

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS EM SOLOS  
DEGRADADOS POR MINERAÇÃO EM ECOSSISTEMA  
AMAZÔNICO EM RECUPERAÇÃO**

**Marcela Midori Yada**

Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2011

Y12a Yada, Marcela Midori  
Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por  
mineração em ecossistema amazônico em recuperação/ Marcela Midori  
Yada -- Jaboticabal, 2011  
iii, 66 f. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade  
de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011

Orientador: Wanderley José de Melo

Banca examinadora: Mara Cristina Pessoa da Cruz, Elcio Liborio

Balota

Bibliografia

1. Cassiterita. 2. Mineração. 3. Qualidade do solo.  
4. Sustentabilidade. I. Título. II. Jaboticabal - Faculdade de Ciências  
Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.41:632.125

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da  
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Campus de  
Jaboticabal.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS**  
**CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS EM SOLOS  
DEGRADADOS POR MINERAÇÃO EM ECOSSISTEMA  
AMAZÔNICO EM RECUPERAÇÃO**

**Marcela Midori Yada**

**Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho – 2011

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

**MARCELA MIDORI YADA**, nascida em Londrina - PR, aos 03 de outubro de 1987. Formada em agronomia pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Foi bolsista da Capes, em 2009, através do programa Brafagri (cooperação Brasil-França) cursando Agronomia na École Nationale Supérieure de Toulouse (ENSAT) em Toulouse-França. Foi bolsista de projeto de extensão em assessoria estatística à comunidade pela UEL. Participou de projeto na UEL na área de fitopatologia com o professor Dr. Martim Homechin (in memória) junto com a Cooperativa Integrada em estudos de controle biológico de *Colletotrichum gloesporioides* na cultura do caqui. Foi bolsista do CNPq pelo Instituto Agrônomo do, atuando na área de microbiologia do solo, por 4 anos, orientada pelo Dr. Élcio Liborio Balota. Em 2010, ingressou no curso de pós-graduação em agronomia – mestrado em ciência do solo – pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal - UNESP, bolsista CNPq, sendo orientada pelo Professor Dr. Wanderley José de Melo.

## **Agradeço**

À Deus, por meus sonhos realizados.

## **Dedico**

Aos meus pais George Mitsuo Yada e Inês Fumiko Ubukata Yada e ao meu irmão George Mistuo Yada Junior, pelo apoio nas horas difíceis, pela compreensão e sustentação nos momentos em que mais precisei. Ao meu namorado Fábio Luiz Checchio Mingotte, meu companheiro, incentivando-me para prosseguir e nunca desanimar.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, primeiramente, por me amparar nos momentos mais difíceis e estar sempre comigo nos momentos mais felizes.

À minha família, apesar da distância, pelo carinho transmitido sempre.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, pela disponibilidade da infra-estrutura necessária a realização desse trabalho.

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos através do programa de pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo).

Ao meu orientador Prof. Dr. Wanderley José de Melo, pelos ensinamentos, orientação, amizade, e por sempre estar disposto a ajudar e esclarecer minhas dúvidas;

À Dra. Regina Márcia Longo e aos membros da empresa Brascan pela idealização do trabalho de recuperação da área, fornecendo as amostras de solo para as análises em Jaboticabal.

Ao IBAMA, pela permissão da realização do trabalho dentro da Floresta Nacional do Jamari.

Ao Professor Dr. Antônio Sérgio Ferraud pela disposição na orientação e assessoria nas análises estatística dos dados.

Aos membros da Comissão Examinadora do Exame Geral de Qualificação, Prof. Dr. Wanderley José de Melo, Prof. Dr. Antônio Sérgio Ferraud e Prof. Dra. Mara Cristina Pessoa, pelas valiosas sugestões que me ajudaram no aprimoramento do artigo científico e finalização da Dissertação de Mestrado.

Aos técnicos José Roberto Chelly e Sueli A.S. Leite e demais funcionários do laboratório de bioquímica, pela colaboração na condução das análises laboratoriais.

Aos amigos Lauro, Célia, Fabiane, Rosa, Valter, Livia, Cristina e Milena pelo carinho, amizade e apoio em todos os momentos.

Aos meus colegas pós graduandos Iolanda, Elzane, Ana Lúcia, Luciana, Ana Carolina, Paula, Paolo, Otávia, Mayara, Flávio e Rafael pela amizade e pela valiosa ajuda.

A todos que, direta ou indiretamente, participaram deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	ii
<b>SUMMARY</b> .....	iii
<b>CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS</b>	
1.1. Introdução .....	1
1.2. Áreas degradadas.....	2
1.3. Impactos gerados pela mineração .....	3
1.4. Recuperação de áreas degradadas por mineração .....	4
1.5. Qualidade do solo .....	7
1.6. Referências .....	9
 <b>CAPÍTULO 2 – Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração em ecossistema amazônico em recuperação na mina Serra da Onça</b>	
2.1. Introdução .....	16
2.2. Material e Métodos.....	17
2.3. Resultados e Discussão.....	23
2.4. Conclusões .....	34
2.5. Referências .....	35
 <b>CAPÍTULO 3 – Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração em ecossistema amazônico em recuperação na mina Santa Maria</b>	
3.1. Introdução .....	43
3.2. Material e Métodos.....	44
3.3. Resultados e Discussão.....	50
3.4. Conclusões .....	61
3.5. Referências .....	62

## **ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS EM SOLOS DEGRADADOS POR MINERAÇÃO EM ECOSISTEMA AMAZÔNICO EM FASE DE RECUPERAÇÃO**

**RESUMO** - Os recursos naturais fazem da região amazônica um importante pólo para a agricultura e a exploração mineral. Entretanto, a falta de moderação na exploração causa a diminuição da matéria orgânica do solo com perda de seu potencial produtivo ou de regeneração da mata nativa. A recuperação destas áreas é de fundamental importância até mesmo para a manutenção da atividade física, química e biológica do solo. O plano de recuperação das áreas degradadas iniciou em 1997, uma série de pesquisas com a finalidade de definir estratégias para recuperação da área degradada por mineração de cassiterita na Floresta Nacional do Jamari, em Rondônia. As áreas foram classificadas em diferentes níveis de recuperação. O presente trabalho teve por objetivo avaliar os atributos químicos e bioquímicos nos solos das áreas degradadas pela mineração de cassiterita submetidos aos processos de recuperação nas minas Serra da Onça e Santa Maria. As análises dos atributos químicos e bioquímicos do solo contribuem para a caracterização das áreas degradadas por mineração em processo de recuperação podendo identificar áreas que estão em estágio avançado de recuperação comparado com as áreas de mata e de capoeira.

**Palavras chave:** cassiterita, mineração, qualidade do solo, sustentabilidade.



**CHEMICAL AND BIOCHEMICAL ATTRIBUTES OF SOILS DEGRADED BY MINING  
AND SUBMITTED TO RECUPERATION IN THE AMAZON BASIN**

**SUMMARY** - The situation and the environmental resources of Amazon Basin make it import for agriculture and mineral extraction, both causing the destruction of soil organic matter with the loss of the soil fertility, that it became improper to agriculture of is not able to support the restore of the native forest. The recuperation of these areas is important for the maintenance of the physical, chemical and biological activity of the soil and plant growth. The plan of recuperation of degraded areas started in 1997, in a research with the purpose to define strategies for a process of recuperation of the area degraded by mining of tin ore in the National Forest of Jamari, Rondônia state. Different areas had been classified in according to their level of recuperation. The objective of this work was to evaluate chemical and biochemical attributes in soils of degraded areas submitted to mining of tin ore in different stages of restoring process in Amazon Basin. The analyses of quantification of chemistry and biochemistry attributes in degraded soils submitted to recuperation program contribute for the characteristic of the different areas.

**Keywords:** tin ore, mining, soil quality, sustainability.

## **CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **1.1. Introdução**

Na região amazônica predominam solos com baixa capacidade de troca catiônica. Isso se deve ao fato de que a fração argila só contém minerais muito intemperizados como caulinita, gibbsita e quartzo. Por isso, a fertilidade do solo é baseada somente na matéria orgânica do horizonte superficial, constituído pelo húmus, fonte de nutrientes para as plantas.

Por ser uma região muito rica e com alto potencial econômico para exploração das madeiras de lei e dos minérios no subsolo, a Região Amazônica vem sendo devastada de maneira gradativa e incontrolável. Assim, as atividades de exploração nos solos dessa região devem ser cuidadosamente planejadas, e as práticas de conservação do solo devem ser aplicadas desde o início do uso, para preservar o potencial produtivo do solo para as gerações futuras.

As atividades mineradoras, embora importantes do ponto de vista econômico, são práticas que trazem sérias consequências para o ambiente. As áreas tornam-se degradadas, perdendo a vegetação nativa e a fauna, além da remoção ou alteração da camada fértil do solo, causando forte impacto qualitativo e quantitativo na atividade microbológica do solo. Muitas vezes, a atividade mineradora leva a uma intensa geração de subprodutos e rejeitos que resultam em depósitos improdutivos sobre o solo.

A revegetação dos solos dessas áreas para recompor as características químicas, físicas e biológicas, permitindo o desenvolvimento de espécies vegetais e a atividade microbiana, é uma prática muito recomendada para o estabelecimento e sucessão da microbiota, necessitando de planejamento e métodos específicos para cada região. Além disso, exige acompanhamento periódico, com reposição das espécies vegetais e avaliação do nível de fertilidade do solo, da composição florística, do potencial de germinação das sementes nativas do banco de

sementes presentes na mata nativa e da qualidade da água nos cursos naturais e nos lagos artificiais gerados pela mineração.

Os indicadores microbiológicos regulam os processos ecológicos do solo e refletem as condições de manejo. Assim, são úteis para determinação dos efeitos positivos ou negativos na qualidade do solo e a sustentabilidade das práticas agrícolas.

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os atributos químicos e bioquímicos em solos de área degradada por mineração de cassiterita em recuperação em ecossistema amazônico nas minas Serra da Onça e Santa Maria.

## **1.2. Áreas degradadas**

Degradação, de acordo com o Manual de Diretrizes para Recuperação de Áreas Degradadas ocorre "... quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada, e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico forem alterados, juntamente com a inviabilização sócio-econômica da área".

Segundo PARROTA (1992), áreas degradadas são caracterizadas por solos empobrecidos e erodidos, instabilidade hidrológica, produtividade primária e diversidade biológica reduzidas.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) adotou um conceito mais amplo para "degradação da Terra", que envolve a degradação dos solos, recursos hídricos, vegetação e biodiversidade, assim como a redução da qualidade de vida da população afetada.

A mineração produz impactos ambientais significativos em todas as suas fases, desde o início até o fechamento da mina. Provoca danos à vegetação, à paisagem, aos mananciais de água, à fauna original e ao solo (RIBEIRO, 2000). O abandono dessas áreas após a extração dos minérios representa prejuízo ecológico e econômico, já que estão situadas principalmente em áreas de florestas tropicais, ecossistemas cujo equilíbrio pode ser facilmente rompido, e é dificilmente recuperado (FRANÇA, 1991).

### 1.3. Impactos gerados pela mineração de estanho

O estanho é um metal muito procurado e utilizado em vários processos industriais como a galvanoplastia, formação de ligas (bronze e soldas), fabricação de folhas-de-flandres, revestimento de dutos de cobre, manufatura de latas e químicos empregados na indústria de inseticidas e como agentes retardantes de chama na indústria de tintas e resinas (CESBRA, 2004).

Na América do Sul, os países Argentina, Bolívia, Brasil e Peru destacam-se como potenciais produtores de estanho, elemento químico de símbolo Sn, classificado na categoria dos metais não-ferrosos e constituinte (entre 60 a 79%) da cassiterita, bióxido estânico ( $\text{SnO}_2$ ). A gênese da cassiterita está relacionada a processos de diferenciação magmática associados às rochas graníticas. Os depósitos originários da erosão, transporte e sedimentação dessas rochas primárias mineralizadas, destacam-se como importantes fontes econômicas de cassiterita (RODRIGUES, 2001).

No Brasil, as principais jazidas e minas estão localizadas na região Norte do país, particularmente nos estados do Amazonas e Rondônia, sendo exploradas a céu aberto e gerando fortes impactos ambientais.

Em geral, a mineração provoca um conjunto de efeitos não desejados, que podem ser denominados de externalidades, tais como: alterações ambientais, conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano. Estas externalidades geram conflitos com a comunidade, que normalmente têm origem quando da implantação do empreendimento, pois o empreendedor não se informa sobre as expectativas, anseios e preocupações da comunidade que vive nas proximidades da empresa de mineração (BITAR, 1997).

Os impactos sobre o solo, a vegetação e os recursos hídricos presentes no sistema se verificam na forma de alterações estéticas, físicas, químicas e biológicas, dependendo, logicamente, das características da geologia, vegetação, relevo e solo locais, bem como do tipo de lavra e minério a ser extraído (SANCHES, 2002). Os diferentes processos e atividades que conduzem à degradação de um solo resultam em substratos com características que decorrem, principalmente, do tipo e da composição

da rocha matriz, dos processos de degradação, da forma e do tempo de exposição do material remanescente.

A extração de cassiterita, feita a céu aberto, utiliza vários equipamentos cujo tráfego altera sensivelmente as características do solo a ser minerado. Os impactos diretos no solo e no subsolo são causados pelas escavações, depósitos de materiais estéreis e rejeitos, construção de estradas de acesso e imposição de superfícies diferentes do relevo original. Consequentemente causam impactos topográficos, edáficos, florísticos e hídricos, na área de influência direta do empreendimento (LONGO et al., 2005).

As atividades básicas da mineração são lavra e beneficiamento. A lavra é a retirada do material de seu local original e seu transporte até as plantas de beneficiamento, que são complexos de máquinas e equipamentos cuja finalidade é a concentração final da cassiterita. O processo de lavra resulta na inversão da estratigrafia natural do solo, onde os horizontes menos intemperizados, que se localizam a maior profundidade, são depositados superficialmente, quando do preenchimento de uma trincheira já explorada. Esta prática normalmente resulta em substratos que não apresentam características físicas e químicas adequadas para sustentar vegetação (SANCHES, 2002).

A vegetação é um fator fortemente impactado pelo processo de lavra. Além da sua remoção para a extração do minério, são alteradas as fontes de propágulos, os agentes de dispersão, as condições microclimáticas e o substrato para o estabelecimento das raízes. Quando um ou mais desses fatores estão ausentes ou sem condições de reagir prontamente, o processo como um todo pode ser mais lento. Neste caso, os mecanismos biológicos e, ou, fatores abióticos estão comprometidos, não permitindo que a dinâmica da sucessão natural se processe (SIQUEIRA, 1994).

#### **1.4. Recuperação de áreas degradadas por mineração**

As florestas tropicais são muito importantes para o nosso planeta. A exploração descontrolada e indiscriminada em áreas de florestas como a Amazônica pode causar consequências ecológicas definitivas, como a destruição de bancos genéticos, perda de solo por erosão, alterações climáticas e dos ciclos hidrológicos, dentre outras. Assim, a

exploração controlada e racional dos minérios da região Amazônica pode ser aceitável, desde que as áreas degradadas resultantes destas atividades passem a ser adequadamente recuperadas.

Durante a década de 80, aumentaram sensivelmente as críticas relativas às condições de mineração no Brasil e, com isso, foram criadas leis específicas que refletem a preocupação da população com o aspecto ambiental da mineração. Desde 1988 existe a exigência legislativa (artigo 225 da Constituição Brasileira) de que as áreas degradadas pela mineração no país sejam recuperadas de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente e na forma da lei.

A recuperação de determinada área degradada pela mineração pode ser definida como o conjunto de ações necessárias para que a área volte a estar apta para algum uso produtivo em condições de equilíbrio ambiental. Entretanto, deve ser planejada antes da implantação do empreendimento, a fim de prever a desativação das atividades mineradas e a reabilitação dos terrenos remanescentes. Segundo MIAO & MARRS (2000), deve-se fazer uma opção biológica, associada às práticas não biológicas, que envolva aspectos como o preparo do substrato, implantação de uma comunidade de espécies vegetais e a restauração da macrofauna e da microbiota edáfica.

Quando se fala em recuperar solos degradados consideram-se áreas em que o mau uso e/ou o uso destas como áreas de empréstimo as colocou em estado de degradação tal, que a fixação da vegetação é muito lenta, ou muitas vezes até mesmo impedida (ALVARENGA & SOUZA, 1995). A recuperação de áreas degradadas é uma atividade complexa, cujos resultados aparecem de modo lento, especialmente em áreas de mineração a céu aberto, onde ocorre a retirada da cobertura vegetal original e do solo e a destruição dos bancos de sementes. O novo ambiente formado possui um substrato mineral com características físicas, químicas e biológicas totalmente distintas do sistema original.

Um aspecto fundamental na recuperação de áreas degradadas pela mineração é o conhecimento do solo ou do substrato no qual essa recuperação tem que ser conduzida. Os procedimentos específicos na recuperação dessas áreas dependem essencialmente das propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do solo ou substrato, que deverá apresentar condições adequadas para o desenvolvimento das

plantas (FONTES, 1991). O processo de recuperação é dificultado em decorrência de um ou mais problemas como níveis tóxicos de metais, altas concentrações de sais solúveis, valores extremos de pH, deficiências nutricionais, baixa retenção de água, altas temperaturas na superfície, baixa capacidade de troca de cátions, atividade biológica restrita (WILLIAMS et al., 1990).

Assim, a preocupação inicial do processo de recuperação não é a implantação das mudas no campo, mas sim devolver ao solo as mínimas condições necessárias para o estabelecimento e desenvolvimento destas mudas, sem desperdício de tempo e recursos para a obtenção de resultados positivos (LONGO et al., 2005). A recuperação da fertilidade do solo pode ser iniciada através do uso de corretivos do solo, fertilizantes minerais e orgânicos, e adubação verde.

Os métodos de recuperação aplicados relacionam-se com a escolha do processo de mineração, drenagem, desvio de águas da frente de lavra, controle de erosão (compactação, drenagem, replantio), controle de infiltrações, recuperação de áreas mineradas, selagem das minas subterrâneas exauridas e sistemas de disposição controlada das pilhas de rejeito estéril. O desenvolvimento do equilíbrio original após uma perturbação, raramente acontece em curto espaço de tempo, podendo levar até 50 anos em solos sob mineração (BROWN & LUGO, 1994).

A recuperação do potencial produtivo pode ser obtida com o uso de sistemas de manejo com plantas recuperadoras de solo, como leguminosas, que, aumentando o teor da matéria orgânica, decorrente de seu rápido crescimento, promovem a recuperação das características físicas, químicas e biológicas do solo (BAYER & MIELNICZUK, 1997).

Especial cuidado deve ser dado ao monitoramento das áreas revegetadas, pois após a fase de plantio serão necessárias observações periódicas da área recuperada a fim de evitar retrocesso no processo. Os fatores mais importantes a serem monitorados são condições do terreno, germinação da semente, cobertura, estado nutricional da vegetação e controle de pragas e doenças.

RUIVO et al. (2001) avaliaram a reabilitação de áreas mineradas submetidas à revegetação e destacaram que, devido aos baixos teores de carbono, nitrogênio e fósforo do substrato, há necessidade de maior aporte de nutrientes e um estímulo à

atividade biológica para que ocorra recuperação mais rápida desses solos alterados. Resultados semelhantes também foram obtidos por ROS et al. (2003), estudando o efeito da aplicação de composto orgânico sobre os atributos químicos e biológicos de solos degradados de regiões semi-áridas.

MULLIGAN (1990), avaliando o sucesso da reabilitação de áreas de mineração de bauxita, constatou aumento na biomassa microbiana do solo. A adoção desse manejo melhorou as características iniciais do solo, permitiu maior aporte de matéria orgânica e o estabelecimento de um microclima mais favorável ao desenvolvimento sustentável.

### **1.5. Qualidade do solo**

Entre os processos vitais à funcionalidade do ecossistema, destacam-se as formas e os ciclos dos elementos no sistema solo-planta, em especial do C, que exerce função reguladora nas transformações e ciclagem dos demais elementos no solo. As transformações dos materiais orgânicos são catalisadas pela atividade microbiana do solo e desempenham papel essencial na reabilitação de solos degradados (SRISVASTAVA & SINGH, 1991). Interferências antrópicas drásticas, como a mineração, causam grandes perdas da matéria orgânica, o que ocasiona diminuição da atividade microbiana, pois a matéria orgânica é fonte de energia para a população microbiana do solo e de nutrientes para esta e para as plantas, sendo por isso considerada um atributo-chave para o sucesso da reabilitação de solos minerados (FRANCO ET AL., 1994; WILLIAMSON & JOHNSON, 1994).

A multiplicidade de fatores químicos, físicos e biológicos que controlam os processos bioquímicos e suas variações em função do tempo e espaço, aliados à complexidade do solo, estão entre os fatores que dificultam a capacidade de acessar a qualidade e identificar variáveis indicadoras do funcionamento eficiente do solo. Por essa razão, um conjunto de indicadores englobando atributos físicos, químicos e biológicos deve ser utilizado nas análises de qualidade do solo (DORAN & PARKIN, 1994), uma vez que nenhum indicador isoladamente irá descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo.



Como o estabelecimento de diferentes agroecossistemas influencia diretamente a biota do solo e os processos realizados por ela, o uso de indicadores bioquímicos é um componente importante dos estudos envolvendo a avaliação da qualidade dos solos agrícolas, devido à sensibilidade para detectar, em etapa anterior em comparação a outros atributos físicos e químicos, alterações desse ambiente em função do uso e manejo, para melhorar ou degradar a qualidade do solo (MATSUOKA et al., 2003; SILVA et al., 2009).

A biomassa microbiana do solo é a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo e é constituída, principalmente, por fungos e bactérias. Por outro lado, alterações significativas na biomassa microbiana podem ser detectadas com maior antecedência quando comparadas a mudanças na matéria orgânica e propriedades químicas (TURCO et al., 1994), pois a biomassa é a fração mais dinâmica do C orgânico do solo. Em solos de floresta, em agrossistemas e em áreas rehabilitadas, a biomassa microbiana é um indicador rápido do estado e da mudança das propriedades edáficas.

A análise de solo com relação ao pH, capacidade de troca catiônica, condutividade elétrica, teor de matéria orgânica e concentração de nutrientes são indicadores do estado químico do solo. Em solos degradados, os baixos teores de matéria orgânica podem determinar menor disponibilidade de nutrientes para as plantas.

As enzimas do solo participam das reações metabólicas, responsáveis pelo funcionamento e pela manutenção dos seres vivos, e também desempenham papel fundamental, atuando como catalisadoras de várias reações que resultam na decomposição de resíduos orgânicos (ligninases, celulasas, proteases, glucosidases, galactosidases), ciclagem de nutrientes (fosfatases, amidases, urease, sulfatase), formação da matéria orgânica e da estrutura do solo (MENDES & VIVALDI, 2001).

A respiração microbiana apresenta grande potencial de utilização como indicador da qualidade de solos em áreas degradadas, relacionando-se com a perda de carbono orgânico do sistema solo-planta para a atmosfera, reciclagem de nutrientes, resposta a diferentes estratégias de manejo do solo (PARKIN et al, 1996). Da mesma forma que outras atividades metabólicas, a respiração depende do estado fisiológico das células e

é influenciada por vários fatores, como umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes.

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) é um índice que expressa a relação entre a respiração basal do solo e a biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1993). Indica que comunidades microbianas sob estresse ou expostas a qualquer tipo de perturbação serão menos eficientes em converter o C assimilado em nova biomassa, pois uma maior parte do C deverá ser utilizada para fornecer energia para processos metabólicos necessários à manutenção da atividade celular. Por conseguinte, sob tais condições de estresse ou distúrbio, o  $qCO_2$  será mais elevado quando comparado a solos mais estáveis ou mais próximos do seu estado de equilíbrio.

## 1.6. Referências

ALVARENGA, M. I. N.; SOUZA, J. A. **Atributos do solo e o impacto ambiental**. Lavras, Escola Superior de Lavras, 1995. 140 p.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for  $CO_2$  ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetado por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n.1, p. 105-112, 1997.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas para mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997.193 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 1997.

BROWN, S.; LUGO, A. E. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. **Restoration Ecology**, Tucson, v. 2, n. 2, p. 97-111, 1994.

CESBRA. Companhia Estanífera do Brasil. **Qualidade em estanho**. Disponível em: <[http:// www.cesbra.com.br](http://www.cesbra.com.br)>. Acesso em: 18 jan 2011.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; ETEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of American, 1994, p. 3-21.

FONTES, M. P. F. Estudo pedológico reduz impacto da mineração. **Revista Cetesb de Tecnologia e Ambiente**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 58-61, 1991.

FRANÇA, J. T. **Estudos da sucessão secundária em áreas contíguas a mineração de cassiterita na Floresta Nacional do Jamari-RO**. 1991. 169 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – ESALQ, Piracicaba, 1991.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; FARIA, S. M. Revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas - PA com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1. SIMPÓSIO NACIONAL: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2. SOBRADE, 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1994. p. 679.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 101-107, 2005.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste- MT. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 425-433, 2003.

MENDES, I. C.; VIVALDI, L. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob mata de galeria na região do DF. In: RIBEIRO, J.F.; FONSECA, C.E.L. da; SOUZA- SILVA, J.C. (Ed.). **Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de Galeria**. Planaltina: Embrapa- CPAC, 2001, p.664-687.

MIAO, Z.; MARRS, R. Ecological restoration and land reclamation in open-costa mines in Shanxi Province, China. **Journal of Environmental Management**, Arizona, v. 59, n. 3, p. 205-215, 2000.

MULLIGAN, D. Topsoil management and rehabilitation success at the weipa bauxite mine. In: AMEEF INNOVATION CONFERENCE OF THE TRESHOLD: RESEARCH INTO PRACTICE, **Proceedings...** Melbourne, 1990, p.67-74.

PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAINO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p. 231-245.

PARROTTA, J. A. The role of plantation forest in rehabilitation degraded tropical ecosystems. **Agriculture Ecosystem Environment**, Arizona, v. 41, n. 1, p.115-133, 1992.

RIBEIRO, B. F. Mineração: efeitos no meio ambiente e saúde humana. **Minérios e ambiente**. Campinas: UNICAMP, 2000. p.325-339.

RODRIGUES, A. F. S. Estanho. In: DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (Ed.). **Balanço mineral brasileiro**. Brasília: DNPM, 2001. p.1-29.

ROS, M.; HERNANDEZ, M. T.; GARCIA, C. Soil microbial activity after restoration for a semiarid soil by organic amendments. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 35, n. 3, p. 463-469, 2003.

RUIVO, M. L. P.; BARROS, N. F.; SCHAEFFER, C. E. R. Vegetação, biomassa microbiana e características químicas do solo como indicadores de reabilitação de áreas mineradas na Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 36, n. 1, p. 137-160, 2001.

SANCHES, A. C. **Adubação fosfatada e inoculação de leguminosas com *Bradyrhizobium* na recuperação de solo degradado pela mineração de cassiterita na região amazônica.** 2002. 96 f. Tese (Doutorado em agronomia)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2002.

SILVA, L. G.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado sob plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 613-620, 2009.

SIQUEIRA, J. O. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental.** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994, 142 p.

SRIVASTAVA, S. C.; SINGH, J. S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: effects of alternate land-user and nutrient flux. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 23, n. 2, p. 117-124, 1991.

TURCO, R. F.; KENNEDY, A. K.; JAWSON, M. D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison, Soil Science Society of America, 1994, p.107-124.

WILLIAMS, D. D.; BUGIN, A.; REIS, J. L. B. C. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação.** Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, 1990. 96p.

WILLIAMSON, J.C. & JOHNSON, D.B. Conservation of mineral nitrogen in restored soils at opencast coal mine sites: II. The effects of inhibition of nitrification and organic amendmensts on nitrogen losses and soil microbial biomass. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 45, n. 3, p. 319-326, 1994.

## **CAPÍTULO 2 – Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração em ecossistema amazônico em recuperação na mina Serra da Onça**

**RESUMO** - A mineração de cassiterita na mina Serra da Onça, localizada na Floresta Nacional do Jamari, estado de Rondônia, causou profundas alterações físicas, químicas e biológicas nos solos. Em 1997, foi iniciado um programa de recuperação, que consistiu na modelagem do terreno, construção de terraços, plantio de leguminosas e, posteriormente, plantio de espécies nativas. O presente trabalho teve por objetivo avaliar os atributos químicos e bioquímicos dos solos das diferentes áreas da mina Serra da Onça em recuperação. Amostras de solo foram coletadas em cada área, na profundidade de 0-20 cm e em áreas de mata nativa e sob vegetação de capoeira localizadas no entorno para comparação. Foram avaliadas a respiração basal, o carbono da biomassa microbiana (CBM), o quociente metabólico, a atividade das enzimas celulase, arilsulfatase, fosfatase ácida e alcalina, desidrogenase e potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína, concentração de estanho total e atributos de fertilidade do solo. Os indicadores químicos e bioquímicos utilizados permitem avaliar as estratégias adotadas nos processos de recuperação do solo sob diferentes áreas. As áreas 1 (PL1N4), 3 (PL3N5), 4 (RS4N5), 6 (RC6N5/6), 7 (PL7N6), 8 (PL8N6) e 10 (PL10N6) estão em estágio avançado de recuperação ao compará-las com as áreas de mata e de capoeira, por meio das análises multivariadas, quanto às características de atividade enzimática (arilsulfatase, desidrogenase, hidrólise do FDA), de respiração basal, de carbono da biomassa microbiana e de quociente metabólico no solo.

**Palavras-chave:** cassiterita, atividade enzimática, respiração basal, quociente metabólico, biomassa microbiana.

## **Chemical and biochemical attributes of soils degraded by mining and submitted to recuperation in Serra da Onça in the amazon basin**

**SUMMARY** - The tin mining in Serra da Onça, National Forest of Jamari, state of Rondônia, caused chemical, physical and biological changes in the area. In 1997, the area was divided in plots and a recuperation processes were started, that consisted in modeling the land, with construction of terraces, plantation of leguminous and, later, plantation of native plants. The objective of this work was to evaluate physical, chemical and biological properties in soils at different stages of recuperation, which were classified in levels between 1 and 7. The soil samples were taken in these areas, 0-20 cm depth, and under undisturbed forest and secondary forest to compare. The soil was evaluated for basal respiration, microbial biomass, quotient metabolic, enzyme activity, total tin content and fertility. The chemical and biochemichal soil attributes permitted to evaluate the methods used for soil recuperation. The areas 1 (PL1N4), 3 (PL3N5), 4 (RS4N5), 6 (RC6N5/6), 7 (PL7N6), 8 (PL8N6) and 10 (PL10N6) are in advanced recuperation stage as compared to natural and secondary Forest considering enzyme activity (arylsulphatase, dehydrogenase, fluorescein diacetate hydrolysis), basal respiration, microbial biomass carbon and metabolic quotient.

**Keywords:** tin ore, enzyme activity, basal respiration, metabolic quotient, microbial biomass.



## 2.1. Introdução

A região amazônica destaca-se economicamente por sua riqueza em recursos naturais. A floresta tropical é fechada, formada em boa parte por árvores de grande porte e o solo não é muito fértil, pois possui apenas uma fina camada na qual há concentração de nutrientes devido à decomposição de folhas, frutos e animais mortos. Apesar da pobreza do solo, o ecossistema está em perfeito equilíbrio, e as temperaturas elevadas, combinadas ao alto volume de chuvas, são boas para o desenvolvimento da fauna e da flora (MARGULIS, 2003).

A extração de recursos minerais é uma prática que traz sérias consequências para o ambiente pelo seu efeito degradativo, reduzindo a vegetação nativa e a fauna, e removendo ou alterando a camada fértil do solo (PFLERGER et al., 1994; MENDES FILHO, 2004). Para MINTER (1990), uma área encontra-se degradada quando a flora e a fauna nativas são destruídas ou excluídas, a camada fértil do solo é retirada ou perdida e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico são modificados.

Os indicadores microbiológicos que regulam os processos ecológicos do solo refletem as condições de manejo atuais e são úteis para determinação dos seus efeitos na qualidade do solo e na sustentabilidade das práticas agrícolas (LORENZ et al., 1992).

As atividades e processos envolvidos na mineração de cassiterita resultam em substratos com características que decorrem, principalmente, do tipo e da composição da rocha matriz, dos processos de mineração, da forma e do tempo de exposição do material remanescente. As características desse substrato dependem das propriedades físicas e geoquímicas da rocha original, mas geralmente ele apresenta teores baixos de nutrientes e de matéria orgânica, o que dificulta o estabelecimento e desenvolvimento da vegetação.

Um componente importante na exploração de recursos minerais é a recuperação das áreas degradadas geradas no processo de mineração, principalmente na mineração de superfície, que apresenta grandes impactos no solo e na paisagem. Esta reabilitação é uma tarefa complexa, pois envolve técnicas e estratégias dependentes do uso futuro da área (SÁNCHEZ, 2000). As atividades de exploração mineral devem ser

cuidadosamente planejadas e a recuperação das áreas degradadas através da recomposição das matas e da matéria orgânica do solo necessita de planejamento e métodos específicos para cada região. Além disso, as práticas de conservação do solo devem ser aplicadas desde o início do uso, preservando o seu potencial produtivo (RIBEIRO, 2000).

Qualidade do solo é a capacidade do solo em proporcionar adequado desenvolvimento das plantas, para suportar o crescimento e o desenvolvimento de raízes e adequada atividade biológica. A população microbiana e a atividade enzimática mostram a evolução das transformações que ocorrem em áreas sob determinadas coberturas vegetais. A atividade microbiana no solo pode ser estimada pela quantificação da respiração basal, quociente metabólico, carbono da biomassa microbiana, assim como pelas atividades enzimáticas aliadas a outros atributos biológicos (CARVALHO, 2005).

O programa de recuperação das áreas de mineração de cassiterita na Floresta Nacional do Jamari objetiva reintegrar as áreas mineradas à paisagem dominante da região.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os atributos químicos e bioquímicos em solos degradados das áreas da mina Serra da Onça submetidos ao processo de recuperação.

## **2.2. Material e Métodos**

### **Histórico da área**

A Floresta Nacional do Jamari (Flona) tem 215.000 ha, dos quais 90% estão cobertos por floresta tropical aberta, localizada nas coordenadas geográficas 09°00'00" e 09°30'00" Sul e 62°44'05" e 63°16'54" Oeste (Figura 1).

O clima da região é tropical chuvoso (Aw), segundo Köppen, e se caracteriza por ter um período seco durante a estação de inverno, quando ocorre déficit hídrico moderado. As médias anuais são: precipitação entre 2.200 e 2.600 mm; temperatura do ar entre 24 e 26°C; umidade relativa do ar entre 80 e 90%, no verão, e 75% no outono e inverno, havendo uma estação seca bem definida, com período mais crítico de julho a

agosto. A evapotranspiração potencial (ETP) é alta durante todo o ano, apresentando médias mensais superiores a 100 mm.

Na área em estudo predominam Latossolo Vermelho-Amarelo distroférico e Latossolo Amarelo distroférico (EMBRAPA, 1999).

A partir da década de 1970, foi iniciado um plano de recuperação das áreas degradadas pela mineração, localizadas na FLONA do Jamari/RO. Em 1997, a mina Serra da Onça, com 609,01 ha de área total, foi dividida em 12 áreas e iniciou-se o programa de recuperação, que consistiu na modelagem do terreno, construção de terraços, plantio de leguminosas, adubação química e orgânica e, posteriormente, plantio de espécies nativas.



**Figura 1.** Mapa de localização da Floresta Nacional do Jamari.

### Descrição dos tratamentos

A área em estudo compreende a antiga mina denominada Serra da Onça, com substratos caracterizados quanto ao tipo e composição da rocha matriz, aos processos

de degradação, a forma e ao tempo de exposição do material remanescente, de acordo com as atividades durante a mineração.

Nos solos das áreas degradadas os substratos foram rejeito seco, rejeito úmido, rejeito capeado e piso de lavra. O piso de lavra é resultante da abertura de cavas para a exploração que exige a exposição de encostas, dos subsolos e da própria rocha, possui características distintas do solo original. O rejeito seco é composto principalmente da fração areia que foi retirada durante o processo de desmonte e decantação do minério localizado próximo à barragem de contenção de rejeitos, possui baixa fertilidade e alta permeabilidade. O rejeito capeado é substrato heterogêneo, de material produzido pela retirada do minério sem o retorno dos horizontes superficiais. O rejeito úmido é caracterizado por áreas com sedimentos com granulometria variável, sujeitas à inundação, acarretando problemas de sustentação física do terreno, dificultando ou impossibilitando a mecanização.

Além das áreas com substratos da mineração, há também área com mata nativa e capoeira, das quais foram retiradas amostras de solo para comparação nas análises. A mata é uma formação vegetal inteiramente dominada por árvores, de estrutura complexa apresentando grande riqueza de espécies. A capoeira trata-se de uma vegetação secundária que sucede à derrubada das florestas, apresentando porte desde arbustivo até arbóreo, porém com árvores finas e compactamente dispostas.

Nas áreas estudadas as épocas de início de plantio de 4 espécies de leguminosas (1999/2000, 2001/2002, 2002/2003 e 2005/2006). As leguminosas foram *Crotalaria juncea* (crotalária), *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco), *Cajanus cajan* (feijão-guandu) e *Mucuna aterrima* (mucuna-preta) e apresentaram desenvolvimento satisfatório e produção de matéria seca adequada nas condições de solos degradados. A preferência por leguminosas para a adubação verde deve-se, entre outros fatores, à sua capacidade de fixar nitrogênio direto da atmosfera, por simbiose.

Além disso, as áreas são classificadas de acordo com os níveis de recuperação, agrupadas nas etapas de zoneamento ambiental (Tabela 1). As ações propostas vão desde recomposição topográfica, preparo do solo, calagem, adubação química, adubação verde, adubação orgânica, plantio, e até o replantio das mudas, acompanhado do monitoramento constante das áreas. A medida de evolução das áreas



**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos de acordo com as áreas, os tipos de substrato, início do plantio de leguminosas e nível de recuperação.

Área	Substrato	Início de leguminosa	Nível	Tratamentos
1	Piso de Lavra	2001/2002	4	PL1N4
2	Piso de Lavra	2001/2002	6	PL2N6
3	Piso de Lavra	2002/2003	5	PL3N5
4	Rejeito Seco	2005/2006	5	RS4N5
5	Rejeito Seco	2005/2006	5	RS5N5
6	Rejeito Capeado	2005/2006	5/6	RC6N5/6
7	Piso de Lavra	2005/2006	6	PL7N6
8	Piso de Lavra	2005/2006	6	PL8N6
9	Rejeito Úmido	2005/2006	4	RU9N4
10	Piso de Lavra	1999/2000	6	PL10N6
11	Mata	-	-	MATA
12	Capoeira	-	-	CAP

PL= piso de lavra; RS= rejeito seco; RC= rejeito capeado; RU= rejeito úmido; MATA= área de mata; CAP= área de capoeira; N= nível.

### Coleta e preparo das amostras de solo

As amostragens de solo para as análises de atividade enzimática e do teor de estanho total foram realizadas em janeiro de 2010 e as amostragens para as análises químicas e teor de carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico foram realizadas em janeiro de 2011. As coletas foram realizadas na camada de 0-20 cm, em cada área descrita, obtendo-se 4 amostras compostas por área. As amostras de solo foram embaladas e mantidas em ambiente refrigerado, passadas em peneira de 2 mm de malha e submetidas às análises químicas e bioquímicas em laboratório.

### Atributos químicos e bioquímicos avaliados

Determinaram-se os atributos químicos do solo: pH ( $\text{CaCl}_2$ ); matéria orgânica; fósforo disponível, cálcio, potássio e magnésio trocáveis; acidez total ( $\text{H}+\text{Al}$ ) e, por cálculo, foram obtidos os valores de soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação por bases (RAIJ et al., 2001).

Para a determinação da atividade da celulase nas amostras de solo foi utilizado o método proposto por PANCHOLY & RICE (1973). O solo foi incubado a 30°C na

presença e na ausência do substrato carboximetilcelulose por 24 horas. Após o período de incubação, determinou-se o equivalente de glicose por espectrofotometria.

Utilizou-se o método descrito por ALEF & NANNIPIERI (1995) para a determinação da atividade da enzima desidrogenase: amostras de solo foram incubadas na presença e na ausência de substrato cloreto de trifeniltetrazólio (TTC) a 30°C por 24 horas, seguindo-se a quantificação do trifenilformazan (TPF) por espectrofotometria.

Para a determinação da atividade das enzimas fosfatase ácida e alcalina, as amostras de solo foram incubadas na presença e na ausência de substrato p-nitrofenilfosfato de sódio em meio de solução tampão pH 6,5 e pH 11, respectivamente, a 37°C por 30 minutos. Em seguida, determinou-se a quantidade de p-nitrofenol liberada no extrato por espectrofotometria, de acordo com o método de EIVAZI & TABATABAI (1977).

Para a atividade da enzima arilsulfatase, após período de incubação das amostras de solo por uma hora a 37°C na presença e na ausência de substrato p-nitrofenilsulfato de potássio em meio de solução tampão acetato pH 5,8; quantificou-se o teor de p-nitrofenol liberado no extrato, por espectrofotometria (TABATABAI & BREMNER, 1970).

Na determinação da atividade da enzima hidrolise do diacetato de fluoresceína (FDA), amostras de solo foram incubadas com e sem substrato FDA em meio de solução tampão fosfato de sódio 60 mol/L por 3 horas, sob agitação, e na temperatura de 24°C. Em seguida, a fluoresceína formada foi extraída e determinada por espectrofotometria (SCHUNER & ROSSWALL, 1982).

A respiração basal do solo foi determinada empregando-se método proposto por ALEF & NANNIPIERI (1995), quantificando o CO<sub>2</sub> liberado de amostras de solo que reagiram com o NaOH a 0,05 mol/L e titulando-se com HCl 0,05 mol/L após 3 dias de incubação a 25°C.

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi avaliado empregando-se o método proposto por VANCE (1987). Em que as amostras de solo, em duplicata, uma fumigada e outra não-fumigada foram incubadas em dessecador por 24 horas, com clorofórmio e

água, respectivamente. Após a extração do C da biomassa microbiana nas amostras, a quantificação foi realizada por titulação com sulfato ferroso amoniacal 33,3 mol/L.

Com os valores da respiração basal e do carbono da biomassa microbiana, calculou-se o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) com base em ANDERSON & DOMSCH (1993).

A análise do teor de estranho total foi feita com a extração pelo método USEPA (1992) e a quantificação utilizando-se um espectrofotômetro de absorção atômica com chama.

### **Análises dos resultados**

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 12 tratamentos e 3 repetições. Os resultados das análises químicas e bioquímicas foram analisados estatisticamente, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em complemento, a estrutura multivariada contida nos dados de atividade enzimática (arilsulfatase, desidrogenase, celulase, hidrólise do FDA), de respiração basal, de CBM e de quociente metabólico foi explorada pelas técnicas de agrupamento pelo método hierárquico, processada com a distância euclidiana e o método Ward; componentes principais processada com a matriz de covariância e análise de escalonamento processada com a matriz de distância construída com a distância euclidiana (HAIR et al., 2005).

### **2.3. Resultados e Discussão**

Os resultados referentes ao potencial das enzimas hidrólise do FDA e desidrogenase estão apresentados na tabela 3. Quanto à enzima hidrólise do FDA, o solo proveniente do tratamento MATA apresentou atividade superior aos demais (162,78 mg fluoresceína por kg de solo seco por hora).

Espera-se encontrar maior atividade microbiana em solos de vegetação natural do que em outros tipos de vegetação ou culturas, pois a microbiota é favorecida pela cobertura vegetal, pelo acúmulo de material orgânico e fonte de nutrientes para o desenvolvimento microbiano (CARDOSO & FREITAS, 1992; MOREIRA & SIQUEIRA,



2002). CARNEIRO et al. (2008) observaram que a atividade da hidrólise do FDA aumenta rapidamente após a reabilitação de uma área minerada por bauxita, com valores similares nas áreas após um ano.

Quanto à atividade da enzima desidrogenase, os tratamentos que se destacaram foram MATA e PL8N6. Isso indica que as técnicas aplicadas, desde o preparo do solo, adubação química, plantio de leguminosas e enriquecimento, contribuem para o desenvolvimento e melhoria das áreas degradadas. A atividade da desidrogenase do solo reflete a atividade oxidativa total da microbiota, e pode atuar como bom indicador da atividade microbiana, sendo estimulada pela adição de material orgânico ao solo (GARCIA et al., 1997). TEIXEIRA (2004) observou que a atividade da desidrogenase foi o indicador mais sensível para medir as alterações provocadas pela atividade da mineração na mesma área desse estudo, sendo possível detectar sua atividade mesmo na testemunha absoluta (solo degradado sem tratamento).

**Tabela 3.** Atividade da enzima desidrogenase e hidrólise do FDA nas amostras de solo das áreas.

Área	Tratamentos	Hidrólise do FDA mg fluoresceína/kg SS hora	Desidrogenase mg TPF/kg SS hora
1	PL1N4	86,22 c	0,41 c
2	PL2N6	38,40 c	0,26 c
3	PL3N5	53,46 c	0,75 b
4	RS4N5	56,71 c	0,24 c
5	RS5N5	49,01 c	0,27 c
6	RC6N5/6	40,70 c	0,57 b
7	PL7N6	77,10 c	0,29 c
8	PL8N6	54,32 c	1,48 a
9	RU9N4	45,35 c	0,22 c
10	PL10N6	70,73 c	0,30 c
11	MATA	162,78 a	1,30 a
12	CAP	105,77 b	0,74 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Resultados da atividade das enzimas fosfatase ácida e alcalina no solo encontram-se na tabela 4. Quanto à enzima fosfatase ácida não houve diferença significativa entre as áreas e os valores variaram de 33,68 a 73,39 mg p-nitrofenol por kg SS por hora. Os solos das áreas em recuperação não apresentaram diferença

significativa quanto à atividade da enzima fosfatase alcalina, com destaque para o tratamento CAP com valor superior aos demais (14,29 mg p-nitrofenol por kg de SS por hora). As fosfatases (ácida e alcalina) têm sido muito estudadas devido a sua alta atividade nos solos e sua importância na mineralização do P e na nutrição das plantas (TABATABAI, 1994; DICK, 1997).

A enzima arilsulfatase está envolvida no metabolismo do enxofre e catalisa a hidrólise de ésteres sulfatos que compõem uma das formas orgânicas do enxofre, sendo responsável pela ciclagem do enxofre por meio da mineralização, liberando sulfato, que é a forma em que o enxofre é assimilado pelas plantas (SCHINNER et al., 1996). Nos resultados da atividade dessa enzima, observa-se que os solos sob vegetação nativa (MATA e CAP) e do tratamento PL10N6, apresentaram valores significativamente superiores às demais áreas avaliadas.

Em relação à atividade da enzima celulase, não se detectou diferença entre as áreas e os valores variaram de 3,87 a 17,04 mg glicose por kg SS por hora. KUMARI & SINGARAM (1995) observaram que a atividade da enzima celulase, relaciona-se com a fertilidade do solo.

**Tabela 4.** Atividade das enzimas fosfatase ácida e alcalina, arilsulfatase e celulase nas amostras de solo das áreas.

Área	Tratamentos	Fosfatase ácida mg p-nitrofenol/kg	Fosfatase alcalina SS hora	Arilsulfatase mg PNF/kg SS hora	Celulase mg glicose/kg SS hora
1	PL1N4	60,34 a	7,37 a	12,64 b	10,34 a
2	PL2N6	37,51 a	5,54 a	5,07 b	3,87 a
3	PL3N5	37,91 a	5,03 a	6,78 b	8,56 a
4	RS4N5	44,48 a	11,29 a	6,87 b	11,13 a
5	RS5N5	60,60 a	4,85 a	5,85 b	8,78 a
6	RC6N5/6	35,57 a	6,26 a	3,09 b	5,36 a
7	PL7N6	73,39 a	8,62 a	10,63 b	11,46 a
8	PL8N6	51,12 a	8,43 a	4,96 b	11,27 a
9	RU9N4	51,81 a	6,11 a	8,36 b	6,91 a
10	PL10N6	33,68 a	11,64 a	25,55 a	9,95 a
11	MATA	44,33 a	8,23 a	37,86 a	11,29 a
12	CAP	69,83 a	14,29 a	37,13 a	17,04 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os resultados relacionados ao carbono da biomassa microbiana (CBM) encontram-se na tabela 5, indicando que os valores variaram de 55,14 a 301,34 mg

C/kg SS. Observa-se que os solos dos tratamentos MATA, CAP, PL1N4, PL3N5, RS4N5, PL8N6 e PL10N6 apresentaram teores de CBM superiores aos solos das demais áreas, ou seja, as áreas em estágio de recuperação 4 a 6 apresentaram comportamento equivalente à mata e à capoeira. Os teores de CBM estão na mesma faixa dos geralmente observados nos ecossistemas florestais brasileiros, sob condições edafoclimáticas diversas e indicam que este atributo é um bom indicador da qualidade do solo (WARDLE & HUNGRIA, 1994; D'ANDREA et al., 2002; BARRETA et al., 2005). As condições distintas do solo sob vegetação nativa (mata e capoeira), juntamente com a ausência de perturbações decorrentes de atividade antrópica, tornam possível a ocorrência de altos teores de carbono da biomassa microbiana, indicando o maior equilíbrio da microbiota do solo nesses ecossistemas (D'ANDREA et al., 2002).

Quanto à respiração basal, os valores variaram conforme os teores de biomassa microbiana, destacando-se o tratamento CAP (2,59  $\mu\text{g CO}_2$  por kg de SS por hora). Apesar das diferenças entre os solos, a comunidade microbiana de cada um deles estabeleceu um equilíbrio de funcionamento peculiar.

Quanto ao quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), não houve diferença significativa entre os valores observados nos solos dos tratamentos avaliados, variando de 0,008 a 0,014  $\text{mg CO}_2$  por mg de C por hora. Os valores determinados foram baixos, devido ao maior armazenamento de nutrientes pela biomassa microbiana, com menor perda de C- $\text{CO}_2$  para o ambiente, indicando que as áreas, principalmente as nativas, estão num estágio avançado em que o acúmulo de energia é maior (ANDERSON & DOMSCH, 1990). CARVALHO (2005), avaliando o quociente metabólico em matas de alguns ecossistemas, obteve teores entre 0,04 e 0,10  $\text{mg CO}_2$  por mg de C por hora.

**Tabela 5.** Teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) nas amostras de solo das áreas.

Área	Tratamentos	CBM mg C/kg SS	Respiração basal mg CO <sub>2</sub> /kg SS hora	qCO <sub>2</sub> mg CO <sub>2</sub> /mg C hora
1	PL1N4	275,08 a	1,97 c	0,008 a
2	PL2N6	125,01 b	1,37 d	0,013 a
3	PL3N5	218,03 a	2,21 b	0,011 a
4	RS4N5	266,38 a	1,89 c	0,008 a
5	RS5N5	55,14 b	0,75 e	0,014 a
6	RC6N5/6	168,75 b	1,85 c	0,011 a
7	PL7N6	166,59 b	1,49 d	0,009 a
8	PL8N6	208,96 a	1,70 c	0,008 a
9	RU9N4	104,40 b	1,41 d	0,014 a
10	PL10N6	201,02 a	1,77 c	0,009 a
11	MATA	207,80 a	2,08 c	0,010 a
12	CAP	301,34 a	2,59 a	0,009 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos para os atributos químicos do solo foram interpretados de acordo com os critérios adotados por RAIJ et al. (1996) e encontram-se na tabela 6. Os valores de pH (CaCl<sub>2</sub>) variaram de 3,83 a 5,37, indicando presença de solos ácidos em todas as situações estudadas ( $\leq 6$ ), porém os solos de MATA, CAP, RS4N5 e PL10N6 apresentaram maior acidez. Segundo SMYTH (1996), a predominância de solos ácidos, torna a acidez e a toxidez por alumínio frequentes restrições em solos da Amazônia. LONGO (1999) observou valores de pH baixo em solo de floresta em Rondônia, quando comparados a solos de pastagem sob mesma condição. Os tratamentos apresentaram desempenhos semelhantes para o V%, os solos de MATA, CAP e PL10N6 apresentaram os menores valores, e isso está relacionado a maior acidez observada nos mesmos tratamentos.

O tratamento MATA apresentou o maior teor de matéria orgânica, seguido pelo CAP, comparado aos demais tratamentos. O baixo teor de MO na área degradada está relacionado ao processo de mineração, que envolve a remoção da cobertura vegetal original, lavagem e separação do material coletado. LONGO & ESPINDOLA (2000), em estudo em áreas de floresta próximas a Porto Velho, após a introdução de pastagem, observaram diminuição gradual nos teores de C orgânico e N total da mata para a

capoeira. A CTC está diretamente relacionada à matéria orgânica e, por isso, a MATA apresentou os maiores valores de CTC, comparada aos demais tratamentos. De acordo com FURTINI NETO et al. (2001), a matéria orgânica é o componente do solo que mais contribui para a CTC, além de reduzir perdas por lixiviação e problemas com salinidade.

Os teores de fósforo extraíveis pelo método da resina de troca iônica são considerados médios, comparados aos obtidos por RAIJ et al. (1996), em todas as situações estudadas (6-8 mg/dm<sup>3</sup>). O solo do tratamento MATA apresentou maior teor de fósforo disponível.

Em relação à evolução dos atributos químicos no solo em função dos níveis de recuperação, o teor de Ca<sup>2+</sup> variou significativamente entre as áreas, os valores estão entre 1 e 6 mmol/dm<sup>3</sup>, destacando-se os tratamentos PL2N6, PL3N5, RC6N5/6, PL7N6 e PL8N6. Os teores de Mg<sup>2+</sup> variaram de acordo com os teores de Ca<sup>2+</sup>, o tratamento RC6N5/6 apresentou maior teor de Mg<sup>2+</sup> (4,67 mmol/dm<sup>3</sup>). Os teores de potássio (K<sup>+</sup>) variaram de 0,50 a 0,97 mmol/dm<sup>3</sup> e não houve diferenças entre eles. Observa-se que, em todas as áreas, os substratos analisados apresentaram teores muito baixos de fósforo (P) e baixos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (P) necessitando adubação para a correção destes teores, para que as plantas possam ter um adequado desenvolvimento. Segundo LONGO et al. (2005), nos atributos químicos do solo ocorrem diferenças entre os solos das áreas degradadas sob recuperação, por causa dos tipos de cobertura vegetal implantados e às características do solo/substrato em cada área.

**Tabela 6.** Atributos químicos avaliados nas amostras de solo das diferentes áreas.

Área	Tratamentos	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
		mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	----- mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----						
1	PL1N4	2,67 b	11,67 c	4,5 a	0,67 a	3,00 b	2,67 a	25,67 c	6,33 b	32,00 c	21,00 a
2	PL2N6	2,33 b	10,67 c	5,0 a	0,57 a	5,67 a	4,00 a	15,33 c	10,33 a	25,67 c	38,00 a
3	PL3N5	1,67 b	12,33 c	4,9 a	0,80 a	6,00 a	3,67 a	18,67 c	10,67 a	29,33 c	35,67 a
4	RS4N5	1,67 b	9,33 c	4,3 b	0,73 a	2,67 b	1,67 a	20,33 c	5,33 b	25,67 c	20,67 a
5	RS5N5	3,00 b	6,33 c	4,8 a	0,53 a	2,67 b	2,00 b	13,67 c	5,00 b	18,67 c	25,33 a
6	RC6N5/6	2,33 b	9,67 c	5,3 a	0,50 a	5,33 a	4,67 a	16,33 c	10,67 a	27,00 c	39,33 a
7	PL7N6	2,33 b	11,67 c	4,9 a	0,73 a	5,67 a	3,33 a	18,67 c	10,00 a	28,67 c	31,67 a
8	PL8N6	2,33 b	11,33 c	4,8 a	0,63 a	4,33 a	3,67 a	24,67 c	8,67 a	33,33 c	28,67 a
9	RU9N4	2,33 b	6,67 c	4,7 a	0,60 a	2,33 b	1,67 b	13,67 c	5,00 b	18,67 c	25,00 a
10	PL10N6	2,00 b	5,67 c	4,4 b	0,63 a	1,67 b	1,00 b	20,33 c	3,67 b	24,00 c	14,00 b
11	MATA	8,67 a	25,67 a	3,8 b	0,97 a	1,00 b	1,00 b	83,33 a	3,00 b	86,33 a	3,67 b
12	CAP	2,33 b	18,00 b	3,9 b	0,53 a	1,33 b	1,00 b	63,67 b	3,00 b	66,67 b	4,33 b

MO= matéria orgânica; SB= soma de bases; CTC= capacidade de troca catiônica; V= saturação por bases. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

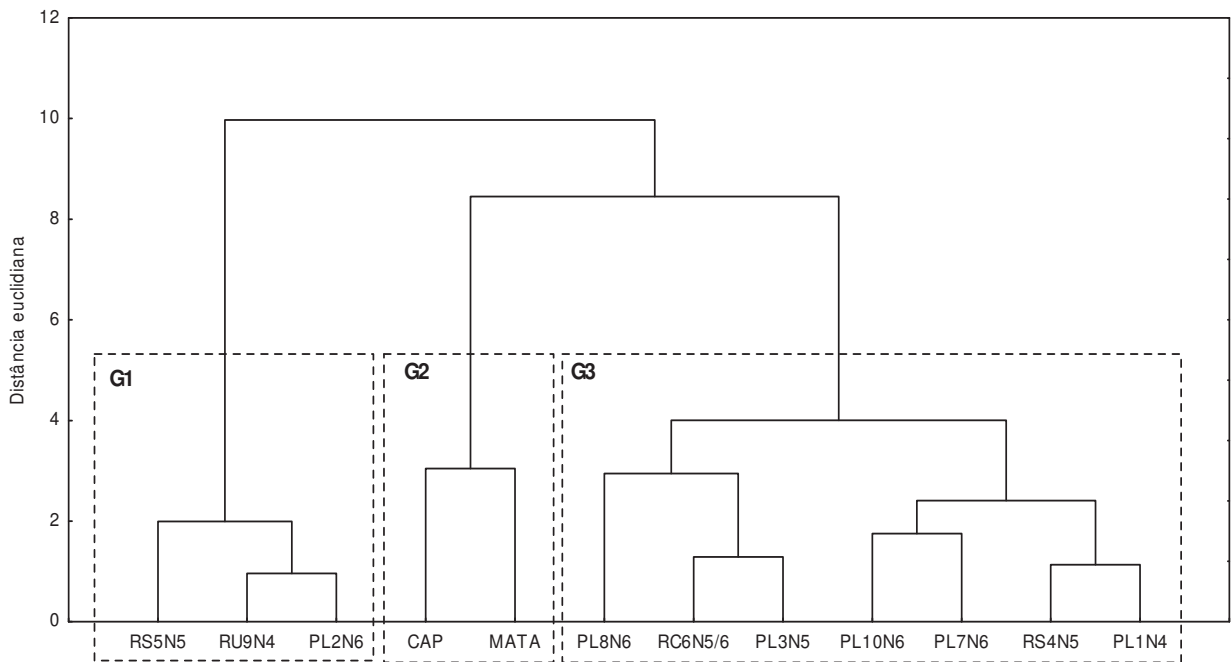
Com relação ao teor total de estanho, os valores variaram de 5,87 a 25,31 mg/kg, verificando-se maiores concentrações nas amostras de CAP (Tabela 7). Concentrações de estanho total entre 4,5 e 10,4 mg/kg foram descritas por BATISTA et al. (2009) em áreas de mineração de estanho, utilizando o mesmo método de determinação do teor de estanho total.

**Tabela 7.** Teor de estanho total (Sn) nas amostras de solo das diferentes áreas.

Área	Tratamentos	Sn total mg/kg
1	PL1N4	13,52 b
2	PL2N6	8,20 b
3	PL3N5	11,98 b
4	RS4N5	9,40 b
5	RS5N5	5,87 b
6	RC6N5/6	13,73 b
7	PL7N6	12,61 b
8	PL8N6	13,12 b
9	RU9N4	9,41 b
10	PL10N6	9,87 b
11	MATA	7,95 b
12	CAP	25,31 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

As análises multivariadas foram processadas com os valores das características relativas à atividade enzimática (arilsulfatase, desidrogenase, hidrólise do FDA), à respiração basal, ao carbono da biomassa microbiana (CBM), ao quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e ao teor de matéria orgânica, pois apresentaram estruturas semelhantes. A Figura 1 apresenta o dendrograma representativo da estrutura de grupos contida nos dados construído com a distância euclidiana e o método Ward. Observa-se uma divisão de 3 grupos distintos: grupo G1 identificado pelos tratamentos PL2N6, RS5N5 e RU9N4; grupo G2 identificado pelos tratamentos MATA e CAP e grupo G3 identificado pelos tratamentos PL1N4, PL3N5, RS4N5, RC6N5/6, PL7N6, PL8N6 e PL10N6. Os grupos G2 e G3 estão mais próximos, indicando maior semelhança entre os tratamentos.



**Figura 1.** Dendrograma resultante da análise de agrupamento das diferentes áreas avaliadas utilizando a distância euclidiana como coeficiente de similaridade e o algoritmo Ward como método de agrupamento quanto aos atributos químicos e bioquímicos avaliados.

A estrutura complexa formada pelos dois primeiros componentes principais CP1 e CP2 (Figura 2) e a correlação das variáveis com os componentes principais (Tabela 8) permitiram, em complemento, a caracterização das variáveis que mais discriminaram na formação dos grupos G1 e G2.

A tabela 8 contém os valores das correlações entre atributos biológicos do solo e os componentes CP1 e CP2. O componente CP1 concentrou 61,26% da variabilidade original. O quociente metabólico com correlação positiva (0,68) em CP1 indicou dependência com as amostras localizadas nas áreas contidas no grupo G1, que apresentaram os maiores teores desse atributo. As enzimas arilsulfatase com correlação -0,79 com CP1, desidrogenase com correlação -0,64 com CP1 e hidrólise do FDA com correlação -0,85 com CP1; o CBM com correlação -0,81; a matéria orgânica -0,84 e a respiração basal com correlação -0,85 caracterizaram as áreas do grupo G2, pois se situam à esquerda de CP1. Isso indica que essas áreas apresentaram maiores teores desses atributos. O componente CP2 concentrou 18,95% da variabilidade original. Os solos de PL1N4, PL3N5, RS4N5, RC6N5/6, PL7N6, PL8N6 e PL10N6 não

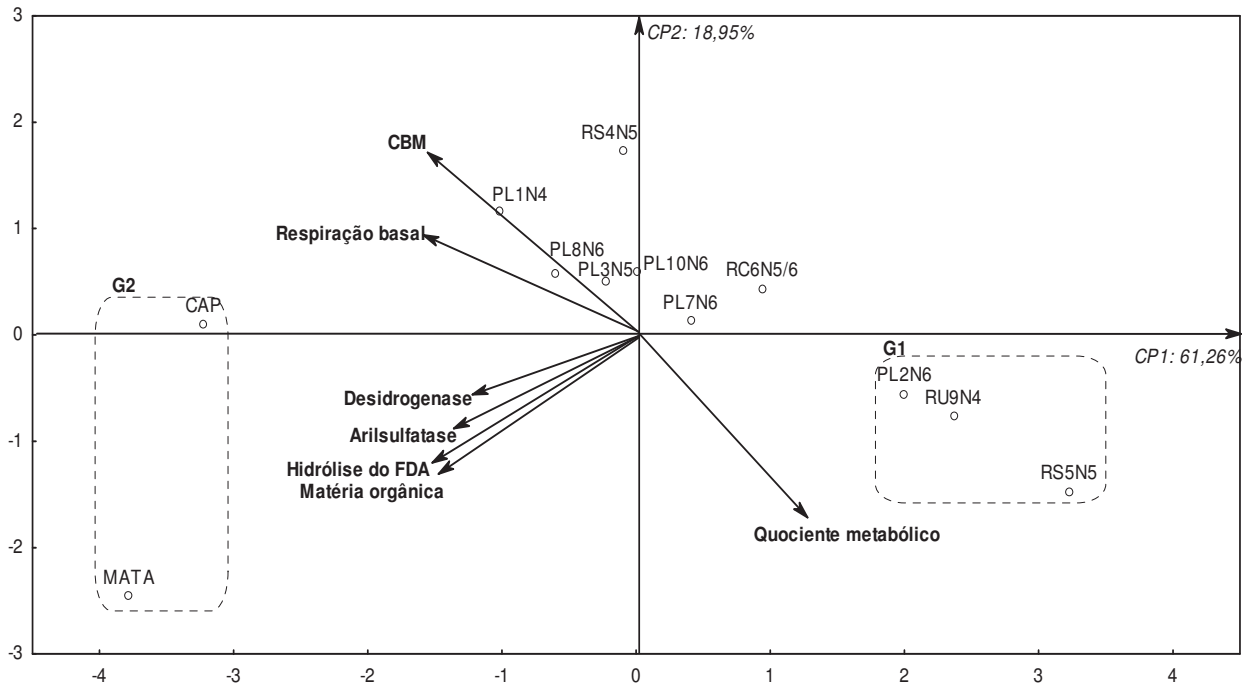


possuem características específicas, pois não estão discriminados por nenhum dos atributos, mas concentrados na região central do gráfico bidimensional.

**Tabela 8.** Correlação entre cada variável e cada componente principal.

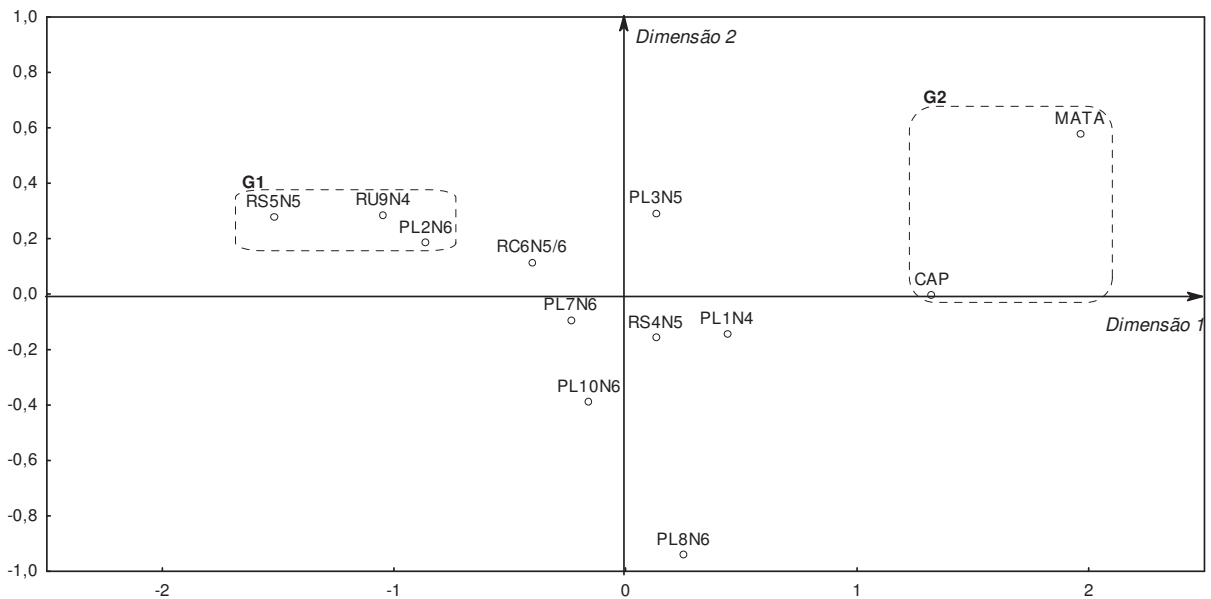
<b>Atributos químicos e bioquímicos</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>
Respiração basal	<b>-0,8460</b>	0,3240
Matéria orgânica	<b>-0,8442</b>	-0,4257
Hidrólise do FDA	<b>-0,8452</b>	-0,4244
CBM	<b>-0,8083</b>	0,5626
Arilsulfatase	<b>-0,7861</b>	-0,3536
Quociente metabólico	<b>0,6828</b>	-0,6053
Desidrogenase	<b>-0,6387</b>	-0,2288

Em complemento, o gráfico biplot construído com os componentes principais CP1 e CP2 apresenta a distribuição das amostras e a direção da ação das variáveis que identificam os padrões de cada grupo (Figura 2). Observa-se que os tratamentos PL1N4, PL3N5, RS4N5, RC6N5/6, PL7N6, PL8N6 e PL10N6, em processo de recuperação, mesmo sem características específicas, estão em estágio avançado de recuperação, pois apresentam características mais próximas da MATA e CAP (grupo G2) comparados aos demais tratamentos.



**Figura 2.** Gráfico biplot construído com os dois primeiros componentes principais mostrando a distribuição dos atributos químicos e bioquímicos avaliados nas áreas.

Adicionalmente, a análise de escalonamento multidimensional posiciona os dados numa representação gráfica em duas dimensões, combinando as similaridades calculadas a partir de uma matriz triangular de similaridade, para cada par de amostras (MANLY, 2005). A diferença entre a matriz gerada pela análise multidimensional e a matriz de distâncias original define a qualidade da representação. Essa diferença é avaliada por um valor denominado valor de *Stress*. Quanto menor esse valor, melhor a representação. A distribuição das amostras resultantes da análise por escala multidimensional dos atributos bioquímicos avaliados pode ser observada na Figura 3. O baixo valor do *Stress* (0,0795) informa que a representação gráfica gerada pelo escalonamento multidimensional pode ser utilizada como modelo de representação bidimensional das amostras de solo provenientes das áreas submetidas ao processo de recuperação.



**Figura 3.** Mapa perceptual por escalonamento multidimensional das áreas, com base nos valores dos atributos químicos e bioquímicos do solo.

As técnicas multivariadas de agrupamento, componentes principais e escalonamento multidimensional, apresentaram resultados concordantes no que se refere à caracterização de 2 grupos discrepantes com propriedades específicas: grupo G1, discriminado pelo quociente metabólico, grupo G2 discriminado pelas enzimas arilsulfatase, desidrogenase e hidrólise do FDA, pelo CBM, pela respiração basal e pelo teor de matéria orgânica.

## 2.4. Conclusões

As análises dos atributos químicos e bioquímicos do solo apresentam respostas diferenciadas nos níveis de recuperação das áreas degradadas e em áreas de mata e capoeira.

As áreas 1 (PL1N4), 3 (PL3N5), 4 (RS4N5), 6 (RC6N5/6), 7 (PL7N6), 8 (PL8N6) e 10 (PL10N6) estão em estágio avançado de recuperação ao compará-las com as áreas de mata e de capoeira, por meio das análises multivariadas, quanto às características de atividade enzimática (arilsulfatase, desidrogenase, hidrólise do FDA), de respiração basal, de CBM, de quociente metabólico e teor de matéria orgânica no solo.

## 2.5. Referências

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 320 p.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients ( $qCO_2$  and  $qD$ ) on microbial biomasses from soils of different croppings histories. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 22, n. 1, p. 251-255, 1990.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for  $CO_2$  ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

BARRETA, D.; SANTOS, J. C. P.; FIGUEIREDO, S. R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 715-724, 2005.

BATISTA, M. J.; ABREU, M. M.; SERRANO PINTO, M. Distribuição de estanho em solos e em estevas da área envolvente das minas de Neves Corvo. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 32, n. 1, p. 141-154, 2009.

CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, S. S. A rizosfera. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.). **Microbiologia dos Solos**. Campinas: SBCS, 1992. p. 41-58.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; SOARES, L. L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 12, n. 2, p. 621-632, 2008.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores de qualidade do solo em florestas de *Araucária angustifolia* (Bert.) O.Ktze. no estado de São Paulo.** 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de agroecossistemas) – ESALQ, Piracicaba, 2005.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 913-923, 2002.

DICK, R. P. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. In: PANKHHURST, B.M.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R. (Ed.). **Biological indicators of soil health.** Wallingford Oxon, UK: CAB International, 1997. cap. 6, p. 121-156.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Phosphatases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 9, n. 3, p. 167-172, 1977.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do Solo.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GARCIA, T. C., HERNANDEZ, T.; COSTAM F. Potencial use of dehydrogenase activity as index of microbial activity in degraded soils. **Communications in soil science and plant analysis**, Philadelphia, v. 28, n. 1, p. 123-134, 1997.

HAIR, J. F., ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L., BLACK, W. **Análise Multivariada de dados.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005, 600 p.

KUMARI, K. K.; SINGARAM, P. Relationship among soil chemical, biochemical properties and enzyme activities. **Agriculture Journal**, Madras, v. 82, n. 1, p. 69-70, 1995.

LONGO, R. M. **Modificações em parâmetros físicos e químicos de latossolos argilosos decorrentes da substituição da floresta amazônica e do cerrado por pastagens**. 1999. 100 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – FEAGRI, Campinas, 1999.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. Alterações em características químicas de solos da região amazônica pela introdução de pastagens. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 30, n. 1, p. 71-80, 2000.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 101-107, 2005.

LORENZ, S. E.; McGRATH, S. P.; GILLER, K. E. Assessment of free-living nitrogen fixation activity as a biological indicator of heavy metal toxicity in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 24, n. 6, p. 601-606, 1992.

MANLY, B. F. J. **Multivariate Statistical Methods** – Aprimer, 3. ed. Florida: Chapman & Hall, 2005. 214 p.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira**. Brasília: Estação Gráfica, 2003. 100 p.

MENDES FILHO, P. F. **Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano**. 2004. 89 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – ESALQ, Piracicaba, 2004.

MINTER. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626 p.

PANCHOLY, S. K.; RICE, E. L. Soil enzymes in relation to old field succession: amylase, cellulase, invertase, dehydrogenase, and urease. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 37, n. 1, p. 47-50, 1973.

PFLEGER, F. L.; STEWART, E. L.; NOYD, R. K. Role of VAM fungi in mine land revegetation. In: PFLEGER, F. L.; LINDERMAN, R. G. (Ed.). **Mycorrhizae and plant growth**. Sant Paul: APS Press, 1994. p. 47-81.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. Van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285 p. (Boletim Técnico 100).

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

RIBEIRO, B. F. Mineração: efeitos no meio ambiente e saúde humana. In: RIBEIRO, B. F. **Minérios e ambiente**. Campinas: UNICAMP, 2000. cap. 18, p. 325-339.

SANCHEZ, M. L. E. **Recuperação de áreas degradadas na mineração**. São Paulo: EPUSP, 2000.

SCHINNER, F.; ÖHLINGER, R.; KANDELER, E.; MARGESIN, R. Enzymes involved in intracellular metabolism. In: SCHINNER, F. **Methods in soil biology**. Berlim: Springer-Verlag, 1996. cap. 15, p. 235-243.

SCHUNER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, v. 43, n. 1, p. 1256-1261, 1982.

SMYTH, T. J. Manejo da fertilidade do solo para introdução sustentada de cultivos na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 1996, Viçosa, **Anais...** 1996, p. 71-93.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 34, n. 1, p. 225-229, 1970.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY, P. S. **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994, p. 775-883.

TEIXEIRA, T. T. **Aplicação de lodo de estação de tratamento de água em solo degradado por mineração de cassiterita**. 2004. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - FCAV/UNESP, Jaboticabal, 2004.

USEPA. U.S. Environmental Protection Methods. **Standard methods for examination of the water and wastewater**. 21. ed. Washington: U.S. Governmental Print Office, 1992.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.



VERDES TEMPOS. **Plano de recuperação de áreas degradadas**. Itapuã do Oeste: BPRA, 2008.

WARDLE, D.A.; HUNGRIA, M.A. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994. p. 193-216.

### **CAPÍTULO 3 – Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração em ecossistema amazônico em recuperação na mina Santa Maria**

**RESUMO** - A mineração pode causar impactos diretos e indiretos de diferentes naturezas na área em exploração e no seu entorno. Os impactos sobre o solo, a vegetação e os recursos hídricos presentes no sistema se verificam na forma de alterações físicas, químicas e biológicas, dependendo das características da geologia, vegetação, relevo e solo locais, bem como do tipo de lavra e minério a ser extraído. O programa de recuperação das áreas de mineração de cassiterita foi criado para a Floresta Nacional do Jamari com o objetivo de reintegrar as áreas degradadas. A classificação dos níveis de recuperação varia de 1 a 7 de acordo com as ações praticadas nas áreas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos químicos e bioquímicos dos solos das áreas da mina Santa Maria em recuperação. As amostras de solo foram coletadas em cada área, na profundidade de 0-20 cm e em áreas de mata nativa e sob vegetação de capoeira utilizadas como comparação. Avaliaram-se a respiração basal, o carbono da biomassa microbiana, o quociente metabólico, as atividades enzimáticas (celulase, arilsulfatase, fosfatase ácida e alcalina, desidrogenase e potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína), a concentração de estanho total e a fertilidade do solo. O tratamento PL14N6 está em estágio avançado de recuperação ao compará-lo com as áreas de vegetação original, pois se situam no mesmo grupo G1, comparado aos demais tratamentos, principalmente em relação às enzimas fosfatase alcalina, arilsulfatase e celulase, e ao carbono da biomassa microbiana.

**Palavras chave:** cassiterita, atividade enzimática, respiração basal, quociente metabólico, biomassa microbiana.

## **Chemical and biochemical attributes of soils degraded by mining and submitted to recuperation in Santa Maria in the Amazon Basin**

**SUMMARY** - The mining can cause direct and indirect impacts of different types under the area explored. The impacts under the soil, the plant and the hydric resources resulted in physical, chemical and biological changes in the area, depending on geology, vegetation, relief and soil. The program of recuperation of the mining areas of cassiterite was created for the National Forest of Jamari to rejoin the degraded areas. In 1997, the area was divided and started recuperation, which consisted of the modeling of the land, with construction of terraces, plantation of leguminous and, later, plantation of native plants. The objective of this work was to evaluate the chemical and biochemical attributes of the soil in different areas of the mine Santa Maria. The samples of soils were taken in these areas, 0-20 cm, and under undisturbed forest and secondary forest to compare. The soil was evaluated for basal respiration, microbial biomass, metabolic quotient, activities of enzymes, total tin content and fertility. The treatment PL14N6 is in an advanced stage of recuperation as compared to native areas and is included in the same group G1, mainly considering the enzyme activities of alkaline phosphatase, arylsulphatase and cellulose and the microbial biomass carbon.

**Keywords:** tin ore, enzyme activity, basal respiration, metabolic quotient, microbial biomass.

### 3.1. Introdução

A ocupação em larga escala, descontrolada e indiscriminada nas áreas da floresta Amazônica causa consequências definitivas, como destruição de bancos genéticos, degradação dos solos, alterações climáticas e dos ciclos hidrológicos. A mineração de superfície é, em geral, uma atividade que pode provocar degradação ambiental bastante intensa, com forte efeito perturbador na paisagem, pois requer a remoção da vegetação, do solo e das rochas que estejam acima dos depósitos minerais (FONTES, 1991).

A degradação do solo produz impactos econômicos e ambientais, determinando a perda da biodiversidade, diminuição da fertilidade do solo e interferência nos recursos hídricos. As atividades mineradoras, buscando a extração dos recursos minerais, embora muito importantes do ponto de vista econômico, são práticas que trazem sérias consequências para o ambiente, como a degradação das áreas devido à perda da vegetação nativa, além da remoção ou alteração da camada fértil do solo, o que causa forte impacto na qualidade do solo. Muitas vezes, a atividade mineradora gera subprodutos e rejeitos sobre o solo. Esta degradação do meio provoca grandes modificações ao sistema, tendo um forte efeito perturbador na paisagem, porque requer a remoção da vegetação, do solo e das rochas que estejam acima dos depósitos minerais.

Em estudos de qualidade do solo, muitos atributos físicos e químicos do solo, exigidos para o máximo desenvolvimento vegetal, são afetados diretamente pelos processos bióticos (LEE, 1994), destacando-se a importância dos microrganismos e seus processos no funcionamento e equilíbrio de ecossistemas. Os atributos microbiológicos e bioquímicos apresentam grande potencial de utilização como indicadores sensíveis do estresse no solo.

As atividades e processos envolvidos na mineração de cassiterita resultam em uma matriz de material mineral, deficiente em estrutura física, matéria orgânica e nutrientes para as plantas. Assim, com o desenvolvimento da cobertura vegetal, inicia-se a formação do solo por meio das alterações químicas, físicas e biológicas promovidas pela atividade rizosférica no solo. O plantio de leguminosas arbóreas de rápido

crescimento, capazes de formar em curto prazo a cobertura vegetal, tem sido uma prática viável (GRIFFITH et al., 1996).

O processo de recuperação das áreas degradadas inicia com a caracterização dos solos das áreas em que se vai implantar a revegetação para definição das ações iniciais ou dos tratamentos que serão aplicados. Após isso, é feita a revegetação das áreas degradadas, com a finalidade de recompor suas características químicas, físicas e biológicas, que permitam o estabelecimento e sucessão da vegetação.

Fundamentado na hipótese de que é possível induzir a reabilitação de solo degradado, e devolver a ele as características biológicas mínimas que permitam desenvolvimento sustentável, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os atributos químicos e bioquímicos em solos degradados das áreas da mina Santa Maria, em fase de recuperação.

### **3.2. Material e Métodos**

#### **Histórico da área**

A Floresta Nacional do Jamari, (FLONA) é administrada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Minerais Renováveis – IBAMA e está situada a 90 km da cidade de Porto Velho (RO), no município de Itapuã d'Oeste. A FLONA ocupa uma área de aproximadamente 225.000 ha, das quais 90% estão cobertas por Floresta Tropical Aberta, rica em minérios. Os solos são predominantemente da classe Latossolo Vermelho-Amarelo distroférico e Latossolo Amarelo distroférico (EMBRAPA, 1999). O clima da região é quente e úmido, com temperaturas médias de 24 °C, e precipitação pluvial anual de 2550 mm, com máximos de dezembro a março. A umidade relativa é de 80% a 85%, com uma estação seca bem definida e período mais crítico de julho a agosto.

O programa de recuperação das áreas de mineração de cassiterita foi criado para a Floresta Nacional do Jamari com o objetivo de reintegrar as áreas degradadas. Em 1997, a mina Santa Maria com 362,68 ha foi dividida em 16 áreas e foram iniciadas as ações de recuperação, que consistiram no preparo do solo, adubação química e orgânica, plantio de leguminosas e plantio de espécies nativas.

## Descrição dos tratamentos

A área em estudo compreende a antiga mina denominada Santa Maria. As atividades e processos envolvidos na mineração de cassiterita resultam em substratos com características que decorrem do tipo e da composição da rocha matriz, dos processos de degradação, da forma e do tempo de exposição do material remanescente.

Os substratos são caracterizados como: rejeito seco, rejeito úmido, rejeito capeado e piso de lavra. O piso de lavra é resultante da abertura de cavas para a exploração que exige a exposição de encostas, dos subsolos e da própria rocha, possui características distintas do solo original. O rejeito seco é composto principalmente da fração areia que foi retirada durante o processo de desmonte e decantação do minério localizado próximo à barragem de contenção de rejeitos, possui baixa fertilidade e alta permeabilidade. O rejeito capeado é substrato heterogêneo, de material produzido pela retirada do minério sem o retorno dos horizontes superficiais. O rejeito úmido é caracterizado por áreas com sedimentos com granulometria variável, sujeitas à inundação, acarretando problemas de sustentação física do terreno, dificultando ou impossibilitando a mecanização. Além dessas áreas com substratos da mineração, há também área com mata nativa e capoeira. A mata é uma formação vegetal inteiramente dominada por árvores, de estrutura complexa e grande riqueza de espécies. A capoeira apresenta vegetação secundária que sucede à derrubada das florestas, com porte desde arbustivo até arbóreo, porém com árvores finas e compactamente dispostas.

Foram plantadas quatro espécies de leguminosas com desenvolvimento e produção de matéria seca em sistemas degradados: *Crotalaria juncea* (crotalária), *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco), *Cajanus cajan* (feijão-guandu) e *Mucuna aterrima* (mucuna-preta). Essas leguminosas foram plantadas por 3 anos consecutivos em diferentes épocas de início de plantio (1996/1997, 1997/1998, 2004/2005, 2005/2006 e 2007/2008).

Cada área foi classificada de acordo com os níveis de ação de recuperação que foram submetidos nas etapas de zoneamento ambiental. As ações propostas variam de 1 a 7, desde recomposição topográfica, preparo do solo, calagem, adubação química,



**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos de acordo com as áreas, os tipos de substrato, início do plantio de leguminosas e nível de recuperação.

Área	Substrato	Início de leguminosa	Nível	Tratamentos
1	Rejeito Capeado	2004/2005 e 2005/2006	4/5	RC1N4/5
2	Rejeito Seco	2006	5	RS2N5
3	Rejeito Seco	2005/2006 e 2006/2007	4	RS3N4
4	Rejeito Seco	2005/2006 e 2006/2007	4	RS4N4
5	Rejeito Capeado	1996/1997	5	RC5N5
6	Piso de Lavra	2005/2006 e 2006/2007	5/6	PL6N5/6
7	Rejeito Capeado	2005/2006	5	RC7N5
8	Rejeito Úmido	2006/2007	4	RU8N4
9	Rejeito Seco	2005/2006 e 2006/2007	5	RS9N5
10	Rejeito Seco	2005/2006 e 2006/2007	4	RS10N4
11	Piso de Lavra	2005/2006 e 2006/2007	4	PL11N4
12	Piso de Lavra	2007/2008	4	PL12N4
13	Piso de Lavra	2005/2006 e 2006/2007	5/6	PL13N5/6
14	Piso de Lavra	1997/1998	6	PL14N6
15	Mata	-	-	MATA
16	Capoeira	-	-	CAP

PL= piso de lavra; RS= rejeito seco; RC= rejeito capeado; RU= rejeito úmido; MATA= área de mata; CAP= área de capoeira; N= nível.

Antes da semeadura de leguminosas foi realizada escarificação com aplicação de 2 t/ha de calcário agrícola e posterior gradeação. O solo foi adubado com 45 kg/ha de N, 45 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 45 kg/ha de K<sub>2</sub>O.

### Coleta e preparo das amostras de solo

As amostras de solos para as análises das atividades das enzimas e do teor de estanho total foram coletadas em janeiro de 2010 e para as análises químicas e teor de carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico, em janeiro de 2011. As amostras de solo foram coletadas superficialmente na camada de 0-0,20 m com o auxílio de trado. Em cada tratamento foram coletadas quatro amostras compostas. As amostras de solo foram embaladas e mantidas em ambiente refrigerado, passadas em peneira de 2 mm de malha e submetidas às análises químicas e bioquímicas no laboratório.



### **Atributos químicos e bioquímicos avaliados**

Utilizaram-se os métodos descritos por RAIJ et al.(2001) para determinação dos atributos químicos do solo: pH ( $\text{CaCl}_2$ ); matéria orgânica; fósforo disponível, cálcio, potássio e magnésio trocáveis; acidez total ( $\text{H}+\text{Al}$ ) e, por cálculo, foram obtidos os valores de soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação por bases.

O princípio do método para estimar a atividade de celulase no solo é o da incubação da amostra de solo com o substrato da enzima (a celulose ou um substrato derivado, como a carboximetilcelulose), avaliando-se, então, a quantidade de açúcares redutores produzidos, expressos na forma de glicose (PANCHOLY & RICE, 1973).

Para a atividade da enzima desidrogenase, amostras de solo foram incubadas na presença e na ausência de substrato cloreto de trifeniltetrazólio (TTC) a  $30^\circ\text{C}$  por 24 horas, seguindo-se a quantificação do trifenilformazan (TPF) por espectrofotometria (ALEF & NANNIPIERI, 1995).

O princípio do método para avaliar a atividade das enzimas fosfatase ácida e alcalina em amostras de solo consiste em determinar o teor de p-nitrofenol (cor amarela) liberado durante a incubação das amostras em solução tampão pH 6,5 e pH 11, respectivamente, a  $37^\circ\text{C}$  por 30 minutos, com o substrato p-nitrofenilfosfato de sódio (incolor), segundo metodologia desenvolvida por EIVAZI & TABATABAI (1977).

As arilsulfatases constituem um grupo de enzimas que catalisam a hidrólise da ligação éster de sulfato ligado ao radical aril. O método para estimar a atividade de arilsulfatases no solo consiste na incubação com um substrato artificial, o p-nitrofenilsulfato de potássio, e um inibidor de crescimento microbiano, o toluol. Após o período de incubação, determina-se o teor de p-nitrofenol liberado, de coloração amarela (TABATABAI & BREMNER, 1970).

A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) não expressa a atividade de uma enzima específica, mas a de um grupo de enzimas (lípsases, esterases, proteases) que são capazes de realizá-la. A solução de FDA é incolor, enquanto a solução de fluoresceína é fluorescente e é estimada quantitativamente por espectrofotometria (SCHUNER & ROSSWALL, 1982).

A respiração basal do solo foi determinada empregando-se método proposto por ALEF & NANNIPIERI (1995), quantificando o  $\text{CO}_2$  liberado de amostras de solo que

reagiram com o NaOH a 0,05 mol/L e titulando-se com HCl 0,05 mol/L após 3 dias de incubação a 25°C.

Avaliou-se o carbono da biomassa microbiana (CBM) pelo método proposto por VANCE (1987). Em que as amostras de solo, em duplicata, uma fumigada e outra não-fumigada foram incubadas em dessecador por 24 horas, com clorofórmio e água, respectivamente. Após a extração do C da biomassa microbiana nas amostras, a quantificação foi realizada por titulação com sulfato ferroso amoniacal 33,3 mol/L.

Calculou-se o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) com os valores da respiração basal e do carbono da biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1993).

O teor de estranho total foi determinado com a extração pelo método USEPA (1992) e a quantificação utilizando-se espectrofotômetro de absorção atômica com chama.

### **Análises dos resultados**

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 16 tratamentos e 3 repetições. Os resultados das análises químicas e bioquímicas foram analisados estatisticamente, pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em complemento, a estrutura multivariada contida nos dados de atividade enzimática (arilsulfatase, desidrogenase, celulase, fosfatase ácida e alcalina), de respiração basal, de CBM e de matéria orgânica foi explorada pelas técnicas de agrupamento pelo método hierárquico processada com a distância euclidiana e o método Ward; componentes principais processada com a matriz de covariância e análise de escalonamento processada com a matriz de distância construída com a distância euclidiana (HAIR et al., 2005).

### 3.3. Resultados e Discussão

Os resultados da atividade das enzimas desidrogenase e hidrólise do FDA no solo estão apresentados na tabela 3.

Quanto à atividade da enzima desidrogenase, os tratamentos que se destacaram foram MATA (1,30 mg TPF/kg SS hora) e RC7N5 (1,39 mg TPF/kg SS hora). Observa-se que o tratamento em RC7N5 apresentou atividade superior às áreas nativas, destacando-se em relação aos demais tratamentos. A desidrogenase é uma enzima que promove a oxidação de um substrato específico pela subtração do hidrogênio; segundo CERRI et al. (1992), parece estar condicionada à quantidade de matéria orgânica decomponível e intimamente relacionada à biomassa quando fontes externas de C são adicionadas ao solo (TABATABAI, 1994). CHAER & TÓTOLA (2007) concluíram que a biomassa microbiana e a atividade das enzimas, dentre elas a desidrogenase, são indicadores sensíveis em solos.

Quanto à enzima hidrólise do FDA, o solo proveniente do tratamento MATA apresentou atividade até 3 vezes maior que os demais tratamentos, isso se deve à predominância de vegetação nativa que proporciona um equilíbrio maior do solo. SILVA JÚNIOR et al. (2004) determinaram a atividade da enzima FDA de um solo submetido ao reflorestamento com espécies nativas, espécies exóticas, não reflorestadas e solo da mata atlântica e concluíram que essa enzima foi eficiente como bioindicador da qualidade do solo, onde o melhor tratamento para recuperação biológica dos solos degradados foi o reflorestamento com espécies nativas.

**Tabela 3.** Atividade da enzima hidrólise do FDA e desidrogenase nas amostras de solo das áreas.

Área	Tratamentos	Hidrólise do FDA mg fluoresceína/kg SS hora	Desidrogenase mg TPF/kg SS hora
1	RC1N4/5	80,23 b	0,37 d
2	RS2N5	69,06 b	0,27 d
3	RS3N4	66,55 b	0,27 d
4	RS4N4	59,36 b	0,38 d
5	RC5N5	90,40 b	0,34 d
6	PL6N5/6	86,80 b	0,32 d
7	RC7N5	60,58 b	1,39 a
8	RU8N4	78,44 b	0,22 d
9	RS9N5	55,38 b	0,65 c
10	RS10N4	93,10 b	0,27 d
11	PL11N4	93,83 b	0,29 d
12	PL12N4	67,23 b	0,30 d
13	PL13N5/6	70,43 b	0,56 c
14	PL14N6	85,99 b	0,84 b
15	MATA	162,78 a	1,30 a
16	CAP	105,77 b	0,74 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Resultados da atividade das enzimas fosfatase ácida e alcalina no solo encontram-se na tabela 4. A variação para a atividade enzimática da fosfatase ácida foi de 15,04 a 69,83 mg p-nitrofenol por kg SS por hora, embora sem diferença significativa entre os tratamentos. Quanto à atividade da enzima fosfatase alcalina, os tratamentos CAP, MATA, RS3N4, PL6N5/6, PL14N6 se destacaram em relação aos demais tratamentos, isso indica que esses tratamentos estão em estágio avançado de recuperação, pois apresentaram desempenho semelhante às áreas com vegetação nativa. Segundo ARAÚJO & MONTEIRO (2007), as enzimas são mediadoras do catabolismo biológico dos componentes orgânico e mineral do solo, no qual a atividade enzimática do solo possui as características de: ser relacionada com a matéria orgânica, propriedades físicas e com a atividade e biomassa microbiana. Em estudos realizados por CONTE et al. (2002), verificou-se que a atividade da fosfatase ácida em solo com sistema de plantio direto e sob mata nativa, foi elevada, correspondendo a

cerca de 2,5 vezes a do solo cultivado, demonstrando a sua importância no fornecimento de P às plantas em sistemas naturais.

Nos resultados da atividade da enzima arilsulfatase, observa-se que os solos sob vegetação nativa (MATA e CAP) e sob os tratamentos RS10N4 e PL14N6, apresentaram valores significativamente superiores às demais áreas avaliadas. Uma área degradada com restabelecimento da vegetação já sofreu uma interferência antrópica e mudanças devido ao processo de sucessão que são diferentes das matas naturais, portanto não se espera que ecossistemas que sofreram algum tipo de interferência tenham o mesmo desempenho do ecossistema natural.

Em relação à atividade da enzima celulase, os valores variaram de 3,13 a 17,04 mg glicose por kg SS por hora. Os tratamentos RC1N4/5, RC5N5, RU8N4, RS10N4, PL14N6, CAP e MATA apresentaram atividade superior aos demais tratamentos estudados. Na degradação da celulose, os microrganismos produtores das celulases seriam a primeira população a se desenvolver produzindo uma fonte de C e energia disponível para os microrganismos heterotróficos, assim, uma expressiva atividade desta enzima é capaz de propiciar condições para mineralização e solubilização de compostos do solo e produzir nutrientes prontamente disponíveis para as plantas.

Observa-se que o tratamento PL14N6, em fase de recuperação, se destacou na atividade das enzimas fosfatase alcalina, arilsulfatase e celulase, isso pode estar relacionado ao estágio avançado de recuperação (nível 6), com o monitoramento das mudas nativas plantadas e ao fato de que as leguminosas foram iniciadas em 1997/1998 e estão bem estabelecidas.

**Tabela 4.** Atividade das enzimas fosfatase ácida e alcalina, arilsulfatase e celulase nas amostras de solo das áreas.

Área	Tratamentos	Fosfatase ácida mg p-nitrofenol/kg SS hora	Fosfatase alcalina SS hora	Arilsulfatase mg PNF/kg SS hora	Celulase mg glicose/kg SS hora
1	RC1N4/5	29,92 a	4,75 b	11,59 b	14,83 a
2	RS2N5	32,46 a	3,36 b	8,25 b	3,92 b
3	RS3N4	49,71 a	19,42 a	12,50 b	6,05 b
4	RS4N4	17,28 a	4,78 b	15,04 b	7,33 b
5	RC5N5	37,27 a	6,20 b	20,24 b	9,94 a
6	PL6N5/6	27,37 a	10,02 a	16,02 b	7,82 b
7	RC7N5	34,69 a	5,43 b	6,71 b	3,13 b
8	RU8N4	41,84 a	3,58 b	20,80 b	10,23 a
9	RS9N5	32,95 a	3,64 b	9,59 b	4,58 b
10	RS10N4	29,05 a	2,00 b	24,66 a	12,17 a
11	PL11N4	15,04 a	3,55 b	15,94 b	7,79 b
12	PL12N4	25,46 a	1,99 b	12,59 b	6,10 b
13	PL13N5/6	24,01 a	5,43 b	17,12 b	8,38 b
14	PL14N6	38,64 a	14,96 a	32,48 a	16,10 a
15	MATA	44,33 a	8,23 a	37,86 a	11,29 a
16	CAP	69,83 a	14,29 a	37,13 a	17,04 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Resultados relacionados ao carbono da biomassa microbiana (CBM) encontram-se na tabela 5, indicando que os valores variaram de 78,04 a 301,34 mg C/kg SS. Observa-se que os solos dos tratamentos CAP e PL14N6 apresentaram os maiores teores de CBM. MENDOÇA et al. (2002) e SILVEIRA et al. (2006) observaram valores de CBM, de 22,6 a 159,5 mg C/kg SS em áreas de mineração de carvão no município de Lauro Müller (SC).

Quanto à respiração basal, o tratamento CAP (2,59  $\mu\text{g CO}_2$  por kg de SS por hora) apresentou os maiores valores, embora sem diferença significativa entre os tratamentos. D'ANDRÉA et al. (2002) estudando solos do sul do estado de Goiás submetidos a diferentes sistemas de manejo, observaram uma variação de 1,09 a 4,43  $\mu\text{g CO}_2$  por kg de solo por hora.

Quanto ao quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, concordando com o observado para a área da Serra da Onça, entretanto os teores foram mais baixos, variando de 0,002 a 0,012 mg  $\text{CO}_2$  por mg de C por hora. MADER et al. (2002) atribuíram um  $q\text{CO}_2$  baixo a uma maior diversidade da comunidade microbiana e maior eficiência no uso da energia. Esse desempenho indica que o sistema em equilíbrio, otimiza os efeitos da atividade microbiana e libera menos  $\text{CO}_2$  para a atmosfera (GAMA-RODRIGUES et al., 1997).

**Tabela 5.** Teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) nas amostras de solo das áreas.

Área	Tratamentos	CBM mg C/kg SS	Respiração Basal mg CO <sub>2</sub> /kg SS hora	qCO <sub>2</sub> mg CO <sub>2</sub> /mg C hora
1	RC1N4/5	117,65 d	1,01 a	0,009 a
2	RS2N5	78,04 d	0,70 a	0,010 a
3	RS3N4	177,05 c	1,05 a	0,008 a
4	RS4N4	130,13d	0,99 a	0,008 a
5	RC5N5	150,46 c	2,63 a	0,012 a
6	PL6N5/6	235,53 b	0,72 a	0,003 a
7	RC7N5	222,51 b	1,02 a	0,004 a
8	RU8N4	158,45 c	0,35 a	0,002 a
9	RS9N5	182,15 c	1,51 a	0,009 a
10	RS10N4	225,82 b	1,06 a	0,005 a
11	PL11N4	149,15 c	1,01 a	0,007 a
12	PL12N4	109,37 d	0,69 a	0,007 a
13	PL13N5/6	216,41 b	1,21 a	0,006 a
14	PL14N6	271,84 a	1,34 a	0,005 a
15	MATA	207,80 b	2,08 a	0,010 a
16	CAP	301,34 a	2,59 a	0,009 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos para os atributos químicos do solo foram comparados com os níveis de fertilidade adotados por RAIJ et al. (1996) e encontram-se na tabela 6. A avaliação do potencial químico de um solo, para fins de monitoramento da recuperação de áreas requer procedimentos diferenciados em relação às amostragens efetuadas para fins agrícolas, para não subestimar ou superestimar os teores de nutrientes no solo. Na utilização de amostragens com intervalos diferenciados de profundidade e declividade, observou-se mais precisamente a quantidade desses elementos no perfil do solo (SANTOS et al., 2001).

Os valores medidos do pH em CaCl<sub>2</sub> variaram de 3,83 a 5,73; indicando solos ácidos em todas as situações estudadas (< 6), porém entre os solos das áreas nativas MATA e CAP apresentaram maior acidez (3,83). A diminuição da saturação por bases e consequente diminuição do valor de pH deve-se à lixiviação das bases do solo ou à sua absorção pelas plantas, associadas à decomposição dos resíduos vegetais no processo

de mineralização e formação das substâncias húmicas pelos microrganismos (BOHNEN, 2000) por isso é maior em áreas de vegetação nativas.

LONGO et al. (2005), em estudos realizados nos solos dessas áreas observaram que o processo de extração de cassiterita promoveu alterações significativas, sendo os atributos como o pH, teores de matéria orgânica, P, K, V%, CTC, H+Al os mais alterados pelo processo de supressão da vegetação original e extração do minério.

Os tratamentos MATA e CAP e PL14N6 apresentaram os maiores teores de matéria orgânica. A matéria orgânica é de fundamental importância para o processo de recuperação, visto que esta promove melhorias em atributos físicos, químicos e biológicos do solo, dando sustentabilidade ao sistema a ser recuperado. A deficiência em matéria orgânica nos solos dos tratamentos em recuperação é uma característica que deve ser trabalhada ou pelo plantio de adubos verdes, ou pela aplicação de compostos orgânicos, comuns à região, ou mesmo adição de serrapilheira. Tais práticas poderão dar melhores condições para o estabelecimento da vegetação nativa a ser implantada. (LONGO et al., 2005). O tratamento MATA apresentou os maiores teores de CTC, comparado aos demais tratamentos que está relacionado com o alto teor de matéria orgânica nesse tratamento.

Os teores de fósforo extraíveis pelo método da resina de troca variaram de 1,33 a 8,67 mg/dm<sup>3</sup>. O solo do tratamento MATA apresentou maior teor de fósforo disponível. Esses resultados são considerados baixos quando comparados com os níveis adotados por RAIJ et al. (1996). Os teores de potássio (K<sup>+</sup>) variaram de 0,43 a 1,03 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e os tratamentos RS4N4 e MATA apresentaram os maiores valores, apesar dos valores serem considerados baixos. O baixo teor dos nutrientes, principalmente nas áreas degradadas em fase de recuperação, está relacionado com os processos aplicados durante a mineração que provocaram a perda da camada fértil do solo devido à produção dos substratos.

Quanto aos teores de H+Al, o solo com MATA (83,33 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) apresentou valor significativamente superior aos demais tratamentos, sendo 9 vezes maior que o tratamento RS2N5 (9,33 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>).

Para resultados dos teores médios de cálcio (Ca<sup>2+</sup>) e magnésio (Mg<sup>2+</sup>), houve diferença significativa entre os tratamentos estudados de acordo com as diferentes



áreas. Os valores variaram de 1 a 7,33 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para o Ca<sup>2+</sup>, os tratamentos PL12N4 e RC5N5 apresentaram os maiores valores (7,33 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) que foram interpretados como alto teor de cálcio. Para o Mg<sup>2+</sup>, os tratamentos se comportaram de maneira semelhante, em que os teores variaram de 1 a 7 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> podendo ser indicados com baixos e médios.

**Tabela 6.** Atributos químicos avaliados nas amostras de solo das diferentes áreas.

Área	Tratamento	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
		mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	-----	-----	-----	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----	-----	-----	-----
1	RC1N4/5	4,00 a	12,33 b	4,2 c	0,60 b	3,00 c	1,67 b	20,67 e	5,67 c	26,33 e	20,00 d
2	RS2N5	3,67 a	4,67 b	5,1 b	0,43 c	2,00 c	1,33 b	9,33 e	3,67 c	13,00 e	28,33 c
3	RS3N4	5,33 a	8,67 b	4,6 b	0,43 c	3,33 c	2,00 b	14,00 e	6,00 c	20,00 e	29,33 c
4	RS4N4	4,33 a	9,67 b	4,7 b	1,03 a	4,33 b	2,33 b	14,33 e	7,67 b	22,00 e	35,33 c
5	RC5N5	3,00 a	13,00 b	4,8 b	0,67 b	7,33 a	5,33 a	18,67 e	13,67 a	32,33 d	41,67 b
6	PL6N5/6	2,33 a	13,33 b	4,0 c	0,67 b	1,67 c	2,33 b	30,00 d	5,00 c	35,00 d	14,00 d
7	RC7N5	3,00 a	12,00 b	4,5 b	0,77 b	5,00 b	2,33 b	20,67 e	8,33 b	29,00 d	28,00 c
8	RU8N4	4,33 a	4,33 b	4,9 b	0,43 c	2,33 c	1,00 b	12,00 e	3,67 c	15,67 e	24,00 c
9	RS9N5	4,33 a	12,67 b	4,8 b	0,63 c	4,67 b	3,00 b	17,00 e	8,33 b	25,33 e	30,67 c
10	RS10N4	2,33 a	5,67 b	4,4 c	0,73 b	1,67 c	1,00 b	12,33 e	3,67 c	16,00 e	21,33 d
11	PL11N4	2,33 a	9,67 b	5,0 b	0,67 b	4,33 b	3,33 b	18,00 e	8,67 b	26,67 e	34,00 c
12	PL12N4	6,67 a	7,00 b	5,7 a	0,43 c	7,33 a	7,00 a	11,67 e	14,67 a	26,33 e	55,67 a
13	PL13N5/6	1,33 a	9,67 b	4,2 c	0,43 c	1,33 c	2,00 b	29,33 d	3,67 c	33,00 d	12,00 e
14	PL14N6	3,33 a	20,67 a	4,0 c	0,73 b	2,00 c	1,67 b	43,67 c	4,67 c	48,33 c	9,00 e
15	MATA	8,67 a	25,67 a	3,8 c	0,97 a	1,00 c	1,00 b	83,33 a	3,00 c	86,33 a	3,67 e
16	CAP	2,33 a	18,00 a	3,9 c	0,53 c	1,33 c	1,00 b	63,67 b	3,00 c	66,67 b	4,33 e

MO= matéria orgânica; SB= soma de bases; CTC= capacidade de troca catiônica; V= saturação por bases. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

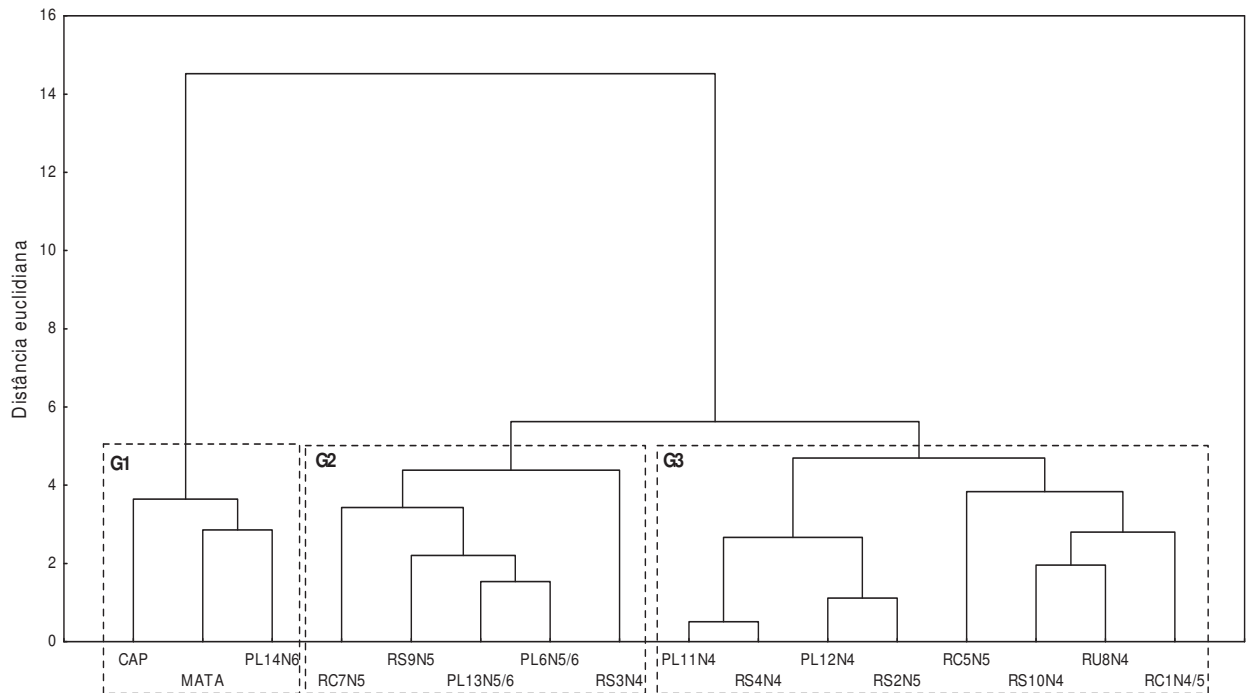
Com relação ao teor de estanho, os valores variaram de 7,95 a 37,74 mg/kg, indicando ainda a presença de estanho total nos solos mesmo após a mineração (Tabela 7). Estudos realizados por BULTEN & MEINEMA (1991) indicam que nos solos não mineralizados, o teor de Sn não excede normalmente 10 mg/kg, sendo em média de 1,1 a 4,6 mg/kg os quais se encontram mais ou menos bem distribuídos nos horizontes superficiais dos solos.

**Tabela 7.** Teor de estanho total (Sn) nas amostras de solo das diferentes áreas.

Área	Tratamentos	Sn total mg/kg
1	RC1N4/5	11,51 a
2	RS2N5	12,38 a
3	RS3N4	21,41 a
4	RS4N4	11,20 a
5	RC5N5	24,82 a
6	PL6N5/6	14,29 a
7	RC7N5	24,29 a
8	RU8N4	18,90 a
9	RS9N5	14,67 a
10	RS10N4	29,61 a
11	PL11N4	16,14 a
12	PL12N4	16,72 a
13	PL13N5/6	25,83 a
14	PL14N6	37,74 a
15	MATA	7,95 a
16	CAP	25,31 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em complemento, as análises multivariadas foram processadas com os valores de atividade enzimática (arilsulfatase, desidrogenase, fosfatase ácida e alcalina e celulase), respiração basal, carbono da biomassa microbiana (CBM) e teor de matéria orgânica que foram caracterizados por estruturas semelhantes. O dendrograma representativo da estrutura de grupos contida nos dados construído com a distância euclidiana e o método Ward estão apresentados na figura 1. Observa-se uma divisão de 3 grupos distintos: grupo G1 identificado pelos tratamentos CAP, MATA e PL14N6; grupo G2 identificado pelos tratamentos RS3N4, PL6N5/6, RC7N5, RS9N5 e PL13N5/6 e grupo G3 identificado pelos tratamentos RC1N4/5, RS2N5, RS4N4, RC5N5, RU8N4, RS10N4, PL11N4 e PL12N4.



**Figura 1.** Dendrograma resultante da análise de agrupamento dos diferentes tratamentos avaliados utilizando a distância euclidiana como coeficiente de semelhança e o algoritmo Ward como método de agrupamento quanto aos atributos químicos e bioquímicos avaliados.

A estrutura complexa formada pelos dois primeiros componentes principais CP1 e CP2 (Figura 2) e a correlação das variáveis com os componentes principais (Tabela 8) permitiram, adicionalmente, a caracterização das variáveis que mais discriminaram na formação dos grupos G1 e G2.

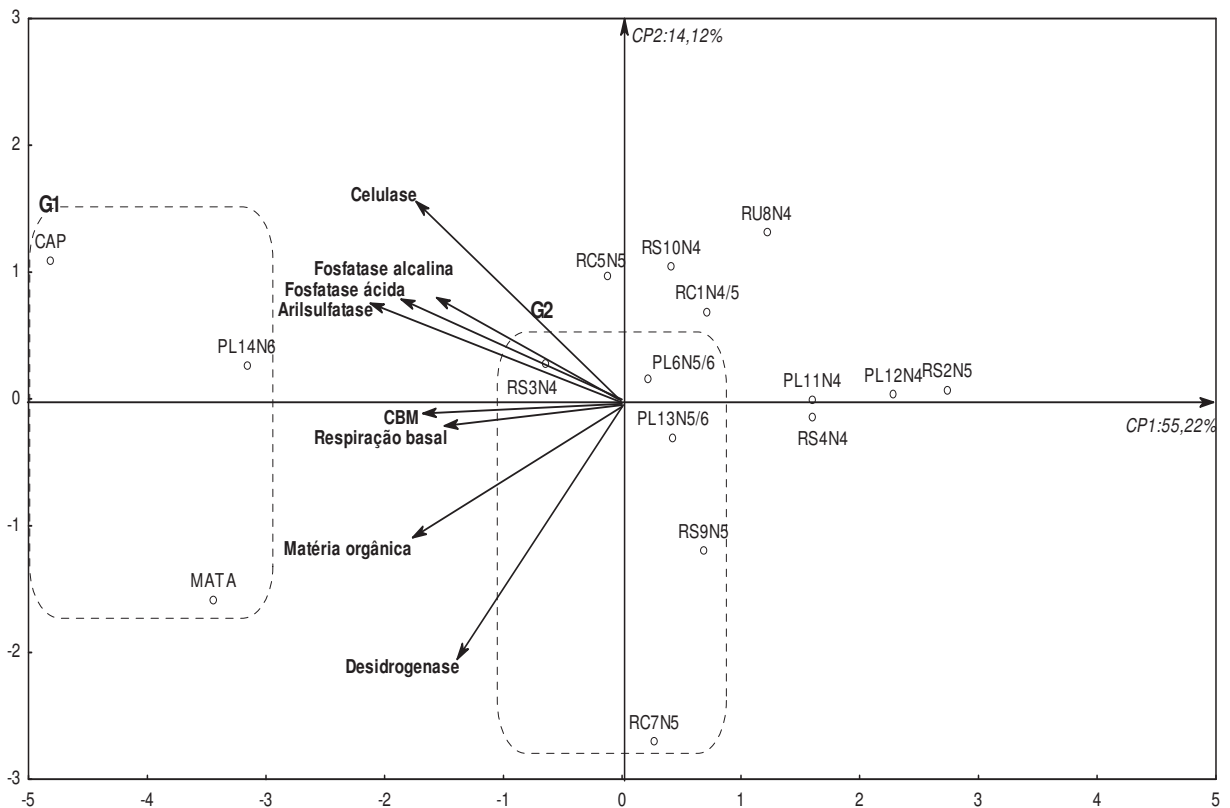
Os valores das correlações entre atributos bioquímicos do solo e os componentes CP1 e CP2 estão apresentados na tabela 8. O componente CP1 concentrou 55,22% da variabilidade original e as variáveis que mais contribuíram na discriminação dos tratamentos nesse componente e respectivas correlações foram as enzimas arilsulfatase (-0,85), fosfatase ácida (-0,74), celulase (-0,69) e fosfatase alcalina (-0,65); matéria orgânica (-0,84), CBM (-0,79) e respiração basal (-0,74). Essas variáveis são responsáveis pela discriminação dos grupos G1 à esquerda e G2 à direita, ou seja, os tratamentos contidos em G1 possuem valores superiores dessas variáveis quando comparados aos valores das áreas contidas no grupo G2. Os tratamentos contidos em G3 não ficaram discriminados, pois se localizaram próximo à

região central do biplot contido na figura 2, o que pode ser explicado pela situação atual dessas áreas que passam por processos de recuperação. O componente CP2 concentrou 14,12% da variabilidade original remanescente. A enzima desidrogenase, com correlação -0,77 com CP2 foi responsável pela discriminação dos tratamentos localizados nos extremos de CP2. Quanto mais abaixo uma área se localiza maior o teor da enzima desidrogenase, o tratamento RC7N5 ficou discriminado abaixo tendo, portanto maior teor do que as demais áreas.

**Tabela 8.** Correlação entre cada variável e cada componente principal.

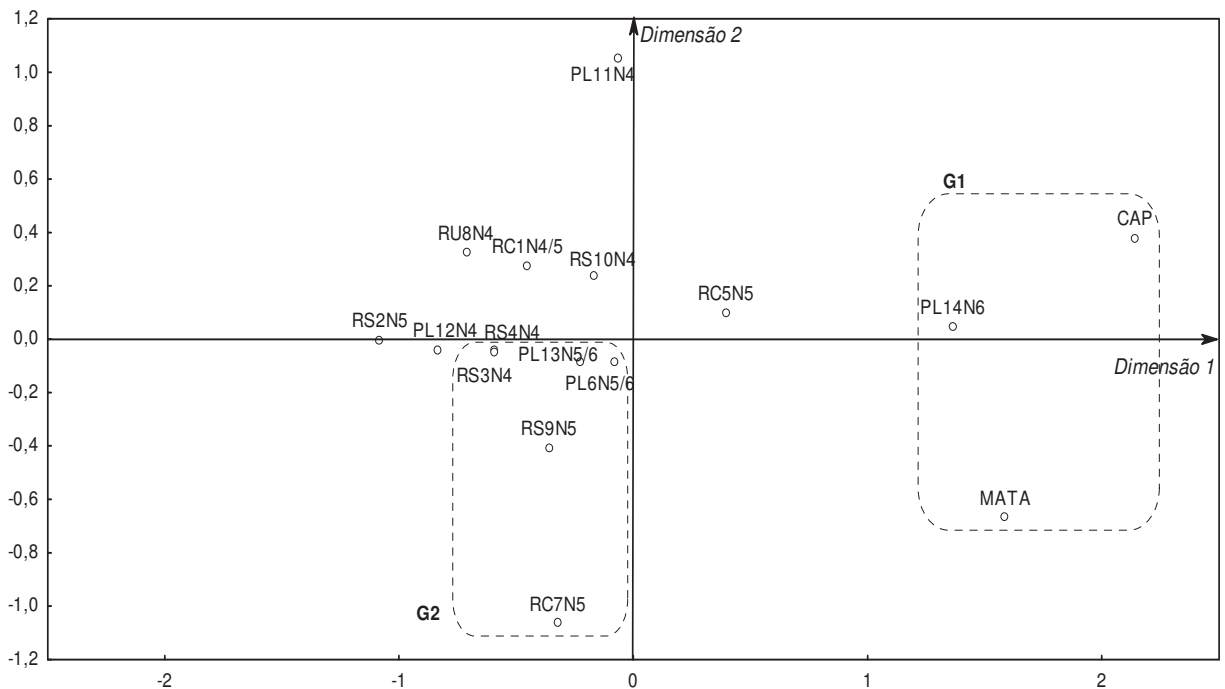
<b>Variável</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>
Arilsulfatase	<b>-0,8513</b>	0,2233
Matéria Orgânica	<b>-0,8450</b>	-0,3510
CBM	<b>-0,7944</b>	-0,0449
Respiração basal	<b>-0,7433</b>	-0,0928
Fosfatase ácida	<b>-0,7411</b>	0,2167
Celulase	<b>-0,6933</b>	0,5076
Fosfatase alcalina	<b>-0,6586</b>	0,2163
Desidrogenase	-0,5757	<b>-0,7710</b>

Além disso, o gráfico biplot construído com os componentes principais CP1 e CP2 apresenta a distribuição das amostras e a direção da ação das variáveis que identificam os padrões de cada grupo (Figura 2). Observa-se que o tratamento PL14N6, em recuperação, está em estágio avançado de recuperação ao compará-lo com MATA e CAP, pois se situam no mesmo grupo G1, comparado aos demais tratamentos. Esse tratamento também se destacou nas análises univariadas, principalmente em relação às enzimas fosfatase alcalina, arilsulfatase e celulase e ao CBM.



**Figura 2.** Gráfico biplot construído com os dois primeiros componentes principais mostrando a distribuição dos atributos químicos e bioquímicos avaliados nas áreas.

Adicionalmente, a análise de escalonamento multidimensional posiciona os dados numa representação gráfica em duas dimensões, combinando as similaridades calculadas a partir de uma matriz triangular de similaridade, para cada par de amostras (MANLY, 2005). A diferença entre a matriz gerada pela análise multidimensional e a matriz de distâncias original define a qualidade da representação. Essa diferença é avaliada por um valor denominado valor de *Stress*. Quanto menor esse valor, melhor a representação. A distribuição das amostras resultantes da análise por escala multidimensional dos atributos bioquímicos avaliados pode ser observada na Figura 3. O baixo valor do *Stress* (0,0952) é uma indicação do bom ajuste gerado pelo escalonamento multidimensional.



**Figura 3.** Mapa perceptual por escalonamento multidimensional das áreas, com base nos valores dos atributos químicos e bioquímicos do solo.

Assim, as três abordagens multivariadas mostraram resultados concordantes quanto à caracterização de 2 grupos discrepantes com propriedades específicas: grupo G1 discriminado por maiores valores de enzimas arilsulfatase, fosfatase ácida e alcalina, celulase, de CBM, de respiração basal e de matéria orgânica quando comparado aos valores do grupo G2.

### 3.4. Conclusões

Os atributos químicos e bioquímicos do solo podem ser utilizados como parâmetros para avaliação dos níveis de recuperação das áreas degradadas e em áreas de mata e capoeira.

O tratamento PL14N6 está em estágio avançado de recuperação ao compará-lo com as áreas nativas, pois se situam no mesmo grupo G1, comparado aos demais tratamentos, principalmente em relação às enzimas fosfatase alcalina, arilsulfatase e celulase e ao CBM.

### 3.5. Referências

ALEF, K. & NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 320 p.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients ( $qCO_2$  and  $qD$ ) on microbial biomasses from soils of different croppings histories. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 22, n. 1, p. 251-255, 1990.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

BOHNEN, H. Acidez do solo: origem e correção. In: KAMINSKI, J. (Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo regional sul, 2000. p. 9-19 (Boletim Técnico, 4).

BULTEN, E. J.; MEINEMA H. A. Tin. In: MERIAN, E (Ed.). **Metals and Their Compounds in the Environment**. Weinheim: VCH, 1991. p. 1243-1259.

CERRI, C. C.; ANDREAU, F.; EDUARDO, B. P. O. Ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, E. J. B. N., TSAI, S. M., NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360 p.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 925-930, 2002.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 913-923, 2002.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Phosphatases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 9, n. 3, p. 167-172, 1977.

EMBRAPA. Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

FONTES, M. P. F. Estudo pedológico reduz impacto da mineração. **Revista Tecnologia Ambiente**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 58-62, 1991.

GAMA-RODRIGUES, E. F. **Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana da serapilheira de povoamentos de eucalipto**. 1997. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1997.

GRIFFITH, J. J.; DIAS, L. E.; JUCKSCH, I. Recuperação de áreas degradadas usando vegetação nativa. **Saneamento Ambiental**, São Paulo, v. 7, n.37, p. 28-37, 1996.

HAIR, J. F., ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L., BLACK, W. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 600 p.

LEE, K. E. The functional significance of biodiversity in soils. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15., 1994, Acapulco. **Anais...** Acapulco: International Society of Soil Science, 1994, p. 168-182.



LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 101-107, 2005.

MAEDER, P.; FLIESSBACH, A.; DUBOIS, D.; GUNST, L.; FRIED, P.; NIGGLI, U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. **Science**, London, v. 296, n. 5573, p. 1694-1697, 2002.

MANLY, B. F. J. **Multivariate Statistical Methods** – Aprimer, 3. ed. Florida: Chapman & Hall, 2005. 214 p.

MENDONÇA, D.; FIGUEIREDO, S. R.; KLAUBERG FILHO, O.; PIRES, J. C. Características biológicas de um solo reconstruído após mineração de carvão a céu aberto com adição de calagem e esterco animais. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, v. 25, 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2002.

PANCHOLY, S. K.; RICE, E. L. Soil enzymes in relation to old field succession: Amylase, cellulase, invertase, dehydrogenase, and urease. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 37, n. 1, p. 47-50, 1973.

RAIJ, B. Van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

SANTOS, A. C.; SILVA, I. F.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, A. P.; CAVALCANTE, V. R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: Efeito nas

características químicas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 1063-1071, 2001.

SILVA JÚNIOR, M., SIQUEIRA, E. R., COSTA, J. L. da S. Hidrólise de diacetato de fluoresceína como biondicador da atividade microbológica de um solo submetido a reflorestamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1493-1495, 2004.

SILVA JÚNIOR, A. M.; BORGES, E. N.; SOUZA, M. A. SILVA; SOUSA, G. M.; GUIMARÃES, E. C.; BORGES, E. V. S. Carbono orgânico em diferentes sistemas de manejo no Triângulo Mineiro. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 15, 2004, **Anais...** Santa Maria, 2004.

SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Atributos microbológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 48-55, 2006.

SCHUNER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, v. 43, n. 1, p. 1256-1261, 1982.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 34, n. 1, p. 225-229, 1970.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY, P. S. **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994, p. 775-883.

USEPA. U.S. Environmental Protection Methods. **Standard methods for examination of the water and wastewater**. 21. ed. Washington: U.S. Governmental Print Office, 1992.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VERDES TEMPOS. **Plano de Recuperação de Áreas Degradadas**. Itapuí do Oeste: BPRA, 2008.