

DEISE MACHADO FERREIRA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE INDICADORES
DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR
MINERAÇÃO DE BAUXITA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "*Doctor Scientiae*"

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

DEISE MACHADO FERREIRA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE INDICADORES
DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR
MINERAÇÃO DE BAUXITA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "*Doctor Scientiae*"

APROVADA: 27 de fevereiro de 2003.

Prof. Jaime Wilson V. de Mello
(Conselheiro)

Prof^a. Maria Catarina M. Kasuya

Prof^a. Emanuela F. da Gama-Rodrigues

Prof. Ivo Jucksch

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho
(Orientador)

*“Se as coisas são inatingíveis... ora!
Não é motivo para não querê-las...
Que tristes os caminhos, se não fora
A presença distante das estrelas!
das Utopias.*

(Mário Quintana)

BIOGRAFIA

DEISE MACHADO FERREIRA DE OLIVEIRA, nasceu no dia 04 de maio de 1963 na cidade mineira de Rio Preto. É filha de Belmira Machado Ferreira de Oliveira e de Antônio Carlos Ferreira de Oliveira, casada com Adriano José Boratto e seu filho chama-se Davi.

Em 1986, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

Foi bolsista pela EPAMIG no período de 1985 a 1987, na área de controle biológico de fitopatógenos.

Em 1991, tornou-se mestre em Microbiologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

Em 1992, ingressou como professora da Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas-BA.

Em fevereiro de 2003, submeteu-se à defesa de tese, para conclusão do curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, em nível de doutorado.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal da Bahia, à Universidade Federal de Viçosa e à CAPES, pelo apoio institucional e financeiro.

À Mineração Rio do Norte e seu corpo técnico, pelo apoio operacional e financeiro, em especial aos senhores Nascimento, Delmo, Alexandre, Josias, Magrão, Duda e senhorita Socorro pelo apoio e pelo agradável convívio durante nossa estadia em Porto Trombetas.

Ao professor Luiz Eduardo Dias, pela amizade e pelo exemplo de respeito e de tolerância.

Ao professor Elpídio Inácio Fernandes Filho e sua família, pela amizade, pelo carinho e pelo apoio.

Aos professores membros de nossa banca examinadora, professores Emanuela F. Gama-Rodrigues, Ivo Jucksch, Jaime W.V. de Mello e Maria Catarina M. Kasuya, pelas sugestões propostas e pelo respeito.

Aos colegas estudantes, funcionários e professores do Departamento de Solos da UFV, pelos momentos agradáveis e pelas inúmeras experiências trocadas.

Ao Bodão, colega agrônomo por mérito, agradeço pelo exemplo de dedicação.

A todos os amigos viçosenses, em especial, os da Violeira e do Zigue-Zague, obrigada pela acolhida e amizade.

À amiga Oselita Anunciação Assis e familiares, pela amizade e pelo apoio.

Aos meus familiares e aos amigos distantes, por sempre poder contar com vocês.

À Adriano e Davi, pelo irrestrito amor.

CONTEÚDO

| | Página |
|--|--------|
| RESUMO | xiv |
| ABSTRACT | xvi |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 14 |
| 3.1. Caracterização das áreas estudadas | 14 |
| 3.2. Amostragens dos substratos e do solo de referência | 15 |
| 3.3. Análises laboratoriais | 17 |
| 3.3.1. Análises físicas | 17 |
| 3.3.2. Caracterização química..... | 17 |
| 3.4. Caracterização da matéria orgânica | 17 |
| 3.4.1. Carbono orgânico total..... | 17 |
| 3.4.2. Matéria orgânica leve | 18 |
| 3.4.3. Carbono das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina..... | 19 |
| 3.5. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana..... | 19 |
| 3.6. Análises estatísticas..... | 20 |

| | |
|---|----|
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 23 |
| 4.1. Características físicas | 23 |
| 4.2. Biomassa microbiana | 23 |
| 4.2.1. Considerando as duas épocas de coleta – períodos seco e úmido | 23 |
| 4.2.2. Considerando a coleta no período de menor precipitação – período seco | 30 |
| 4.2.3. Considerando a coleta no período de maior precipitação – período úmido | 32 |
| 4.3. Características químicas | 35 |
| 4.3.1. Considerando as duas épocas de coleta – períodos seco e úmido | 35 |
| 4.3.2. Considerando a coleta no período de menor precipitação – período seco | 41 |
| 4.3.3. Considerando a coleta no período de maior precipitação – período úmido | 43 |
| 4.4. Matéria orgânica | 50 |
| 4.4.1. Considerando as amostragens dos períodos seco e úmido .. | 50 |
| 4.4.2. Considerando as amostragens no período seco | 55 |
| 4.5. Fracionamento da matéria orgânica | 57 |
| 4.5.1. Considerando as amostragens nos períodos seco e úmido .. | 57 |
| 5. CONCLUSÕES | 61 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 62 |
| APÊNDICE | 68 |

LISTA DE QUADROS

| | Página |
|--|--------|
| 1 Características das diferentes áreas revegetadas e sob mata primária amostradas em Porto Trombetas-PA..... | 15 |
| 2 Descrição das amostras tomadas para análise estatística em função da época de coleta, ano de revegetação e profundidade de amostragem das diferentes áreas revegetadas e sob mata primária amostradas em Porto Trombetas-PA | 21 |
| 3 Descrição das amostras tomadas para análise estatística em função da época de coleta e ano de revegetação, considerando a profundidade de 0 a 2,5 cm, das diferentes áreas revegetadas e sob mata primária amostradas em Porto Trombetas-PA..... | 22 |
| 4 Análise granulométrica de amostras de solo e de substratos em recuperação de áreas da Mineração Rio do Norte em Porto Trombetas-PA..... | 24 |
| 5 Valores médios do carbono (CBM) e do nitrogênio (NBM) e da relação C/N da biomassa microbiana, em amostras de solo retiradas à profundidade de 0 a 2,5 cm, de nove áreas em processo de recuperação após atividade de mineração e a área de referência sob mata primária, em Porto Trombetas-PA..... | 25 |
| 6 Agrupamento das amostras, efetuado pelo método de otimização de Tocher e as respectivas médias dos grupos à profundidade de 0 a 2,5 cm | 25 |

| | | |
|----|--|----|
| 7 | Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa ⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), considerando os períodos seco e úmido de amostragem associados às três variáveis analisadas por componentes principais..... | 28 |
| 8 | Agrupamento das amostras efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragem no período seco | 30 |
| 9 | Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa ⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), considerando os períodos seco e úmido de amostragem associados às três variáveis analisadas por componentes principais, para o período seco | 31 |
| 10 | Agrupamento das amostras efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragem no período úmido | 32 |
| 11 | Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa ⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), considerando os períodos seco e úmido de amostragem associados às três variáveis analisadas por componentes principais, para o período úmido | 33 |
| 12 | Valores médios das características químicas de amostras de solo e substratos em recuperação, à profundidade de 0 a 2,5, 2,5 a 7,5 e 7,5 a 20 cm, de nove áreas em processo de recuperação após atividade de mineração e a área de referência sob mata primária, em Porto Trombetas-PA, amostras coletadas no período seco | 37 |
| 13 | Valores médios das características químicas de amostras de solo e substratos em recuperação, à profundidade de 0 a 2,5, 2,5 a 7,5 e 7,5 a 20 cm, de nove áreas em processo de recuperação após atividade de mineração e a área de referência sob mata primária, em Porto Trombetas-PA, amostras coletadas no período úmido | 38 |
| 14 | Agrupamento das amostras efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragens no período seco e úmido | 39 |
| 15 | Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa ⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), para as variáveis consideradas, nos períodos seco e úmido de amostragem..... | 40 |
| 16 | Agrupamento das amostras efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragens no período seco | 42 |

| | | |
|----|--|----|
| 17 | Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa ⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), para as variáveis consideradas, nos períodos seco de amostragem | 45 |
| 18 | Agrupamento das amostras efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragens no período úmido | 47 |
| 19 | Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa (coeficientes de ponderação – autovetores), para as variáveis consideradas, no período úmido de amostragem..... | 48 |
| 20 | Valores médios da matéria orgânica (MO), matéria orgânica leve (MOL), carbono da matéria orgânica leve (CMOL), carbono (C) e nitrogênio (N) total, relação C/N (CN) de amostras de substratos em recuperação e de solo, à profundidade de 0 a 2,5, 2,5 a 7,5 e 7,5 a 20 cm, de nove áreas em processo de recuperação após atividade de mineração e a área de referência sob mata primária, em Porto Trombetas-PA. considerando a amostragem no período seco | 51 |
| 21 | Valores médios da matéria orgânica (MO), matéria orgânica leve (MOL), carbono da matéria orgânica leve (CMOL), carbono (C) e nitrogênio (N) total, relação C/N (CN) de amostras de substratos em recuperação e de solo, à profundidade de 0 a 2,5, 2,5 a 7,5 e 7,5 a 20 cm, de nove áreas em processo de recuperação após atividade de mineração e a área de referência sob mata primária, em Porto Trombetas-PA, considerando a amostragem no período úmido | 52 |
| 22 | Agrupamento dos tratamentos efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando as amostragens nos períodos seco e úmido | 53 |
| 23 | Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa ⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), para as variáveis consideradas, nos períodos seco e úmido de amostragem..... | 54 |
| 24 | Agrupamento dos tratamentos efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragens no período seco | 56 |
| 25 | Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa ⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), para as variáveis consideradas, no período seco de amostragem | 56 |
| 26 | Valores médios de ácidos húmicos (AHUM), ácidos fúlvicos (AFUL) e humina (HUM) de amostras de substratos em recuperação e de solo, à profundidade de 0 a 2,5, 2,5 a 7,5 e 7,5 a 20 cm, de nove áreas em processo de recuperação após atividade de mineração e a área de referência sob mata primária, em Porto Trombetas-PA, considerando amostragens nos períodos seco e úmido..... | 58 |

| | | |
|----|---|----|
| 27 | Agrupamento das amostras efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragem nos períodos seco e úmido | 59 |
| 28 | Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa ⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), para as variáveis consideradas, nos períodos seco e úmido de amostragem..... | 59 |
| 1A | Espécies plantadas nos reflorestamentos de 1982, 1984, 1986, 1987, 1992, 1994 e 1998 pela Mineração Rio do Norte, em Porto Trombetas-PA | 68 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| 1 Distribuição das médias mensais da pluviosidade, no período de 1982 a 2000, na estação de Porto Trombetas- Mina de Saracá-PA..... | 16 |
| 2 Temperaturas médias mensais das mínimas e das máximas na estação de Porto Trombetas-PA, no período de 1986 a 1998..... | 16 |
| 3 Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas e aos dois períodos de amostragem, úmido e seco, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis carbono, nitrogênio e relação C/N da biomassa microbiana | 28 |
| 4 Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas e a amostragem no período seco, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis carbono, nitrogênio e relação C/N da biomassa microbiana..... | 31 |
| 5 Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas e a amostragem no período úmido, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis carbono, nitrogênio e relação C/N da biomassa microbiana..... | 33 |

| | | |
|----|--|----|
| 6 | Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas, amostradas em três profundidades e período seco e úmido, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis relacionadas a caracterização química do solo | 41 |
| 7 | Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas, amostradas em três profundidades e no período seco, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis relacionadas a caracterização química do solo | 46 |
| 8 | Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas, amostradas em três profundidades e no período úmido, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis relacionadas a caracterização química do solo. | 49 |
| 9 | Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas, amostradas em três profundidades nos períodos seco e úmido, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis matéria orgânica e matéria orgânica leve do solo | 55 |
| 10 | Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas, amostradas em três profundidades no períodos seco, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis matéria orgânica e matéria orgânica leve do solo | 57 |
| 11 | Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas, amostradas em três profundidades nos períodos seco e úmido, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina | 60 |

RESUMO

OLIVEIRA, Deise Machado Ferreira de, D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2003. **Estudo da viabilidade de utilização de indicadores de recuperação de áreas degradadas por mineração de bauxita.** Orientador: Luiz Eduardo Dias. Conselheiros: Jaime Wilson Vargas de Mello e Avílio Antônio Franco.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de se avaliar algumas características químicas e microbiológicas como indicadoras de qualidade ambiental em substratos de áreas mineradas para extração de bauxita, com diferentes idades de revegetação. Foram amostradas nove áreas da Mineração Rio do Norte, em Porto Trombetas, no estado do Pará, revegetadas em 1982, 1984, 1986, 1987, 1992, 1994, 1996, 1998. Uma área de solo (Latosolo Amarelo) sob cobertura de mata primária foi amostrada para servir como área de referência. Foram feitas amostragens de duas áreas revegetadas em 1994, uma área denominada de 1994c, que recebeu o horizonte A do solo original como cobertura e 1994s, que não recebeu o horizonte A superficialmente. Nas áreas revegetadas na década de 80 o horizonte A original foi incorporado ao material e nas áreas da década de 90 esse horizonte A do Latossolo Amarelo original foi colocado como cobertura em uma camada de aproximadamente 20 a 30 cm. As áreas foram revegetadas com uma mistura de espécies arbóreas, com

exceção da área revegetada em 1987, onde se cultivou apenas tachi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Voguel). As amostras de substrato e solo foram coletadas em duas épocas do ano, nos períodos de menor e maior precipitação na região, à profundidade de 0 a 2,5 cm para a avaliação do carbono e do nitrogênio da biomassa microbiana e de 0 a 2,5, 2,5 a 7,5 e 7,5 a 20 cm para as características químicas do solo. Os resultados obtidos foram submetidos a análise de agrupamento e por componentes principais. O carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana se apresentaram como bons indicadores do estágio de recuperação/degradação dos substratos. Não obstante, os resultados terem sido diferentes entre as áreas, o uso de C e N da biomassa como indicadores de qualidade do solo, necessariamente requer um plano de amostragem que considere as variações climáticas locais. A utilização das frações da matéria orgânica como indicadores da qualidade do solo requer amostragens periódicas a fim de se obter um banco de dados que reflita o perfil da área. A matéria orgânica total e matéria orgânica leve são características que podem ser usadas como indicadores da qualidade do solo.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Deise Machado Ferreira de, D.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2003. **Study of the viability of utilization of reclamation indicators of bauxite mining areas.** Adviser: Luiz Eduardo Dias. Committee members: Jaime Wilson Vargas de Mello and Avílio Antônio Franco.

Chemical and microbiologic characteristics were evaluated as environment quality indicators in substrates from bauxite extraction areas with different ages of revegetation. Nine areas (revegetated in 1982, 1984, 1986, 1987, 1992, 1994, 1996, and 1998) of the Company Mineração Rio do Norte were sampled in Porto Trombetas, State of Para, Brazil. Control samples were taken from the soil (Oxisol) of a neighboring area under natural rain forest. Two areas revegetated in 1994 were sampled, one called 1994c which had received original topsoil as cover layer and another, called 1994s, which had not received topsoil. In all areas revegetated in the 80's, the horizon A of the original Oxisol was incorporated into the substrate while in the areas revegetated during the 90's the topsoil was applied as a cover layer of 20-30 cm. The areas were revegetated with a composition of tree species, except for the area revegetated in 1987, where only taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Voguel) was planted. Substrate and soil samples were collected twice a year, once in the dry and once in the wet season, at a depth of 0-2.5 cm

for the evaluation of C and N contents in the microbial biomass and at depths of 0-2.5, 2.5-7.5, and 7.5-20 cm for the chemical characteristics. The obtained results were submitted to cluster and mean component analysis. C and N contents in the microbial biomass proved to be appropriate indicators for the reclamation/degradation stage of the substrates. However, since results differed among the sampled areas, the use of C and N of the microbial biomass as soil quality indicators necessarily requires a sampling plan which considers local climatic variations. The utilization of organic matter fractions as soil quality indicators requires periodical evaluations for the formation of a data bank that represents the area's profile. Total organic matter and light organic matter are characteristics that can be used as soil quality indicators.

1. INTRODUÇÃO

O uso do solo, pelo homem, para urbanização, agricultura ou reflorestamento, obras de engenharia ou mineração tem se tornado, nas últimas décadas, importante agente de degradação desse recurso natural. Dentre estas atividades, a de mineração, pode causar impactos locais, que não atingem grandes áreas, quando comparadas as atividades agrícolas, de desmatamento ou de superpastejo (Dias & Griffith, 1998). Por outro lado, embora não atinjam grandes extensões, as atividades de mineração têm influência muito maior do que a área de lavra podendo provocar impactos nos recursos hídricos, fauna e flora.

O uso intensivo do solo causa alterações no equilíbrio dinâmico característico de ecossistemas naturais. Nestes, a elevada biodiversidade que está em equilíbrio dinâmico resulta no uso mais eficiente de matéria e de energia disponíveis (Atlas & Bartha, 1998). A mudança dessas condições causa alterações desse equilíbrio, com a concomitante redução de biodiversidade. Como consequência, há uma redução da eficiência com que os recursos são utilizados e ocorrem perdas de energia potencial acumulada na forma de material orgânico e de nutrientes.

No Brasil, desde 1988, a legislação que consta da Constituição Federal e Decretos correlatos, trata da obrigatoriedade em se recuperar áreas degradadas. Os empreendimentos que exploram os recursos

minerais ficam obrigados a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei (IBAMA, 1990).

Segundo Dias & Griffith (1998) a avaliação da extensão de áreas degradadas passa a ser um processo complexo, na medida em que se faz necessário estabelecer claramente o conceito de solo degradado. Segundo os autores em áreas sujeitas a atividade de mineração é mais fácil se caracterizar a degradação do que em áreas agrícolas.

Atualmente muito tem se discutido sobre o conceito de degradação ou de qualidade de solos (Larson & Pierce, 1994; Stenberg, 1999; Doran & Zeiss, 2000). O conceito de qualidade de um solo historicamente estava relacionado ao de produtividade, contudo esse conceito não se relaciona com os aspectos ambientais e de sustentabilidade. Doran & Parkin (1994) revisaram várias propostas de definições de qualidade de solo e sugerem que a qualidade de um solo pode ser definida como *“a capacidade de um solo de funcionar como um ecossistema limite para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e de animais”*.

A qualidade de um solo está relacionada diretamente com suas características físicas, químicas e biológicas. Esses componentes interagem em complexas estruturas ecológicas e fornecem valiosas informações sobre a qualidade do solo. Entretanto, são inúmeras as possibilidades de se avaliar as características físicas, químicas e biológicas dos solos. Assim, reside em estabelecer destas características aquelas que forneceriam informações mais acuradas sobre os processos que sofreram modificações no solo.

Stenberg (1999), revisando outros autores, considera os seguintes critérios para um indicador de qualidade do solo: deve integrar propriedades físicas, químicas e biológicas e os processos a elas relacionados; deve ter relevância ecológica; deve ser sensível às variações ao longo do tempo nas condições de manejo e climáticas sendo entretanto resistente às flutuações de curto prazo devido a condições temporárias; deve ser mensurável acurada e precisamente em uma variedade de tipos e condições de solos; deve ser simples de ser avaliado e de baixo custo já que deve-se proceder um grande número de análises que comporão um banco de dados.

Os indicadores de qualidade do solo mais amplamente utilizados são aqueles relacionados com suas características químicas como CTC, pH, disponibilidade de nutrientes, conteúdo de matéria orgânica, condutividade elétrica; físicas como textura, profundidade, densidade de solo, capacidade de retenção de água, resistência à penetração de raízes ou biológicas como, carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana, respiração do solo, atividade enzimática e potencial de mineralização de nitrogênio (Doran & Parkin, 1994; Trasar-Cepeda, 1998; Wick et al., 1998; Stenberg, 1999; Herrick, 2000; Tolmasquim, 2001).

A Mineração Rio do Norte-MRN, situada na região amazônica no município de Oriximiná-PA, explora a bauxita há aproximadamente 25 anos. Toda área a ser minerada é coberta por floresta primária e as áreas que já foram mineradas foram recompostas e revegetadas com variadas espécies. A empresa mantém constante monitoramento das áreas sob sua atuação. São monitorados: o solo, a vegetação plantada e a de sucessão, a fauna e a mesofauna. Tais áreas, portanto, representam um amplo campo de estudos para as mais variadas áreas da ciência, em especial daquelas relacionadas com recuperação de solos, pois, em princípio, a cobertura do solo é o interesse imediato para que todo o equilíbrio se restabeleça.

Com base na literatura pesquisada e em resultados prévios sobre o estágio de recuperação das áreas degradadas, elaborou-se a hipótese de que nessas áreas da MRN, pode-se verificar qual indicador de qualidade do solo melhor reflete o estágio de recuperação, a depender do tempo de revegetação, do processo de recuperação e da profundidade e época de amostragem. Portanto, o trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar algumas características químicas e microbiológicas de solo, como indicadores de qualidade ambiental de áreas em recuperação da Mineração Rio do Norte em Porto Trombetas, PA.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Sendo indiscutível o caráter utilitário do solo como sistema natural para produção de alimentos e materiais, para abrigo e proteção, este vem sendo, através dos tempos, objeto de estudo do homem. Já nos primórdios da história do homem quando este efetuou a mudança de coleta para cultivo de alimentos, vendo deste modo o solo como meio para o crescimento de plantas e fazendo distinção em fertilidade e produtividade.

O conceito de solo como meio para o crescimento de plantas tem sido usado por muito tempo pelos homens. Este conceito de solo começou a existir no período denominado por Bradwood (1961) citado por Krupenikov (1993) de “revolução agrícola”. A mudança de coleta para cultivo de alimentos, ocorreu há aproximadamente 9.000 anos atrás ao longo das margens dos rios Tigres e Eufrates em porções do Irã e Iraque. Esta mudança deve ter ocorrido na América Central à aproximadamente 6.500 anos atrás, iniciando-se com o cultivo do milho no vale do Tehuacám, no sul do México.

Os dados arqueológicos indicam que na Europa, no período Neolítico, as pessoas aprenderam que os solos se diferenciam na produção de alimentos. Esta concepção tem persistido de alguma forma até os dias atuais (Simonson, 1968).

Supõe-se que por volta do ano de 2000 a.C, os gregos já conheciam as diferenças entre os solos e desenvolveram métodos para preparo das terras secas da região Mediterrânea. A qualidade dos solos, isto é, sua fertilidade, era relacionada com as condições meteorológicas e com seu uso. Para os gregos o solo era um corpo mudando com o tempo (Krupenikov, 1993).

Em 1902, uma expedição francesa recuperou uma coluna de basalto, que está agora no museu do Louvre, na qual estão gravadas as leis do Rei Hamurab, da Babilônia (1792-1750 a.C.). Uma das leis diz sobre a conservação dos solos irrigados: se um homem negligencia os cuidados com suas terras, ou não corrige esses danos, e esses chegam a desenvolver uma brecha e a água flui para seu vizinho, então esse deve compensá-lo pela perda dos grãos (Krupenikov, 1993).

Desde o século 17 até meados do século 20, a meta primordial dos cientistas de solo consistia em aumentar a produção das culturas. Neste período, o químico alemão Justus von Liebig, em 1840, demonstrou experimentalmente que os rendimentos de culturas dependiam diretamente dos montantes de minerais ou elementos inorgânicos aplicados ao solo.

Um novo conceito de solo surgiu com o nascimento e o desenvolvimento da geologia durante os séculos 18 e 19. A geologia foi a primeira ciência a desenvolver métodos de campo e esses puderam ser aplicados ao estudo dos solos. Os geólogos deram atenção aos solos porque os consideravam como produtos do intemperismo das rochas.

Este conceito de solo como manto solto e intemperismo de rocha permaneceu de diversas formas até o século 20. Para os pedólogos, a camada superior do regolito é o solo. Podemos verificar que esse conceito de solo como manto de intemperismo ainda permanece.

O conceito de solo como corpo natural organizado surgiu no final do século 19 e do 20, parte na Rússia e parte nos EUA. Este conceito foi primeiramente estabelecido por Dokuchaev, que em seus estudos de geologia, geomorfologia e gênese de solos da Rússia, argumentou que os solos são produtos de interações extremamente complexas do clima, plantas e animais, material de origem, topografia e idade da paisagem local (Krupenikov, 1993). A contribuição de Dokuchaev e seus colaboradores foi

de grande importância: eles reconheceram a operação de um número de fatores na gênese dos solos chamando a atenção para a interação entre esses fatores.

O conceito de solo como um corpo natural é o que tem prevalecido. Desde os trabalhos pioneiros de Dokuchaev, na Rússia e de Hilgard, nos Estados Unidos, pedólogos do mundo inteiro têm levado em consideração os diferentes fatores e processos de formação de solo, para explicar as características gerais de um solo na paisagem. Modelos matemáticos, inclusive, foram empregados para explicar essas modificações termodinâmicas dessa fina camada de interface da crosta terrestre (Jenny, 1941, Runge, 1973).

Os fatores de formação do solo segundo Jenny (1941) são clima, organismos, relevo, material de origem e tempo. Entre os organismos, podemos incluir a atividade humana (Resende et al., 1997).

O uso do solo, pelo homem, tem se tornado nas últimas décadas, importante agente de degradação. Dentre estas atividades, a de mineração, pode causar impactos locais que não alcançam grandes áreas, quando comparados às atividades agrícolas, de desmatamento ou de superpastejo (Dias & Mello, 1998). Por outro lado, apesar de em geral, não atingirem grandes extensões, as atividades de mineração têm influência muito maior do que a área de lavra, podendo afetar os recursos hídricos, a fauna e a flora do local e entorno.

Segundo Dias & Griffith (1998) a avaliação da extensão de áreas degradadas passa a ser um processo complexo, na medida em que se faz necessário estabelecer claramente o conceito de solo degradado. Segundo os autores em áreas sujeitas a atividade de mineração é mais fácil se caracterizar a degradação do que em áreas agrícolas.

Atualmente, muito tem-se discutido sobre o conceito de degradação ou de qualidade de solos (Doran & Parkin, 1994; Larson & Pierce, 1994; Stenberg, 1999) para que se possa efetivamente avaliar seu estágio de degradação e assim contribuir para sua recuperação.

O conceito de qualidade de um solo historicamente estava relacionado ao de produtividade, como discutido anteriormente, contudo esse conceito nem sempre se relaciona com os aspectos ambientais e de

sustentabilidade. Doran & Parkin (1994) revisaram várias propostas de definições de qualidade de solo e sugerem que a qualidade de um solo pode ser definida como *“a capacidade de um solo de funcionar como um ecossistema limite para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e de animais”*.

A qualidade de um solo está relacionada diretamente com suas características físicas, químicas e biológicas. Esses componentes interagem em complexas estruturas ecológicas e fornecem valiosas informações sobre a qualidade do solo. Entretanto, são inúmeras as possibilidades de se avaliar as características físicas, químicas e biológicas de solos, de modo que é difícil escolher as variáveis que forneceriam informações mais acuradas sobre os processos que sofreram modificações no solo.

Os pesquisadores têm concentrado seus esforços a fim de oferecer cada vez mais alternativas e informações para que o processo de recuperação ambiental seja cada vez mais eficiente.

Stenberg (1999), revisando outros autores, considera os seguintes critérios para um indicador de qualidade de solo: deve integrar as propriedades físicas, químicas e biológicas e os processos a elas relacionados; deve ter relevância ecológica; deve ser sensível às variações ao longo do tempo nas condições de manejo e climáticas sendo, por outro lado, resistente às flutuações de curto prazo devido a condições temporárias; deve ser mensurável acurada e precisamente em uma variedade de tipos e condições de solos; deve ser simples de ser avaliado e de baixo custo já que se requer um grande número de análises que comporão um banco de dados.

Santana & Bahia Filho (1998) definem indicadores de qualidade de solo como sendo as propriedades, processos e características físicas, químicas e biológicas que podem ser medidas para monitorar mudanças na qualidade do solo. Os autores dividem esses indicadores em quatro grupos gerais:

- a) Indicadores visuais: os indicadores visuais são aqueles que podem ser obtidos de observações ou de interpretação de fotografias. Exposição do subsolo, mudança de cor do solo, sulcos ocasionais,

acúmulo de água, enxurrada, resposta da planta, espécies de ervas daninhas, poeira e deposição de sólidos são alguns poucos exemplos de indicadores potenciais determinados localmente.

- b) Indicadores físicos: são aqueles relacionados ao arranjo das partículas sólidas e dos poros. Exemplos incluem densidade, porosidade, estabilidade de agregados, textura, encrostamento e compactação. Esses indicadores refletem primariamente limitações para o desenvolvimento radicular, emergência de plântulas, infiltração ou retenção de água no perfil do solo.
- c) Indicadores químicos: exemplos de indicadores químicos são pH, salinidade, matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca de cátions, ciclagem de nutrientes e concentração de elementos que podem ser potencialmente contaminantes (metais pesados, compostos radioativos etc.) ou aqueles que são essenciais para o crescimento e o desenvolvimento de plantas. As condições químicas do solo afetam a relação solo-planta, qualidade da água, capacidade tamponante, disponibilidade de nutrientes e de água para as plantas e outros organismos, mobilidade de contaminantes, entre outros.
- d) Indicadores biológicos: incluem medições de micro e macrorganismos, suas atividades e subprodutos. Como exemplos pode-se citar, a taxa de respiração que pode ser usada para medir a atividade microbiológica, especialmente decomposição de matéria orgânica no solo; ergosterol, um subproduto fúngico, tem sido usado para medir a atividade de organismos que têm um papel importante na estabilidade dos agregados; medições da taxa de decomposição de resíduos de plantas podem servir como indicadores biológicos da qualidade do solo.

Gomez et al. (1996) sugerem que um indicador deve ser: fácil de medir; responder facilmente a mudanças; ter um limite claro separando as condições de sustentabilidade daquelas de não sustentabilidade e ser diretamente relacionado com os requerimentos de qualidade do solo.

Santana & Bahia Filho (1998) discutem que a seleção de indicadores deve ser baseada em: uso da terra; relacionamento entre o indicador e a função para a qual está sendo avaliado; facilidade e segurança na medição; variação entre tempo e local de amostragem; sensibilidade de medição para mostrar mudanças no manejo do solo; compatibilidade com amostragem e monitoramento de rotina e habilidade requerida para uso e interpretação.

Os indicadores de qualidade de solo mais amplamente utilizados são aqueles relacionados com suas características químicas como CTC, pH, disponibilidade de nutrientes, conteúdo de matéria orgânica, condutividade elétrica; físicas como textura, profundidade, densidade, capacidade de retenção de água, resistência à penetração de raízes ou biológicas como, carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana, respiração do solo, atividade enzimática e potencial de mineralização de nitrogênio (Doran & Parkin, 1994; Trasar-Cepeda, 1998; Wick et al., 1998; Stenberg, 1999; Herrick, 2000; Doran & Zeiss, 2000). Dias et al. (2001) sugerem como indicadores de recuperação/restauração de áreas degradadas a avaliação de cobertura vegetal nativa; estrutura e diversidade das comunidades vegetais; recolonização por plantas, fauna e microrganismos; qualidade e quantidade da água; qualidade do solo (matéria orgânica e biota) e restabelecimento dos processos naturais.

A atividade microbiana está direta ou indiretamente relacionada com a qualidade de um solo. Os microrganismos estão atuando para a manutenção ou perda da qualidade de um solo, seja por seu efeito sobre a degradação e modificação da matéria orgânica, na formação da estrutura dos agregados, na contribuição para a produção de biomassa tanto microbiana como vegetal ou na contaminação/descontaminação de solos. O somatório desses efeitos positivos e negativos dá importância à manutenção e perda da qualidade dos solos.

O uso dos microrganismos do solo e suas atividades como indicadores de qualidade de um solo tem sido freqüente já que eles respondem sensivelmente aos distúrbios, sejam antropogênicos ou não (Tauk-Tornisiello, 1997).

Doran & Zeiss (2000) discutem que o uso de microrganismos como indicadores de qualidade de solos é muito útil porque eles são sensíveis às variações ambientais, correlacionam-se com funções benéficas no solo, podem ser usados para elucidar processos no ecossistema solo e por serem mensuráveis com relativa facilidade.

Para van Bruggen & Semenov (2000) a saúde de um solo está associada com a diversidade e a estabilidade biológica, sendo que plantas e animais doentes seriam indicadores de ecossistema instável ou menos saudável. Solo saudável é um solo estável, com resiliência ao estresse, alta diversidade biológica e altos níveis de ciclagem de nutrientes (van Bruggen & Semenov (2000) citando Elliott & Lynch, 1994). Sendo a resiliência do solo definida como sendo a capacidade de reação do solo frente a um estresse ou potencial de retorno ao nível de qualidade anterior ao estresse.

Jordan et al. (1995) estudando solos de áreas dos EUA e do México cultivadas com milho desde 1888, encontraram que a avaliação do carbono da biomassa microbiana e a determinação da atividade de enzimas do solo foram os melhores indicadores da qualidade daqueles solos.

Para avaliação da qualidade de um solo pode-se utilizar a diversidade da comunidade microbiana ali presente. Entretanto a diversidade destes microrganismos é tão vasta quanto desconhecida. Os microrganismos exibem a maior amplitude de diversidade genética da Terra. Menos de 5% dos microrganismos mundiais foram descritos até hoje (Youné, 2001).

Não se sabe ao certo o número total de espécies microbianas existentes, porém algumas estimativas, consideradas por alguns como conservadoras, apontam para um provável total em torno de 1,8 milhões de espécies e, talvez menos de 10% das espécies microbianas tenham sido descobertas até o momento (Coutinho et al., 2001, citando Hawksworth, 1992 e Trüper, 1992).

Até recentemente a avaliação da diversidade de microrganismos no solo era realizada através de plaqueamento e cultivo, em meios de cultura, ou por observação direta ao microscópio. No entanto, qualquer meio de cultura é, em maior ou menor grau, seletivo para um ou outro grupo de microrganismos, de modo que algumas espécies seriam excluídas da análise.

Diversas técnicas têm sido empregadas para o estudo da diversidade de microrganismos do solo. Esses métodos monitoraram microrganismos ou genes específicos a partir de amostras de solo. São eles o uso de sondas moleculares, extração de DNA de solos e análise de seqüências de DNA (Coutinho et al., 2001). Os autores citam algumas limitações desses métodos que são: a definição dos parâmetros de amostragem; o número de seqüências analisadas para definição da representatividade da amostragem; a eficiência de extração do DNA que depende do teor de argila e matéria orgânica do solo, do grupo microbiano e do grau de especificidade do primer ou sonda que representa a fração dos organismos conhecidos e já seqüenciados (uma fração mínima da diversidade no ambiente).

Para estabelecimento como análises de rotina, para as nossas condições, o uso de técnicas moleculares atualmente, não tem se apresentado viável em função de exigirem conhecimento mais especializado, equipamentos e reagentes caros e sofisticados e não haver ainda disponível um banco de dados que possa ser utilizado, conforme acima citado.

A diversidade microbiana pode também ser determinada pela análise de fosfolipídeos (PLFA) da comunidade (van Bruggen & Semenov, 2000). Os fosfolipídeos são encontrados na membrana celular bacteriana e a análise de fosfolipídeos pode ser um indicativo da estrutura da comunidade microbiana (Dick et al., 1996). Entretanto, segundo os autores, essa análise é cara e requer tempo para execução.

van Bruggen & Semenov (2000) discutem sobre a utilização de determinados microrganismos ou grupos específicos de microrganismos como indicadores de solos saudáveis. Citam o trabalho de Visser & Parkinson (1992) onde os autores indicam espécies de *Rhizobium* como indicadoras da qualidade dos solos e algas, nematóides ou fungos basidiomicetos como indicadores de poluição industrial.

Membros da comunidade de minhocas, colêmbolos, moluscos e nematóides também têm sido sugeridos como indicadores de qualidade de solos (Blair et al., 1996). Nematóides, ácaros, colêmbolos, minhocas, isópodos e moluscos são potencialmente relatados como bons indicadores biológicos de efeitos tóxicos em solos (Cortet et al., 1999).

Os indicadores biológicos frequentemente recomendados incluem: mineralização do nitrogênio; carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre da biomassa microbiana; enzimas envolvidas em rotas metabólicas como por exemplo fosfatases, celulases; desidrogenases e urease; respiração do solo; população da fauna do solo e taxas de decomposição de "litter" (Knoepp et al., 2000 citando diversos autores).

São exemplos de enzimas que podem ser utilizadas como indicadores de qualidade de solo aquelas envolvidas com a ciclagem do carbono e nitrogênio como desidrogenases, B-glicosidase, amidase, urease; do fósforo como fosfatases e do enxofre como arilsulfatases. A análise da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) pode representar o potencial da atividade enzimática do solo já que diferentes enzimas como proteases, lípases e esterases hidrolizam o FDA (Dick et al., 1996, citando diversos autores).

A avaliação da diversidade funcional da população microbiana pode ser obtida pela determinação do potencial de utilização de uma série de substratos de carbono pelo sistema BIOLOG[®] (Preston-Mafham et al., 2002). O sistema BIOLOG[®] consiste de uma série de placas contendo meios de cultura com 95 tipos (podendo chegar até 128, se forem avaliadas bactérias Gram positivas e negativas) diferentes de carbono misturados a tetrazolium. Assim que a fonte de carbono for utilizada o tetrazolium muda da cor clara para a cor púrpura. Então, de acordo com as fontes de carbono utilizadas pode-se identificar os grupos de microrganismos presentes na amostra. A validade de utilização desse procedimento é de se fazer uma descrição da possível contribuição ecológica da biomassa microbiana do solo (Dick et al., 1996).

A avaliação do carbono e do nitrogênio da biomassa microbiana como indicadores da qualidade de solos tem sido frequente (Jordan et al., 1995; Ruivo, 1998; Murage et al., 2000; Favero, 2001). Segundo Gama-Rodrigues (1999), os valores de carbono da biomassa microbiana do solo indicam o potencial de reserva de carbono do solo o qual participa no processo de humificação, permitindo, assim, aferir o acúmulo ou perda de carbono em função de um determinado manejo ou condição edáfica.

Para a coleta de dados com o intuito de se analisar a qualidade de um solo, deve-se levar em consideração que a época, a profundidade e a frequência da amostragem são importantes para se terem resultados representativos das condições locais (Doran & Parkin , 1996; Dick & Halvorson, 1996; Doran & Zeiss, 2000).

A influência do clima, manifestada, por exemplo, através da precipitação e da temperatura média anual, tem sido usada para interpretar processos pedogenéticos, incluindo o grau de intemperismo, formação de óxidos de ferro, acumulação de matéria orgânica e sua humificação (Dalmolin et al., 2001).

A humificação pode ser estudada através da mudança da estrutura química da matéria orgânica ao longo do perfil do solo, refletindo a influência do pedoambiente onde os mesmos estão inseridos (Benites & Mendonça, 2001). Assim, o estudo dessas frações é importante para o entendimento dos processos pedogenéticos que ocorrem em áreas degradadas.

Favero (2001), estudando a degradação de solos em Minas Gerais, discutiu que as formas de carbono da fração ácidos fúlvicos da matéria orgânica pode ser considerada, num monitoramento a longo prazo, como um bom indicador da sustentabilidade dos agroecossistemas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização das áreas estudadas

A área de estudo pertence à mineração Rio do Norte SA, que está localizada em Porto Trombetas, no município de Oriximiná-PA. A exploração de bauxita pela mineradora ocorre em platôs situados de 100 a 150 m de altitude. Foram estudadas nove áreas, reabilitadas em 1982, 1984, 1986, 1987, 1992, 1994c, 1994s, 1996 e 1998 no platô denominado de Saracá. Uma área de solo sob cobertura de mata primária (área de referência) também foi amostrada.

As áreas revegetadas na década de 80 tiveram o horizonte A do Latossolo Amarelo (LA) original incorporados ao estéril (substrato remanescente após a retirada do minério). Nas áreas revegetadas na década de 90 esse horizonte A do Latossolo Amarelo original foi colocado como cobertura em uma camada de aproximadamente 20 a 30 cm, com exceção da área reabilitada em 1994s onde não foi efetuada adição desse horizonte A.

O Quadro 1 apresenta a identificação das áreas estudadas. Excetuando a área reabilitada em 1987, revegetada com apenas uma espécie arbórea denominada de tachi-do-campo (*Sclerolobium paniculatum* Vogel), todas as demais áreas estudadas foram revegetadas com uma

mistura de espécies arbóreas, predominantemente nativas da região amazônica. Na seleção das áreas para estudo levou-se em consideração a diferença no preparo dessas áreas, os diversos padrões de vegetação e o tempo de reabilitação.

Em geral, as áreas foram revegetadas utilizando-se espécies arbóreas nativas, a partir da coleta de sementes e do preparo das mudas em viveiro. No plantio, as mudas receberam 50 g, por cova, da mistura NPK 12-36-12.

3.2. Amostragens dos substratos e do solo de referência

As amostragens dos substratos e do solo de referência foram realizadas em agosto de 1998 durante o período seco e em abril de 1999, período úmido (Figuras 1 e 2). As amostras foram coletadas em profundidades de 0 a 2,5; 2,5 a 7,5 e 7,5 a 20 cm, tomando-se quatro amostras simples para a formação de uma amostra composta por profundidade. Foram coletadas três amostras compostas por área em cada época.

Quadro 1 – Características das diferentes áreas revegetadas e sob mata primária amostradas em Porto Trombetas-PA

| Área | Ano de revegetação | Idade de revegetação ⁽¹⁾ | Horizonte A | Vegetação predominante |
|------|--------------------|-------------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 1 | 1982 | 16 | Incorporado | Espécies arbóreas e gramíneas |
| 2 | 1984 | 14 | Incorporado | Espécies arbóreas e gramíneas |
| 3 | 1986 | 12 | Incorporado | Espécies arbóreas e gramíneas |
| 4 | 1987 | 11 | Incorporado | <i>Sclerolobium paniculatum</i> |
| 5 | 1992 | 06 | Superfície | Espécies arbóreas |
| 6 | 1994c | 04 | Superfície | Espécies arbóreas |
| 7 | 1994s | 04 | Não aplicado | Espécies arbóreas |
| 8 | 1996 | 02 | Superfície | Espécies arbóreas |
| 9 | 1998 | 00 | Superfície | Espécies arbóreas |
| 10 | Mata primária | - | - | Espécies arbóreas e arbustivas |

⁽¹⁾ As amostragens foram efetuadas em agosto de 1998 e em abril de 1999.

Para as análises de carbono e de nitrogênio da biomassa microbiana as amostras foram coletadas apenas na profundidade de 0 a 2,5 cm, peneiradas em peneira com diâmetro de 2 mm de poro e armazenadas em câmara fria a temperatura média de 9°C, até a execução das análises. Este período de armazenamento foi de aproximadamente 20 dias.

Em laboratório as amostras, para caracterização química e da matéria orgânica, foram secas ao ar e peneiradas em peneira com diâmetro de 2 mm de poro.

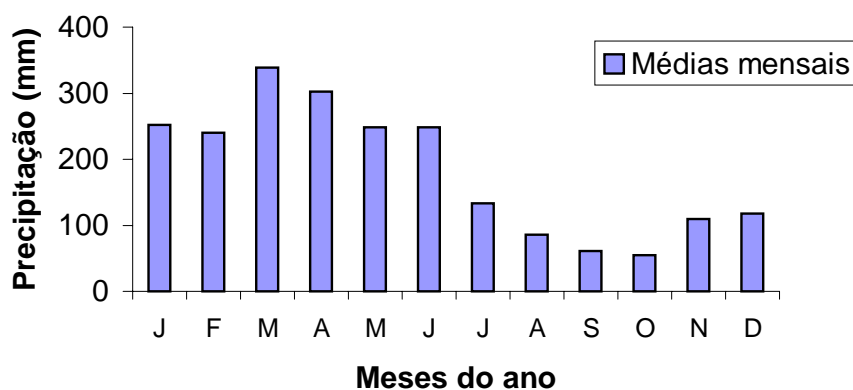


Figura 1 – Distribuição das médias mensais da pluviosidade, no período de 1982 a 2000, na estação de Porto Trombetas - Mina de Saracá- PA.

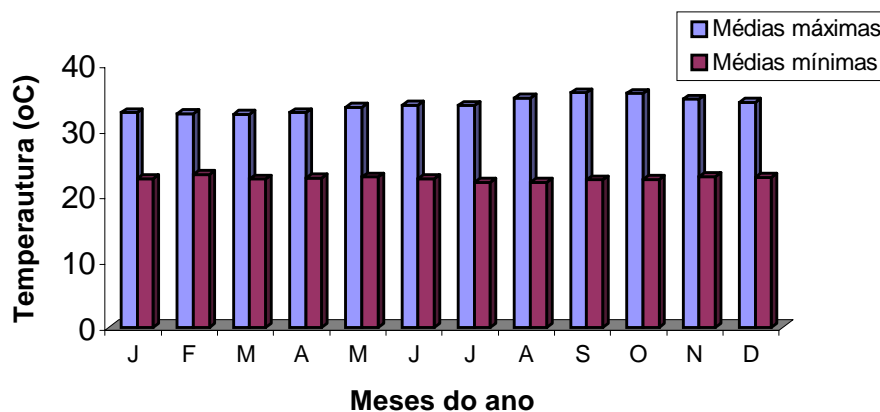


Figura 2 – Temperaturas médias mensais das mínimas e das máximas, no período de 1986 a 1998, na estação de Porto Trombetas-Mina Saracá-PA.

3.3. Análises laboratoriais

3.3.1. Análises físicas

As diferentes amostras de substrato e solo foram caracterizadas fisicamente quanto as frações granulométricas conforme metodologia descrita por EMBRAPA (1997).

3.3.2. Caracterização química

As amostras de substrato e de solo foram caracterizadas quimicamente quanto aos valores de: pH em água; acidez potencial a pH 7 (Defelipo & Ribeiro, 1981); fósforo e potássio disponíveis por Mehlich-1 e determinados por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974) e fotometria de chama (Defelipo & Ribeiro, 1981), respectivamente; cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, extraídos por KCl 1,0 mol L⁻¹, sendo os dois primeiros determinados por espectrometria de absorção atômica e o último por titulometria; o nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl (Tedesco et al., 1995).

3.4. Caracaterização da matéria orgânica

3.4.1. Carbono orgânico total - (Yeomans & Bremner, 1988)

Amostra de 0,2 g de solo, triturada em almofariz de porcelana e passada em peneira de 0,210 mm, foi adicionada em tubos pirex de bloco digestor, juntando-se 5 mL de dicromato de potássio 0,17 mol L⁻¹ e 7,5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Após o pré-aquecimento do bloco digestor até a temperatura de 170°C, os tubos foram colocados no bloco e mantidos nessa temperatura por trinta minutos. Em seguida, foram retirados para que esfriassem. O conteúdo de cada tubo foi transferido, quantitativamente, para erlenmeyer de 125 mL, utilizando-se água destilada. Deixou-se a solução esfriar até a temperatura ambiente, adicionaram-se 2 mL de H₃PO₄ concentrado, 0,2 g de NaF três gotas da solução indicadora de ferroin e titulou-se com Fe(NH₄)(SO₄)₂.6 H₂O 0,2 mol L⁻¹. Foram feitas duas provas em branco sendo uma aquecida e outra não.

O teor de carbono orgânico total foi calculado pela seguinte equação:

$$C \text{ (dag kg}^{-1}\text{)} = (V) * (N * \text{Peso equivalente do C}) * 100/\text{Peso amostra}$$

em que

V = Volume de $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ gasto na titulação, sendo

N = Normalidade da solução de $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

3.4.2. Matéria orgânica leve

A retirada da fração da matéria orgânica leve, foi efetuada pela adaptação do método de Anderson & Ingram (1989). Segundo esses autores a definição de matéria orgânica leve (MOL) é aquela fração ativa no solo consistindo de matéria orgânica parcialmente humificada/celular e com um “turnover” curto de 1 a 5 anos. Sendo a fração delimitada por menor que 2 mm e maior que 0,25 mm e é separada do solo por flotação em água. Os autores citam trabalhos cujos autores utilizaram ao invés de água, líquidos com densidade variando de 1,6 a 2,2, nessas condições, observaram aumentos na extração dessa fração MOL. Porém discutem que essa fração poderá conter porções de produtos mais humificados e componentes minerais do solo. A extração da fração MOL foi feita utilizando-se água e executada como descrito a seguir.

Foram pesadas 50 g da amostra TFSA (terra fina seca ao ar), a esta foi adicionado 100 mL de $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$, ficando esta mistura em repouso por 16 horas. Após esse período o material foi agitado em agitador tipo “stirrer” por 10 minutos. O conteúdo foi em seguida passado em peneira de 0,25 mm, lavado em água e transferido para béquer com água para ressuspender o material, passado novamente em peneira de 0,25 mm, repetido-se essa operação até que todo o material que flotar em água seja transferido para um recipiente onde foi seco em estufa a 80°C para evaporação da água. Após atingir peso constante, a amostra foi transferida para cadinho de porcelana aferido e levada a mufla a 500°C por seis horas. Obtem-se, desta maneira, dois resultados, o peso da MOL e após a mufla o carbono devido a MOL. O valor de carbono da MOL foi obtido pela diferença entre o peso do cadinho mais o material orgânico antes da calcinação na mufla e o peso do cadinho mais a cinza após a calcinação na mufla.

3.4.3. Carbono das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina

O fracionamento quantitativo de substâncias húmicas dos solos triturados em almofariz e peneirados (diâmetro de poro de 0,210 mm) foi realizado com base nas características de solubilidade diferencial, obtendo como produtos as seguintes frações: ácidos fúlvicos (AFUL) – solúveis em ácido e em álcali, ácidos húmicos (AHUM) – solúveis em álcali e insolúveis em ácido e huminas (HUM) – insolúveis em ácido e em álcali (Schinitzer, 1982). A determinação do carbono orgânico das frações obtidas na extração, foi feita utilizando-se o processo de dicromatometria com aquecimento externo proposto por Yeomans & Bremner (1988).

3.5. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

O método da irradiação por microondas foi utilizado para estimar o carbono (CBM) e o nitrogênio (NBM) (Islam & Weil, 1998). As amostragens dos substratos e do solo de referência foram realizadas em agosto de 1998 durante o período seco, de menor precipitação, e em abril de 1999, período úmido, de maior precipitação. Essas amostras foram coletadas apenas na profundidade de 0 a 2,5 cm. Foram retiradas três amostras compostas por área, para formar uma amostras compostas foram retiradas quatro amostras simples. No laboratório, as amostras foram peneiradas em peneira com diâmetro de 2 mm de poro e armazenadas em câmara fria a aproximadamente 9°C.

Pesaram-se 20 g de solo (equivalente solo seco) com o teor de umidade ajustado para 70% da capacidade de campo, determinada pelo método do funil. As amostras foram irradiadas em microondas a 400 J g^{-1} por duas vezes. A extração foi feita com sulfato de potássio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em pH entre 6,5 e 6,8. As amostras foram agitadas em agitador horizontal por 60 minutos, centrifugadas a 1.300 g por 5 minutos e filtradas em papel de filtro rápido. Para a determinação do carbono, foram pipetados 5 mL do extrato em erlenmeyer de 125 mL contendo 1 mL de dicromato de potássio $0,17 \text{ mL L}^{-1}$ e 5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Foi colocado um pequeno funil de vidro na abertura do erlenmeyer para ajudar no refluxo da mistura ácido-

dicromato. A solução foi submetida à irradiação em microondas a 500 J mL⁻¹. depois da digestão em microondas, o volume foi ajustado para 25 mL. Os procedimentos de digestão e diluição, descritos acima, foram repetidos para padrões de sacarose (0, 10, 20, 40, 80, 200 e 400 mg L⁻¹ de C) e uma prova em branco. Nos padrões de sacarose e nas amostras foi medida a absorvância a 590 nm, utilizando-se um espectrofotômetro (Islam & Weil, 1998).

A determinação do nitrogênio total foi feita pelo método Kjeldhal (Tedesco et al., 1995).

Para cálculo do carbono (CBM) e do nitrogênio (NBM) da biomassa microbiana, os teores de carbono e nitrogênio das amostras não irradiadas foram subtraídos das amostras irradiadas, sendo a diferença dividida pelo valor de $k_C = 0,213$ (Islam & Weil, 1998) e $k_N = 0,54$ (Brookes et al., 1985).

3.6. Análises estatísticas

As amostras (Quadros 2 e 3) foram agrupadas por meio do método de otimização de Tocher, utilizando-se a distância euclidiana média como medida de dissimilaridade. O processo de agrupamento envolveu duas etapas: inicialmente foi caracterizada a similaridade ou a dissimilaridade, entre as amostras, utilizando-se a distância euclidiana média como medida de dissimilaridade e em seguida, as amostras foram agrupadas por meio do método de otimização de Tocher, sendo realizados sucessivos agrupamentos com o propósito de descartar as variáveis que não estavam afetando a variação entre amostras (Cruz & Regazzi, 1997).

Quadro 2 – Descrição das amostras tomadas para análise estatística em função da época de coleta, ano de revegetação e profundidade de amostragem das diferentes áreas revegetadas e sob mata primária amostradas em Porto Trombetas-PA

| Amostra | Época de coleta ⁽¹⁾ | Ano da revegetação | Profundidade de amostragem (cm) | Identificação | Amostra | Época de coleta ⁽¹⁾ | Ano da revegetação | Profundidade de amostragem (cm) | Identificação |
|---------|--------------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------|---------|--------------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------|
| 1 | 1 | 1982 | 0 a 2,5 | 82 I/ 2,5 | 31 | 2 | 1982 | 0 a 2,5 | 82 II/ 2,5 |
| 2 | 1 | 1982 | 2,5 a 7,5 | 82 I/ 7,5 | 32 | 2 | 1982 | 2,5 a 7,5 | 82 II/ 7,5 |
| 3 | 1 | 1982 | 7,5 a 20 | 82 I/ 20,0 | 33 | 2 | 1982 | 7,5 a 20 | 82 II/ 20,0 |
| 4 | 1 | 1984 | 0 a 2,5 | 84 I/ 2,5 | 34 | 2 | 1984 | 0 a 2,5 | 84 II/ 2,5 |
| 5 | 1 | 1984 | 2,5 a 7,5 | 84 I/ 7,5 | 35 | 2 | 1984 | 2,5 a 7,5 | 84 II/ 7,5 |
| 6 | 1 | 1984 | 7,5 a 20 | 84 I/ 20,0 | 36 | 2 | 1984 | 7,5 a 20 | 84 II/ 20,0 |
| 7 | 1 | 1986 | 0 a 2,5 | 86 I/ 2,5 | 37 | 2 | 1986 | 0 a 2,5 | 86 II/ 2,5 |
| 8 | 1 | 1986 | 2,5 a 7,5 | 86 I/ 7,5 | 38 | 2 | 1986 | 2,5 a 7,5 | 86 II/ 7,5 |
| 9 | 1 | 1986 | 7,5 a 20 | 86 I/ 20,0 | 39 | 2 | 1986 | 7,5 a 20 | 86 II/ 20,0 |
| 10 | 1 | 1987 | 0 a 2,5 | 87 I/ 2,5 | 40 | 2 | 1987 | 0 a 2,5 | 87 II/ 2,5 |
| 11 | 1 | 1987 | 2,5 a 7,5 | 87 I/ 7,5 | 41 | 2 | 1987 | 2,5 a 7,5 | 87 II/ 7,5 |
| 12 | 1 | 1987 | 7,5 a 20 | 87 I/ 20,0 | 42 | 2 | 1987 | 7,5 a 20 | 87 II/ 20,0 |
| 13 | 1 | 1992 | 0 a 2,5 | 92 I/ 2,5 | 43 | 2 | 1992 | 0 a 2,5 | 92 II/ 2,5 |
| 14 | 1 | 1992 | 2,5 a 7,5 | 92 I/ 7,5 | 44 | 2 | 1992 | 2,5 a 7,5 | 92 II/ 7,5 |
| 15 | 1 | 1992 | 7,5 a 20 | 92 I/ 20,0 | 45 | 2 | 1992 | 7,5 a 20 | 92 II/ 20,0 |
| 16 | 1 | 1994c | 0 a 2,5 | 94s I/ 2,5 | 46 | 2 | 1994c | 0 a 2,5 | 94s II/ 2,5 |
| 17 | 1 | 1994c | 2,5 a 7,5 | 94s I/ 7,5 | 47 | 2 | 1994c | 2,5 a 7,5 | 94s II/ 7,5 |
| 18 | 1 | 1994c | 7,5 a 20 | 94s I/ 20,0 | 48 | 2 | 1994c | 7,5 a 20 | 94s II/ 20,0 |
| 19 | 1 | 1994s | 0 a 2,5 | 94c I/ 2,5 | 49 | 2 | 1994s | 0 a 2,5 | 94c II/ 2,5 |
| 20 | 1 | 1994s | 2,5 a 7,5 | 94c I/ 7,5 | 50 | 2 | 1994s | 2,5 a 7,5 | 94c II/ 7,5 |
| 21 | 1 | 1994s | 7,5 a 20 | 94c I/ 20,0 | 51 | 2 | 1994s | 7,5 a 20 | 94c II/ 20,0 |
| 22 | 1 | 1996 | 0 a 2,5 | 96 I/ 2,5 | 52 | 2 | 1996 | 0 a 2,5 | 96 II/ 2,5 |
| 23 | 1 | 1996 | 2,5 a 7,5 | 96 I/ 7,5 | 53 | 2 | 1996 | 2,5 a 7,5 | 96 II/ 7,5 |
| 24 | 1 | 1996 | 7,5 a 20 | 96 I/ 20,0 | 54 | 2 | 1996 | 7,5 a 20 | 96 II/ 20,0 |
| 25 | 1 | 1998 | 0 a 2,5 | 98 I/ 2,5 | 55 | 2 | 1998 | 0 a 2,5 | 98 II/ 2,5 |
| 26 | 1 | 1998 | 2,5 a 7,5 | 98 I/ 7,5 | 56 | 2 | 1998 | 2,5 a 7,5 | 98 II/ 7,5 |
| 27 | 1 | 1998 | 7,5 a 20 | 98 I/ 20,0 | 57 | 2 | 1998 | 7,5 a 20 | 98 II/ 20,0 |
| 28 | 1 | Mata | 0 a 2,5 | M I/ 2,5 | 58 | 2 | Mata | 0 a 2,5 | M II/ 2,5 |
| 29 | 1 | Mata | 2,5 a 7,5 | M I/ 7,5 | 59 | 2 | Mata | 2,5 a 7,5 | M II/ 7,5 |
| 30 | 1 | Mata | 7,5 a 20 | M I/ 20,0 | 60 | 2 | Mata | 7,5 a 20 | M II/ 20,0 |

⁽¹⁾ Época 1 = período seco. Época 2 = período úmido.
c = com horizonte A original. s = sem horizonte A original.

Quadro 3 – Descrição das amostras tomadas para análise estatística em função da época de coleta e ano de revegetação, considerando a profundidade de 0 a 2,5 cm, das diferentes áreas revegetadas e sob mata primária amostradas em Porto Trombetas-PA

| Amostra | Identificação | Época de coleta ⁽¹⁾ | Ano de revegetação |
|---------|---------------|--------------------------------|--------------------|
| 1 | 82 I/2,5 | 1 | 1982 |
| 2 | 84 I/2,5 | 1 | 1984 |
| 3 | 86 I/2,5 | 1 | 1986 |
| 4 | 87 I/2,5 | 1 | 1987 |
| 5 | 92 I/2,5 | 1 | 1992 |
| 6 | 94c I/2,5 | 1 | 1994c |
| 7 | 94s I/2,5 | 1 | 1994s |
| 8 | 96 I;2,5 | 1 | 1996 |
| 9 | 98 I/2,5 | 1 | 1998 |
| 10 | M I/2,5 | 1 | Mata |
| 11 | 82 II/2,5 | 2 | 1982 |
| 12 | 84 II/2,5 | 2 | 1984 |
| 13 | 86 II/2,5 | 2 | 1986 |
| 14 | 87 II/2,5 | 2 | 1987 |
| 15 | 92 II/2,5 | 2 | 1992 |
| 16 | 94c II/2,5 | 2 | 1994c |
| 17 | 94s II/2,5 | 2 | 1994s |
| 18 | 96 II/2,5 | 2 | 1996 |
| 19 | 98 II/2,5 | 2 | 1998 |
| 20 | M II/2,5 | 2 | Mata |

⁽¹⁾ Época 1 = período seco. Época 2 = período úmido.
c = com horizonte A original. s = sem horizonte A original.

A análise por componentes principais foi utilizada para verificar a importância relativa de cada variável e a concordância com os grupos obtidos pelo método de Tocher, por meio da dispersão gráfica dos escores gerados pelos componentes principais. O programa utilizado foi o GENES- Análise de Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético (Cruz, 1997).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características físicas

O Quadro 4 apresenta os resultados da análise granulométrica do solo e dos substratos, sendo todos classificados como muito argilosos, apesar de variações ocorrerem principalmente no teor de silte. Podemos verificar que mesmo com a mistura dos horizontes, quando da recomposição topográfica, o substrato apresentou-se com a mesma classificação textural do solo original.

Isto pode ter ocorrido devido a reconstrução topográfica incorporar o solo original, como foi o caso das áreas revegetadas em 1982, 1984, 1986 e 1987 ou aplicado superficialmente como nas áreas revegetadas na década de 90.

4.2. Biomassa microbiana

4.2.1. Considerando as duas épocas de coleta – períodos seco e úmido

Para análise da biomassa microbiana as amostragens foram efetuadas apenas a profundidade de 0 a 2,5 cm por esta ser mais representativa em relação à resposta microbiana as características analisadas.

Quadro 4 – Análise granulométrica de amostras de solo e de substratos em recuperação de áreas da Mineração Rio do Norte em Porto Trombetas-PA, da profundidade de 0 a 20 cm

| Ano de revegetação | Areia | | Silte | Argila | Classificação textural |
|--------------------|--------|------|-------|--------|------------------------|
| | Grossa | Fina | | | |
| % | | | | | |
| 1982 | 06 | 01 | 14 | 79 | Muito argiloso |
| 1984 | 11 | 02 | 22 | 65 | Muito argiloso |
| 1986 | 06 | 02 | 14 | 78 | Muito argiloso |
| 1987 | 07 | 02 | 12 | 79 | Muito argiloso |
| 1992 | 09 | 02 | 20 | 69 | Muito argiloso |
| 1994c | 06 | 01 | 08 | 85 | Muito argiloso |
| 1994s | 11 | 05 | 12 | 72 | Muito argiloso |
| 1996 | 08 | 02 | 09 | 81 | Muito argiloso |
| 1998 | 07 | 01 | 08 | 84 | Muito argiloso |
| Mata | 08 | 02 | 14 | 76 | Muito argiloso |

c = com horizonte A original. s = sem horizonte A original.

Os teores médios de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (Quadro 5) foram menores nas amostras de substrato alterado do que em relação ao inalterado ou seja, o solo sob mata. Esses teores foram maiores quando as amostras foram retiradas no período de menor precipitação (agosto de 1998) do que quando a amostragem foi realizada no período de maior precipitação (abril de 1999).

Uma vez evidenciada a variabilidade entre as amostras, para as características de carbono e nitrogênio e da relação C/N da biomassa microbiana, efetuou-se o estudo da diversidade entre essas amostra, empregando o método de Tocher, com base na distância Euclidiana média e a análise por componentes principais.

O agrupamento das amostras por meio do método de otimização de Tocher estão apresentados no Quadro 6, no qual pode ser observada a formação de três grupos de amostras. As médias de carbono, nitrogênio e da relação C/N da biomassa microbiana do solo por grupo, mostram que o método de agrupamento utilizado separou as amostras em grupos de acordo com a época de coleta.

Quadro 5 – Valores médios do carbono (CBM) e do nitrogênio (NBM) e da relação C/N da biomassa microbiana, em amostras de solo retiradas à profundidade de 0 a 2,5 cm, de nove áreas em processo de recuperação após atividade de mineração e a área de referência sob mata primária, em Porto Trombetas-PA

| Amostra | Época de coleta ⁽¹⁾ | Ano de plantio/recuperação | Identificação | Biomassa microbiana | | |
|---------|--------------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------|-------|-------|
| | | | | C | N | C/N |
| | | | | ----- mg kg ⁻¹ ----- | | |
| 1 | 1 | 1982 | 82 I/2,5 | 86,81 | 9,35 | 9,31 |
| 2 | 1 | 1984 | 84 I/2,5 | 63,31 | 6,13 | 10,35 |
| 3 | 1 | 1986 | 86 I/2,5 | 94,52 | 9,52 | 9,92 |
| 4 | 1 | 1987 | 87 I/2,5 | 102,97 | 9,98 | 10,32 |
| 5 | 1 | 1992 | 92 I/2,5 | 93,05 | 9,12 | 10,20 |
| 6 | 1 | 1994c | 94c I/2,5 | 95,99 | 9,71 | 9,87 |
| 7 | 1 | 1994s | 94s I/2,5 | 11,90 | 1,60 | 7,42 |
| 8 | 1 | 1996 | 96 I/2,5 | 102,97 | 10,75 | 9,61 |
| 9 | 1 | 1998 | 98 I/2,5 | 89,75 | 8,68 | 10,34 |
| 10 | 1 | Mata | M I/2,5 | 165,02 | 14,22 | 11,61 |
| 11 | 2 | 1982 | 82 II/2,5 | 18,74 | 2,19 | 8,52 |
| 12 | 2 | 1984 | 84 II/2,5 | 23,51 | 2,59 | 8,91 |
| 13 | 2 | 1986 | 86 II/2,5 | 33,06 | 3,78 | 8,78 |
| 14 | 2 | 1987 | 87 II/2,5 | 17,27 | 2,34 | 7,39 |
| 15 | 2 | 1992 | 92 II/2,5 | 23,51 | 2,70 | 8,67 |
| 16 | 2 | 1994c | 94c II/2,5 | 19,10 | 2,47 | 7,67 |
| 17 | 2 | 1994s | 94s II/2,5 | 4,04 | 0,59 | 6,86 |
| 18 | 2 | 1996 | 96 II/2,5 | 17,27 | 1,81 | 9,51 |
| 19 | 2 | 1998 | 98 II/2,5 | 12,12 | 1,69 | 7,07 |
| 20 | 2 | Mata | M II/2,5 | 53,63 | 7,35 | 7,33 |

⁽¹⁾ Época 1 = período seco. Época 2 = período úmido.
s = sem horizonte A original. c = com horizonte A original.

Quadro 6 – Agrupamento das amostras, efetuado pelo método de otimização de Tocher e as respectivas médias dos grupos à profundidade de 0 a 2,5 cm

| Grupo | Amostra | Biomassa microbiana | | | | |
|-------|---|---------------------|-------|---------------------------------|--|--|
| | | C | N | C/N | | |
| | | | | ----- mg kg ⁻¹ ----- | | |
| I | 3, 5, 9, 4, 6, 8, 1, 2 | 91,17 | 9,15 | 9,99 | | |
| II | 12, 15, 11, 13, 18, 16, 14, 7, 19, 17, 20 | 21,29 | 2,65 | 8,01 | | |
| III | 10 | 165,02 | 14,22 | 11,61 | | |

No grupo I estão as amostras retiradas no período seco (amostras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 9), que apresentaram os valores médios de carbono ($91,17 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) e nitrogênio ($9,15 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) da biomassa microbiana. No grupo II estão as amostras retiradas no período úmido (amostras 11, 12, 13, 14 15, 16, 17, 18, 19 e 20) e a amostra 7 (94s I/2,5) retirada no período seco, com valores médios de carbono ($21,29 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) e nitrogênio ($2,65 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo). No grupo III está a amostra 10 (M I/2,5), retirada de solo sob mata no período seco com médias de $165,02 \text{ mg kg}^{-1}$ de carbono e $14,22 \text{ mg kg}^{-1}$ de nitrogênio da biomassa microbiana do solo.

Observou-se, portanto, que as amostras ficaram agrupadas de acordo com o período de amostragem, com exceção das amostras 7 (94s I/2,5) e 10 (M I/2,5). Na amostra 7, área revegetada em 1994 onde não se utilizou a cobertura com o horizonte A original, as médias de carbono ($11,90 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) e de nitrogênio ($1,60 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) da biomassa, foram as menores para aquele período de amostragem (Quadro 5) por isso é que esta foi agrupada juntamente com as amostras retiradas no período úmido, que apresentaram médias inferiores aquelas retiradas no período seco, como apresentado acima.

A amostra 10, de solo sob mata primária retirada no período seco foi agrupada separadamente no grupo III (Quadro 6) apresentando os maiores valores de carbono ($165,02 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) e nitrogênio ($14,22 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) da biomassa microbiana do solo.

Gama-Rodrigues (1997), analisando solos sob plantio de eucalipto encontrou valores de carbono da biomassa microbiana variando entre 168 a 237 mg kg^{-1} de solo, já na serapilheira esses valores foram muito mais elevados, variando de 4.998 a 7.308 mg kg^{-1} de serapilheira. Os valores de nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira variaram de 45 a 55 mg kg^{-1} de solo e 903 a 1.386 mg kg^{-1} de serapilheira.

Em estudos realizados por Ruivo (1998), também em áreas da Mineração Rio do Norte em Porto Trombetas-PA, foram encontrados valores médios de carbono da biomassa microbiana do solo, variando de $116,9 (\pm 8,7)$ a $36,9 (\pm 15,1) \text{ mg kg}^{-1}$ de carbono e entre 42,4 e $105,8 (\pm 21,2) \text{ mg kg}^{-1}$ de nitrogênio, sendo que a autora não especifica a época do ano em que foi realizada a retirada das amostras.

Neste trabalho, observou-se que a época de coleta afeta os valores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana. Stenberg (1999) discute que um indicador da qualidade do solo deve ser sensível as variações espaciais e temporais, assim características como o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana se apresentam com promissores indicadores da qualidade do solo, já que respondem prontamente a essas variações. Como verificamos no presente trabalho, com essas características variando em função das condições ambientais nos dois períodos amostrados.

Os valores de biomassa microbiana do solo foram inferiores aos citados na literatura (Gama-Rodrigues, 1997; Ruivo, 1998). Entretanto, esses valores podem ser comparados apenas dentro de condições bastante semelhantes já que como verificado no presente trabalho podem variar muito em função das condições de amostragem. Também deve ser levado em conta que as amostras foram retiradas de substratos em recuperação e não em solos formados. Já aquelas de áreas sob mata obtiveram valores mais elevados por já estarem em um sistema em equilíbrio dinâmico com uma microbiota plenamente estabelecida e ativa.

Sugerimos que além de se retirar amostras de solo, também sejam retiradas amostras de serapilheira já que em áreas da Amazônia com floresta primária a produção de serapilheira pode chegar a ser de aproximadamente $14,47 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e com floresta secundária de $9,07 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Dantas & Phillipson, 1987) e que essa fração pode representar uma importante fonte de nutrientes para o sistema (Bosatta & Staaf, 1982; Gama-Rodrigues, 1997; Knops et al., 1997).

Foi também realizada a análise por componentes principais para se verificar a concordância dessa análise com os grupos obtidos pelo método de Tocher. As amostras foram agrupadas utilizando-se a análise por componentes principais (ACP) totalizando três variáveis: carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) e relação C/N da biomassa microbiana (CNBM). O primeiro componente principal representou 91,39% da variação total (Quadro 7). Segundo Cruz & Regazzi (1997), para estudos da diversidade genética por meio da dispersão gráfica dos escores gerados pelos componentes principais, em

espaço bidimensional, é aceitável quando a variância total está em torno de 80%. Entretanto, como não temos esse valor para estudos em solos, adotamos esse valor como referência. Como, a variância acumulada pelo componente principal 1 e 2 neste trabalho foi de 91,39% optou-se por apresentar a dispersão dos escores gerados por estes dois componentes (Figura 3).

Quadro 7 – Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa* (coeficientes de ponderação – autovetores), considerando os períodos seco e úmido de amostragem associados às três variáveis analisadas por componentes principais

| Componente principal | Variância (autovalor) | Variância | Variância Acumulada | Importância relativa ⁽¹⁾ | | |
|----------------------|-----------------------|-------------|---------------------|-------------------------------------|---------|--------|
| | | | | CBM | NBM | C/N |
| | | ———— % ———— | | | | |
| Y ₁ | 2,7417 | 91,39 | 91,39 | 0,9869 | 0,9694 | 0,9099 |
| Y ₂ | 0,2508 | 8,36 | 99,75 | -0,1478 | -0,2387 | 0,4147 |
| Y ₃ | 0,0075 | 0,25 | 100,00 | 0,0646 | 0,0566 | 0,0098 |

⁽¹⁾ Importância relativa das características nos componentes principais.

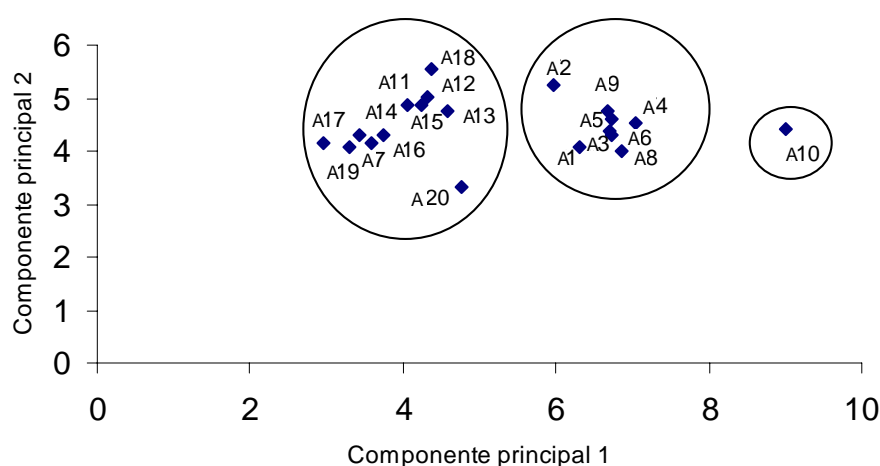


Figura 3 – Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas e aos dois períodos de amostragem, úmido e seco, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis carbono, nitrogênio e relação C/N da biomassa microbiana.

Também na análise por componentes principais pode-se constatar que o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana variaram de acordo com o período de coleta de amostras muito mais do que com as diferentes áreas em estudo, conforme pode ser verificado quando analisamos a distribuição gráfica dos escores dessas amostras (Figura 3).

O carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana do solo, entre outras coisas, representam a quantidade de energia que está sendo armazenada em determinado segmento da comunidade microbiana (Atlas & Bartha, 1998) e por isso podem ser usadas na indicação do nível de qualidade do solo. As propriedades biológicas e bioquímicas dos solos variam quanto à estação do ano, horizonte e local, existindo correlação altamente significativa entre essas variáveis e o conteúdo de matéria orgânica (Trasar-Cepeda et al., 1998) e com estresse sofrido pela comunidade microbiana (Caldwell et al., 1999).

O carbono da biomassa microbiana (CBM), embora seja uma pequena fração do carbono orgânico total (menor que 5%) do solo, é um sensível indicador de qualidade do solo (Kennedy & Pappendick, 1995). No entanto, a sua utilização deve ser baseada em um amplo esquema de amostragem ao longo do ano, uma vez que se mostra muito sensível às variações do conteúdo de água no solo. Em regiões de latitudes maiores que a área de estudo, possivelmente estas variações sejam mais intensas em função da maior variabilidade de temperatura entre as estações do ano.

No período úmido, na região, as chuvas são freqüentes e o solo se mantém com elevada umidade levando em conta ser esse solo classificado como muito argiloso retém muita água. Sendo a área situada em região tropical, onde as temperaturas médias são elevadas e dispendo de água, este é o período em que ocorre maior vegetação das plantas. Já no período seco, o que ocorre é a redução da precipitação, assim ocorre menor vegetação das plantas, um maior aporte de material vegetal ao solo e maior atividade de decomposição conseqüentemente maior C e N da biomassa microbiana.

Para verificar a relação, entre disponibilidade de nutrientes para o solo e a dinâmica do aporte de material vegetal ao solo ao longo do ano e com o ciclo de sucessão vegetal, a caracterização química da serapilheira mostra-se de grande importância.

4.2.2. Considerando a coleta no período de menor precipitação - período seco

Para verificar as diferenças entre as amostras em um mesmo período de amostragem efetuou-se o estudo da diversidade entre essas amostras, empregando o método de Tocher, com base na distância Euclidiana média e a análise por componentes principais.

No período seco, os agrupamentos das amostras por meio do método de otimização de Tocher estão apresentados no Quadro 8, no qual pode ser observada a formação de dois grupos de amostras. No grupo I encontram-se as amostras (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, e 10) e no grupo II, a amostra 7 (94s I/2,5), área revegetada em 1994 onde não se utilizou a cobertura com o horizonte A original que apresentou-se agora separada das demais amostras. Sendo que as demais amostras dos substratos não diferiram da amostra 10 (M I/2,5), que é a área de referência sob a mata.

Assim, podemos observar que quando analisamos as épocas de amostragens separadamente, no período seco, para o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana apenas a área onde não foi aplicado o horizonte A original se diferenciou das demais e da área de referência e apresentou valores médios de carbono ($11,9 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) e nitrogênio ($1,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) muito baixos quando comparados com os das demais amostras ($99,38 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo e $9,72 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) (Quadro 8).

Quadro 8 – Agrupamento das amostras efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragem no período seco

| Grupos | Amostras | Biomassa microbiana | | |
|--------|----------------------------|---------------------------------|------|-------|
| | | C | N | C/N |
| | | _____ mg kg^{-1} _____ | | |
| I | 3, 6, 5, 9, 4, 8, 1, 2, 10 | 99,38 | 9,72 | 10,17 |
| II | 7 | 11,90 | 1,60 | 7,42 |

Os resultados obtidos pela análise por componentes principais está em concordância com os grupos obtidos pelo método de Tocher (Quadro 9). As amostras foram agrupadas utilizando-se a análise por componentes principais (ACP) totalizando três variáveis: carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) e relação C/N da biomassa microbiana (CNBM). O componente principal 1 representou 93,2% da variação total, assim a dispersão gráfica dos escores foi gerada para o componente principal 1 e 2 (Figura 4).

Quadro 9 – Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), considerando os períodos seco e úmido de amostragem associados às três variáveis analisadas por componentes principais, para o período seco

| Componente principal | Variância (autovalor) | Variância | Variância Acumulada | Importância relativa ⁽¹⁾ | | |
|----------------------|-----------------------|---------------|---------------------|-------------------------------------|---------|--------|
| | | | | CBM | NBM | CNBM |
| | | ————— % ————— | | | | |
| Y ₁ | 2,7850 | 92,83 | 92,83 | 0,5922 | 0,5826 | 0,5566 |
| Y ₂ | 0,2032 | 6,77 | 99,61 | -0,2848 | -0,4948 | 0,8210 |
| Y ₃ | 0,0118 | 0,39 | 100,00 | -0,7537 | 0,6447 | 0,1271 |

⁽¹⁾ Importância relativa das características nos componentes principais.

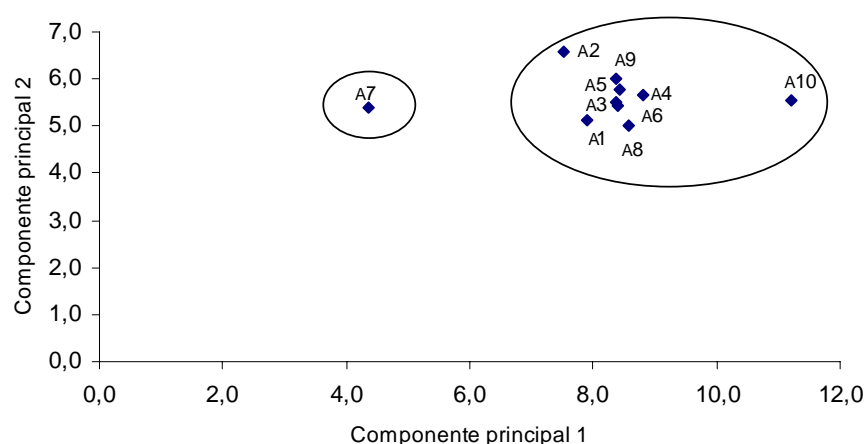


Figura 4 – Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas e a amostragem no período seco, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis carbono, nitrogênio e relação C/N da biomassa microbiana.

4.2.3. Considerando a coleta no período de maior precipitação – período úmido

Para verificar as diferenças entre as amostras no período úmido de amostragem efetuou-se o estudo da diversidade entre essas amostras, empregando o método de Tocher, com base na distância Euclidiana média e a análise por componentes principais. Os agrupamentos das amostras estão apresentados no Quadro 10, no qual pode ser observada a formação de dois grupos de amostras. No grupo I encontram-se as amostras (11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19) e no grupo II, a amostra 20 (M II/2,5), área de referência sob mata, amostrada no período úmido.

Neste período, as amostras retiradas das áreas com substrato alterado apresentaram diferença em relação ao solo sob mata, quanto ao teor médio de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana. No solo sob mata o teor médio de carbono e nitrogênio da biomassa foi de 53,63 mg kg⁻¹ de carbono e de 7,35 mg kg⁻¹ de nitrogênio enquanto que nas demais áreas as médias foram de 18,74 mg kg⁻¹ de carbono e 2,24 mg kg⁻¹ de nitrogênio.

Da mesma forma, como observado para o período seco, para o período úmido também a análise por componentes principais se mostra em concordância com os grupos obtidos pelo método de Tocher (Quadro 11). O componente principal 1 representou 66,38% da variação total, assim a dispersão gráfica dos escores foi gerada para o componente principal 1 e 2 (Figura 5).

Quadro 10 – Agrupamento das amostras efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragem no período úmido

| Grupos | Amostras | Biomassa microbiana | | |
|--------|----------------------------------|---------------------|------|------|
| | | C | N | C/N |
| | | mg kg ⁻¹ | | |
| I | 12, 15, 11, 18, 13, 16,14, 19,17 | 18,74 | 2,24 | 8,15 |
| II | 20 | 53,63 | 7,35 | 7,33 |

Quadro 11 – Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), considerando os períodos seco e úmido de amostragem associados às três variáveis analisadas por componentes principais, para o período úmido

| Componente principal | Variância (autovalor) | Variância | Variância Acumulada | Importância relativa ⁽¹⁾ | | |
|----------------------|-----------------------|---------------|---------------------|-------------------------------------|---------|--------|
| | | | | CBM | NBM | CNBM |
| | | ----- % ----- | | | | |
| Y ₁ | 1,9915 | 66,38 | 66,38 | 0,7081 | 0,7021 | 0,0752 |
| Y ₂ | 0,0066 | 33,55 | 99,93 | -0,0247 | -0,1310 | 0,9911 |
| Y ₃ | 0,0118 | 0,06 | 100,00 | -0,7057 | 0,6999 | 0,1101 |

⁽¹⁾ Importância relativa das características nos componentes principais.

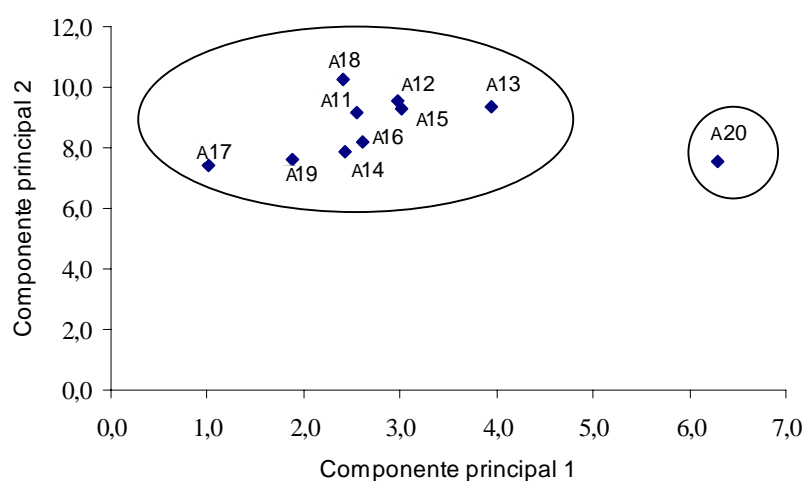


Figura 5 – Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas e a amostragem no período úmido, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis carbono, nitrogênio e relação C/N da biomassa microbiana.

No período úmido, a área sem adição do horizonte A original revegetada em 1994 (amostra 17), mesmo apresentando médias de CBM e NBM menores que as demais (Quadro 5), foi agrupada (Figura 5 e Quadro 10) pela análise por componentes principais em um mesmo grupo com as demais áreas, distantes da área de mata tida como referência (amostra 20).

A área de solo sob mata (amostras 10 e 20) apresentou teores médios de carbono e nitrogênio da biomassa maiores do que das amostras dos substratos, tanto no período seco quanto no período úmido de amostragem. Isto ocorreu provavelmente devido ao fato de esta apresentar maior cobertura vegetal, maior diversidade de espécies vegetais e conseqüentemente maior aporte de material ao solo favorecendo a atividade da microbiota ali presente e isto se refletiu nos teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana.

Não foram observadas variações no carbono e no nitrogênio da biomassa microbiana das áreas revegetadas na década de 80 daquelas revegetadas na década de 90, apesar de nas áreas da década de 80, o horizonte A do solo original ter sido incorporado ao substrato e nas da década de 90 este ter sido colocado superficialmente.

Pelos resultados obtidos, as características de carbono e nitrogênio da biomassa, quando em condições menos favoráveis à atividade microbiana, que é provável de ocorrer no período de maior precipitação, período úmido, o solo das áreas com substrato alterado se diferenciam do solo de área sob mata. Isto deve ocorrer provavelmente em função da maior diversidade vegetal e microbiana na área sob mata, ocorrendo provavelmente maior atividade mesmo em condições mais adversas.

Já no período no período seco, provável de ser mais favorável a atividade microbiana por ter maior aporte de material vegetal ao solo e este não estar tão úmido, o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana de forma geral apresentaram teores médios mais elevados para todas as amostras avaliadas. Neste período, as amostras de solo de áreas com substrato ficaram em um mesmo grupo I (Quadro 8) da área de solo sob mata, com exceção da área revegetada em 1994 onde não foi utilizado a cobertura com o horizonte A do solo original, grupo II. Neste caso, as condições favoráveis a atividade microbiana não permitiram diferenciar entre amostras retiradas de substratos ou do solo de mata.

Assim, conclui-se que em condições mais adversas o solo sob mata apresentou maior condições de manter a atividade microbiana, aqui avaliada como o carbono e o nitrogênio contidos na biomassa microbiana. Ou seja, é um sistema mais equilibrado.

O conjunto dos resultados mostra serem o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana bons indicadores da qualidade do solo. Entretanto, deve-se ficar atento ao período e a frequência de amostragem para que se tenham as informações fornecidas por essas variáveis como representativas da realidade local e não apenas de um período determinado.

Sugere-se que as amostragens sejam feitas anualmente nos períodos de maior e de menor precipitação e que sejam amostrados tanto o solo quanto a serapilheira para que se obtenham informações sobre a atividade microbiana de decomposição e ciclagem de nutrientes de forma mais global no sistema.

4.3.Características químicas

De maneira geral e independentemente da época de amostragem, os resultados obtidos com a caracterização química das amostras indicam um caráter claramente distrófico para as parcelas amostradas.

Foram observados baixos valores de pH, que certamente estão afetando a disponibilidade de nutrientes, assim como para as variáveis relacionadas com as bases trocáveis do solo. Aspecto importante que deve ser considerado é que um sistema florestal se caracteriza por um intenso processo de ciclagem biogeoquímica de nutrientes e a medida que este sistema se aproxima de uma condição de equilíbrio esta ciclagem torna-se menos importante em relação a ciclagem interna das árvores. Desta maneira, a disponibilidade de nutrientes no solo, pode, em função das características ecológicas da área, não se mostrar como um adequado indicador de qualidade do ambiente. Independentemente destas observações foram feitas observações dos resultados em função da época de amostragem.

4.3.1. Considerando as duas épocas de coleta - períodos seco e úmido

As características químicas do solo, pH em água, teores de fósforo disponível, cálcio, magnésio, potássio e alumínio trocáveis, acidez potencial, soma de bases, saturação por bases, saturação por alumínio, CTC efetiva

e, CTC total foram submetidas ao diagnóstico de multicolinearidade para verificar a existência de dependência entre as variáveis. Havendo dependência na matriz de correlação as variáveis são descartadas. As variáveis CTC efetiva e CTC total apresentaram essa dependência e foram portanto, descartadas.

Nos Quadros 12 e 13 são apresentados os valores médios das características químicas do solo para cada amostra. Os teores de cálcio e magnésio foram os que mais variaram entre as amostras.

Os agrupamentos das amostras por meio do método de otimização de Tocher, utilizando a distância euclidiana média como medida de dissimilaridade, estão apresentadas no Quadro 14, no qual se observou a formação de sete grupos de amostras. O método de agrupamento separou os grupos independentemente das profundidades ou períodos de amostragem, assim bem como do ano de revegetação (Quadro 14).

Apesar dessa heterogeneidade pode-se verificar que as amostras 43 (92 II/2,5), área revegetada em 1992 amostrada no período úmido à profundidade de 0 a 2,5 cm e 34 (84 II/2,5), área revegetada em 1984 amostradas no período úmido à profundidade de 0 a 2,5 cm, grupo V apresentaram teores médios de potássio foram as mais elevadas quando comparadas às demais (Quadro 14).

Os resultados referentes à análise por componentes principais, para as características químicas do solo, são apresentados no Quadro 15 e a dispersão gráfica dos escores, utilizando os dois primeiros componentes principais na Figura 6. Ao analisar a dispersão gráfica dos escores, utilizando os dois primeiros componentes principais, observa-se concordância com o agrupamento realizado pelo método de Tocher, o que confirma a diversidade na formação dos grupos.

Os teores de Ca e de Al foram os que mais variaram entre amostras. Quanto as demais variáveis analisadas esse padrão de diferenciação não persistiu, assim o agrupamento das variáveis não está contribuindo para se indicar essas variáveis assim bem como as demais como boas indicadoras da qualidade do solo das áreas em estudo.

Quadro 12 – Valores médios das características químicas de amostras de solo e substratos em recuperação, à profundidade de 0 a 2,5, 2,5 a 7,5 e 7,5 a 20 cm, de nove áreas em processo de recuperação após atividade de mineração e a área de referência sob mata primária, em Porto Trombetas-PA, amostras coletadas no período seco

| Amostra | pH H ₂ O | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H + Al | SB | t | T | V | m |
|----------------|------------------------|-------------------------|-------|------------------|------------------------------------|------------------|--------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | – mg dm ⁻³ – | | | cmol _c dm ⁻³ | | | | % ——— | | | |
| 1 (82 I/2,5) | 4,67 | 1,37 | 22,00 | 0,34 | 0,22 | 0,93 | 7,04 | 0,61 | 1,55 | 7,65 | 8,00 | 60,43 |
| 2 (82 I/7,5) | 4,60 | 1,23 | 19,33 | 0,14 | 0,13 | 0,87 | 5,83 | 0,32 | 1,18 | 6,15 | 5,17 | 73,30 |
| 3 (82 I/20) | 4,70 | 1,43 | 16,33 | 0,27 | 0,08 | 0,83 | 5,39 | 0,39 | 1,22 | 5,78 | 6,73 | 69,63 |
| 4 (84 I/2,5) | 4,87 | 2,17 | 21,67 | 0,68 | 0,24 | 0,53 | 6,05 | 0,97 | 1,51 | 7,02 | 14,00 | 35,37 |
| 5 (84 I/7,5) | 4,83 | 1,63 | 17,33 | 0,30 | 0,13 | 0,60 | 5,50 | 0,47 | 1,07 | 5,97 | 7,97 | 56,03 |
| 6 (84 I/20) | 4,83 | 1,50 | 14,00 | 0,23 | 0,10 | 0,63 | 5,28 | 0,37 | 1,00 | 5,65 | 6,53 | 63,17 |
| 7 (86 I/2,5) | 4,63 | 1,23 | 19,00 | 0,72 | 0,21 | 0,87 | 7,81 | 0,98 | 1,84 | 8,79 | 11,10 | 47,83 |
| 8 (86 I/7,5) | 4,63 | 1,30 | 18,33 | 0,54 | 0,14 | 0,77 | 6,71 | 1,32 | 2,09 | 8,03 | 11,33 | 39,97 |
| 9 (86 I/20) | 4,63 | 1,10 | 17,67 | 0,30 | 0,10 | 0,73 | 5,72 | 0,44 | 1,24 | 6,16 | 7,10 | 63,07 |
| 10 (87 I/2,5) | 4,53 | 1,30 | 18,67 | 0,27 | 0,12 | 1,20 | 8,03 | 0,43 | 1,63 | 8,46 | 5,07 | 73,67 |
| 11 (87 I/7,5) | 4,63 | 1,03 | 15,67 | 0,13 | 0,06 | 1,00 | 5,94 | 0,23 | 1,23 | 6,17 | 3,77 | 81,17 |
| 12 (87 I/20) | 4,53 | 1,23 | 10,33 | 0,09 | 0,04 | 0,70 | 5,72 | 0,16 | 0,86 | 5,88 | 2,67 | 79,07 |
| 13 (92 I/2,5) | 4,97 | 1,63 | 38,00 | 1,54 | 0,35 | 0,33 | 5,94 | 1,99 | 2,32 | 7,93 | 25,10 | 14,33 |
| 14 (92 I/7,5) | 4,73 | 1,30 | 23,00 | 0,66 | 0,16 | 0,77 | 6,82 | 0,88 | 1,64 | 7,70 | 11,03 | 48,33 |
| 15 (92 I/20) | 4,67 | 1,30 | 19,67 | 0,33 | 0,14 | 0,70 | 6,71 | 0,53 | 1,23 | 7,24 | 7,37 | 59,40 |
| 16 (94c I/2,5) | 4,47 | 0,20 | 7,67 | 0,11 | 0,05 | 0,87 | 5,72 | 0,18 | 1,05 | 5,90 | 3,00 | 83,00 |
| 17 (94c I/7,5) | 4,47 | 0,47 | 8,67 | 0,48 | 0,06 | 0,83 | 6,27 | 0,56 | 1,39 | 6,83 | 8,17 | 60,43 |
| 18 (94c I/20) | 4,53 | 0,40 | 8,00 | 0,36 | 0,06 | 0,70 | 7,15 | 0,43 | 1,20 | 7,58 | 5,37 | 65,23 |
| 19 (94s I/2,5) | 5,23 | 0,13 | 4,00 | 0,07 | 0,02 | 0,00 | 1,21 | 0,10 | 0,10 | 1,31 | 7,30 | 0,00 |
| 20 (94s I/7,5) | 5,20 | 0,00 | 1,33 | 0,06 | 0,01 | 0,00 | 1,32 | 0,08 | 0,08 | 1,40 | 5,47 | 0,00 |
| 21 (94s I/20) | 5,10 | 0,00 | 1,00 | 0,06 | 0,01 | 0,00 | 1,21 | 0,07 | 0,07 | 1,28 | 5,47 | 0,00 |
| 22 (96 I/2,5) | 4,43 | 0,47 | 7,00 | 0,23 | 0,04 | 1,21 | 6,49 | 0,29 | 1,36 | 6,78 | 4,27 | 78,60 |
| 23 (96 I/7,5) | 4,47 | 0,27 | 10,33 | 0,36 | 0,05 | 0,83 | 5,83 | 0,43 | 1,27 | 6,26 | 7,57 | 67,13 |
| 24 (96 I/20) | 4,50 | 0,20 | 8,00 | 0,16 | 0,05 | 0,80 | 5,61 | 0,22 | 1,02 | 5,83 | 3,77 | 78,60 |
| 25 (98 I/2,5) | 4,60 | 0,07 | 10,00 | 0,20 | 0,06 | 0,53 | 6,27 | 0,29 | 0,82 | 6,56 | 4,43 | 65,63 |
| 26 (98 I/7,5) | 4,57 | 0,33 | 10,67 | 0,29 | 0,05 | 0,57 | 5,50 | 0,37 | 0,93 | 5,87 | 5,87 | 63,47 |
| 27 (98 I/20) | 4,63 | 0,13 | 6,67 | 0,25 | 0,05 | 0,37 | 4,73 | 0,32 | 0,69 | 5,05 | 5,53 | 60,33 |
| 28 (M I/2,5) | 3,80 | 1,57 | 27,00 | 0,15 | 0,09 | 1,90 | 10,67 | 0,31 | 2,11 | 10,98 | 2,83 | 85,27 |
| 29 (M I/7,5) | 4,00 | 1,00 | 18,00 | 0,08 | 0,06 | 1,33 | 8,03 | 0,19 | 1,53 | 8,22 | 2,33 | 87,33 |
| 30 (M I/20) | 4,10 | 0,90 | 13,67 | 0,10 | 0,05 | 1,23 | 7,26 | 0,19 | 1,42 | 7,45 | 2,47 | 86,93 |

Quadro 13 – Valores médios das características químicas de amostras de solo e substratos em recuperação, à profundidade de 0 a 2,5, 2,5 a 7,5 e 7,5 a 20 cm, de nove áreas em processo de recuperação após atividade de mineração e a área de referência sob mata primária, em Porto Trombetas-PA, amostras coletadas no período úmido

| Amostra | pH H ₂ O | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H + Al | SB | t | T | V | m |
|-----------------|------------------------|-------------------------|-------|------------------|------------------------------------|------------------|--------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | – mg dm ⁻³ – | | | cmol _c dm ⁻³ | | | | % ——— | | | |
| 31 (82 II/2,5) | 4,57 | 0,97 | 19,67 | 0,27 | 0,30 | 0,73 | 6,27 | 0,62 | 1,35 | 6,89 | 9,13 | 53,73 |
| 32 (82 II/7,5) | 4,67 | 0,67 | 13,67 | 0,06 | 0,16 | 0,80 | 5,34 | 0,26 | 1,06 | 5,60 | 4,57 | 75,87 |
| 33 (82 II/20) | 4,67 | 0,57 | 10,00 | 0,04 | 0,09 | 0,77 | 4,78 | 0,16 | 0,92 | 4,94 | 3,10 | 83,37 |
| 34 (84 II/2,5) | 5,30 | 1,17 | 82,00 | 1,92 | 0,65 | 0,10 | 5,64 | 2,78 | 2,88 | 8,42 | 33,03 | 3,50 |
| 35 (84 II/7,5) | 4,97 | 1,17 | 42,33 | 1,11 | 0,41 | 0,40 | 5,78 | 1,63 | 2,00 | 7,41 | 21,70 | 23,37 |
| 36 (84 II/20) | 4,73 | 0,67 | 24,00 | 0,53 | 0,19 | 0,47 | 5,34 | 0,78 | 1,24 | 6,12 | 12,13 | 45,60 |
| 37 (86 II/2,5) | 4,57 | 1,50 | 24,33 | 1,48 | 0,45 | 0,67 | 9,24 | 1,99 | 2,66 | 11,24 | 17,60 | 25,87 |
| 38 (86 II/7,5) | 4,50 | 1,70 | 17,33 | 0,72 | 0,24 | 0,87 | 8,25 | 1,01 | 1,88 | 9,26 | 10,87 | 48,33 |
| 39 (86 II/20) | 4,47 | 0,97 | 10,67 | 0,23 | 0,11 | 0,87 | 7,15 | 0,37 | 1,23 | 7,52 | 4,90 | 70,20 |
| 40 (87 II/2,5) | 4,87 | 1,97 | 23,33 | 0,75 | 0,31 | 1,20 | 11,33 | 1,12 | 2,32 | 12,46 | 9,03 | 51,63 |
| 41 (87 II/7,5) | 4,77 | 0,80 | 12,00 | 0,10 | 0,10 | 0,90 | 7,21 | 0,23 | 1,13 | 7,43 | 3,03 | 79,93 |
| 42 (87 II/20) | 4,60 | 0,13 | 10,67 | 0,04 | 0,04 | 0,90 | 6,27 | 0,11 | 1,01 | 6,39 | 1,77 | 88,60 |
| 43 (92 II/2,5) | 4,80 | 0,97 | 54,00 | 2,13 | 0,59 | 0,33 | 7,92 | 2,85 | 3,19 | 10,77 | 26,23 | 11,40 |
| 44 (92 II/7,5) | 4,63 | 0,73 | 21,33 | 0,42 | 0,15 | 0,83 | 7,98 | 0,63 | 1,46 | 8,60 | 7,50 | 57,07 |
| 45 (92 II/20) | 4,57 | 0,73 | 31,67 | 0,59 | 0,26 | 0,83 | 8,03 | 0,93 | 1,76 | 8,96 | 10,50 | 46,77 |
| 46 (94c II/2,5) | 5,33 | 0,07 | 8,00 | 0,10 | 0,02 | 0,00 | 1,15 | 0,15 | 0,15 | 1,30 | 11,23 | 0,00 |
| 47 (94c II/7,5) | 5,27 | 0,40 | 5,67 | 0,02 | 0,04 | 0,00 | 3,69 | 0,08 | 0,08 | 3,76 | 3,93 | 0,00 |
| 48 (94c II/20) | 5,23 | 0,47 | 5,00 | 0,01 | 0,04 | 0,00 | 1,71 | 0,06 | 0,06 | 1,77 | 3,43 | 0,00 |
| 49 (94s II/2,5) | 4,37 | 0,43 | 16,67 | 0,25 | 0,11 | 1,03 | 7,65 | 0,40 | 1,44 | 8,05 | 5,10 | 71,73 |
| 50 (94s II/7,5) | 4,33 | 0,77 | 10,33 | 0,05 | 0,09 | 0,97 | 6,66 | 0,16 | 1,13 | 6,82 | 2,87 | 83,30 |
| 51 (94s II/20) | 4,47 | 0,70 | 8,33 | 0,05 | 0,07 | 0,70 | 5,34 | 0,15 | 0,85 | 5,48 | 2,87 | 80,40 |
| 52 (96 II/2,5) | 4,47 | 0,33 | 18,33 | 0,37 | 0,11 | 0,77 | 6,71 | 0,53 | 1,30 | 7,25 | 7,00 | 61,27 |
| 53 (96 II/7,5) | 4,33 | 1,70 | 12,00 | 0,23 | 0,12 | 1,00 | 7,37 | 0,39 | 1,39 | 7,76 | 4,93 | 72,37 |
| 54 (96 II/20) | 4,30 | 1,30 | 15,33 | 0,07 | 0,10 | 0,87 | 6,77 | 0,21 | 1,07 | 6,97 | 3,00 | 80,53 |
| 55 (98 II/2,5) | 4,43 | 0,33 | 10,00 | 0,25 | 0,04 | 0,77 | 6,44 | 0,32 | 1,08 | 6,76 | 4,70 | 70,77 |
| 56 (98 II/7,5) | 4,57 | 0,93 | 9,00 | 0,09 | 0,07 | 0,63 | 5,89 | 0,18 | 0,82 | 6,07 | 2,87 | 78,67 |
| 57 (98 II/20) | 4,57 | 0,50 | 6,33 | 0,12 | 0,08 | 0,33 | 4,13 | 0,22 | 0,55 | 4,35 | 5,13 | 57,93 |
| 58 (M I/2,5) | 3,73 | 1,90 | 36,00 | 0,44 | 0,23 | 1,70 | 11,99 | 0,76 | 2,46 | 12,75 | 5,53 | 71,33 |
| 59 (M II/7,5) | 3,77 | 1,80 | 20,67 | 0,13 | 0,10 | 1,00 | 9,08 | 0,29 | 1,29 | 9,37 | 2,97 | 56,70 |
| 60 (M II/20) | 3,93 | 1,70 | 14,67 | 0,01 | 0,05 | 1,10 | 6,49 | 0,10 | 1,20 | 6,59 | 1,47 | 91,93 |

Quadro 14 – Agrupamento das amostras efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragens no período seco e úmido

| Grupo | Amostras | pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | t | T |
|-------|--|------|-------------------------|-------|------------------------------------|------------------|------------------|-------|------|-------|-------|
| | | | — mg dm ⁻³ — | | cmol _c dm ⁻³ | | | | | | |
| I | 20, 21, 19, 48, 46, 47, 16, 24, 42, 55, 43, 18, 26, 25, 17, 52, 51, 33, 56, 32, 39, 50, 41, 22, 49, 11 | 5,23 | 0,18 | 4,17 | 0,05 | 0,03 | 0,00 | 1,72 | 0,09 | 6,14 | 0,00 |
| II | 12, 9, 2, 54, 3, 15, 44, 10, 6, 57, 27, 30, 53, 1, 5, 31, 14, 36, 7, 8, 29, 45 | 4,53 | 0,86 | 14,36 | 0,26 | 0,11 | 0,82 | 6,40 | 0,42 | 5,77 | 68,41 |
| III | 38, 60 | 4,83 | 1,43 | 34,89 | 1,38 | 0,40 | 0,47 | 6,99 | 1,87 | 21,47 | 21,19 |
| IV | 13, 35, 37 | 3,77 | 1,76 | 27,89 | 0,24 | 0,14 | 1,53 | 10,58 | 0,45 | 3,78 | 71,10 |
| V | 28,58,59 | 5,05 | 1,07 | 68,00 | 2,03 | 0,62 | 0,22 | 6,78 | 2,82 | 29,63 | 7,45 |
| VI | 34,43 | 4,87 | 2,17 | 21,67 | 0,68 | 0,24 | 0,53 | 6,05 | 0,97 | 14,00 | 35,37 |
| VII | 40 | 4,87 | 1,97 | 23,33 | 0,75 | 0,31 | 1,20 | 11,33 | 1,12 | 9,03 | 51,63 |

Quadro 15 – Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), para as variáveis consideradas, nos períodos seco e úmido de amostragem

| Componente principal | Variância (autovalor) | Variância | Variância Acumulada | pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H + Al | SB | V | M |
|----------------------|-----------------------|-------------|---------------------|---------|---------------------------|---------|------------------|------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | ———— % ———— | | | —— mg dm ⁻³ —— | | | ————— cmolc dm ⁻³ ————— | | | | | |
| Y1 | 5,2079 | 52,08 | 52,08 | 0,1603 | 0,1644 | 0,3832 | 0,4226 | 0,4153 | -0,1224 | 0,0851 | 0,4266 | 0,4265 | -0,2515 |
| Y2 | 3,4810 | 34,81 | 86,89 | 0,4514 | -0,3408 | -0,1630 | -0,0483 | -0,1071 | -0,4959 | -0,4978 | -0,0684 | 0,0678 | -0,3697 |
| Y3 | 0,5596 | 5,60 | 92,49 | 0,2111 | 0,8906 | -0,1204 | -0,1898 | -0,0557 | -0,0658 | -0,0785 | -0,1458 | -0,0852 | -0,2640 |
| Y4 | 0,2423 | 2,42 | 94,91 | 0,2651 | 0,1221 | 0,4424 | -0,1645 | 0,1125 | -0,0449 | -0,4332 | -0,1065 | 0,0935 | 0,6853 |
| Y5 | 0,1858 | 1,86 | 96,77 | -0,6851 | 0,0293 | 0,4693 | -0,1704 | -0,0985 | -0,1352 | -0,3536 | -0,1289 | 0,0566 | -0,3281 |
| Y6 | 0,1607 | 1,61 | 98,37 | 0,3950 | -0,2086 | 0,4940 | -0,3514 | 0,1084 | 0,3598 | 0,2647 | -0,2416 | -0,1882 | -0,3577 |
| Y7 | 0,0875 | 0,87 | 99,25 | -0,1380 | -0,0235 | -0,0413 | -0,1868 | 0,6456 | -0,5465 | 0,2278 | -0,1007 | -0,3997 | 0,0804 |
| Y8 | 0,0479 | 0,48 | 99,73 | 0,0926 | 0,0467 | 0,3507 | 0,1209 | -0,5893 | -0,5174 | 0,4625 | 0,0033 | -0,0838 | 0,1256 |
| Y9 | 0,0182 | 0,18 | 99,91 | -0,0516 | -0,0362 | -0,1588 | -0,3343 | 0,0727 | -0,1295 | 0,2976 | -0,3973 | 0,7668 | 0,0500 |
| Y10 | 0,0092 | 0,09 | 100,00 | -0,0083 | -0,0193 | -0,0458 | -0,6650 | -0,0972 | -0,0428 | 0,0410 | 0,7333 | 0,0637 | 0,0209 |

⁽¹⁾ Importância relativa das características nos componentes principais.

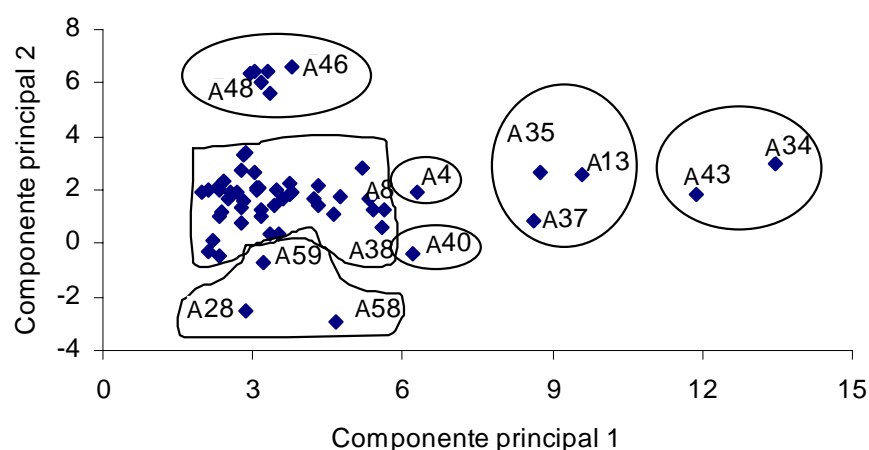


Figura 6 – Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas, amostradas em três profundidades e período seco e úmido, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis relacionadas a caracterização química do solo.

4.3.2. Considerando a coleta no período de menor precipitação - período seco

Para verificar as diferenças entre as amostras em um mesmo período de amostragem foram feitas as análises por componentes principais separadamente para os períodos amostrados, seco e úmido.

Os agrupamentos das amostras por meio do método de otimização de Tocher, utilizando a distância euclidiana média como medida de dissimilaridade, estão apresentadas no Quadro 16, no qual se observou a formação de três grupos de amostras.

O método de agrupamento separou os grupos sendo a área 13 (92 I/2,5), área revegetada em 1992 amostrada na camada de 0 a 2,5 cm ficou em um grupo III, a a área sob mata primária na mesma profundidade de amostragem, amostra 28 (M I/2,5), ficou no grupo II e as demais amostras no grupo I. Neste período de amostragem os teores médios de P, K, Ca e Mg foram mais elevados para a amostra 13, grupo III do que aqueles valores dos demais grupos.

Quadro 16 – Agrupamento das amostras efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragens no período seco

| Grupo | Amostras | pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H + Al | SB | t | T |
|-------|---|------|-------------------------|-------|------------------------------------|------------------|------------------|--------|------|-------|-------|
| | | | — mg dm ⁻³ — | | cmol _c dm ⁻³ | | | | | | |
| I | 20, 21, 19, 27, 26, 25, 24, 23, 18, 16, 17, 22, 12, 11, 9, 3, 6, 2, 15, 5, 10, 30, 1, 14, 29, 8, 7, 4 | 4,64 | 0,85 | 13,14 | 0,28 | 0,09 | 0,73 | 5,76 | 0,42 | 6,39 | 58,83 |
| II | 28 | 3,80 | 1,57 | 27,00 | 0,15 | 0,09 | 1,90 | 10,67 | 0,31 | 2,83 | 85,27 |
| III | 13 | 4,97 | 1,63 | 38,00 | 1,54 | 0,35 | 0,33 | 5,94 | 1,99 | 25,10 | 14,33 |

A amostra 28 (M I/2,5), foi a que o solo apresentou menor valor de pH e maior teor de alumínio, quando comparada com as demais, essa amostra foi retirada de solo sob mata na profundidade de 2,5 cm. Nessas condições os ácidos orgânicos provenientes da decomposição da manta orgânica e aqueles de origem microbiana direta podem estar contribuindo para a redução do pH e a consequente disponibilização do alumínio em solução, o que pode ser verificado pelo valor de H + Al (acidez potencial) também mais elevado (Quadro 16)

De modo geral, os resultados obtidos com a análise por componentes principais concordam com aqueles observados com a contribuição relativa das características (Quadro 17).

Ao analisar a dispersão gráfica dos escores (Figura 7), utilizando os dois primeiros componentes principais, observa-se concordância com o agrupamento realizado pelo método de Tocher, o que confirma as amostras 13 (92 I/2,5) e 28 (M I/2,5) se diferenciando dos demais.

Não foram observadas diferenças entre as amostras retiradas de áreas revegetadas na década de 80 daquelas revegetadas na década de 90, apesar de estas áreas terem recebido o horizonte A do solo original de forma diferente. Nas áreas da década de 80 este foi incorporado ao substrato e nas da década de 90 este foi colocado superficialmente. Também nos resultados obtidos não foi observada diferença entre áreas em função da vegetação de cobertura, somente dessas para a área de referência em termos de pH, alumínio trocável (Al^{3+}) e acidez potencial (H + Al).

4.3.3. Considerando a coleta no período de maior precipitação - período úmido

Os agrupamentos das amostras por meio do método de otimização de Tocher, utilizando a distância euclidiana média como medida de dissimilaridade, estão apresentadas no Quadro 18, no qual se observou a formação de sete grupos de amostras.

Neste período de amostragem, a maior variação entre os resultados das características analisadas contribuiu para a formação de mais grupos quando comparadas com a do período seco. Essa maior diferenciação entre as amostras que ocorreu no período úmido pode decorrer da maior mobilidade de alguns nutrientes, principalmente para aqueles transportados por fluxo de massa, conseqüentemente tem-se maior heterogeneidade entre amostras, o que se reflete em um maior número de agrupamentos formados pelo método de Tocher.

Os teores de Ca, Mg e K trocáveis foram os que mais contribuíram para a formação dos grupos. Entretanto, não se mostram como bons indicadores de qualidade de um solo já que têm uma grande variação espacial e temporal, ou seja, podem variar em uma mesma área e em determinado período de tempo. Assim talvez possam vir a serem usados juntamente com outras características químicas do solo, mas não em uma ou duas amostragens e sim em amostragens em pelo menos duas épocas do ano e vindo a fazer parte de um banco de dados da empresa. Essas informações sistematizadas poderão melhor caracterizar as condições edáficas do local. No entanto, deve ser considerado o fato de que as parcelas amostradas mostraram baixa disponibilidade de nutrientes, caracterizando um claro distrofismo que pode estar limitando o desenvolvimento da vegetação. Apesar de apresentarem maior variabilidade entre os resultados, os teores de Ca, Mg e K mostraram-se muito baixos, teores estes que refletem os baixos valores de pH, igualmente observados.

Ao analisar a dispersão gráfica dos escores (Figura 8), utilizando os dois primeiros componentes principais, observa-se concordância com o agrupamento realizado pelo método de Tocher.

As amostras 46 (94s II/2,5), 47 (94s II/7,5) e 48 (94s II/20) foram agrupadas separadamente (Quadro 18 e Figura 8). Essas amostras são de áreas onde não se aplicou o horizonte A original. Apresentaram baixos teores de fósforo disponível e cálcio e magnésio trocáveis e não apresentaram alumínio trocável (Quadro 13).

Quadro 17 – Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), para as variáveis consideradas, nos períodos seco de amostragem

| Componente principal | Variância (autovalor) | Variância | Variância Acumulada | pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H + Al | SB | V | M |
|----------------------|-----------------------|-------------|---------------------|---------|---------------------------|---------|------------------|------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | ———— % ———— | | | —— mg dm ⁻³ —— | | | ————— cmolc dm ⁻³ ————— | | | | | |
| Y1 | 4,9648 | 49,65 | 49,65 | 0,0528 | 0,3273 | 0,3944 | 0,4127 | 0,4325 | 0,0239 | 0,1682 | 0,4245 | 0,3991 | -0,0939 |
| Y2 | 3,9045 | 39,04 | 88,69 | 0,4739 | -0,1766 | -0,1840 | 0,0952 | -0,0012 | -0,4896 | -0,4522 | 0,0645 | 0,2108 | -0,4566 |
| Y3 | 0,6061 | 6,06 | 94,75 | 0,3184 | 0,7179 | 0,2179 | -0,4019 | 0,1257 | -0,0184 | -0,1717 | -0,2980 | -0,1905 | -0,0596 |
| Y4 | 0,1922 | 1,92 | 96,68 | 0,2867 | 0,0628 | -0,1893 | 0,1680 | 0,1190 | -0,3551 | -0,0645 | 0,0246 | 0,0148 | 0,8394 |
| Y5 | 0,1099 | 1,10 | 97,78 | 0,0254 | -0,5227 | 0,5406 | -0,1265 | 0,5085 | -0,1105 | -0,0618 | -0,3593 | -0,0987 | 0,0664 |
| Y6 | 0,0847 | 0,85 | 98,62 | 0,3359 | -0,0747 | -0,4740 | -0,1054 | 0,4730 | 0,0621 | 0,5640 | 0,0431 | -0,2500 | -0,1893 |
| Y7 | 0,0573 | 0,57 | 99,20 | -0,4469 | 0,1467 | 0,0741 | -0,1148 | -0,0309 | -0,7806 | 0,3142 | 0,0756 | -0,1765 | -0,1194 |
| Y8 | 0,0404 | 0,40 | 99,60 | 0,4908 | -0,1808 | 0,4408 | -0,1694 | -0,4643 | -0,0288 | 0,3140 | 0,3823 | -0,1996 | 0,0494 |
| Y9 | 0,0343 | 0,34 | 99,94 | -0,1851 | -0,0763 | -0,0821 | 0,5274 | 0,2832 | 0,0708 | -0,3775 | 0,6523 | -0,1089 | 0,0995 |
| Y10 | 0,0058 | 0,06 | 100,00 | 0,0268 | -0,0595 | -0,0609 | -0,5326 | -0,0630 | -0,0460 | 0,2680 | -0,1340 | 0,7776 | 0,0885 |

⁽¹⁾ Importância relativa das características nos componentes principais.

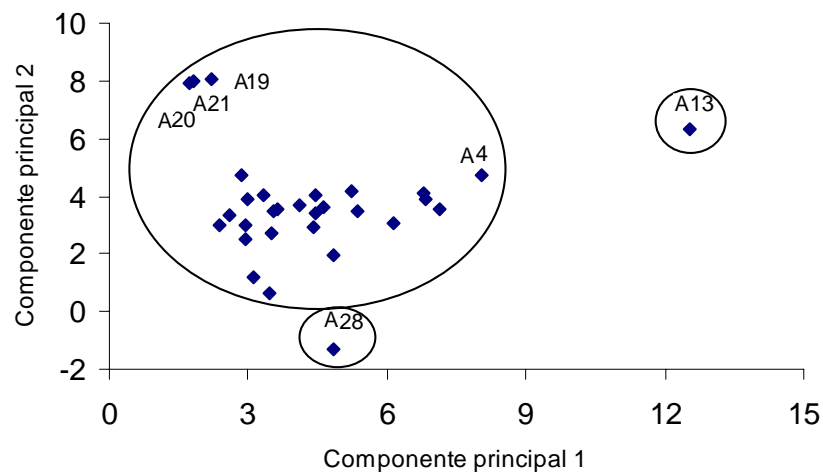


Figura 7 – Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas, amostradas em três profundidades e no período seco, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis relacionadas a caracterização química do solo.

As áreas onde foram coletadas as amostras não são consideradas como solos e sim substratos em recuperação, exceto aquela área de referência (sob mata). Quando no processo de sua sistematização e recuperação, pode vir a ocorrer em alguns locais maior concentração de material orgânico proveniente do horizonte A original, ali adicionado.

Essas áreas apresentam assim, muita heterogeneidade o que dificulta a amostragem e essa heterogeneidade pode vir a contribuir para uma maior variação nos resultados. Sugere-se que se retirem mais amostras por área, à profundidade de 0 a 2,5 ou 0 a 5 cm já que essas devem ser colocadas em um banco de dados para formarem o perfil das áreas, fornecendo assim mais informações do que quando avaliados separadamente.

Salomão (1998), citando Saldarriaga et al. (1998) e Uhl et al. (1982), discute sobre o tempo de recuperação de uma floresta até chegar a uma floresta madura para as áreas na Amazônia. Segundo os autores, esse tempo depende de como a floresta foi removida e do tipo e do tempo de uso após a remoção, bem como da clareira artificial aberta e da distância à floresta primária.

Quadro 18 – Agrupamento das amostras efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragens no período úmido

| Grupo | Amostras | pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H + Al | V | M |
|-------|--|------|-------------------------|-------|--|------------------|------------------|--------|-------|-------|
| | | | — mg dm ⁻³ — | | ————— cmol _c dm ⁻³ ————— | | | | | |
| I | 51, 56, 33, 32, 41, 39, 50, 55, 42, 49, 52, 44, 54, 31, 57, 53, 36, 45 | 4,53 | 0,74 | 14,44 | 0,21 | 0,12 | 0,79 | 6,41 | 5,28 | 69,89 |
| II | 47, 48, 46 | 5,28 | 0,31 | 6,22 | 0,04 | 0,04 | 0,00 | 2,18 | 6,20 | 0,00 |
| III | 59, 60 | 3,85 | 1,75 | 17,67 | 0,07 | 0,08 | 1,05 | 7,79 | 2,22 | 74,32 |
| IV | 38, 40, 37 | 4,64 | 1,72 | 21,67 | 0,99 | 0,33 | 0,91 | 9,61 | 12,50 | 41,94 |
| V | 35, 43 | 4,88 | 1,07 | 48,17 | 1,62 | 0,50 | 0,37 | 6,85 | 23,97 | 17,38 |
| VI | 34 | 5,30 | 1,17 | 82,00 | 1,92 | 0,65 | 0,10 | 5,64 | 33,03 | 3,50 |
| VII | 58 | 3,73 | 1,90 | 36,00 | 0,44 | 0,23 | 1,70 | 11,99 | 5,53 | 71,33 |

Quadro 19 – Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), para as variáveis consideradas, no período úmido de amostragem

| Componente principal | Variância (autovalor) | Variância | Variância Acumulada | pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H + Al | V | M |
|----------------------|-----------------------|-------------|---------------------|---------|---------------------------|---------|------------------------------------|------------------|------------------|---------|---------|---------|
| | | ———— % ———— | | | —— mg dm ⁻³ —— | | ————— cmolc dm ⁻³ ————— | | | | | |
| Y1 | 4,5181 | 50,20 | 50,20 | 0,2641 | 0,0558 | 0,3985 | 0,4326 | 0,4229 | -0,2434 | 0,0010 | 0,4600 | -0,3626 |
| Y2 | 3,2998 | 36,66 | 86,87 | 0,3951 | -0,4456 | -0,2088 | -0,1722 | -0,2121 | -0,4505 | -0,5178 | -0,0538 | -0,2305 |
| Y3 | 0,5054 | 5,62 | 92,48 | 0,0781 | 0,7459 | -0,2881 | -0,1370 | -0,1123 | -0,1502 | 0,0065 | -0,1490 | -0,5276 |
| Y4 | 0,2656 | 2,95 | 95,43 | -0,5605 | 0,2738 | 0,3161 | -0,0909 | -0,0294 | -0,2816 | -0,6049 | 0,1344 | 0,1962 |
| Y5 | 0,1951 | 2,17 | 97,60 | 0,6327 | 0,3859 | 0,0329 | -0,1311 | 0,1802 | 0,0838 | -0,2279 | 0,0239 | 0,5835 |
| Y6 | 0,1323 | 1,47 | 99,07 | 0,1803 | -0,0326 | 0,7059 | -0,4889 | -0,2310 | 0,2912 | 0,0212 | -0,1067 | -0,2813 |
| Y7 | 0,0377 | 0,42 | 99,49 | 0,1053 | 0,1021 | 0,2921 | 0,2815 | -0,5092 | -0,5500 | 0,3760 | -0,2119 | 0,2568 |
| Y8 | 0,0325 | 0,36 | 99,85 | -0,0818 | -0,0788 | 0,1139 | -0,2594 | 0,6457 | -0,3668 | 0,1543 | -0,5757 | 0,0132 |
| Y9 | 0,0135 | 0,15 | 100,00 | -0,0568 | -0,0197 | -0,1306 | -0,5946 | 0,0270 | -0,3273 | 0,3852 | 0,5974 | 0,1129 |

⁽¹⁾ Importância relativa das características nos componentes principais.

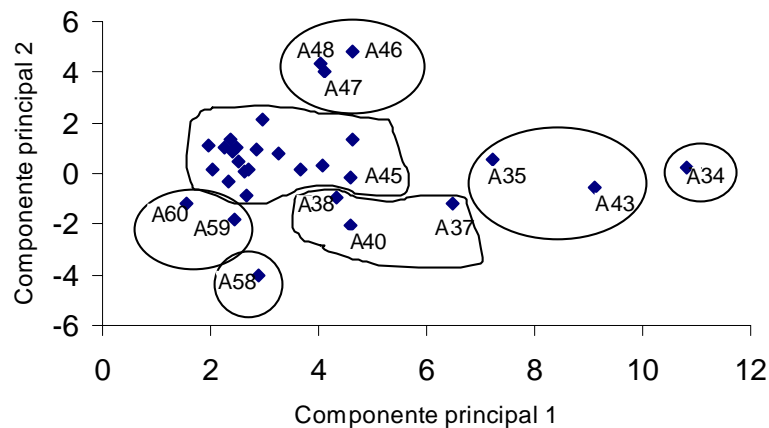


Figura 8 – Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas, amostradas em três profundidades e no período úmido, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis relacionadas a caracterização química do solo.

Os autores afirmam que pequenas áreas perturbadas por sistemas de agricultura migratória recuperam o número de espécies originais (biodiversidade) em 20 anos e que para as espécies vegetais alcançarem área basal e biomassa semelhante às das florestas maduras seriam necessários aproximadamente 140 a 200 anos. Resta perguntar sobre a formação desses solos, quando podemos considerar que este está recuperado?

Stenberg (1999), revisando outros autores, considera que os critérios que um indicador de qualidade de solo deve ter são as seguintes: deve integrar as propriedades físicas, químicas e biológicas e os processos a essas relacionadas; ser de relevância ecológica; deve ser sensível às variações ao longo do tempo nas condições de manejo e climáticas sendo por outro lado resistente às flutuações de curto prazo devido a condições temporárias; deve ser possível de ser medido, acurada e precisamente, em uma variedade de tipos e condições de solos; deve ser simples de ser avaliado e de baixo custo já que se deve proceder a um grande número de análises que comporão um banco de dados.

A Mineração Rio do Norte dispõe de informação suficiente para a formação de um banco de dados no sentido de ajudar a responder a essa

questão, já que mantém um eficiente programa de monitoramento de seus reflorestamentos, sendo assim esses dados podem ser analisados em conjunto fornecendo informações mais valiosas no tempo, sobre a recuperação dessas áreas, no tocante a suas características químicas.

Quando comparamos os resultados obtidos no presente trabalho para as características de carbono e nitrogênio e biomassa microbiana e características químicas do solo, verificamos que o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana apresentaram-se como indicadores mais adequados da qualidade do solo do que as características químicas do solo para a condição em foi realizado este estudo.

4.4. Matéria orgânica

4.4.1. Considerando as amostragens dos períodos seco e úmido

As médias dos teores de matéria orgânica (MO), matéria orgânica leve (MOL), carbono da matéria orgânica leve (CMOL), carbono e nitrogênio total e a relação C/N das amostras em estudo, são apresentadas nos Quadros 20 e 21. Esses teores foram menores para as amostras da área sem a adição do horizonte A original (amostras 19, 20 e 21) no período seco e também no período úmido (amostras 47, 48, 49). Para as demais amostras esses teores foram mais elevados na profundidade de 0 a 2,5 cm do que nas demais profundidades.

O teor médio de matéria orgânica na amostra 58 (M II/2,5), área sob mata amostrada no período úmido na profundidade de 0 a 2,5 cm, foi de 21,23 dag kg⁻¹. Esta mesma área no período seco apresentou teor de 5,05 dag kg⁻¹. Essa diferença foi muito grande, sendo provável que tenha ocorrido em função de erro de amostragem e não de diferença entre as amostras (áreas, profundidades ou épocas). Na área de mata pode-se observar intensa atividade de cupins e da mesofauna atuando no solo, assim a retirada de amostra é dificultada, o que pode ter contribuído para esse erro de amostragem.

Quadro 20 – Valores médios da matéria orgânica (MO), matéria orgânica leve (MOL), carbono da matéria orgânica leve (CMOL), carbono (C) e nitrogênio (N) total, relação C/N (CN) de amostras de substratos em recuperação e de solo, à profundidade de 0 a 2,5, 2,5 a 7,5 e 7,5 a 20 cm, de nove áreas em processo de recuperação após atividade de mineração e a área de referência sob mata primária, em Porto Trombetas-PA, considerando a amostragem no período seco

| Amostra | MO | C | N | C/N | MOL | CMOL |
|----------------|----------------------|------|------|-------|--------------------|------|
| | dag kg ⁻¹ | | | | mg g ⁻¹ | |
| 1 (82 I/2,5) | 4,94 | 2,87 | 0,15 | 19,22 | 6,86 | 5,89 |
| 2 (82 I/7,5) | 3,75 | 2,18 | 0,14 | 15,53 | 4,12 | 3,49 |
| 3 (82 I/20) | 3,38 | 1,96 | 0,15 | 13,27 | 2,27 | 2,00 |
| 4 (84 I/2,5) | 4,89 | 2,84 | 0,18 | 15,75 | 3,18 | 2,85 |
| 5 (84 I/7,5) | 4,08 | 2,37 | 0,15 | 16,38 | 2,13 | 1,84 |
| 6 (84 I/20) | 3,51 | 2,04 | 0,16 | 12,87 | 2,52 | 2,23 |
| 7 (86 I/2,5) | 5,58 | 3,23 | 0,19 | 16,64 | 4,23 | 3,66 |
| 8 (86 I/7,5) | 4,81 | 2,79 | 0,15 | 18,19 | 3,84 | 3,34 |
| 9 (86 I/20) | 3,84 | 2,23 | 0,18 | 13,78 | 5,25 | 4,58 |
| 10 (87 I/2,5) | 5,29 | 3,07 | 0,17 | 17,71 | 4,56 | 4,03 |
| 11 (87 I/7,5) | 3,95 | 2,29 | 0,14 | 15,99 | 3,00 | 2,72 |
| 12 (87 I/20) | 3,42 | 1,99 | 0,13 | 15,30 | 4,21 | 2,94 |
| 13 (92 I/2,5) | 4,85 | 2,81 | 0,16 | 17,50 | 1,99 | 1,04 |
| 14 (92 I/7,5) | 4,39 | 2,55 | 0,19 | 13,28 | 1,79 | 1,33 |
| 15 (92 I/20) | 4,08 | 2,37 | 0,15 | 15,74 | 1,82 | 1,08 |
| 16 (94c I/2,5) | 3,23 | 1,87 | 0,03 | 68,56 | 1,60 | 1,12 |
| 17 (94c I/7,5) | 3,58 | 2,07 | 0,15 | 14,08 | 1,89 | 1,53 |
| 18 (94c I/20) | 3,34 | 1,94 | 0,06 | 30,75 | 1,90 | 1,67 |
| 19 (94s I/2,5) | 0,24 | 0,14 | 0,03 | 5,17 | 0,28 | 0,21 |
| 20 (94s I/7,5) | 0,28 | 0,16 | 0,03 | 5,59 | 0,08 | 0,08 |
| 21 (94s I/20) | 0,22 | 0,13 | 0,03 | 4,35 | 0,26 | 0,15 |
| 22 (96 I/2,5) | 3,47 | 2,01 | 0,13 | 15,31 | 1,76 | 1,60 |
| 23 (96 I/7,5) | 3,34 | 1,94 | 0,12 | 15,86 | 1,60 | 1,38 |
| 24 (96 I/20) | 2,99 | 1,73 | 0,08 | 22,68 | 2,30 | 2,04 |
| 25 (98 I/2,5) | 2,79 | 1,62 | 0,10 | 16,30 | 3,30 | 3,11 |
| 26 (98 I/7,5) | 3,10 | 1,80 | 0,07 | 28,12 | 1,99 | 1,75 |
| 27 (98 I/20) | 2,46 | 1,42 | 0,07 | 20,17 | 4,54 | 3,98 |
| 28 (M I/2,5) | 7,53 | 4,37 | 0,22 | 20,14 | 6,84 | 6,34 |
| 29 (M I/7,5) | 5,05 | 2,93 | 0,21 | 13,89 | 5,50 | 4,70 |
| 30 (M I/20) | 4,30 | 2,50 | 0,20 | 12,52 | 5,89 | 5,29 |

Quadro 21 – Valores médios da matéria orgânica (MO), matéria orgânica leve (MOL), carbono da matéria orgânica leve (CMOL), carbono (C) e nitrogênio (N) total, relação C/N (CN) de amostras de substratos em recuperação e de solo, à profundidade de 0 a 2,5, 2,5 a 7,5 e 7,5 a 20 cm, de nove áreas em processo de recuperação após atividade de mineração e a área de referência sob mata primária, em Porto Trombetas-PA, considerando a amostragem no período úmido

| Amostra | MO | C | N | C/N | MOL | CMOL |
|-----------------|----------------------|-------|------|-------|--------------------|-------|
| | dag kg ⁻¹ | | | | mg g ⁻¹ | |
| 31 (82 II/2,5) | 5,35 | 3,11 | 0,17 | 18,35 | 6,93 | 6,44 |
| 32 (82 II/7,5) | 2,89 | 1,68 | 0,13 | 13,26 | 2,91 | 2,48 |
| 33 (82 II/20) | 2,43 | 1,41 | 0,12 | 12,22 | 1,77 | 1,48 |
| 34 (84 II/2,5) | 5,94 | 3,45 | 0,22 | 15,46 | 6,67 | 5,75 |
| 35 (84 II/7,5) | 4,39 | 2,55 | 0,20 | 13,00 | 4,28 | 3,69 |
| 36 (84 II/20) | 3,02 | 1,76 | 0,13 | 13,02 | 2,17 | 1,82 |
| 37 (86 II/2,5) | 8,45 | 4,91 | 0,25 | 19,61 | 9,92 | 8,95 |
| 38 (86 II/7,5) | 4,54 | 2,61 | 0,21 | 12,82 | 2,95 | 2,53 |
| 39 (86 II/20) | 3,74 | 2,17 | 0,17 | 12,60 | 2,67 | 2,36 |
| 40 (87 II/2,5) | 7,07 | 4,11 | 0,22 | 18,77 | 11,86 | 10,43 |
| 41 (87 II/7,5) | 3,91 | 2,27 | 0,17 | 13,58 | 4,77 | 4,64 |
| 42 (87 II/20) | 3,34 | 1,94 | 0,15 | 12,69 | 2,90 | 3,40 |
| 43 (92 II/2,5) | 6,68 | 3,88 | 0,23 | 17,16 | 12,62 | 11,30 |
| 44 (92 II/7,5) | 4,44 | 2,58 | 0,18 | 14,66 | 2,30 | 2,06 |
| 45 (92 II/20) | 4,57 | 2,66 | 0,20 | 13,56 | 1,98 | 1,68 |
| 46 (94c II/2,5) | 4,96 | 2,88 | 0,12 | 24,00 | 5,70 | 5,05 |
| 47 (94c II/7,5) | 3,15 | 1,83 | 0,13 | 67,01 | 4,09 | 3,60 |
| 48 (94c II/20) | 2,58 | 1,50 | 0,11 | 55,01 | 2,69 | 2,42 |
| 49 (94s II/2,5) | 0,16 | 0,09 | 0,02 | 4,50 | 0,26 | 0,20 |
| 50 (94s II/7,5) | 0,10 | 0,06 | 0,03 | 2,13 | 0,28 | 0,20 |
| 51 (94s II/20) | 0,16 | 0,09 | 0,03 | 3,47 | 0,19 | 0,15 |
| 52 (96 II/2,5) | 4,70 | 2,73 | 0,12 | 22,82 | 3,70 | 3,27 |
| 53 (96 II/7,5) | 4,61 | 2,68 | 0,19 | 14,13 | 2,96 | 2,47 |
| 54 (96 II/20) | 3,98 | 2,31 | 0,17 | 13,33 | 3,68 | 3,25 |
| 55 (98 II/2,5) | 3,76 | 2,19 | 0,15 | 14,76 | 2,66 | 2,32 |
| 56 (98 II/7,5) | 2,75 | 1,60 | 0,13 | 11,86 | 1,70 | 1,47 |
| 57 (98 II/20) | 1,69 | 0,98 | 0,12 | 8,21 | 1,00 | 0,86 |
| 58 (M I/2,5) | 21,23 | 12,34 | 0,32 | 39,00 | 23,49 | 21,32 |
| 59 (M II/7,5) | 5,15 | 3,00 | 0,22 | 13,36 | 2,22 | 1,90 |
| 60 (M II/20) | 3,32 | 1,93 | 0,17 | 11,20 | 2,41 | 2,06 |

Para a formação dos grupos foi utilizado o do método de otimização de Tocher, utilizando a distância euclidiana média como medida de dissimilaridade e os grupos são apresentadas no Quadro 22, no qual se observou a formação de dois grupos de amostras. No grupo I, estão todas as amostras exceto a amostra 58 (M II/2,5) que ficou agrupada separadamente, no grupo II. Assim esses resultados não serão analisados já que em função da amostra 58 ter tido valores médios muito superiores aos demais, as outras amostras foram todas colocadas no mesmo grupo como salientado anteriormente.

Para as variáveis, matéria orgânica, matéria orgânica leve, carbono da matéria orgânica leve, carbono total, nitrogênio total, relação C/N do solo, quando submetidas ao diagnóstico de multicolinearidade para verificar a existência de dependência na matriz de correlação teve como variável descartada o carbono da matéria orgânica leve.

Já nos sucessivos agrupamentos, realizados com o propósito de descartar as variáveis que não estavam afetando a variação entre as amostras, foram descartadas as variáveis carbono e nitrogênio total e a relação C/N. Desta maneira, considerando as condições do presente trabalho, os indicadores relativos a matéria orgânica que apresentaram diferenças entre as amostras foram matéria orgânica total e matéria orgânica leve, estas variáveis foram utilizadas para a formação dos grupos (Quadro 22).

Quadro 22 – Agrupamento dos tratamentos efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando as amostragens nos períodos seco e úmido

| Grupos | Amostras | MO | MOL |
|--------|---|----------------------|--------------------|
| | | dag kg ⁻¹ | mg g ⁻¹ |
| I | 16, 18, 39, 38, 54, 53, 2, 52, 13, 12, 22, 36, 25, 4, 45, 6, 3, 42, 5, 55, 44, 23, 56, 33, 59, 17, 32, 57, 41, 35, 7, 24, 50, 8, 14, 9, 11, 1, 60, 48, 34, 26, 15, 20, 47, 51, 46, 19, 27, 10, 21, 49, 30, 29, 31, 28, 40, 43, 37 | 3,77 | 3,77 |
| II | 58 | 21,23 | 21,23 |

Reeves (1997) estudando sistemas de cultivo continuado em estudos de longo tempo, sugere que o teor de matéria orgânica total do solo é um bom indicador da qualidade daqueles solos.

Os resultados da análise por componentes principais serão apresentados para a verificação da contribuição de cada variável (Quadro 23) e a dispersão dos escores dos componentes principais (Figura 9). Como os resultados não podem ser comparados em função de erro de amostragem cabe aqui discutir a importância da amostragem, principalmente nessas áreas onde o solo original foi retirado e o que se tem é um substrato revolvido.

Quando foi efetuada a amostragem pode ser observado que nas áreas é comum de ocorrer que o horizonte A original, ali depositado, pode ficar acumulado em alguns locais. Também é frequente a ocorrência de concreções ferruginosas na área, o que dificulta a retirada das amostras. Nas áreas onde a cobertura vegetal já está estabelecida, é freqüente a presença de cupins, formigas e minhocas, que ocorrem em maior quantidade no solo de mata dos que nos substratos.

Quadro 23 – Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), para as variáveis consideradas, no período seco e úmido de amostragem

| Componente principal | Variância (autovalor) | Variância | Variância Acumulada | MO | MOL |
|----------------------|-----------------------|---------------|---------------------|---------|---------|
| | | ————— % ————— | | | |
| Y1 | 1,8276 | 60,92 | 60,92 | 0,7076 | 0,7064 |
| Y2 | 1,1006 | 33,52 | 94,44 | 0,0460 | -0,0726 |
| Y3 | 0,1668 | 5,56 | 100,00 | -0,7052 | 0,7041 |

⁽¹⁾ Importância relativa das características nos componentes principais.

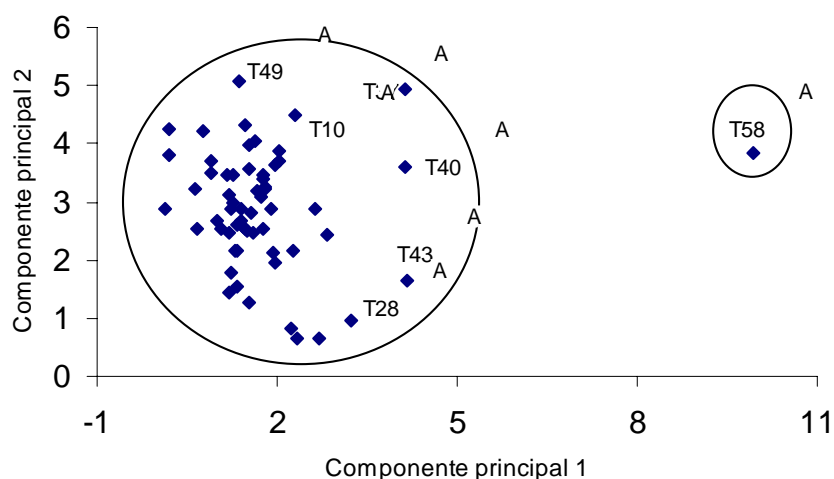


Figura 9 – Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas, amostradas em três profundidades nos períodos seco e úmido, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis matéria orgânica e matéria orgânica leve do solo.

4.4.2. Considerando as amostragens no período seco

Para a formação dos grupos foi utilizado o do método de otimização de Tocher, utilizando a distância euclidiana média como medida de dissimilaridade e os grupos são apresentadas no Quadro 24, no qual se observou a formação de quatro grupos de amostras.

Os tratamentos 19 (94s I/2,5), 20 (94s I/7,5) e 21 (94s I/20), área revegetada em 1994 sem o horizonte A original, amostrada no período seco em todas as profundidades, formaram um mesmo agrupamento, grupo II, e apresentaram as menores médias para as variáveis matéria orgânica total ($0,25 \text{ dag kg}^{-1}$), matéria orgânica leve ($0,21 \text{ mg g}^{-1}$), carbono da matéria orgânica leve ($0,15 \text{ dag kg}^{-1}$) e nitrogênio total do solo ($0,03 \text{ dag kg}^{-1}$). Já a amostra 28 (M II/2,5), área de solo sob mata amostrada à profundidade de 0 a 2,5 cm a que apresentou maiores teores, sendo agrupada separadamente (Quadro 24).

As demais amostras foram agrupadas nos grupos I e II, sendo que a provável separação da amostra 16 (94c I/2,5) tenha sido em função do reduzido teor de nitrogênio ($0,03 \text{ dag kg}^{-1}$) apresentado por esta amostra.

Quadro 24 – Agrupamento dos tratamentos efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragens no período seco

| Grupo | Amostras | MO | N | CN | MOL | CMOL |
|-------|---|--------------------------|------|-------|------------------------|------|
| | | — dag kg ⁻¹ — | | | — mg g ⁻¹ — | |
| I | 3, 5, 23, 22, 13, 6, 4, 12, 25, 11, 14, 8, 17, 24, 2, 15, 10, 9, 18, 26, 7, 27, 1, 30, 29 | 3,97 | 0,14 | 17,07 | 3,30 | 2,80 |
| II | 19, 21, 20 | 0,25 | 0,03 | 5,04 | 0,21 | 0,15 |
| III | 16 | 3,23 | 0,03 | 68,56 | 1,60 | 1,12 |
| IV | 28 | 7,53 | 0,22 | 20,14 | 6,84 | 6,34 |

Quadro 25 – Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), para as variáveis consideradas, no período seco de amostragem

| Componente principal | Variância (autovalor) | Variância | Variância Acumulada | MO | MOL | CMOL | CN | N |
|----------------------|-----------------------|-------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | ———— % ———— | | | | | | |
| Y1 | 3,5690 | 50,99 | 50,99 | 0,4483 | 0,4959 | 0,4954 | -0,0040 | 0,4266 |
| Y2 | 1,2950 | 18,50 | 69,49 | 0,2521 | 0,0058 | -0,0296 | -0,2902 | 0,4242 |
| Y3 | 1,0812 | 15,45 | 84,93 | 0,2870 | 0,0370 | 0,0074 | 0,9048 | -0,1128 |
| Y4 | 0,5552 | 7,93 | 92,86 | -0,0892 | 0,2236 | 0,2220 | -0,0190 | -0,1641 |
| Y5 | 0,4426 | 6,32 | 99,18 | 0,4373 | 0,4485 | -0,4547 | 0,0466 | 0,3885 |
| Y6 | 0,0490 | 0,70 | 99,88 | -0,6733 | 0,0497 | -0,0253 | 0,3063 | 0,6674 |
| Y7 | 0,0081 | 0,12 | 100,00 | -0,0214 | -0,7065 | 0,7050 | 0,0281 | 0,0454 |

⁽¹⁾ Importância relativa das características nos componentes principais.

Não serão apresentados os resultados das análises de agrupamento pelo método de Tocher e por componentes principais para as amostras coletadas no período úmido em função das observações apresentadas relativas ao processo de amostragem e da variabilidade observada para o solo sob mata primária.

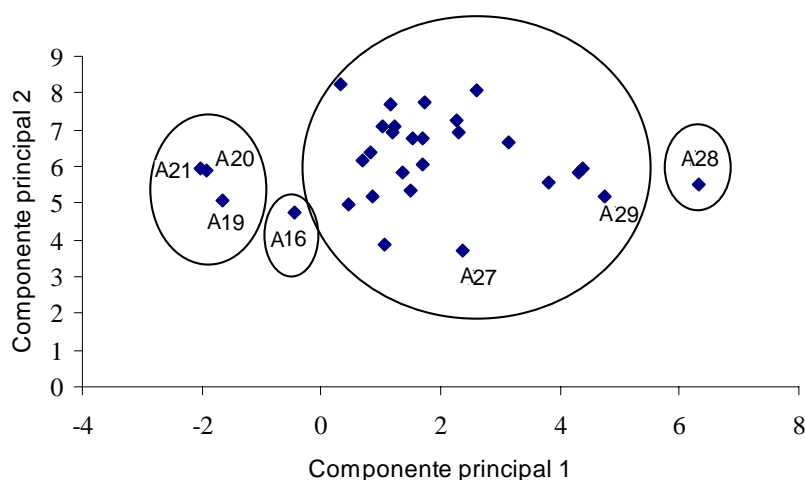


Figura 10 – Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas, amostradas em três profundidades no período seco, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis matéria orgânica e matéria orgânica leve do solo.

4.5. Fracionamento da matéria orgânica

4.5.1. Considerando as amostragens nos períodos seco e úmido

O fracionamento da matéria orgânica foi efetuado para verificação do estágio de humificação em que se encontra a matéria orgânica das diferentes áreas. Nos Quadros 26 e 27 são apresentadas as médias dos teores das diferentes frações da matéria orgânica para as amostras, que foram agrupados em onze grupos (Quadro 28).

Deve-se salientar que o entendimento do estágio de humificação da matéria orgânica, nestas áreas degradadas e em processo de recuperação, pode fornecer importantes informações sobre a gênese dos solos que ali estão se formando e da dinâmica da matéria orgânica no sistema.

Os teores de carbono das frações da matéria orgânica, não diferiram entre os substratos e o solo de referência, independente da época de coleta das amostras, da profundidade de amostragem ou do período de revegetação (Quadro 26).

Quadro 26 – Valores médios de ácidos húmicos (AHUM), ácidos fúlvicos (AFUL) e humina (HUM) de amostras de substratos em recuperação e de solo, à profundidade de 0 a 2,5, 2,5 a 7,5 e 7,5 a 20 cm, de nove áreas em processo de recuperação após atividade de mineração e a área de referência sob mata primária, em Porto Trombetas-PA, considerando amostragens nos períodos seco e úmido

| Amostra | AHUM | AFUL | HUM | Amostra | AHUM | AFUL | HUM |
|--------------------|------|-------|-------|--------------------|------|-------|-------|
| mg g ⁻¹ | | | | mg g ⁻¹ | | | |
| 1 (82 I/2,5) | 3,90 | 13,30 | 22,79 | 31 (82 II/2,5) | 2,88 | 15,80 | 11,05 |
| 2 (82 I/7,5) | 4,10 | 14,60 | 29,82 | 32 (82 II/7,5) | 3,67 | 13,00 | 9,79 |
| 3 (82 I/20) | 4,80 | 15,70 | 19,14 | 33 (82 II/20) | 5,66 | 19,90 | 17,68 |
| 4 (84 I/2,5) | 4,80 | 16,70 | 20,44 | 34 (84 II/2,5) | 2,04 | 9,30 | 11,99 |
| 5 (84 I/7,5) | 3,70 | 15,60 | 14,71 | 35 (84 II/7,5) | 4,38 | 11,20 | 23,36 |
| 6 (84 I/20) | 1,90 | 8,70 | 10,55 | 36 (84 II/20) | 2,48 | 8,90 | 15,47 |
| 7 (86 I/2,5) | 1,50 | 2,70 | 1,92 | 37 (86 II/2,5) | 2,43 | 7,70 | 16,41 |
| 8 (86 I/7,5) | 2,90 | 11,50 | 11,59 | 38 (86 II/7,5) | 1,90 | 6,10 | 10,10 |
| 9 (86 I/20) | 3,20 | 8,50 | 10,42 | 39 (86 II/20) | 2,52 | 7,40 | 14,84 |
| 10 (87 I/2,5) | 3,60 | 15,10 | 16,93 | 40 (87 II/2,5) | 2,96 | 8,00 | 12,94 |
| 11 (87 I/7,5) | 2,50 | 10,10 | 14,58 | 41 (87 II/7,5) | 1,42 | 3,30 | 11,99 |
| 12 (87 I/20) | 4,10 | 12,30 | 25,26 | 42 (87 II/20) | 2,35 | 6,90 | 8,84 |
| 13 (92 I/2,5) | 3,70 | 15,30 | 28,13 | 43 (92 II/2,5) | 3,05 | 3,50 | 3,47 |
| 14 (92 I/7,5) | 2,50 | 12,40 | 24,61 | 44 (92 II/7,5) | 3,05 | 1,60 | 2,21 |
| 15 (92 I/20) | 6,30 | 17,00 | 26,56 | 45 (92 II/20) | 3,05 | 5,50 | 17,05 |
| 16 (94c I/2,5) | 4,20 | 18,40 | 27,86 | 46 (94c II/2,5) | 3,05 | 6,80 | 14,84 |
| 17 (94c I/7,5) | 1,30 | 2,20 | 16,41 | 47 (94c II/7,5) | 2,04 | 4,60 | 10,73 |
| 18 (94c I/20) | 1,90 | 12,80 | 23,96 | 48 (94c II/20) | 1,42 | 3,70 | 8,21 |
| 19 (94s I/2,5) | 2,20 | 16,60 | 21,88 | 49 (94s II/2,5) | 2,17 | 4,80 | 19,57 |
| 20 (94s I/7,5) | 3,80 | 17,90 | 28,65 | 50 (94s II/7,5) | 2,65 | 5,60 | 24,62 |
| 21 (94c I/20) | 3,50 | 16,80 | 31,12 | 51 (94c II/20) | 4,57 | 7,17 | 29,36 |
| 22 (96 I/2,5) | 4,00 | 18,80 | 31,38 | 52 (96 II/2,5) | 3,17 | 6,83 | 33,14 |
| 23 (96 I/7,5) | 2,80 | 16,10 | 29,82 | 53 (96 II/7,5) | 4,20 | 7,17 | 30,62 |
| 24 (96 I/20) | 3,10 | 17,60 | 32,16 | 54 (96 II/20) | 2,65 | 5,17 | 20,20 |
| 25 (98 I/2,5) | 3,40 | 20,00 | 32,16 | 55 (98 II/2,5) | 1,55 | 2,50 | 11,05 |
| 26 (98 I/7,5) | 1,70 | 9,50 | 26,82 | 56 (98 II/7,5) | 1,55 | 8,17 | 20,52 |
| 27 (98 I/20) | 1,30 | 3,50 | 25,39 | 57 (98 II/20) | 1,62 | 6,17 | 16,41 |
| 28 (M I/2,5) | 2,10 | 11,20 | 23,58 | 58 (M I/2,5) | 2,88 | 6,67 | 36,93 |
| 29 (M I/7,5) | 2,40 | 8,50 | 7,89 | 59 (M II/7,5) | 3,10 | 6,17 | 25,88 |
| 30 (M I/20) | 3,00 | 12,10 | 13,89 | 60 (M II/20) | 1,55 | 4,67 | 20,83 |

Quadro 27 – Agrupamento das amostras efetuado pelo método de Tocher e as respectivas médias dos grupos, considerando amostragem nos períodos seco e úmido

| Grupos | Amostras | AHUM | AFUL | HUM |
|--------|---|--------------------------------|-------|-------|
| | | ————— mg g ⁻¹ ————— | | |
| I | 37, 39, 36, 11, 40, 46, 45, 9, 34, 42, 29, 6, 8, 38, 47, 30, 57, 54, 49 | 2,48 | 7,72 | 13,60 |
| II | 41, 55, 48, 17, 60, 56 | 1,47 | 4,09 | 14,84 |
| III | 3, 4, 1, 12, 35, 2, 13, 16, 20, 21, 22 | 4,12 | 15,55 | 26,18 |
| IV | 5, 10, 32, 31 | 3,46 | 14,88 | 13,12 |
| V | 18, 28, 14, 26, 19, 23 | 2,20 | 13,10 | 25,11 |
| VI | 51, 53, 52, 59, 58, 50 | 3,43 | 6,60 | 30,09 |
| VII | 43, 44 | 3,05 | 2,55 | 2,84 |
| VIII | 24, 25 | 3,25 | 18,80 | 32,16 |
| IX | 15, 33 | 5,98 | 18,45 | 22,12 |
| X | 27 | 1,30 | 3,50 | 25,39 |
| XI | 7 | 1,50 | 2,70 | 1,92 |

Quadro 28 – Estimativas das variâncias (autovalores) e importância relativa⁽¹⁾ (coeficientes de ponderação – autovetores), para as variáveis consideradas, nos períodos seco e úmido de amostragem

| Componente principal | Variância (autovalor) | Variância | Variância Acumulada | AHUM | AFUL | HUM | |
|----------------------|-----------------------|---------------|---------------------|---------|---------|---------|--|
| | | ————— % ————— | | | | | |
| Y1 | 1,9969 | 66,56 | 66,56 | 0,5900 | 0,6226 | 0,5141 | |
| Y2 | 0,6569 | 21,90 | 88,46 | -0,5049 | -0,2124 | 0,8366 | |
| Y3 | 0,3462 | 11,54 | 100,00 | -0,6300 | 0,7532 | -0,1890 | |

⁽¹⁾ Importância relativa das características nos componentes principais.

Pela formação dos grupos (Quadro 27) e sua dispersão gráfica (Figura 11) não foi possível avaliar o estágio de humificação das áreas em estudo, assim bem como relacionar os resultados obtidos com as características de cada área amostrada. Esses resultados podem ser explicados talvez pelo processo de recuperação que acarreta grande modificação no substrato misturando os vários horizontes do solo, bem como, da matéria orgânica ali colocada.

No entanto, apesar de em uma análise pontual como a que foi feita no presente trabalho, o fato de não se conseguir diferenciar os substratos, sugere-se que no monitoramento anual dessas áreas em recuperação, sejam feitas essas análises das frações da matéria orgânica e estes dados sejam avaliados em uma escala temporal para que se possa conhecer a dinâmica dessas frações e estas sejam relacionadas com os processos pedogenéticos.

Ao analisar as duas épocas de amostragem separadamente, ainda observa-se a mesma dificuldade em analisar os resultados obtidos, pois a formação dos grupos também não apresenta padrão definido, por este motivo esses resultados não serão apresentados.

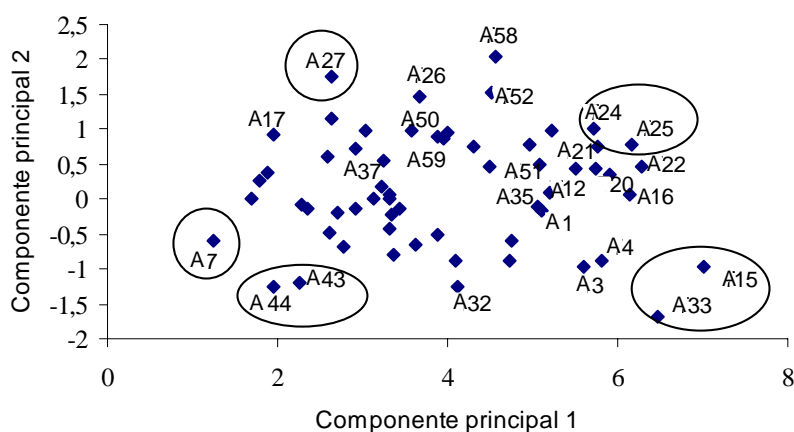


Figura 11 – Dispersão gráfica dos escores das amostras correspondentes às dez áreas estudadas, amostradas em três profundidades nos períodos seco e úmido, em relação ao componente principal 1 e 2 para as variáveis ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e húmicos.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesse estudo pôde-se concluir que:

1. As variáveis carbono e nitrogênio da biomassa microbiana mostraram-se como bons indicadores do estágio de recuperação/degradação do solo.

2. Para a avaliação das características de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, utilizadas como indicadores da qualidade do solo, devem-se fazer amostragens em diferentes épocas do ano para que se contemplem as variações climáticas do local.

3. As características químicas do solo e de carbono das frações da matéria orgânica do solo para serem utilizadas como indicadoras da qualidade do solo devem ser avaliadas periodicamente e fazer parte de um banco de dados que possa refletir o perfil da área. A interpretação deste perfil deve considerar aspectos ecológicos e da ciclagem de nutrientes, existentes na área.

4. Matéria orgânica total e matéria orgânica leve mostraram-se como características de solo que podem ser utilizadas como indicadoras da qualidade do solo.

5. Para as condições das áreas estudadas as amostragens visando a obtenção de índices da qualidade do solo, devem se concentrar na profundidade de 0 a 2,5 cm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J.M. & INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. S.L.: CAB International, Unesco, UK, 1989, 171p.
- ATLAS, R.M. & BARTHA, R. **Microbial ecology: fundamentals and applications**. 4.ed. California: Benjamin/Cummings, 1998. 694p.
- BENITES, V. & MENDONÇA, E.S. Caracterização de ácidos húmicos extraídos de solos altimontanos. In: 4º Encontro Brasileiro de Substâncias húmicas. **Anais...**, 19-22 de novembro de 2001, Viçosa, Minas Gerais. p. 278-280.
- BLAIR, J.M.; BOHLEN, P. & FRECKMAN, D.W. Soil invertebrates as indicators of soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J. (eds.). **Methods for assessing soil quality**. 1996,p. 273-291.
- BOSATTA, E. & STAAF, H. **The control of nitrogen turn-over in forest litter**. *Oikos*, 39, 1982. p.143-151.
- BOWMAN, R.A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organics phosphorus. **Soil Science Society American Journal**, v.53, p.362-366, 1989.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. Trad. Antônio B.N. Figueiredo. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, p.73-85, 1974.

- BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biol. Biochem.**, v.17, p.837-842, 1985.
- CALDWELL, B.D.; GRIFFITHS, R.P. & SOLLINS, P. Soil enzyme response to vegetative disturbance in two lowland Costa Rican soils. **Soil Biol. Biochem.**, v.31, p.1603-1608, 1999.
- CASTRO, J.P.C. Reabilitação de áreas degradadas-Aspectos legais. In: DIAS, L.E. & MELLO, J.W.V. (eds). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, Departamento de Solos. Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas degradadas, 1998, p.9-14.
- COUTINHO, H.L.C.; OLIVEIRA, V.M. & MANFIO, G.P. Diversidade microbiana em amostras ambientais. In: Garay, I. & Dias, B.F.S. (org.). **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**. Petrópolis, Vozes, 2001. p.215-232.
- CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 390p.
- CRUZ, C.D. **Programa GENES – Aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa, MG: UFV, 1997, 442p.
- DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; DICK, D.P.; KLAMT, E.; KNICKER, H. & KOGÉL-KNABNER, I. Caracterização da matéria orgânica em latossolos de uma climassequência do RS. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4., Viçosa, 2001. **Anais**. Viçosa, p.19-22 novembro, 2001.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo (Metodologia)**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p.
- DIAS, B.F.S.; GARY, I.; CAMPANHOLA, C.; KAGEYAMA, P.; YOUNÉS, T.; LEWINSHON, T.; SEUÁNES, H.; JOLY FILHO, C.; CERQUEIRA, R.; CÂMARA, I. & BORBA, F. **Avaliação, Monitoramento e Indicadores de Diversidade Biológica: Perspectivas Metodológicas para Ecossistemas Tropicais. Conservação da Biodiversidade em Ecossistemas Tropicais. Avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. GARAY, I. & DIAS, B. eds. Petrópolis: EditoraVozes, 2001. p.412-422.
- DIAS, L.E. & GRIFFTH, J.J. **Conceituação e caracterização de áreas degradadas. Recuperação de áreas degradadas**. In: DIAS, L.E. & MELLO, J.W.V.de (eds.). Viçosa, UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.15-26.

- DIAS, L.E. & MELLO, J.W.V. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, Departamento de Solos, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas degradadas, 1998, 251p. il.
- DIAS, L.E. **Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. Recuperação de áreas degradadas**. In: DIAS, L.E. & MELLO, J.W.V. (eds.). Viçosa: UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.27-44.
- DICK, R.P. & HALVORSON, J.J. **Standartized methods, sampling, and sample pretreatment**. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J. (eds.). *Methods for assessing soil quality*, 1996. p.107-121.
- DICK, R.P.; BREAKWELL, D.P. & TURCO, R.F. Soil enzymes activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J. (eds.). **Methods for assessing soil quality**, 1996, p.241-271.
- DORAN J.W. & ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15, n.1, August 2000. p.3-11.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. (eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. American Society of Agronomy Special Publication, Madison, WI, 1991, p.3-21
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J. (eds.). **Methods for assessing soil quality**. Soil Science Society of America, Special Publication 49, Madison, 1996. p.25-37.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979, n.p.
- FAVERO, C. **Uso e degradação de solos na microrregião de Governador Valadares, Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 2001. p.80. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa. 2001.
- FERREIRA, A.B.H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 1.ed, 4ª reimpressão. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1987.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.227-243.

- GAMA-RODRIGUES, E.F. **Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamentos de eucalipto**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1997. 108p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1997.
- GOMEZ, A.A.; KELLY, D.E.S.; SYERS, J.K. & COUGHLAND, K.J. Measuring. In: DORAN, J.W. & PARKIN, T. (eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996. p.401-409.
- HERRICK, J.E. Soil quality: an indicator of sustainable land management? **Applied Soil Ecology**, v.15, p.75-83, 2000.
- IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**. Brasília: IBAMA, 1990. 96p.
- ISELL, R.F. **The Australian Soil Classification**. CSIRO: Australia, 1996. p18-21.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. A rapid microwave digestion method for colorimetric measurement of soil organic carbon. **Communication in Soil Science Plant Analysis**, v.29, n.15, c.16, 1998, p.2269-2284.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility Soils**, v.27, n.4, p.408-416, 1998.
- JENNY, H. **Factors of soil formation. A system of quantitative pedology**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281p.
- JORDAN, D.; KREMER, R.J.; BERGFELD, W.A.; KIM, K.Y. & CACNIO, V.N. Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields. **Biol. Fertil. Soils**, v.19, p.297-302, 1995.
- KNOEPS, J.M.H.; KOENING, W.D. & NASH III, T.H. On the relationship between nutrient use efficiency and fertility in forest ecosystems. **Oecologia**, v.110, p.550-556, 1997.
- KRUPENIKOV, I.A. **History of soil science**. Rotterdam: Brookfield, 1993. 348p.
- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F., STEWART, B.A. (eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. American Society of Agronomy Special Publication, Madison, WI, 1991, p.37-51.

- LOVELOCK, J. **As eras de Gaia. A biografia da nossa Terra viva.** Rio de Janeiro: Campus, 1991. p.236.
- MARCOS, Z.Z. **Epistemologia pedológica.** Campinas: Fundação Gargill, 1980. 119p.
- MURAGE, E.W.; KARANJA, N.K.; SMITHSON, P.C. & WOOPER, P.L. Diagnostic indicators of soil quality in productive and non-productive smallholders' fields of Kenya's Central Highlands. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v.79, p.1-8, 2000.
- OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada. HANS, R.G.; QUEIRÓS, J.E. & MEDEIROS, J.F. (eds.). **Anais...** Campina Grande: UFPB, 1997. p.1-12.
- REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil Till. Research**, v.43, p. 131-167, 1997.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** Viçosa: NEPUT, 1997, 367p.
- RUIVO, M.L.P. **Vegetação e características do solo como indicadores de reabilitação de áreas mineradas na Amazônia Oriental.** Viçosa: UFV, 1998. 101p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- SAHTOURIS, E. **A dança da Terra. Sistemas vivos em evolução: uma visão da biologia.** Rio de Janeiro: Record- Rosa dos Tempos, 1998. 331p.
- SANTANA, D.F. & BAHIA FILHO, A.F.C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: World Congress of Soil Science, 16, 1998. Montpellier, França. **Proceedings...**, Montpellier: ISSS, 1998. CD ROM
- SCHNITZER, M. Organic matter characterization. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R. (eds.). **Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.** 2.ed. Madison: Wisconsin, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. p.581-594. (Agronomy Series, 9).
- SIMONSON, R.W. Concept of soil. **Advances in Agronomy**, New York, v.0, p.1-47, 1968.
- STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land; microbiological indicators. *Acta Agriculture Scandinavica*, Sect. B. **Soil and Plant Sci.**, v.49, p.1-24, 1999.

- TARDY, Y. Global geochemistry during the past four billion years: pedogenesis, climate and paleoclimatic controls. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Anais...** Águas de Lindóia-SP, 4 a 8 de Agosto, 1996. CD-ROM
- TAUK-TORNISIELO, S.M. Substâncias húmicas e atividades microbianas no solo. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2., São Carlos, 1997. **Anais...**, CNPDIA, São Carlos, São Paulo, 1997. p.32-37.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. & BOHNEN, S.J.V. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. rev e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. p.68-70.
- TOLMASQUIM, M.T. **Estrutura conceitual para a elaboração de indicadores de sustentabilidade ambiental para o Brasil. Conservação da Biodiversidade em Ecossistemas Tropicais. Avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. GARAY, I. & DIAS, B. (eds.). Petrópolis: Editora Vozes, 2001. p.68-75.
- TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, C.; GIL-SOTRES, F. & SEOANES, S. Towards a biochemical quality index for soils: na expression relating several biological and biochemical properties. **Bio, I. Fert. Soils**, v.26, p.100-106, 1998.
- WICK, B.; KUHNE, R.F. & VLEK, P.L. Soil microbiological parameters as indicators of soil quality under improved fallow management systems in south-western Nigeria. **Plant and Soil**, v.202, p.97-107, 1998.
- YEOMANS, J.C. & BREMENER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n.13, p. 1467-1476, 1988.
- YOUNÉS, T. Ciência da biodiversidade: questões e desafios. In: GARAY, I. & DIAS, B.F.S. (eds.). **Conservação da Biodiversidade em Ecossistemas Tropicais. Avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Petrópolis: Vozes, 2001. p.29- 42.

APÊNDICE

Quadro 1A – Espécies plantadas nos reflorestamentos de 1982, 1984, 1986, 1987, 1992, 1994 e 1998 pela Mineração Rio do Norte, em Porto Trombetas-PA

| Nome vulgar | Espécie | | Ano de plantio | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| | Nome científico | Família | 82 | 84 | 86 | 87 | 92 | 94 | 96 | 98 |
| 1. Abarema | <i>Abarema</i> sp | Mimosaceae | | | | | | | | * |
| 2. Abiu | <i>Sapotaceae</i> | Sapotaceae | | | | | | | | * |
| 3. Abiu-cramuri | <i>Sapotaceae</i> | Sapotaceae | | | | | | | | * |
| 4. Abiu-cutile | <i>Sapotaceae</i> | Sapotaceae | | | | | | | | * |
| 5. Abiu-farinha-seca | <i>Myrtiluma ugenifolia</i> | Sapotaceae | | | | | | | | * |
| 6. Abiu-rosadinho/ mangabinha | <i>Micropholis venulosa</i> | Sapotaceae | | | | | | | | * |
| 7. Abiu-vermelho | <i>Sapotaceae</i> | Sapotaceae | | | | | | | | * |
| 8. Abiurana | <i>Sapotaceae</i> | Sapotaceae | | | | | | | | * |
| 9. Abiurana-branca | <i>Sapotaceae</i> | Sapotaceae | | | | | | | | * |
| 10. Acacia | <i>Acacia holosericea</i> | Mimosaceae | | | | | | | | * |
| 11. Acacia ⁽¹⁾ | <i>Acacia auriculiformis</i> | Mimosaceae | | * | | | | | | |
| 12. Acacia-mangium ⁽¹⁾ | <i>Acacia mangium</i> | Mimosaceae | | * | | | | | | |
| 13. Açai | <i>Euterpe oleracea</i> | Arecaceae | | * | * | | | * | | * |
| 14. Acapú | <i>Vouacapoua americana</i> | Caesalpiniaceae | | | | | | | | |
| 15. Acariquara | <i>Minquartia guianensis</i> | Olacaceae | | | * | | | | | * |
| 16. Achuá | <i>Socoglottis</i> sp | Humiriaceae | | | | | | | | * |

Continua...

Quadro 1A, Cont.

| Espécie | | | Ano de plantio | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Nome vulgar | Nome científico | Família | 82 | 84 | 86 | 87 | 92 | 94 | 96 | 98 |
| 17. Açoita-cavalo | <i>Luheea</i> sp | Tiliaceae | | | | | | * | | |
| 18. Ajirú ⁽¹⁾ | <i>Chrysobalanus icaco</i> | Chrysobalanaceae | | | | | | | | * |
| 19. Albizia | <i>Albizzia falcata</i> | Mimosaceae | | | * | | | | | |
| 20. Albizia ⁽¹⁾ | <i>Albizzia lebeck</i> | Mimosaceae | * | | * | | | | | |
| 21. Amapá-doce/caucho-macho | <i>Brosimum parinarioides</i> | Moraceae | * | * | * | | | * | * | |
| 22. Anani-da-terra-firme | <i>Symphonia globulifera</i> | Guttiferae | * | | | | | | | |
| 23. Andira-uchi | <i>Andira surinamensis</i> | Fabaceae | | | | | | * | | |
| 24. Andiroba | <i>Carapa guianensis</i> | Meliaceae | * | * | | | | | | |
| 25. Angelim-aroeira | <i>Hymenolobium petraeum</i> | Fabaceae | | | | | | | | * |
| 26. Angelim-da-mata | <i>H. excelsum</i> | Fabaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 27. Angelim-pedra | <i>Dinizia excelsa</i> | Mimosaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 28. Araçá-boi ⁽¹⁾ | <i>Eugenia stipitata</i> | Myrtaceae | | * | | | | | | |
| 29. Araçá-pêra ⁽¹⁾ | <i>Eugenia</i> sp | Myrtaceae | | | * | | | | | |
| 30. Araracanga | <i>Aspidosperma eteanum</i> | Apocynaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 31. Arara-canga-folha-comprida | <i>Aspidosperma</i> sp | Apocynaceae | | | | | | * | | |
| 32. Araticum | <i>Annona montana</i> | Annonaceae | | | | | | * | * | |
| 33. Arraieira | <i>Conceveibastrum</i> sp | Euphorbiaceae | | * | | | | | | |
| 34. Axixá-folha-grande | <i>Sterculia pruriens</i> | Esterculiaceae | | * | | | | | | |
| 35. Azeitona-do-Pará ⁽¹⁾ | <i>Eugenia cumini</i> | Myrtaceae | | * | | | | * | * | |
| 36. Bacaba | <i>Oenocarpus cf mapora</i> | Arecaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 37. Bacuri | <i>Guttiferae</i> | Guttiferae | | | | | | | | * |
| 38. Boleira/Castanha-de-arara | <i>Joannesia heveoides</i> | Euphorbiaceae | * | | * | | | | | |
| 39. Bracatinga | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | | | * | | | | | |
| 40. Breu | <i>Protium</i> sp | Burseraceae | * | * | * | | | | | |
| 41. Breu-branco | <i>Protium</i> sp | Burseraceae | | | | | | | | * |
| 42. Breu-preto | <i>Protium heptaphyllum</i> | Burseraceae | | | | | | * | * | |
| 43. Breu-sucuruba | <i>Trattinickia burserifolia</i> | Burseraceae | | * | | | | * | * | |
| 44. Breu-surucuba | <i>Trattinickia cf lawrencei</i> | Burseraceae | | | | | | * | | |
| 45. Breu-surucuba | <i>Trattinickia rhoifolia</i> | Burseraceae | | | | | | * | * | |
| 46. Breu-surucuba-branco | <i>Trattinickia</i> sp | Burseraceae | | | | | | | | * |
| 47. Cajarana-da-terra-firme | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | | | | | | * | | |
| 48. Cajú ⁽¹⁾ | <i>Anacardium occidentale</i> | Anacardiaceae | * | * | | | | * | * | |
| 49. Caju-açú | <i>Anacardium giganteum</i> | Abacardiaceae | | * | | | | * | * | |
| 50. Canela-de-velha | <i>Lauraceae</i> | Lauraceae | | | | | | * | * | |
| 51. Caquí | <i>Diospyros praetermissa</i> | Ebenaceae | * | * | * | | | | * | |
| 52. Carapanaúba | <i>Aspidosperma excelsum</i> | Apocynaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 53. Carapanaúba-preta | <i>Aspidosperma</i> sp | Apocynaceae | | | | | | | | * |
| 54. Cariperana | <i>Licania</i> sp | Chrysobalanaceae | | | | | | | | * |

Continua...

Quadro 1A, Cont.

| Espécie | | | Ano de plantio | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|------------------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Nome vulgar | Nome científico | Família | 82 | 84 | 86 | 87 | 92 | 94 | 96 | 98 |
| 55. Cariperana-folha-branca | <i>Licania</i> sp | Chrysobalanaceae | | | | | | | | * |
| 56. Carolina ⁽¹⁾ | <i>Adenathera pavonina</i> | Mimosaceae | | | * | | | * | * | |
| 57. Casearia | <i>Casearia</i> sp | Facourtiaceae | | | | | | | | * |
| 58. Cássia-aleluia | <i>Cassia siamea</i> | Caesalpiniaceae | * | * | * | | | | | |
| 59. Cássia-piolho | <i>Cassia</i> sp | Caesalpiniaceae | * | * | * | | | | | |
| 60. Castanha-amarga | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | | | | | | | | * |
| 61. Castanha-de-galinha | <i>Couepia longipendula</i> | Chrysobalanaceae | * | | | | | | | * |
| 62. Castanha-sapucaia | <i>Lecythis</i> sp | Lecythidaceae | | | | | | | | * |
| 63. Castanheira | <i>Bertholletia excelsa</i> | Lecythidaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 64. Castanhola ⁽¹⁾ | <i>Terminalia catappa</i> | Combretaceae | | * | * | | | * | * | |
| 65. Caxixá | <i>Maprounea guianensis</i> | Euphorbiaceae | * | * | * | | | | | |
| 66. Cedrorana | <i>Cedrelinga catanaeformis</i> | Mimosaceae | * | | | | | | | |
| 67. Clusia/cebola-brava | <i>Clusia</i> sp | Clusiaceae | | | | | | | | * |
| 68. Conde | <i>Annona denticoma</i> | Annonaceae | | | | | | * | | |
| 69. Copaíba | <i>Copaifera duckei</i> | Caesalpiniaceae | | | | | | * | * | |
| 70. Coração-de-negro | <i>Swartzia corrugata</i> | Caesalpiniaceae | * | * | | | | | | |
| 71. Core-mirá | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | * | | | | | | | |
| 72. Cuiarana | <i>Buchenavia grandis</i> | Combretaceae | * | * | * | | | * | | |
| 73. Cuiarana-folha-miúda | <i>B. parvifolia</i> | Combretaceae | | * | | | | | | |
| 74. Cumarú | <i>Dipteryx odorata</i> | Fabaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 75. Cumarú-rosa | <i>Dipterix magnifica</i> | Fabaceae | | | | | | | | * |
| 76. Cumarurana | <i>Taralea</i> sp | Fabaceae | | | | | | | | * |
| 77. Cupiúba | <i>Goupia glabra</i> | Celastraceae | * | * | * | | | * | | |
| 78. Curumim | <i>Trema micrantha</i> | Ulmaceae | * | * | * | | | | | |
| 79. Embaubarana | <i>Pouroma</i> sp | Cecropiaceae | * | | | | | | | |
| 80. Envira | <i>Annonaceae</i> | Annonaceae | * | | | | | | | |
| 81. Envira-bola | <i>Annonaceae</i> | Annonaceae | | | * | | | | | |
| 82. Envira-branca | <i>Xylopia cf nitida</i> | Annonaceae | | | * | | | | | |
| 83. Envira-conde | <i>Annona cf tenuipes</i> | Annonaceae | | | * | | | | | |
| 84. Envira-preta | <i>Guatteria poeppigiana</i> | Annonaceae | | | | | | * | * | |
| 85. Envira-preta-da-folha-fina | <i>Annonaceae</i> | Annonaceae | | | | | | * | | |
| 86. Envira-preta-folha-média | <i>Guatteria umbonata</i> | Annonaceae | | | | | | * | | |
| 87. Envira-surucucú | <i>Duguetia</i> sp | Annonaceae | | | * | | | | | |
| 88. Envira-amarela | <i>Xylopia</i> sp | Annonaceae | | | | | | | | * |
| 89. Envira-preta-folha-grande | <i>Guatteria olivacea</i> | Annonaceae | | | * | | | | | * |
| 90. Erva-do-mato-vermelha | <i>Isertia hipoleuca</i> | Rubiaceae | | | * | | | | | |
| 91. Escova-de-macaco | <i>Apeiba glabra</i> | Tiliaceae | | | | | | * | | |

Continua...

Quadro 1A, Cont.

| Espécie | | | Ano de plantio | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Nome vulgar | Nome científico | Família | 82 | 84 | 86 | 87 | 92 | 94 | 96 | 98 |
| 92. Espeteiro | <i>Sapindaceae</i> | Sapindaceae | | | | | | | | * |
| 93. Eucaliptus ⁽¹⁾ | <i>Eucalyptus toreliana</i> | Myrtaceae | * | | | | | | | |
| 94. Eucaliptus ⁽¹⁾ | <i>Eucalyptus grandis</i> | Myrtaceae | | * | | | | | | |
| 95. fava-amarga-da-terra-firme | <i>Vatairea sericea</i> | Fabaceae | * | | | | | * | | |
| 96. Fava-arara-tucupi/Paricá-grande | <i>Parkia multifuga</i> | Mimosaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 97. Fava-barbatimão/fava-cumuzê | <i>Stryphnodendron guianensis</i> | Mimosaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 98. Fava-benguê/Favacore | <i>Parkia oppositifolia</i> | Mimosaceae | | | | | | * | * | |
| 99. Fava-bicolor | <i>Ormosia</i> sp | Fabaceae | | | | | | | | * |
| 100. Fava-bolota | <i>Parkia pendula</i> | Mimosaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 101. Fava-de-rosca/Orelha-de-macaco | <i>Enterolobium schomburgkii</i> | Mimosaceae | * | | * | | | * | * | |
| 102. Fava-dentiho | <i>Albizzia decandra</i> | Mimosaceae | * | | | | | | | |
| 103. Fava-girino | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | | * | | | | | | |
| 104. Fava-japacamim | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | * | | | | | | | |
| 105. Fava-margarida | <i>Parkia nitida</i> | Mimosaceae | * | | | | | | | |
| 106. Fava-mucunã/Tachirana | <i>Stryphnodendron paniculatum</i> | Mimosaceae | | | | | | * | | |
| 107. Fava-olho-de-peixe | <i>Abarema turbinata</i> | Mimosaceae | | | | | | | | * |
| 108. Fava-paricá | <i>Schizolobium amazonicum</i> | Caesalpinaceae | | * | | | | | | |
| 109. Fava-pititú | <i>Stryphnodendron polystachyum</i> | Mimosaceae | | | | | | * | * | |
| 110. Fava-pombo | <i>Dimorphandra macrostachya</i> | Mimosaceae | | | | | | * | | |
| 111. Fava-rabo-de-arara | <i>Dimorphandra</i> sp | Caesalpinaceae | | | * | | | | | |
| 112. Fava-tamboril | <i>Enterolobium maximum</i> | Mimosaceae | * | * | * | | | * | | |
| 113. Fruta-do-conde | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | | | | | | | | * |
| 114. Fruta-de-jaboti | <i>Eugenia patrisii</i> | Myrtaceae | | | | | | | | * |
| 115. Ginja-do-campo | <i>Eugenia puniceifolia</i> | Myrtaceae | | | | | | | | * |
| 116. Goiaba ⁽¹⁾ | <i>Psidium guajava</i> | Myrtaceae | | | * | | | * | * | |
| 117. Gombeira | <i>Swartzia</i> sp | Caesalpinaceae | * | | | | | * | | |
| 118. Gombeira-preta | <i>Swartzia racemosa</i> | Caesalpinaceae | | | | | | | | * |
| 119. Gombeirinha-da-terra-firme | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | | | | | | | | * |
| 120. Guajará | <i>Franchetella</i> sp | Sapotaceae | | | | | | | | * |
| 121. Guajarazinho | <i>Sandwitiodoxa egregia</i> | Sapotaceae | | | | | | | | * |
| 122. Guariúba | <i>Clarisia racemosa</i> | Moraceae | * | | | | | | | * |
| 123. Guariubinha | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | | | | | | | | * |
| 124. Ingá | <i>Inga</i> sp | Mimosaceae | * | * | * | | | | | |
| 125. ingá-branco | <i>Inga</i> sp | Mimosaceae | | | | | | | | * |

Continua...

Quadro 1A, Cont.

| Espécie | | | Ano de plantio | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Nome vulgar | Nome científico | Família | 82 | 84 | 86 | 87 | 92 | 94 | 96 | 98 |
| 126. Ingá-cipó | <i>Inga edulis</i> | Mimosaceae | | | | | | * | | |
| 127. Ingá-de-macaco | <i>Inga falcistipula</i> | Mimosaceae | | | | | | | * | |
| 128. Ingá-roceiro | <i>Inga tibatiana</i> | Mimosaceae | | | | | | | * | |
| 129. Ingá-vermelho | <i>Inga nitida</i> | Mimosaceae | | | | | | | * | |
| 130. Ipê-amarelo | <i>Tabebuia serratifolia</i> | Bignoniaceae | * | * | * | | | | * | |
| 131. Ipê-paulista | <i>Tabebuia ocracea</i> | Bignoniaceae | | * | * | | | | | |
| 132. Itaúba | <i>Mezilaurus itauba</i> | Lauraceae | | * | | | | * | * | |
| 133. Jacarandá-do-pará | <i>Dalbergia spruceana</i> | Fabaceae | | * | * | | | * | * | |
| 134. Jambo-branco | <i>Eugenia jambolana</i> | Myrtaceae | | | | | | * | | |
| 135. Jarana | <i>Lecythis lurida</i> | Lecythidaceae | | | | | | | * | |
| 136. Jatobá | <i>Hymenaea courbaril</i> | Caesalpiniaceae | | * | * | | | | | |
| 137. Jenipapo | <i>Genipa americana</i> | Rubiaceae | | | * | | | * | * | |
| 138. Jenipaporana | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | | | | | | | * | |
| 139. Jucá ⁽¹⁾ | <i>Caesalpinia ferrea</i> | Caesalpiniaceae | | | | | | * | * | |
| 140. Jutai-mirim/jutai | <i>Hymenaea parvifolia</i> | Caesalpiniaceae | | * | | | | * | * | |
| 141. Jutai-açu/ Jatobazão | <i>Hymenaea reticulata</i> | Caesalpiniaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 142. Lacre | <i>Vismia</i> sp | Guttiferae | | | | | | * | | |
| 143. Lacre-marrom | <i>Vismia latifolia</i> | Guttiferae | * | * | * | | | | | |
| 144. Lacre-vermelho | <i>Vismia guianensis</i> | Guttiferae | * | * | * | | | | * | |
| 145. Lacre-vermelho-folha-média | <i>Vismia cayenensis</i> | Guttiferae | | | | | | * | | |
| 146. Lanterneira | <i>Lophanthera lactescens</i> | Malpighiaceae | | | | | | * | * | |
| 147. Leucena ⁽¹⁾ | <i>Leucaena leucocephala</i> | Mimosaceae | | | * | | | * | * | |
| 148. Louro-canela | <i>Lauraceae</i> | Lauraceae | | | | | | | * | |
| 149. Louro-prata | <i>Ocotea guianense</i> | Lauraceae | | | | | | * | | |
| 150. Louro-puchurí | <i>Lauraceae</i> | Lauraceae | * | | | | | * | | |
| 151. Macacaúba-da-terra-firme | <i>Platimyscium duckei</i> | Fabaceae | | | | | | * | * | |
| 152. Maçaranduba | <i>Manilkara huberi</i> | Sapotaceae | * | | | | | | | |
| 153. Manga ⁽¹⁾ | <i>Mangifera indica</i> | Anacardiaceae | | * | | | | | | |
| 154. Mangabarana | <i>Micropholis</i> sp | Sapotaceae | | | | | | | * | |
| 155. Maparajuba | <i>Manilkara amazonica</i> | Sapotaceae | | * | | | | | | |
| 156. Mará-mará | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | * | * | | | | | | |
| 157. Marí-marí-grande-da-Terra-firme | <i>Cassia</i> sp | Caesalpiniaceae | | | * | | | * | | |
| 158. Marí-marí-pequeno/Pingo-de-ouro | <i>Cassia multijuga</i> | Caesalpiniaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 159. Marupá | <i>Simaruba amara</i> | Simarubaceae | * | * | | | | * | * | |
| 160. Maruparana | <i>Simaba guianensis</i> | Simarubaceae | | | | | | * | | |
| 161. Mata-pasto | <i>Senna reticulata</i> | Caesalpiniaceae | | | | | | | * | |
| 162. Mata-fome | <i>Mataya guianensis</i> | Sapindaceae | | | | | | | * | |
| 163. Matá-matá | <i>Eschweilera obversa</i> | Lecythidaceae | | | | | | | * | |

Continua...

Quadro 1A, Cont.

| Espécie | | | Ano de plantio | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Nome vulgar | Nome científico | Família | 82 | 84 | 86 | 87 | 92 | 94 | 96 | 98 |
| 164. Morototó | <i>Schefflera morototoni</i> | Araliaceae | * | * | | | | * | | |
| 165. Morototó-branco | <i>Schefflera paraensis</i> | Araliaceae | | | | | | * | | |
| 166. Muiracatiara | <i>Astronium gracile</i> | Anacardiaceae | * | * | | | | * | * | |
| 167. Muirajussara | <i>Aspidosperma</i> sp | Apocynaceae | | | * | | | * | * | |
| 168. Muiajussara | <i>Aspidosperma</i> sp | Apocynaceae | | | * | | | * | * | |
| 169. Muirapiranga | <i>Moraceae</i> | Moraceae | | | * | | | * | * | |
| 170. Muirapixura | <i>Martiodendron parvifolia</i> | Caesalpiniaceae | | | * | | | | | |
| 171. Muiratinga-amarela | <i>Moraceae</i> | Moraceae | * | | | | | | | |
| 172. Muiratinga-preta | <i>Moraceae</i> | Moraceae | | | | | | | | * |
| 173. Mulateiro | <i>Peltogyne paniculatum</i> | Caesalpiniaceae | | | * | | | * | * | |
| 174. Munguba | <i>Pachira aquatica</i> | Bombacaceae | | | | | | | | * |
| 175. Murta | <i>Eugenia</i> sp | Myrtaceae | | | | | | | | * |
| 176. Murta-cabeluda | <i>Myrcia bracteata</i> | Myrtaceae | | | | | | | | * |
| 177. Murtinha | <i>Myrciaria silvatica</i> | Myrtaceae | | | | | | | | * |
| 178. murici-da-mata | <i>Byrsonima</i> sp | Malpighiaceae | | | * | | | | | * |
| 179. Murici-grande-da-mata | <i>Byrsonima</i> sp | Malpighiaceae | | | | | | * | | |
| 180. Murici-de-pombo | <i>B. chysophylla</i> | Malpighiaceae | | | | | | | | * |
| 181. Murici-do-campo | <i>Byrsonima</i> sp | Malpighiaceae | | | | | | | | * |
| 182. Murici/murici-da-praia | <i>Byrsonima crassifolia</i> | Malpighiaceae | | | | | | | | * |
| 183. Mutamba | <i>Guazuma ulmifolia</i> | Sterculiaceae | * | | | | | | | |
| 184. Mututi | <i>Pterocarpus amazonicus</i> | Fabaceae | | | | | | * | * | |
| 185. Mututi-da-terra-firme | <i>P. rohiri</i> | Fabaceae | | * | | | | | | * |
| 186. Muuba/ Goiaba-de-anta | <i>Bellucia imperialis</i> | Melastomataceae | * | * | * | | | | | * |
| 187. Oiti ⁽¹⁾ | <i>Licania tomentosa</i> | Chrysobalanaceae | | | | | | | | * |
| 188. Pacapeuá | <i>Swartzia</i> sp | Caesalpiniaceae | | | | | | | | * |
| 189. Pacapeuá-branco | <i>Bocoa viridifolia</i> | Caesalpiniaceae | | | | | | | | * |
| 190. Pajurá-de-cotia | <i>Chrysobalanaceae</i> | Chrysobalanaceae | | | | | | | | * |
| 191. Palheteira | <i>Clitoria racemosa</i> | Fabaceae | * | | | | | | | * |
| 192. Palmeira-areca | <i>Arecaceae</i> | Arecaceae | | | | | | | | * |
| 193. Palmeira-imperial | <i>Arecaceae</i> | Arecaceae | | | | | | | | * |
| 194. Pará-pará | <i>Jacarandá copaia</i> | Bignoniaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 195. Paricá-da-terra-firme | <i>Mimosaceae</i> | Mimosaceae | | | | | | * | | |
| 196. Paricá-de-espinho | <i>Acaci polyphila</i> | Mimosaceae | | | | | | | | * |
| 197. Patauá ⁽¹⁾ | <i>Oenocarpua bataua</i> | Arecaceae | | | | | | | | * |
| 198. Pau-de-índio | <i>Cróton</i> sp | Euphorbiaceae | * | * | * | | | | | |
| 199. Pau-de-rego | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | | | | | | * | | |
| 200. Pau-gaivota | <i>Cróton lanjowensis</i> | Euphorbiaceae | * | * | * | | | | | |
| 201. Pau-jacaré | <i>Laetia procera</i> | Flacourtiaceae | * | * | * | | | * | * | |
| 202. Pau-roxo | <i>Peltogyne</i> sp | Caesalpiniaceae | | | | | | * | | |

Continua...

Quadro 1A, Cont.

| Espécie | | | Ano de plantio | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Nome vulgar | Nome científico | Família | 82 | 84 | 86 | 87 | 92 | 94 | 96 | 98 |
| 203. Pau-para-tudo | <i>Sohnreyia excelsa</i> | Rutaceae | * | | * | | | | | |
| 204. Pente-de-macaco | <i>Apeiba echinata</i> | Tiliaceae | * | * | | | | * | | |
| 205. Pepino-da-mata | <i>Ambelania acida</i> | Apocynaceae | | | | | | | | * |
| 206. Piquiá | <i>Caryocar villosum</i> | Caryocaraceae | * | | | | | * | | * |
| 207. Piquiá-marfim | <i>Aspidosperma macrocarpum</i> | Apocynaceae | | | * | | | * | | |
| 208. Quaruba-branca | <i>Vochysia</i> sp | Vochysiaceae | * | | | | | | | |
| 209. Quarubarana | <i>Erismia racemosa</i> | Vochysiaceae | | | * | | | | | |
| 210. Quinarana | <i>Geissopermum sericeum</i> | Apocynaceae | | | | | | * | | * |
| 211. Rosadinha | <i>Sapotaceae</i> | Sapotaceae | | | | | | * | | |
| 212. Sapateiro/Tinteiro-branco | <i>Miconia poeppigii</i> | Melastomataceae | * | * | * | | | * | | * |
| 213. Seringa-itaúba | <i>Hevea guinensis</i> | Euphorbiaceae | * | * | * | | | | | |
| 214. Seringueira | <i>Hevea brasiliensis</i> | Euphorbiaceae | | | | | | | | * |
| 215. Sesbania | <i>Sesbania virgata</i> | Fabaceae | | | | | | | | * |
| 216. Sorva-grande | <i>Couma macrocarpa</i> | Apocynaceae | | | * | | | * | | * |
| 217. Sucupira-amarela | <i>Diploptropis purpúrea</i> | Fabaceae | | * | * | | | | | * |
| 218. Sucupira-escamosa | <i>Bowdichia nitida</i> | Fabaceae | | | * | | | * | | * |
| 219. Sucupira-preta | <i>Diploptropis martiusii</i> | Fabaceae | * | | * | | | | | * |
| 220. Tachi-branco-da-mata | <i>Sclerobium paraense</i> | Caesalpiniaceae | | | | | | * | | |
| 221. Tachi-folha-peluda | <i>Sclerobium</i> sp | Caesalpiniaceae | | | | | | | | * |
| 222. Tachi-preto | <i>Tachigalia myrmercophillk</i> | Caesalpiniaceae | * | | | | | * | | * |
| 223. Tachi-preto-da-mata | <i>Tachigalia alba</i> | Caesalpiniaceae | | | | | | | | * |
| 224. Tachi-vermelho-folha-pequeno | <i>Sclerolobium</i> sp | Caesalpiniaceae | | | | | | * | | |
| 225. Tachi-do-campo | <i>Sclerolobium paniculatur</i> | Caesalpiniaceae | | * | * | * | | * | | * |
| 226. Tachirana-folha-peluda | <i>Stryphnodendron</i> sp | Mimosaceae | | | | | | | | * |
| 227. Tamarindo ⁽¹⁾ | <i>Tamarindus indicus</i> | Caesalpiniaceae | | | | | | | | * |
| 228. Tanimbuca | <i>Terminalia</i> sp | Combretaceae | | | | | | | | * |
| 229. Tarerebá | <i>Spondias lutea</i> | Anacardiaceae | | | * | | | * | | * |
| 230. Taperebarana | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | | | | | | * | | |
| 231. Tatajuba | <i>Bagassa guianensis</i> | Moraceae | * | | | | | | | |
| 232. Tatapiririca | <i>Tapirira guianensis</i> | Anacardiaceae | * | * | * | | | * | | * |
| 233. Tatapiririca-da-mata | <i>Tapirira myriantha</i> | Anacardiaceae | | | * | | | | | |
| 234. Tauari-branco | <i>Courataria</i> sp | Lecythidaceae | | * | | | | | | * |
| 235. Tauari-coco | <i>Cariniana micrantha</i> | Lecythidaceae | * | * | * | | | * | | * |
| 236. Tento | <i>Ormosia holerythra</i> | Fabaceae | * | | * | | | * | | * |
| 237. Tento-colorido-grande | <i>Ormosia</i> sp | Fabaceae | | | * | | | | | |
| 238. Tento-colorido-pequeno | <i>Fabaceae</i> | Fabaceae | | | * | | | | | |

Continua...

Quadro 1A, Cont.

| | Espécie | | Ano de plantio | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------------------------|----------------|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| | Nome vulgar | Nome científico | Família | 82 | 84 | 86 | 87 | 92 | 94 | 96 | 98 |
| 239. Tendo-grande | | <i>Fabaceae</i> | Fabaceae | | | * | | | | | |
| 240. Tucujá | | <i>Indeterminada</i> | Indeterminada | | | | | | * | * | |
| 241. Uchi-pucu/uchi | | <i>Endopleura uchi</i> | Humiriaceae | | | * | | | * | * | |
| 242. Uchi-coroa | | <i>Duckesia</i> sp | Humiriaceae | | | | | | | * | |
| 243. Ucuuba-as-terra-firme/ u.-amarela | | <i>Virola michelli</i> | Myristicaceae | * | * | | | | | | |
| 244. Ucuubarana | | <i>Iryanthera</i> sp | Myristicaceae | * | | | | | | | |
| 245. Umirí | | <i>Humiria balsamifera</i> | Humiriaceae | | | * | | | | * | |
| 246. Urucum ⁽¹⁾ | | <i>Bixa orellana</i> | Bixaceae | | | * | | | | | |
| 247. Urucurana | | <i>Sloanea</i> sp | Elaeocarpaceae | * | | | | | | | |
| 248. Uva-da-Amazônia/mapatí | | <i>Pourouma cecropiifolia</i> | Cecropiaceae | | | | | | | * | |
| Total de espécies plantadas no ano | | | | 78 | 67 | 86 | 1 | - | 97 | 146 | - |

⁽¹⁾ Espécies exóticas a Amazônia.