se e suprindo o solo e as raízes com nutrientes e matéria orgânica, sendo essencial à recuperação da fertilidade do solo em áreas em início de sucessão ecológica (Arato, et al., 2003). A decomposição dos resíduos orgânicos que formam a serrapilheira é o principal processo de ciclagem de nutrientes em um ecossistema florestal. Os padrões de deposição de serrapilheira introduzem heterogeneidade temporal e espacial no ambiente, podendo afetar a estrutura e a dinâmica da comunidade de plantas (Molofsky & Ausgspurger, 1992). Assim, a comparação entre áreas em processo de restauração com florestas nativas, quanto à produção de serrapilheira, pode ser uma importante ferramenta para avaliação do sucesso de determinado projeto de restauração de área perturbada.

## CONCLUSÕES

1. Os solos das faixas de reserva em restauração espontânea da cobertura vegetal nativa se encontram em um adiantado estágio de restauração em relação às suas características microbiológicas e bioquímicas, com maior semelhança ao cerrado.

2. A restauração avançada sem eucalipto demonstrou menor evolução da revegetação.

3. As áreas em restauração com eucaliptos remanescentes apresentaram melhor qualidade dos solos, indicando um efeito positivo dos remanescentes de eucalipto.

4. As áreas em restauração com eucaliptos remanescentes apresentaram maior produção de serrapilheira e melhor qualidade bioquímica e microbiológica do solo, comparadas às faixas sem eucaliptos.

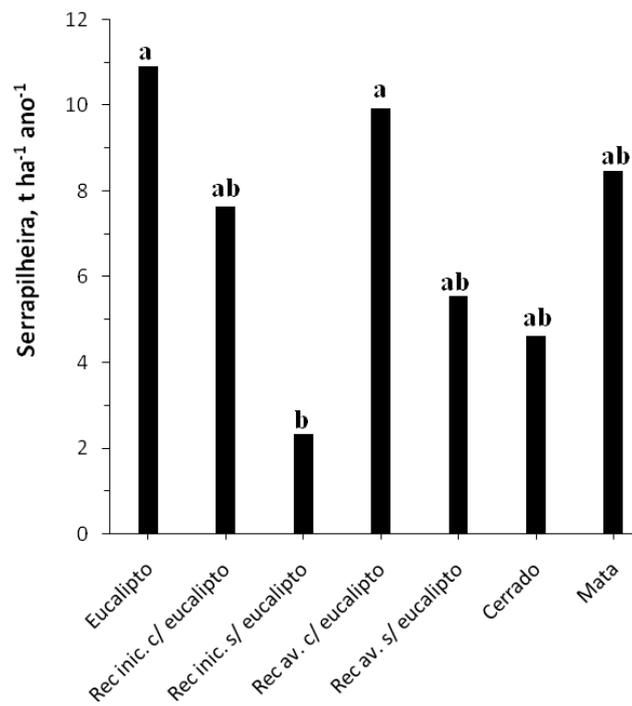


Figura 3. Média anual de massa seca de serrapilheira em t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em faixas de reserva em diferentes estágios de restauração e manejo, mais os controles cultivo de eucaliptos, cerrado e mata.

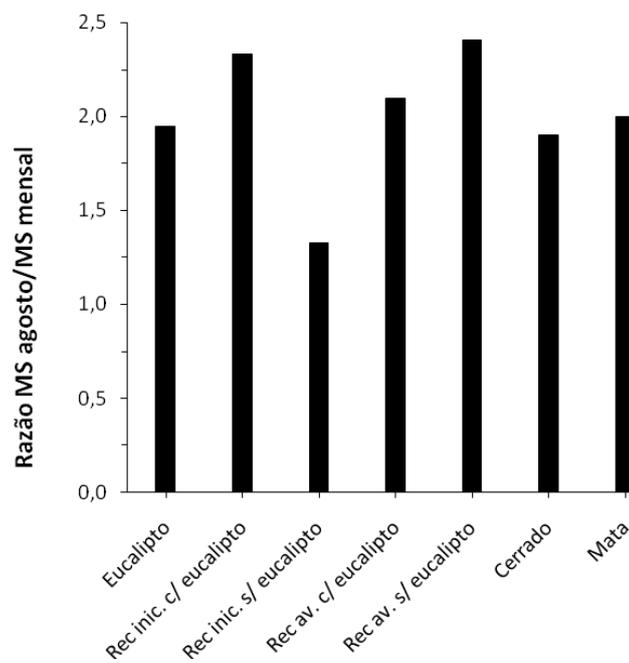


Figura 4. Razão entre a média mensal da massa seca de serrapilheira coletada em período seco e a média mensal da massa seca de serrapilheira coletada num período de 25 meses.

**LITERATURA CITADA**

- ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – Anuário Estatístico, ABRAF, 2009 – Ano Base 2008.
- ALEF, K. & NANNIPIERI, P. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Acad. Press, 1995. 576p.
- ALHO, C.J.R. *A teia da vida: uma introdução á ecologia brasileira*. Ed. Objetiva, Rio de Janeiro, 1992. 160 p.
- 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 in arable soils. *Soil Biol. Biochem.*, 21:471-479, 1989.
- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. Application of ecophysiological quotients ( $qCO_2$  and  $qD$ ) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.*, 22:251-255, 1990.
- ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para restauração de área degradada em Viçosa-MG. *R. Árvore*, 27:715-721, 2003.
- ARAÚJO, S.P. Atributos biológicos do solo sob diferentes coberturas vegetais amostrados em duas estações do ano numa topossequência no Noroeste Fluminense – RJ. Campos dos Goytacazes, UENF, 2003. (Dissertação de mestrado).
- BARBOSA, J.C. Avaliação da conservação e restauração de solos por meio de indicadores físicos, químicos e microbiológicos, em floresta atlântica de tabuleiros - ES, Brasil. Rio de Janeiro, UFRJ. 2007. (Dissertação de Mestrado).
- BEHERA, N. & SAHANI, U. Soil microbial biomass and activity in response to Eucalyptus plantation and natural regeneration on tropical soil. *Forest Ecol. Manag.*, 174:1-11, 2003.
- BENTHAM, H.; HARRIS, J.A.; BIRCH, P. & SHORT, K.C. Habitat classification and soil restoration assessment using analysis of soil microbiological and physico-chemical characteristics. *J. Appl. Ecol.*, 29:711-718, 1992.
- CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. & SOARES, A.L.L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas

- cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. R. Bras. Ci. Solo, 32:621-632, 2008.
- CHAER, G.M. & TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. R. Bras. Ci. Solo. Viçosa, 3:1381-1396, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico. 1ª ed. Rio de Janeiro. 2000. 198 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed. Rio de Janeiro. 2006. 306 p.
- FERREIRA, C.A. Gênese de “Latosolos Acinzentados” em toposequências de Latossolos das chapadas no Alto do Vale Jequitinhonha, MG. Diamantina, MG. UFVJM. 2008. (Dissertação de Mestrado).
- FERREIRA, R.L.C.; LIRA-JUNIOR, M.D.; ROCHA, M.S.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A. & BARRETO, L.P. Nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth). R. Árvore, 31:7-12, 2007.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. R. Bras. Ci. Solo, 29:893-901, 2005.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. E FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, 32:1521-1530, 2008.
- GODOI, L.C.L. Propriedades microbiológicas de solos em áreas degradadas e recuperadas na região dos cerrados goianos. Universidade Federal de Goiás, 2001. (Dissertação de Mestrado)
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. Agriculture Ecosystems Environmental, 79:9-16, 2000.
- JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. Soil Biol. Biochem. 8:209-213, 1976.
- JOERGENSEN, R.G. The fumigation incubation method. In. ALEF, K. & NANNIPIERI, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London, Acad. Press, p.376-381, 1995.

- KANDELER, E.; MARGESIN, R.; ÖHLINGER, R. & SCHINNER, F. Bodenmikrobiologisches Monitoring– Vorschläge für eine Bodenzustandsinventur. *Die Bodenk.*,44:357-377, 1993.
- LIFEI, W.Y.Z.J.Y. Changes of soil microbial biomass carbon along successional processes of degraded Karst vegetation. *J. Nan. For. Uni.* 32: 5, 71-75, 2008.
- LUIZÃO, R.C.C. & LUIZÃO, F.J. Liteira e biomassa microbiana do solo no ciclo da matéria orgânica e nutrientes em terra-firme na Amazônia central. In: VAL, A.L.; FIGLIVOLO, R. & FEDBERG, E. Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia. Secretaria de Ciência e Tecnologia, INPA, Manaus, 1:65-75. 1991.
- MARTINS, S. V. Restauração de matas ciliares. Viçosa: Aprenda Fácil/Centro de Produções Técnicas, 2001. 146 p.
- McCUNE, B. & MEFFORD, M. J. Multivariate analysis of ecological data. Gleneden Beach, MjM Software. 1999.
- MOLOFSKY, J.; AUGSPURGER, C. K. The effect of litter on early seedling establishment in a tropical forest. *Ecology*, 73:68-77, 1992.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.
- ODUM, E.P. Trend expected in stressed ecosystems. *Bioscience*, 35:419-422, 1985.
- OLIVEIRA, J.R.A.; MENDES, L.C. & VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos de fumigação incubação e fumigação-extração. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:863-871, 2001.
- OLIVEIRA, R.R. & LACERDA, L.D. Produção e composição química da serrapilheira na Floresta da Tijuca (RJ). *R. Bras. Bot.* 16:93-99. 1993.
- PAULA, S.A. & LEMOS-FILHO, J.P. Dinâmica do dossel em mata semidecídua no perímetro urbano de Belo Horizonte, MG. *R. Bras. Bot.* 24:545-551, 2001.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C & CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.*, 19:159-164, 1987.
- SANCHES, L.; VALENNTINE, C.M.A.; BIUDES, M.S. & NOGUEIRA, J.S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. *R. Bras. Eng. Agr. Amb.*, 13:183–189, 2009.
- SILVA, J.C.; SANCHES, L.; BLEICH, M.E.; LOBO, F.M. & NOGUEIRA, J.S. Produção de serrapilheira no cerrado e floresta de transição amazônia-cerrado do Centro-oeste Brasileiro. *Acta Amaz.* 37:543–548, 2007.

- SILVA, M.; SIQUEIRA, E.R. & COSTA, J.L.S. Hidrólise de diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbológica de um solo submetido a reflorestamento. *Ci. Rural*, 34:1493-1496, 2004.
- SOUZA, A.L.; SCHETTINO, S.; JESUS, R.M. & VALE, A.B. Dinâmica da regeneração natural em uma floresta ombrófila densa secundária, após corte de cipós, reserva natural da Companhia Vale do Rio Doce S.A., estado do Espírito Santo, Brasil. *Rev. Árvore*, 26:411-419, 2002.
- SRIVASTAVA, S.C.; JHA, A.K. & SINGH, J.S. Changes with time in soil biomass C, N and P of mine spoils in a dry tropical environment. *Can. J. Soil Sci.*, 69:849-855, 1989.
- VALENTIN, J.L. *Ecologia numérica: Uma Introdução à Análise Multivariada de Dados Ecológicos*. Rio de Janeiro, Interciência, 2000.
- WALKLEY, A. & BLACK. An examination of the Degtjarref method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chomic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38, 1944.
- WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. eds. *Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola*. Brasília, Embrapa, p.419-436, 1994.
- WARDLE, D.A. & GHANI, A. A critique of the microbial metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biol. Biochem.*, 27:1601-1610, 1995.
- YUSUF, A.A.; ABAIDOO, R.C.; IWUAFOR, E.N.O.; OLUFAJO, O.O.; SANGINGA, N. Rotation effects of grain legumes and fallow on maize yield, microbial biomass and chemical properties of an Alfisol in the Nigerian savanna. *Agri. Eco. Environ.*, 129:325–331, 2009.

## CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados demonstraram que o tipo de cobertura vegetal influenciou as características microbiológicas e bioquímicas do solo, mais acentuadamente na camada superficial.

As faixas de reserva em restauração espontânea se encontram em um adiantado estágio de restauração de suas características microbiológicas e bioquímicas do solo, com maior semelhança ao cerrado.

A restauração avançada sem eucalipto demonstrou menor evolução da revegetação e as áreas em restauração com eucaliptos remanescentes apresentaram melhor qualidade bioquímica e microbiológica dos solos.

As características microbiológicas, com destaque para o  $C_{mic}$  e hidrólise do FDA, mostraram-se eficientes em avaliar a restauração das áreas em revegetação espontânea.

## ANEXO A

Quadro 1A. Quadrado médio e sua significância, obtidos na análise de variância dos dados das características dos solos avaliados em agosto de 2004.

Variáveis <sup>1/</sup>	Fontes de variação (Graus de liberdade)				Coef. de variação(%)
	Cobertura vegetal (6)	Profundidade (1)	Vegetação X prof. (6)	Resíduo (42)	
Umidade	68,84869**	18,06831	7,344463	14,79979	16,8
R <sub>basal</sub>	1,384312	154,6501**	1,028036	1,517710	41,3
C <sub>mic</sub>	45964,07	277458,3*	103491,4	51140,20	38,8
qCO <sub>2</sub>	0,006442161	0,2274771**	0,007280866	0,009404831	73,5
C <sub>org</sub>	14835,75**	24426,05**	4014,726**	416,2493	29,6
qMIC	1,597244**	1,623931**	0,3240481	0,2029649	39,6

\* = significativo a 5%, \*\* = significativo a 1%, pelo teste de Duncan.

<sup>1/</sup> R<sub>basal</sub> – Respiração basal do solo; C<sub>mic</sub> = C da biomassa microbiana; qCO<sub>2</sub> = quociente metabólico; C<sub>org</sub> = C orgânico do solo; qMIC = quociente microbiano.

Quadro 2A. Quadrado médio e sua significância, obtidos na análise de variância dos dados das características dos solos avaliados em dezembro de 2004.

Variáveis <sup>1/</sup>	Fontes de variação (Graus de liberdade)				Coef. de variação (%)
	Cobertura vegetal (6)	Profundidade (1)	Vegetação X prof. (6)	Resíduo (42)	
Umidade	148,1181**	87,01620	23,37527	21,85277	17,0
R <sub>basal</sub>	2,876922	75,35157**	3,641330*	1,546777	52,1
C <sub>mic</sub>	987729,1**	3364992**	688482,9**	43929,48	39,7
qCO <sub>2</sub>	0,1303074**	0,05913854	0,05424465	0,03927113	115,0
C <sub>org</sub>	4635,505**	34603,16**	2658,141**	341,0232	31,3
Q <sub>mic</sub>	1,410815**	0,2795663	0,3593396	0,2016355	47,6

\* = significativo a 5%, \*\* = significativo a 1%, pelo teste de Duncan.

<sup>1/</sup> R<sub>basal</sub> – Respiração basal do solo; C<sub>mic</sub> = C da biomassa microbiana; qCO<sub>2</sub> = quociente metabólico; C<sub>org</sub> = C orgânico do solo; qMIC = quociente microbiano.

Quadro 3A. Espécies vegetais nativas responsáveis por mais de 50 % do Índice de Valor de Importância que ocorrem nos diferentes tipos de cobertura vegetal estudados.

Cobertura vegetal	Espécies
Restauração inicial com eucaliptos	<i>Mimosa gemullata</i> , <i>Cabrlea canjerana</i> , <i>Enterolobium gummiferum</i> , <i>Dalbergia miscolobium</i> , <i>Stryphnodendron adstringens</i> , <i>Eriotheca gracilipes</i> , <i>Bowdichia virgilioides</i> e <i>Banisteriopsis sp.</i>
Restauração inicial sem eucaliptos	<i>Mimosa gemullata</i> , <i>Dalbergia miscolobium</i> , <i>Eriotheca gracilipes</i> , <i>Ocotea aciphylla</i> , <i>Cabrlea canjerana</i> , <i>Heteropterys byrsonimifolia</i> e <i>Kielmeyera lathrophytum</i>
Restauração avançada com eucaliptos	<i>Enterolobium gummiferum</i> , <i>Ocotea aciphylla</i> , <i>Piptocarpa sp.</i> , <i>Cabrlea canjerana</i> , <i>Eriotheca gracilipes</i> , <i>Mimosa pithecolobioides</i> , <i>Dalbergia miscolobium</i> , <i>Miconia pohliana</i> , <i>Caryocar brasiliense</i> , <i>Chamaecrista sp.</i> e <i>Stryphnodendron adstringens</i>
Restauração avançada sem eucaliptos	<i>Mimosa gemullata</i> , <i>Caryocar brasiliense</i> , <i>Ocotea aciphylla</i> e <i>Pouteria ramiflora</i>
Cerrado	<i>Caryocar brasiliense</i> , <i>Kielmeyera coriácea</i> , <i>Stryphnodendron adstringens</i> , <i>Duguetia furfuracea</i> , <i>Myrcia retorta</i> , <i>Kielmeyera lathrophytum</i> , <i>Myrsine guianensis</i> , <i>Dalbergia miscolobium</i> , <i>Blepharocalix salicifolius</i> , <i>Pouteria ramiflora</i> , <i>Cupania paniculata</i> , <i>Mimosa gemullata</i> e <i>Erythroxylum tortuosum</i>
Mata	<i>Sclerolobium rugosum</i> , <i>Diploptropis ferruginea</i> , <i>Copaifera langsdorffii</i> , <i>Siparuna guianensis</i> , <i>Nectandra sp.1 – Gemada</i> , <i>Casearia arbórea</i> , <i>Machaerium brasilense</i> , <i>Swartzia apétala</i> , <i>Ocotea pulchella</i> , <i>Jacaranda cf. macrantha</i> , <i>Nectandra pomaderroides</i> e <i>Casearia cf. lasiophylla</i>

Quadro 4A. Características químicas dos solos em faixas de reserva em diferentes estágios de restauração e manejo, mais os controles cultivo de eucaliptos, cerrado e mata, em diferentes épocas de amostragem.

Cobertura vegetal	Época Profundidade	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CMRA
Plantio de Eucaliptos		4,48	5,80	27,5	0,43	0,15	1,80	14,4	1200
Restauração inicial com eucalipto		4,38	2,95	28,8	0,40	0,10	2,13	16,1	1130
Restauração inicial sem eucalipto	<b>Ago/04</b>	4,53	2,70	29,5	0,35	0,10	1,70	13,2	1023
Restauração avançada com eucalipto		4,45	2,53	23,8	0,30	0,15	1,73	16,6	962
Restauração avançada sem eucalipto	<b>0-5 cm</b>	4,40	4,78	27,0	0,60	0,15	1,83	14,4	1110
Cerrado		4,68	2,85	30,3	0,53	0,15	1,28	10,6	1165
Mata		4,15	4,60	80,3	0,53	0,15	3,03	24,3	1247
Plantio de Eucaliptos		4,65	3,60	11,5	0,35	0,10	0,93	8,6	938
Restauração inicial com eucalipto		4,68	2,90	17,0	0,33	0,10	1,28	9,8	853
Restauração inicial sem eucalipto	<b>Ago/04</b>	4,60	2,60	8,8	0,35	0,13	1,30	9,2	818
Restauração avançada com eucalipto		4,60	2,85	15,8	0,33	0,10	1,68	12,1	806
Restauração avançada sem eucalipto	<b>5-20 cm</b>	4,70	2,60	11,0	0,35	0,10	1,38	9,9	835
Cerrado		4,63	3,73	9,3	0,45	0,10	1,18	9,8	932
Mata		4,60	5,83	6,5	0,50	0,13	1,05	10,8	935

Continua...

Quadro 4A. Continuação...

Cobertura vegetal	Época Profundidade	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CMRA
			--- mg dm <sup>-3</sup> ---		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				dag kg <sup>-1</sup>
Plantio de Eucaliptos		4,45	4,50	38,3	0,38	0,13	1,85	14,7	1518
Restauração inicial com eucalipto		4,55	4,85	26,3	0,50	0,10	1,83	15,0	1528
Restauração inicial sem eucalipto	<b>Dez/04</b>	4,70	3,45	10,3	0,40	0,10	1,05	8,5	1343
Restauração avançada com eucalipto		4,63	3,58	14,0	0,33	0,13	1,23	8,7	1443
Restauração avançada sem eucalipto	<b>0-5 cm</b>	4,63	1,75	8,0	0,33	0,10	1,23	10,0	1187
Cerrado		4,33	2,58	48,0	0,40	0,13	2,23	18,0	1482
Mata		4,48	3,95	18,3	0,43	0,15	1,88	16,8	1857
Plantio de Eucaliptos		4,33	5,85	55,8	0,43	0,13	2,35	19,9	1375
Restauração inicial com eucalipto		4,25	5,00	20,3	0,53	0,13	1,38	11,5	1311
Restauração inicial sem eucalipto	<b>Dez/04</b>	4,58	3,88	10,5	0,40	0,10	1,05	9,9	1376
Restauração avançada com eucalipto		4,65	1,93	11,8	0,35	0,10	1,35	9,3	1334
Restauração avançada sem eucalipto	<b>5-20 cm</b>	4,68	3,70	18,8	0,35	0,10	1,83	12,1	1068
Cerrado		4,65	2,55	23,8	0,50	0,15	1,68	13,1	1339
Mata		4,63	2,75	23,0	0,48	0,18	1,35	11,7	1550

pH em água - Relação 1:2,5; P e K - Extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H + Al - Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>; CMRA – Capacidade Máxima de Retenção de Água (Embrapa, 2000).

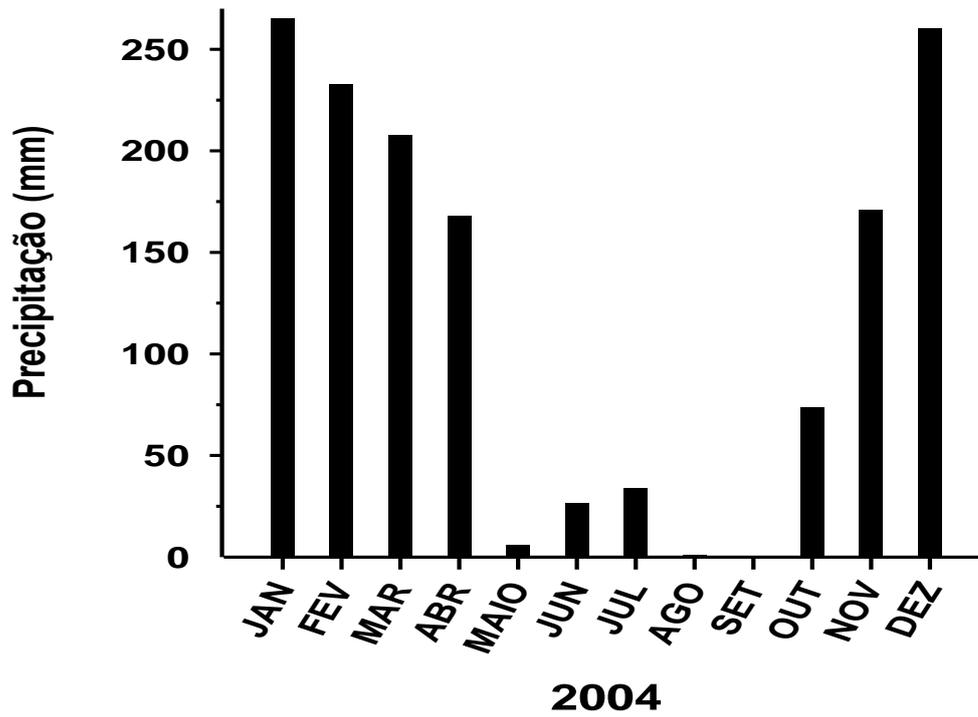


Figura 1A. Média dos dados de precipitação do ano de 2004 dos municípios de Itamarandiba e Capelinha no Alto Jequitinhonha – MG. Fonte: Estação meteorológica da ArcelorMittal Jequitinhonha.

## ANEXO B

Quadro 1B. Quadrado médio e sua significância, obtidos na análise de variância dos dados das características dos solos avaliados no ano 1 (agosto de 2005 e fevereiro de 2006).

Variáveis <sup>1/</sup>	Fontes de variação (Graus de liberdade)				
	Cobertura vegetal (6)	Época de amostragem (1)	Vegetação X época (6)	Resíduo (42)	Coef. de variação(%)
CMRA	33717,78	264099,2**	26461,62	35691,00	19,2
Umidade	8925,830*	2463,073	1130,561	3047,346	23,0
FDA	91715,15	51470,45**	8131,223*	11271,31	33,6
R <sub>basal</sub>	3,206960	0,1652723	4,637629	1,786229*	36,1
C <sub>mic</sub>	189969,8**	5119,168	7461,193	16483,68	33,4
qCO <sub>2</sub>	0,03633851	0,00157630	0,04324233	0,02651030	58,8
C <sub>org</sub>	896,6771**	345,0112	60,95873	97,15430	24,9
qMIC	0,2522702	0,4663722	0,07660758	0,1241167	35,4

\* = significativo a 5%, \*\* = significativo a 1%, pelo teste de Tukey

<sup>1/</sup> CMRA = capacidade máxima de retenção de água no solo; R<sub>basal</sub> – Respiração basal do solo; C<sub>mic</sub> = C da biomassa microbiana; qCO<sub>2</sub> = quociente metabólico; FDA = diacetato de fluoresceína hidrolizado; C<sub>org</sub> = C orgânico do solo; qMIC = quociente microbiano.

Quadro 2B. Quadrado médio e sua significância, obtidos na análise de variância dos dados das características dos solos avaliados no ano 2 (agosto de 2006 e fevereiro de 2007).

Variáveis <sup>1/</sup>	Fontes de variação (Graus de liberdade)				
	Cobertura vegetal (6)	Época de amostragem (1)	Vegetação X época (6)	Resíduo (42)	Coef. de variação(%)
CMRA	64840,84	285012,4**	28142,11	34041,78	19,2
Umidade	12192,26**	108022,5**	5909,510*	2494,641	18,8
FDA	102902,1**	56333,49*	4424,843	9900,009	35,4
R <sub>basal</sub>	7,479681	270,2535**	11,58726**	3,356775	47,3
C <sub>mic</sub>	112370,0**	102575,9**	18261,09	11708,74	40,6
qCO <sub>2</sub>	0,3277348	1,010879*	0,4105856*	0,1422706	83,1
C <sub>org</sub>	818,5964**	1316,983**	80,28893	82,75165	25,4
qMIC	0,2299044*	0,0006258247	0,1290467	0,07275059	35,8

\* = significativo a 5%, \*\* = significativo a 1%, pelo teste de Tukey

<sup>1/</sup> CMRA = capacidade máxima de retenção de água no solo; R<sub>basal</sub> – Respiração basal do solo; C<sub>mic</sub> = C da biomassa microbiana; qCO<sub>2</sub> = quociente metabólico; FDA = diacetato de fluoresceína hidrolizado; C<sub>org</sub> = C orgânico do solo; qMIC = quociente microbiano.

Quadro 3B. Quadrado médio e sua significância, obtidos na análise de variância dos dados das características dos solos avaliados no ano 3 (agosto de 2007 e fevereiro de 2008).

Variáveis <sup>1/</sup>	Fontes de variação (Graus de liberdade)				
	Cobertura vegetal (6)	Época de amostragem (1)	Vegetação X época (6)	Resíduo (42)	Coef. de variação (%)
CMRA	109505,9*	11222,15	13424,76	43768,71	19,4
Umidade	11864,04**	163086,2*	2066,583**	4453,411	23,3
FDA	18662,29	333882,9	19073,15	13449,93	37,6
R <sub>basal</sub>	21,28046**	8,591238	2,415942	3,795291	43,1
C <sub>mic</sub>	110164,9**	84089,20*	9059,750	18801,82	46,3
qCO <sub>2</sub>	0,3682020*	0,02710204	0,05297938	0,1451717	76,2
C <sub>org</sub>	1336,984**	481,6874	101,8097	357,4516	41,4
qMIC	0,1763929	0,07873301	0,07420521	0,1250571	50,7

\* = significativo a 5%, \*\* = significativo a 1%, pelo teste de Tukey

<sup>1/</sup> CMRA = capacidade máxima de retenção de água no solo; R<sub>basal</sub> – Respiração basal do solo; C<sub>mic</sub> = C da biomassa microbiana; qCO<sub>2</sub> = quociente metabólico; FDA = diacetato de fluoresceína hidrolizado; C<sub>org</sub> = C orgânico do solo; qMIC = quociente microbiano.

Quadro 4B. Teores de nutrientes da serrapilheira em faixas de reserva em diferentes estágios de restauração e manejo, mais os controles plantio de eucalipto, cerrado e mata.

Cobertura Vegetal	N	P	Na	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Fe	Zn	S
	----- g kg <sup>-1</sup> -----						----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
Plantio de Eucalipto	9,1	0,28	10,7	0,81	6,1	1,71	6,2	348	567	9,7	1,31
Restauração inicial com eucalipto	10,7	0,27	9,0	1,01	5,1	1,60	8,6	307	842	9,9	1,30
Restauração inicial sem eucalipto	11,3	0,41	9,9	1,18	6,3	1,52	10,6	233	928	11,5	1,32
Restauração avançada com eucalipto	11,6	0,32	10,3	0,94	4,9	1,69	8,4	330	939	10,7	1,36
Restauração avançada sem eucalipto	10,9	0,26	9,5	0,68	4,2	1,61	7,9	328	506	9,3	1,24
Cerrado	13,8	0,27	9,9	0,87	5,2	1,55	5,2	295	759	9,0	1,38
Mata	12,6	0,36	9,9	0,83	4,9	1,65	8,9	315	431	9,8	1,30

Quadro 5B. Conteúdo de nutrientes adicionados pela serrapilheira em faixas de reserva em diferentes estágios de restauração e manejo, mais os controles plantio de eucalipto, cerrado e mata.

Cobertura Vegetal	N	P	Na	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Fe	Zn	S
	----- kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> -----						----- g ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> -----				
Plantio de Eucalipto	24,9	0,77	29,3	2,21	16,8	4,67	16,9	952	1511	26,5	3,57
Restauração inicial com eucalipto	20,5	0,55	17,2	2,08	9,2	2,92	18,8	558	2035	18,0	2,58
Restauração inicial sem eucalipto	6,6	0,20	6,4	0,70	3,2	0,81	5,8	130	356	6,4	0,69
Restauração avançada com eucalipto	28,9	0,81	26,8	2,39	12,2	4,26	21,3	858	2486	26,7	3,40
Restauração avançada sem eucalipto	15,1	0,35	13,6	0,98	5,9	2,34	11,4	489	707	12,4	1,74
Cerrado	16,0	0,32	11,2	1,01	6,1	1,86	6,3	334	726	10,8	1,63
Mata	26,7	0,78	20,9	1,76	10,4	3,53	19,1	673	906	20,8	2,76

Quadro 6B. Características químicas dos solos em faixas de reserva em diferentes estágios de restauração e manejo, mais os controles cultivo de eucaliptos, cerrado e mata, em diferentes épocas de amostragem.

Cobertura vegetal	Época	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V
			-- mg dm <sup>-3</sup> --		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							---- % ----	
Plantio de Eucaliptos		4,83	2,90	13,3	0,33	0,25	2,28	16,7	0,61	2,88	17,3	78,9	3,6
Restauração inicial com eucalipto		5,15	0,85	9,3	0,35	0,25	1,53	9,3	0,62	2,15	9,9	70,4	6,6
Restauração inicial sem eucalipto	<b>ago/05</b>	4,73	1,68	15,0	0,30	0,23	1,98	11,1	0,56	2,54	11,6	77,5	5,1
Restauração avançada com eucalipto		4,70	1,87	9,7	0,25	0,23	2,00	14,8	0,50	2,50	15,3	80,2	3,3
Restauração avançada sem eucalipto		4,48	0,85	14,7	0,30	0,23	2,08	17,2	0,56	2,64	17,8	79,3	3,1
Cerrado		4,93	0,95	18,7	0,23	0,18	1,60	10,5	0,45	2,05	10,9	79,0	4,0
Mata		5,03	0,98	24,5	0,28	0,23	1,58	13,5	0,56	2,14	14,0	71,0	5,0
Plantio de Eucaliptos		5,23	1,98	22,0	0,55	0,43	1,98	9,9	1,03	3,01	10,9	65,7	9,6
Restauração inicial com eucalipto		4,43	1,70	18,5	0,15	0,13	2,08	16,7	0,32	2,40	17,0	86,1	1,9
Restauração inicial sem eucalipto		4,95	1,85	22,8	0,30	0,23	1,85	12,5	0,58	2,43	13,1	75,4	4,5
Restauração avançada com eucalipto	<b>fev/06</b>	4,65	2,48	19,3	0,33	0,25	1,65	11,8	0,62	2,27	12,4	72,6	5,0
Restauração avançada sem eucalipto		4,73	3,23	26,0	0,43	0,37	2,53	16,7	0,87	3,39	17,5	73,9	5,7
Cerrado		4,65	1,20	18,3	0,35	0,23	2,53	21,3	0,62	3,15	21,9	80,5	2,9
Mata		4,65	1,40	19,8	0,48	0,33	2,30	12,4	0,85	3,15	13,3	71,3	7,0
Plantio de Eucaliptos		4,78	2,23	18,3	0,63	0,38	1,98	12,8	1,05	3,02	13,8	65,4	7,7
Restauração inicial com eucalipto		5,05	1,53	15,5	0,28	0,23	1,38	11,2	0,54	1,91	11,7	72,4	5,0
Restauração inicial sem eucalipto		4,53	1,73	22,3	0,33	0,25	2,08	16,5	0,63	2,71	17,1	76,1	3,9
Restauração avançada com eucalipto	<b>ago/06</b>	4,65	2,25	16,3	0,53	0,30	1,83	13,1	0,87	2,69	13,9	67,9	6,2
Restauração avançada sem eucalipto		4,35	2,75	28,7	0,50	0,30	2,25	15,4	0,87	3,12	16,3	71,4	5,8
Cerrado		4,73	1,30	19,0	0,35	0,23	1,78	10,8	0,62	2,40	11,4	74,3	5,4
Mata		4,83	1,55	19,7	0,48	0,30	1,53	10,6	0,83	2,35	11,5	62,8	7,8

Continua...

Quadro 6B. Continuação...

Cobertura vegetal	Época	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V
			-- mg dm <sup>-3</sup> --		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					----- % -----			
Plantio de Eucaliptos		3,50	1,30	19,3	0,50	0,23	2,03	29,4	0,77	2,80	30,1	72,1	2,6
Restauração inicial com eucalipto		3,53	0,80	19,3	0,35	0,20	1,33	19,6	0,60	1,92	20,2	68,6	3,0
Restauração inicial sem eucalipto		3,50	1,29	20,3	0,45	0,20	2,28	27,4	0,70	2,98	28,1	76,2	2,6
Restauração avançada com eucalipto	<b>fev/07</b>	3,55	1,90	20,3	0,40	0,23	1,80	25,1	0,68	2,48	25,8	72,6	2,6
Restauração avançada sem eucalipto		3,68	1,93	22,7	0,48	0,25	2,30	25,8	0,78	3,08	26,6	74,3	3,1
Cerrado		3,67	0,75	22,5	0,35	0,23	1,65	22,1	0,63	2,28	22,7	70,7	2,9
Mata		3,60	1,13	20,5	0,45	0,25	1,88	20,7	0,75	2,63	21,5	66,3	4,0
Plantio de Eucaliptos		3,65	1,28	24,8	0,53	0,30	1,60	32,5	0,89	2,49	33,4	64,5	3,3
Restauração inicial com eucalipto		4,10	1,38	38,0	0,43	0,28	1,60	36,3	0,80	2,40	37,1	67,1	2,3
Restauração inicial sem eucalipto		3,53	1,83	22,4	0,43	0,23	1,83	23,7	0,71	2,54	24,4	72,5	2,9
Restauração avançada com eucalipto	<b>ago/07</b>	3,58	1,78	25,0	0,38	0,23	1,58	22,8	0,66	2,24	23,5	69,0	2,9
Restauração avançada sem eucalipto		3,43	0,77	27,5	0,48	0,23	1,57	28,2	0,77	2,34	29,0	66,8	2,7
Cerrado		3,83	1,55	31,8	0,40	0,25	2,00	25,7	0,73	2,73	26,5	71,4	3,0
Mata		3,43	1,08	25,5	0,48	0,30	2,40	31,1	0,84	3,24	31,9	73,0	2,8
Plantio de Eucaliptos		4,55	3,38	34,7	0,40	0,20	2,08	34,7	0,69	2,76	35,3	74,6	2,1
Restauração inicial com eucalipto		4,70	1,43	33,3	0,43	0,30	1,43	30,0	0,81	2,24	30,8	64,2	2,6
Restauração inicial sem eucalipto		4,68	2,03	27,3	0,58	0,28	1,68	27,8	0,92	2,59	28,7	64,6	3,2
Restauração avançada com eucalipto	<b>fev/08</b>	4,35	2,48	29,0	0,43	0,23	1,75	31,9	0,72	2,47	32,6	70,7	2,3
Restauração avançada sem eucalipto		4,30	2,30	27,0	0,40	0,18	2,40	34,9	0,64	3,04	35,5	77,6	1,8
Cerrado		4,35	1,38	19,7	0,43	0,23	1,88	27,8	0,70	2,58	28,5	72,5	2,5
Mata		4,03	1,73	26,3	0,50	0,28	2,10	30,0	0,84	2,94	30,8	66,8	3,3

pH em água - Relação 1:2,5; P e K - Extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H + Al - Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>; SB – Soma de bases; t – CTC efetiva; T – CTC a pH 7,0; m – saturação de alumínio; V – saturação por bases.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)